

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UN CENTRO EDUCATIVO  
EN LA CIUDAD DE IQUITOS (PERÚ)”**

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

**AUTOR:**

**CHRISTIAN GUSTAVO ORDOÑEZ ALCÁNTARA**

**ASESOR:**

**IAN VÁZQUEZ - ROWE, DR.**


Lima, agosto del 2022

### Informe de Similitud

Yo, Ian Vázquez Rowe, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado Análisis de Ciclo de Vida de un centro educativo en la ciudad de Iquitos (Perú), del autor Christian Gustavo Ordoñez Alcántara, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 22%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 01/08/2022.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lima, 25 de noviembre de 2022

Apellidos y nombres del asesor: Vázquez Rowe, Ian	
CE: 001084152	Firma 
ORCID: 0000-0002-7469-2033	

## RESUMEN

En Perú, la construcción de infraestructura educativa es cada vez mayor debido a la necesidad de mejorar los índices de desarrollo de la nación. Sin embargo, a pesar de que estos edificios son un medio para que la educación se desarrolle adecuadamente, detrás de ello existe el impacto ambiental y consumo energético de su construcción; impactos que dependiendo del tamaño, ubicación y diseño tendrán una mayor o menor incidencia en el perjuicio del ambiente. Por ello, si bien se tiene gran información de cómo construir este tipo de infraestructuras, no se tienen estudios que empleen las herramientas del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) utilizando las metodologías del ISO 14040 y ISO 14044 para cuantificar los efectos ambientales de la construcción de un colegio en Perú. De este modo, el objetivo principal del presente trabajo de tesis es generar un análisis de ciclo de vida utilizando el software SimaPro en la etapa de construcción de un colegio ubicado en el departamento de Iquitos con el fin de proporcionar información sobre la huella ambiental generada por la construcción del colegio. La base de datos es Ecoinvent y las metodologías utilizadas son ReCiPe 2016 Midpoint (H) y CED 1.1.

Los resultados obtenidos muestran que la energía consumida por la construcción del centro educativo es de  $3.91 \times 10^4$  GJ, en el cual la manufactura del “Casco Gris” tuvo una participación del 49% debido a que está constituido por concreto armado, material de gran demanda energética e impacto ambiental en su producción. En cuanto al impacto ambiental, la “Ecotoxicidad terrestre” con 19 943 ton 1,4-DCB y el “Calentamiento Global” con 2 587 ton CO<sub>2</sub> eq fueron los factores con más incidentes en los resultados finales. Asimismo, el estudio encontró que, debido a las demandas y modificaciones en las especificaciones técnicas del expediente técnico, el consumo energético y el impacto ambiental fue similar a construir en una zona de mayor peligro sísmico, ya que se utilizó gran cantidad de concreto armado y no materiales propios de la zona, los cuales serían menos perjudiciales para el ambiente y no sería necesario transportarlos a distancias tan largas.

## ABSTRACT

In Peru, the construction of educational infrastructure is increasing due to the need to improve the nation's development rates. However, even though these buildings are means for education to develop accordingly, there's still the environmental impact and energy consumption of its construction. These impacts that depend on the size, location, and design will have a greater or lesser consequence on the damage to the environment. For this reason, although there is a large amount of information on how to build this type of infrastructure, there are no studies that use the Life Cycle Analysis (LCA) tool using the ISO 14040 and ISO 14044 methodologies to quantify the environmental effects of the construction of infrastructure of a school in Peru. The study's goal is to generate a life cycle analysis using the SimaPro software in the construction stage of a school located in the department of Iquitos, providing information on the environmental footprint created by the construction of the school. The database is Ecoinvent, and the methodologies used are ReCiPe 2016 Midpoint (H) and CED 1.1.

The results obtained show that the energy consumed by the construction of the educational center is  $3.91 \times 10^4$  GJ, which the manufacture of the "Grey Helmet" had a participation of 49% since it is made of reinforced concrete, a material of high energy demand and environmental impact in its production. Regarding the environmental impact, "Terrestrial Ecotoxicity" with 19,943 tons 1,4-DCB and "Global Warming" with 2,587 tons CO<sub>2</sub> eq was the most incident factors in the results. The study found that, due to the requirements and modifications in the technical specifications of the technical file, the energy consumption and the environmental impact are like building in an area of high seismic activity since a large amount of reinforced concrete and not materials from the region were used, which would be less harmful to the environment, and wouldn't be necessary to transport them over such long distances.

## **Agradecimientos**

A mis padres, mis hermanos y mis abuelitos que fueron el impulso en todo momento para que se haga posible la tesis. A mi querido asesor Ian Vázquez Rowe, por ser mi guía en todo este tiempo y por apostar en esta tesis.

## **Dedicatoria**

A Marco Antonio Ordoñez Jiménez, Gloria Alcántara Infantes, Marco Alexis Wenceslao Ordoñez Alcántara, William Christopher Joseph Ordoñez Alcántara y Gloria Infantes de Alcántara por dedicarme su amor y tiempo.



## ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Hipótesis.....	3
1.2 Objetivos generales y específicos.....	3
a) Objetivo general:.....	3
b) Objetivos específicos: .....	4
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1 HISTORIA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA .....	6
2.1.1 Comienzos y evolución del ACV en el mundo.....	6
2.1.2 Análisis de ciclo de vida en el Perú.....	12
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....	17
3.1 Definición del Análisis de Ciclo de Vida.....	18
3.2 Etapas del Análisis de Ciclo de Vida.....	20
a) Definición del objetivo y alcance .....	21
b) Análisis del inventario.....	23
c) Evaluación del Impacto .....	24
d) Interpretación.....	31
3.3 Utilización del Software para el desarrollo del ACV .....	31
CAPÍTULO 4: CASO DE ESTUDIO.....	36
4.1 Descripción del objeto en estudio.....	36
4.2 Límites del sistema de estudio.....	38
4.3 Inventario .....	39
CAPÍTULO 5: RESULTADOS.....	47
5.1 Energía consumida del colegio.....	47
5.2 Impacto Ambiental del colegio .....	50
CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	68
6.1 Comparación con infraestructuras similares .....	69
6.2 Comparación con colegios a nivel internacional.....	72
6.3 Posibles soluciones para disminuir el impacto ambiental.....	74
CONCLUSIONES .....	76
BIBLIOGRAFÍA .....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del consumo de energía según el sector económico del Perú.....	2
Figura 2. Mapa de Iquitos. Fuente: Adaptado de Google Maps 2021 .....	4
Figura 3.2.1 Etapas del ACV .....	20
Figura 3.2.2 Herramientas utilizadas para determinar alcances y objetivos .....	26
Figura 3.2.3 Listado de algunos midpoints del ACV.....	27
Figura 3.2.4 Listado de impactos ambientales de metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H)..	30
Figura 3.3.1: Pasos para uso del SimaPro. ....	32
Figura 3.3.2 Creación de proceso “Losa Aligerada” .....	33
Figura 3.3.3 Creación de montaje .....	34
Figura 3.3.4 Ingreso de metrado total en montaje para evaluación .....	34
Figura 3.3.5 Análisis de Impacto- Puntuación única- gráficos- CED.....	35
Figura 3.3.6 Análisis de Impacto- Caracterización- tablas- CED.....	36
Figura 4.1.1 Frontis del Colegio Liceo Naval. Fuente: Ministerio de Defensa. ....	37
Figura 4.1.2 Plano arquitectónico de corte “Ap-Bp” de pabellón de aulas.....	38
Figura 4.2 Límite del sistema .....	39
Figura 5.1.1 Energías consumidas por categorías más incidentes en consumo energético ....	48
Figura 5.1.2 Energías consumidas por categorías.....	50
Figura 5.2.1 Impacto ambiental por manufactura de Acero de refuerzo.....	51
Figura 5.2.2 Impacto ambiental por manufactura de Bloques de concreto .....	52
Figura 5.2.3 Impacto ambiental, Radiaciones Ionizantes, kBq Co-60 eq .....	53
Tabla 5.2.4 Impacto ambiental, Formación de Ozono, salud humana, kg Nox eq.....	54
Tabla 5.2.5 Impacto ambiental, Formación de materia fina y particular, kg PM2.5 ep.....	55
Tabla 5.2.6 Impacto ambiental, Formación de Ozono, ecosistema Terrestre, kg Nox eq .....	56
Figura 5.2.7 Impacto ambiental Acidificación Terrestre, kg SO2 eq .....	57
Tabla 5.2.8 Impacto ambiental Eutrofización de agua dulce, gr P eq.....	58
Figura 5.2.9 Impacto ambiental por manufactura de Cerrajería de manija cuadrada .....	59
Figura 5.2.10 Impacto ambiental, Ecotoxicidad Terrestre, tn 1,4-DCB .....	60
Figura 5.2.11 Impacto ambiental, Ecotoxicidad de agua dulce, kg 1,4-DCB.....	61
Tabla 5.2.12 Impacto ambiental, Ecotoxicidad Marina, kg 1,4-DCB .....	62
Figura 5.2.13 Impacto ambiental, Toxicidad cancerígena humana, kg 1,4-DCB .....	63
Figura 5.2.14 Impacto ambiental, Toxicidad no cancerígena humana, kg 1,4-DCB.....	64
Figura 5.2.15 Impacto ambiental por manufactura de Puerta de madera contraplacada .....	65
Figura 5.2.16 Impacto ambiental, Escasez de recursos minerales, kg Cu eq.....	66

Figura 5.2.17 Impacto ambiental, Escasez de recursos fósiles, kg oil eq .....	67
Figura 5.2.18 Impacto ambiental, Consumo de agua, m <sup>3</sup> .....	68
Figura 6.1.1 Distribución de áreas techadas por edificación.....	71
Figura 6.1.2 Distribución de energía primaria consumida por área techada de cada edificación .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.3.1 Procesos distribuidos para todas las etapas del análisis de ciclo de vida.....	40
Tabla 4.3.2 Inventario de materiales modelados en el SimaPro .....	43
Tabla 5.1 Resumen de resultados.....	49
Tabla 6.1.1 Comparación entre otras estructuras similares .....	70
Tabla 6.2.1 Impacto ambiental por manufactura de colegios en Corea del Sur .....	72
Tabla 6.2.2 Impacto ambiental sobre área construida por construcción de colegio .....	73





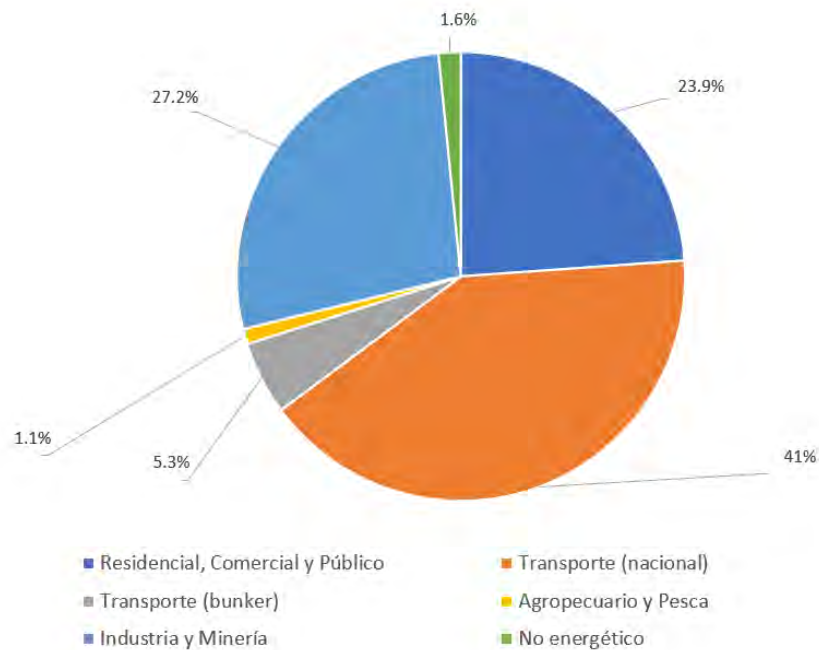
## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La educación constituye un pilar fundamental para el progreso de un país, ya que aumenta la competitividad de su población y edifica a cada persona con valores y cultura. Un año adicional de escolaridad incrementa el PBI per cápita de un país entre 4% y 7% (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), 2019). Por ello, la construcción de infraestructura educativa, como los colegios, es primordial para que se lleve a cabo dicho fin.

En todo el Perú debido a la seguridad y confiabilidad que transmiten las estructuras de concreto, se prefiere utilizar en elementos estructurales este material, el cual está compuesto de varios materiales, entre ellos y el más altamente contaminante: el cemento. Aproximadamente, la industria del cemento es responsable del 4% del calentamiento global causado por actividades antropogénicas (McCaffrey, 2002). Asimismo, la demanda de consumo de cemento creció en un 8% más en el 2019 con respecto al año anterior (Asociación de Productores de Cemento ASOCEM). Cabe mencionar que la producción de concreto contribuye a aproximadamente el 8% de las emisiones de óxido de nitrógeno, el 5% de las emisiones de óxido de azufre, el 5% de las emisiones de partículas menores a 10 micrones y el 6% de las partículas menores de 2.5 micrones (Milleer and Moore, 2016).

Con respecto a la estructura del consumo de energía por sectores económicos, según el Ministerio de Energía y Minas, se puede observar un aumento anual de energía demandada de todos los sectores, lo cual agudiza la tensión en el impacto ambiental relativas a las actividades antropogénicas (MINEM, 2019). En el año 2016 se obtuvo un total de 817 491 TJ, en el año 2017 esta cifra se incrementó en un 4%, en el año 2018 en un 10% y el 2019 hubo un significativo incremento del 13%, esta energía equivale a aproximadamente 8 800 bombas de Hiroshima o similar a la energía liberada por un sismo de 9 Mw, lo cual representa a energía

suficiente para destruir ciudades o naciones completas. Las cifras registradas que se tienen respecto a este último año 2019 indican que los sectores residencial, comercial y público consumieron un 24% de energía (MINEM, 2019).



**Figura 1. Distribución del consumo de energía según el sector económico del Perú**  
Fuente: MINEM (2019)

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una metodología que identifica, cuantifica y caracteriza los diversos impactos ambientales, de modo que está presente en cada etapa de ciclo de vida de un determinado material o producto, por lo cual también es conocido como “análisis de la cuna a la tumba”. Por un lado, se genera un análisis de inventario, de modo que se cuantifican las entradas y salidas del sistema a evaluar. Por otro lado, se evalúan los impactos sobre el entorno estudiado, en el cual se clasifican los datos, se caracteriza el flujo del sistema, se comparan los resultados obtenidos con los estimados y, finalmente, se valoran las diferentes categorías de impactos ambientales obtenidos en todo el proceso. Debido a la necesidad de gran demanda de infraestructura para centros educativos del Minedu, se proyectó construir 1 000 colegios solo para el año 2019 (Diario Gestión, 2019). Debido a ello, se debe reflexionar

sobre lo importante que es evaluar los riesgos potenciales y los daños ambientales ocasionados en la manufactura de una edificación, desde la obtención de los materiales, al transporte y colocación de estos en obra, en este caso, en un colegio de Iquitos.

## **1.1 Hipótesis**

Se quiere demostrar que, para la construcción de un centro educativo, en el departamento de Iquitos, habrá una menor demanda energética e impacto ambiental, debido a que se encuentra en una zona con bajo peligro sísmico y, por ende, se requerirá de un menor rigor en el diseño sismorresistente y tendrá menor requerimiento del uso del concreto armado, el cual es uno de los materiales de construcción más dañinos para el medio ambiente.

## **1.2 Objetivos generales y específicos**

### **a) Objetivo general:**

Analizar los impactos ambientales y energía consumida de la etapa de pre-uso, en la cual intervienen la producción de los materiales, transporte de los materiales a obra y la actividad en obra de un centro educativo localizado en Iquitos (Perú) mediante la aplicación de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).



*Figura 2. Mapa de Iquitos. Fuente: Adaptado de Google Maps 2021*

**b) Objetivos específicos:**

- Recolectar información primaria de diseño del colegio.
- Obtener todas las partidas de materiales del presupuesto del contrato principal y adicional de la obra del colegio, para realizar el análisis de inventario del ciclo de vida (ICV).
- Generar análisis de ciclo de vida con el software SimaPro para calcular la energía consumida e impactos ambientales del colegio.
- Identificar los procesos que poseen mayor incidencia en el consumo energético e impacto ambiental en la etapa de pre-uso del colegio ubicado en Iquitos.
- Realizar un análisis comparativo en base a la unidad funcional con edificaciones de similar método constructivo.

## **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE**

Actualmente, las consecuencias de los daños provocados al medio ambiente por la actividad antropogénica están siendo visibles debido a la contaminación, la deforestación, la degradación del suelo, escasez de agua, entre otros; de modo que ha sido necesario buscar medidas para mitigar en lo mayor posible el impacto ambiental, lo cual es traducido en procesos o actividades para obtener y producir sustancias perjudiciales para la salud de todos los seres vivos que habitan el planeta; por ejemplo, los gases lanzados a la atmósfera o partículas persistentes que el mismo planeta no pueda biodegradar o procesar, ya que existe mayor rapidez en la producción de estos elementos que el tiempo necesario para que estos se puedan reutilizar o degradar.

Asimismo, existe una particular preocupación por la escasez de los recursos hídricos y con relación a estos, existe una fuerte correlación entre la energía consumida y la escasez del agua, de modo que para Latinoamérica y, en especial, en Perú esto generaría una gran vulnerabilidad en el suministro de energía, vulnerabilidad que puede ser mitigada mediante la explotación de generación de energía eólica y solar (Vázquez Rowe et al.,2015). Por todo ello, una de las herramientas más utilizadas en la actualidad, para una elección más eficiente de materiales para producir o realizar un trabajo, actividad o proceso, de modo que se realice un proceso ecosostenible es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), la cual permite evaluar un producto o un sistema en todo su ciclo de vida.

En el presente subcapítulo, se desarrollan los antecedentes del ACV, tanto a nivel nacional, así como internacional.



## **2.1 HISTORIA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

### **2.1.1 Comienzos y evolución del ACV en el mundo**

En la historia del Análisis de Ciclo de Vida podemos encontrar situaciones importantes que permitieron ir mejorando y perfeccionando continuamente la búsqueda de procesos que tengan un resultado cada vez menos nocivo para el medioambiente y sus habitantes. A continuación, se enlistarán los diferentes acontecimientos que marcaron los principales hitos de la historia del ACV.

Respecto al nombre de “Análisis de ciclo de vida”, también se le conocía hasta antes de 1991 como “Evaluación de ciclo de vida” por la comunidad internacional. Además de esta denominación, tenía más nombres como eco balances, análisis ambiental integral, perfiles ambientales y sus alcances estaban relacionados con la de otras herramientas como evaluación de riesgo ambiental (Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N°72, 2008). Estas connotaciones eran utilizadas cuando se ponía en debate si al modelar el sistema de producto como prototipo del ciclo de vida de un producto con su respectivo inventario de ciclo de vida (ICV), era un proceso ambiguo. Sin embargo, los elementos subjetivos no pueden ser explicados por el alcance y la relación necesaria del objetivo final de un “Análisis de Ciclo de Vida”, sino que son consecuencia de condiciones fundamentales del análisis del ICV (Frank Werner y Roland W. Scholz, 2002).

La historia del ACV se remonta a 1963, en los Estados Unidos, con los estudios de impacto ambiental de Harold Smith sobre algunos productos químicos, que para ser fabricados necesitaban de determinadas cantidades de energía para su manufacturación (Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N°72, 2008). En esa misma década, otro de los trabajos pioneros que hicieron uso del Análisis de Ciclo de Vida como herramienta, fue auspiciado por



el Departamento de Energía de Estados Unidos (U.S Department of Energy), que consistía en evaluar las demandas de energía y el efecto que este tenía en el ambiente (Bishop, 2000).

En 1969, Coca-Cola Company comenzó sus primeros estudios en análisis de perfil ambiental dentro de la División de Envases a cargo de Harry E. Teasley Jr., quien encargó dicha investigación al Midwest Research Institute (MRI) en Kansas, con el objetivo de determinar cantidades de energía, materiales e impactos ambientales relacionados al ciclo de vida de envases, desde la obtención de la materia prima hasta su uso final. Aquí nació el término REPA (Resources and Environmental Profil Analysis), cuyo término se usó en el futuro como una metodología de análisis de impactos ambientales. Luego de finalizada la investigación, los resultados sirvieron para determinar que los envases plásticos serían la mejor opción, lo cual fue un resultado paradójico a lo que se pensaba antes del experimento (Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N°72, 2008).

En los comienzos de la década del setenta (1973) surgió la crisis del petróleo, tal crisis tiene como antecedente a la guerra de Yom Kippur, en la cual estuvieron enfrentados Israel con Siria y Egipto. En el mes de octubre, esta crisis obligó a que la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) confisque o embargue petróleo a algunos países europeos y a los Estados Unidos, ya que este estaba en apoyo a Israel ante este conflicto. Dada la demanda de petróleo se procedió a realizar una evaluación de impacto ambiental de esta substancia (Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N°72, 2008).

Otro de los estudios más interesantes fue por parte de Franklin Associates en 1990, el cual tuvo una controversia similar a la investigación realizada por la Coca-Cola, fue el análisis comparativo entre los pañales de tela y los desechables. El resultado obtenido fue que, si bien, los pañales desechables contienen 90 veces más residuos sólidos, de los cuales el 2% de ellos eran residuos municipales. Los pañales de tela, por un lado, ocasionan 10 veces más

contaminación, ya que en la reutilización de estos se utilizan varios químicos, entre ellos, principalmente, el detergente, el cual es perjudicial en la contaminación del agua y, por otro lado, en relación al impacto energético, este consume 3 veces más energía que el pañal desechable (Chacón, 2008).

Por último, uno de los análisis de vida más reciente que está relacionado a los materiales de construcción, es el caso de la comparación de Tableros MDF con recubrimiento de melamina y sin recubrimiento, el cual es una madera que se utiliza en acabados de construcción. De los resultados mostrados en esta investigación se demuestra que los tableros que son recubiertos de melamina son menos nocivos que producir un tablero sin recubrimiento pero que necesita un acabo con diferentes procesos químicos para su que su presentación sea agradable a la vista. El resumen de los cálculos de cuantificación del impacto ambiental, muestran que los tableros MDF sin recubrimiento son 100 veces más nocivos que producir un tablero MDF sin recubrimiento (Cal Mouriño, 2017).

Años más tarde, la necesidad por la preocupación de los límites de las fuentes de energía no renovables causó el aumento de uso de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida, de modo que se implementaron diversos softwares adaptados a esta metodología y poder, así, cuantificar la energía demandada al usar un determinado material en diferentes procesos.

### ***2.1.1.1 Análisis de Ciclo de Vida para edificaciones en el mundo***

En México se realizó el análisis de ciclo de vida de cuatro tipos de edificaciones: un edificio multifamiliar, un hospital, un auditorio y un edificio destinado para oficinas. El objetivo principal de este estudio era identificar las oportunidades de mejora y optimizar el consumo de energía y mitigar las principales causas de contaminación ambiental.

La metodología del estudio se basó en el ISO 14046 con el propósito de evaluar el perfil ambiental de las cuatro edificaciones en mención, de modo que se empleó el método CML2000 y, así, poder cuantificar algunas de las categorías de impacto ambiental, las cuales son: acidificación (kg SO<sub>2</sub>eq); eutrofización (kg PO<sub>4</sub>eq); potencial de calentamiento global (kg CO<sub>2</sub>eq), el cual es un factor que cuantifica los efectos relacionados al calentamiento global y los diferentes gases de efecto invernadero que capturan una determinada cantidad de calor y afecta la estabilidad térmica del planeta Tierra (PNUMA, 2016), y toxicidad humana (kg1,4-DCB eq).

La cuantificación de cada uno de estos parámetros fue obtenida con la ayuda del software SimaPro V.7 y con el inventario Ecoinvent V.2, de modo que los procesos se adecuan a la realidad de cada edificio estudiado. Cabe mencionar que la unidad funcional para todos los edificios fue única, la cual fue “Construcción y operación de un edificio durante 50 años en el Valle de México”.

En primer lugar, el auditorio fue un edificio de 1 016 m<sup>2</sup> de área construida, la cual tiene un consumo de entre 5 y 30% de los impactos en su totalidad en la etapa de pre-uso. Las causas principales provienen de la manufactura del casco estructural, seguidos del transporte de materiales y el uso de la maquinaria requerida. Asimismo, la etapa de uso es la que posee 70 y 95 % de impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de esta estructura. Como una de las fuentes más incidentes en el consumo energético fue el uso de corriente eléctrica, el escenario eficiente en este ámbito, si bien la instalación del sistema LED produce mayor impacto en el pre-uso, este sistema reduciría en un 50% el impacto ambiental en la etapa de uso del edificio.

En segundo lugar, se tiene al edificio habitacional mixto de 960 m<sup>2</sup> de área construida, la cual tiene un consumo, en la etapa de pre-uso, de entre 4 y 16% de los impactos en su

totalidad. Las causas primarias de impacto ambiental, al igual que en el auditorio, provenían de la construcción de la estructura, continuada del transporte de materiales y el uso de maquinarias. Cabe mencionar que la actividad relacionada al uso de transporte, tanto para el traslado de material como al uso de maquinarias, está relacionada a la categoría de acidificación. Además, en la etapa de uso, el impacto ambiental representa entre 84 y 96 % del total del ciclo de vida; en esta etapa, las mayores contribuciones de contaminación es la producción de aguas grises o residuales, y el consumo de energía es la eléctrica y gas. Como escenario eficiente, se escogió la opción de gestión optimizada de aguas residuales mediante sistema de reciclado de estas y reducción del consumo del gas con la instalación de calentadores de forma que se utilice la energía solar.

En tercer lugar, el hospital es un edificio que cuenta con 27 475 m<sup>2</sup> de área construida, en la etapa de pre-uso, un porcentaje de impacto ambiental de aproximadamente de 1 al 10% de todo el ciclo de vida, etapa en la cual la manufactura del edificio, el transporte de materiales y uso de maquinarias tienen participación de esta cifra. La etapa de uso, la cual es la más crítica, representa entre 90 y 99% de los impactos totales y está relacionada al consumo de generación de residuos especiales, de modo que la correcta gestión de estos, reducirían los impactos ambientales en aproximadamente un 46%.

En cuarto lugar, el edificio destinado a oficinas, el cual posee 896 m<sup>2</sup> de área construida, genera un impacto ambiental en la etapa de pre-uso entre 6 y 28% del total y como en todos los casos, lo que origina esto, especialmente, es la construcción del casco gris, los acabados, transporte de materiales y uso de maquinaria. El resto de porcentaje se genera en la etapa de uso, en la cual se puede mitigar el uso de energía y la contaminación ambiental con el uso pasivo de climatización, instalación de un sistema de iluminación LED, natural o con sistema de paneles fotovoltaicos para la producción de electricidad. Como se aprecia para todos los

tipos de edificaciones, se tienen opciones que pueden optimizar tanto el consumo energético como la contaminación ambiental (Centro Molina, 2014).

En la ciudad de Chuzhou, en China, se realizó un estudio basado en un ACV y un modelado en BIM, en donde se propuso una metodología para estimar las emisiones de carbono en el ciclo de vida del edificio. Los resultados de esta investigación dieron los siguientes valores: 40 083 ton CO<sub>2</sub>-eq y el valor relativos a su unidad funcional fue de 119.91 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> . En la etapa de construcción, operación y demolición representaron el 7.9%, 91.31% y 0.79%. Según el autor de esta investigación, las emisiones anuales de carbono por metro cuadrado de este hospital son más elevadas que las villas, residencias y edificios de oficinas (Huijun, et al, 2012).

#### ***2.1.1.2 Análisis de Ciclo de Vida para colegios en el mundo***

En Islandia se hizo un estudio de impacto ambiental en una construcción de un colegio, en el cual se utilizó el análisis de ciclo de vida. En este estudio se analizó, centralmente, el efecto que tendría la producción de los materiales de construcción y el transporte al sitio de construcción. Entre estas dos variables, el caso más resaltante fue el transporte de los materiales, debido a que se tuvo que transportar cemento desde Alemania a Islandia, de forma que se produjo una acidificación del 25% causada principalmente por la quema de combustibles fósiles lo que deriva al dióxido de carbono, el cual es absorbido directamente por la atmósfera ( AQUAE DUNDACIÓN, 2022) y eutrofización del 31%, que es producida por la emisión de óxidos de azufre y nitrógeno, que al reaccionar con el agua que se encuentra en la atmósfera, se producen iones de sulfato y nitrato, lo cual acelera el crecimiento de las algas y otras plantas verdes, cuya prosperidad causa fatales consecuencias para los seres vivos debajo de estas como los peces, ya que se generan bacterias que consumen oxígeno que necesitan los peces (Ecología



Verde, 2018). La principal conclusión y contribución de este trabajo es que los impactos ambientales de la producción y transporte de materiales de construcción a Islandia se deben realizar en esta misma región y no depender de otras, ya que demandaría mayor consumo de combustibles y mayor número de viajes, pues se trata de una construcción grande. (Emani et. al, 2016).

En Corea del Sur se realizó un estudio comparativo en 23 colegios de la región, en donde se obtuvieron diferentes resultados dependiendo de la altitud, latitud y área de metro cuadrado de piso construido. Básicamente se mostró que los resultados de impacto ambiental variaban notablemente entre cada región, debido a que tenían un contexto climático y geográfico distinto, de modo que unos requerían más acero de refuerzo y una mezcla de concreto de más resistencia que la otra, lo cual demandaría mayor cantidad de piedra y aditivos en la mezcla; además, se tendría que analizar qué materiales serían los más idóneos para climas de cada región. Cabe mencionar que esta investigación se tomó como punto de referencia al índice de potencial de calentamiento global, en donde el primer grupo de colegios tenía 3.70 Ton-CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup> de área construida y en el segundo grupo se obtuvo 2.53 Ton-CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup> de área construida (Ji et. al, 2016). Estos resultados verifican que la ratio de impacto ambiental sobre área construida es sensible a la ubicación geográfica de cada edificación o, en este caso, de los 23 colegios repartidos en toda Corea del Sur, constituyendo una variación aproximada del 46% entre estos dos resultados relativos al potencial de calentamiento global.

En la siguiente sección, se desarrollará sobre el Análisis del ciclo de vida en el Perú.

### **2.1.2 Análisis de ciclo de vida en el Perú**

El Estado peruano, mediante el Congreso de la República, quien publicó la Ley N° 28611, llamada Ley General del Ambiente, el 15 de Octubre del 2005, en la cual el artículo 1,



del Derecho y Deber Fundamental, en donde menciona que “Toda persona tiene derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y proteger el ambiente ...” (MINAM, 2013), da a entender el compromiso con el cuidado respecto al cuidado del medio ambiente.

El año 2005 nació un grupo en el departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, llamada Red Peruana de Ciclo de Vida y Ecología Industrial (PELCAN), un grupo de investigación que surge con la Iniciativa de Ciclo de Vida de la ONU, y Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC). Actualmente, está dirigido por el Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Ian Vázquez Rowe. Dentro de los principales objetivos de esta organización es difundir la aplicación y utilidad de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida, y otras herramientas ambientales, generar conocimientos en el desarrollo sostenible ambiental y, formar e impulsar investigación con capacitaciones, consultorías y formación continua (Red Peruana de Ciclo de Vida y Ecología Industrial, 2021).

Debido a la preocupación ambiental global que se tiene en la actualidad, se ha incrementado la cantidad de datos relativos al ciclo de vida, por lo que, en este contexto, se ha derivado en una creación de base de datos del ciclo de vida en el contexto peruano con la ayuda de la ONU Medio Ambiente, la Red Peruana de ACV y Ecología Industrial (PELCAN), y el Ministerio del Ambiente (MINAM). El objetivo principal es que los procesos unitarios estén vinculados a diversos sectores de la economía peruana (Vázquez Rowe, et al., 2015).

Debido a que la economía del Perú está en continuo crecimiento, existe alta demanda de ejecución de obras de infraestructuras y viviendas multifamiliares que sean capaces de tener un buen desempeño ante actividades sísmicas, propias de cada geografía. Desempeño que depende directamente de los materiales usados en los elementos portantes de la estructura, en

el que destaca el cemento, responsable del 5-10% de emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> en todo el mundo, de las cuales más del 50% están relacionadas netamente a la producción del Clinker (Vázquez Rowe et al., 2018). En base a estas premisas se realizó un análisis de ciclo de vida que utilizó una unidad funcional a un saco de 42.5 kg de un tipo de cemento para ser comercializado en el mercado peruano. Los diferentes tipos de cemento fueron producidos en tres plantas diferentes y con componentes distintos, los cuales fueron cemento portland ordinario, cemento puzolánico normal y cemento con escoria de alto horno adicionada. De los tres tipos de cemento, del Análisis de Ciclo de Vida se obtuvo que el mayor impacto de calentamiento global fue producido por la fabricación del cemento Portland, debido a la energía demandada en el horno para producir Clinker. (Vázquez Rowe et al., 2018).

#### ***2.1.2.1 Análisis de Ciclo de Vida para edificaciones en el Perú***

Unas de las investigaciones pioneras en el análisis de ciclo de vida en edificaciones fue elaborada por la ingeniera Samy García (2014), en su tesis, en donde se estimó el impacto ambiental de una vivienda unifamiliar en la etapa de pre uso y uso, en la cual se encontró que la etapa de uso tiene un mayor consumo energético con 4 480 000 MJ, en donde el uso de combustibles fósiles abarcó 3 346 872 MJ, lo cual representa aproximadamente el 95.5% del total. Luego de realizar su ensayo, se comparó con otro ensayo realizado en una vivienda con diferentes sistemas de muros exteriores en Arizona (EE. UU.) por Kahhat (2009), en donde se encontraron diferencias en los resultados de consumo en la etapa de uso, en donde la variable principal que hacía converger los dos resultados finales fue el uso de calefacción y aire acondicionado, debido a los diferentes contextos climatológicos en que se encontraban estas dos viviendas (García,2014).

Con respecto al análisis de ciclo de vida de edificaciones multifamiliares, la ingeniera Ana Lucía Cáceres (2016), realiza una tesis en donde compara dos edificios ubicados en distintos distritos de Lima. Se procedió a analizar un ACV completo, de forma que se evaluó el pre-uso, uso y fin de vida, dicho en términos del análisis de ciclo de vida: “de la cuna a la tumba”. La diferencia básica entre estas dos grandes estructuras fue el metrado de áreas, donde el primer modelo tenía aproximadamente dos veces el área del segundo modelo, todo ello medido en metros cuadrados por habitante ( $m^2/habitante$ ) y otro factor fue el modelado del casco de la estructura, de modo que hubo diferencia en la cantidad de concreto requerida para la construcción de cada vivienda multifamiliar. Finalmente, la investigación concluyó en que la etapa de mayor afectación al medio ambiente fue de uso, de modo que el primero tuvo un consumo de  $2.38 \times 10^8$  MJ y para el segundo modelo se obtuvo un consumo de  $4.2 \times 10^7$  MJ (Cáceres,2016).

El 2019, la ingeniera Vania Vanessa Calle Cabrera realizó su tesis sobre un ACV de una oficina en la ciudad de Lima, en la cual pretendía demostrar que la etapa de mayor demanda energética era en el uso dado a su proyección de uso de 50 años. El total de energía primaria consumida fue  $2.23 \times 10^5$  GJ. Los resultados en esta investigación demostraron que, efectivamente, esta etapa demandó más consumo de energía primaria dado al uso de equipos eléctricos y aire acondicionado, representando el 53% y 22% del total respectivamente. Con relación a la etapa de construcción o pre-uso, la fabricación del acero de refuerzo, concreto y vidrios constituyeron el 13% de energía demandada de todo el ciclo de vida. (Calle, 2019).

### ***2.1.2.2 Análisis de Ciclo de Vida para centros educativos en el Perú***

Actualmente, el análisis de ciclo de vida es una de las metodologías más populares frente a la gestión de impacto ambiental, tanto de un proyecto como de un producto. En un estudio de

protocolo de transparencia para la toma de decisiones con el fin de generar rehabilitaciones frente a actividades sísmicas elaborado por el departamento de investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú y PELCAN. Los expertos en ACV propusieron utilizar a los gases de efecto invernadero como indicador principal para cuantificar el consumo de energía.

De este modo, el propósito clave de esta evaluación era de cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero y el material particulado en la etapa de construcción en las técnicas de refuerzo de columnas que habían fallado por efecto de columna corta, debido al diseño defectuoso que causaba la restricción parcial de grado de libertad en el movimiento lateral de la columna (Beauperthuy y Urich, 2011). En los límites del sistema se consideraron flujos de energía y materiales vinculados a demolición de escuelas.

Finalmente, los resultados mostraron que la opción de muro confinado de mampostería, una de las formas de mejorar la estructura del centro educativo ante eventos sísmicos, tiene menor impacto que las otras opciones tanto en la etapa de refuerzo y demolición, en la cual se tuvo que realizar viajes de 50 km desde el centro educativo al lugar de relleno sanitario, en donde los volquetes tenían una capacidad de 6 m<sup>3</sup> y tuvo lugar a la formación de partículas finas (Santa-Cruz, S, et al., 2021).

De este modo, para la evaluación de impacto del ciclo de vida se escogieron tres medidas distintas para cuantificar las cargas ambientales, las cuales fueron las emisiones de gases de efecto invernadero con la metodología IPCC 2013, formación de partículas finas con la metodología ReCiPe 2016 v1.02 y, finalmente, el daño causado por los impactos ambientales del cambio climático, utilizando nuevamente la metodología anterior (Vásquez-Rowe et al., 2021).

En el siguiente capítulo, se desarrollará la metodología utilizada para este trabajo de tesis.

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

El interés central de esta tesis es determinar el impacto ambiental de forma cuantificada en etapa de construcción con la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida de un centro educativo en la ciudad de Iquitos. Este capítulo tiene como objetivo principal explicar la secuencia de pasos a seguir para la evaluación de impacto ambiental, utilizando el software SimaPro, dentro del cual se trabajará con Ecoinvent como base de datos, usando datos de Perú LCA, de modo que se dará más exactitud en la etapa de inventario de ciclo de vida (ICV), de forma que se adaptará mejor al contexto geográfico trabajado.

En primer lugar, se procede a definir el objetivo y el alcance del estudio, los cuales se refieren al motivo o la razón por la cual se llevará a cabo esta investigación y, así, definir la unidad funcional. Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo principal de esta tesis es determinar el potencial de calentamiento global y energía demandada, uno de los impactos ambientales y parámetros que analiza la herramienta ACV. Con respecto a los alcances se debe definir la unidad funcional, la cual se define como el desarrollo cuantificado de entradas y salidas de una unidad de referencial (ISO 14040,2006). Vale destacar que para etapa del ACV se tienen que determinar los límites del sistema, los cuales son: límite tecnológico y naturaleza, límite geográfico, límite temporal y límites de otros sistemas relacionados (ECOIL, 2006).

En segundo lugar, se elabora un Inventario de Ciclo de Vida (ICV), el cual consiste en la recopilación de datos de entrada y salida, que potencialmente pueden causar un impacto, para luego cuantificarlos con los resultados de un sistema durante su ciclo de vida (ENVIRA, 2020). El ICV se divide en dos partes: recolección y cálculo. La recolección de información consiste en la subdivisión de productos, coproductos y, finalmente, a residuos. El cálculo se realizará con ayuda del software SimaPro, de modo que se identifiquen los procesos y se elabore, finalmente, el inventario.



En tercer lugar, se realiza el Análisis del Impacto (AICV), en el cual se seleccionan categorías e indicadores, luego se clasifican los impactos e indicadores y, finalmente, se modelan los datos obtenidos en el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) para cada categoría, usando netamente el SimaPro.

Por último, se interpretan los resultados obtenidos, de manera que se contrasten los objetivos y alcances trazados inicialmente con los resultados finales, evaluando la consistencia de los cálculos obtenidos. Finalmente, se procede a dar conclusiones y reflexionar acerca de las recomendaciones para las próximas investigaciones relacionadas.

A continuación, se desarrolla la definición del Análisis de Ciclo de Vida.

### **3.1 Definición del Análisis de Ciclo de Vida**

La ISO (Organización Internacional de Normalización) y, en especial, la ISO 14040, junto con la Norma ISO 14044:2006, se especializan en Gestión Ambiental, Análisis de Ciclo de Vida, todo ello debido al incremento de la preocupación de los cambios climáticos provocados por la sobre producción de materiales dañinos para el ambiente, resistentes a biodegradarse o nocivos para la propia salud humana (ISO 14040:2006).

Asimismo, el ACV es una herramienta que ayuda; en primer lugar, a identificar toda clase de oportunidades para poder optimizar, y mejorar el uso y desempeño de determinados productos en toda su etapa de vida; en segundo lugar, ayuda a la aportación de información necesaria a los que tomarán las futuras decisiones en organizaciones tanto gubernamentales como no gubernamentales y en la industria; en tercer lugar, en determinar los indicadores de desempeño medioambiental necesarios y seleccionar las apropiadas técnicas de medición; por último y no menos importante para la propagación de la idea, canalizada en el marketing, de manera que se implemente un esquema de etiquetado ambiental (ISO 14040:2006).



Existen, también, determinados casos en los cuales se pueden desarrollar el objetivo del ACV, de forma que se satisfaga este propósito solamente con el análisis de inventario e interpretación. De acá parte el término que hace referencia a este análisis, el cual es denotado como estudio de ICV (ISO 14040:2006). La Norma Internacional muy pertinentemente abarca estos dos tipos de estudio, por un lado, los estudios del análisis de ciclo de vida (ACV) y, por otro lado, el análisis de inventario del ciclo de vida (ICV). Existen varias similitudes entre estos dos tipos de estudio; sin embargo, en lo que difiere es que la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) no es tomado en cuenta en el ICV, la cual es la fase del ACV que está enfocada en conocer y evaluar la magnitud, y que la intensidad de los impactos ambientales probables de un sistema del material o producto en cada etapa de vida de este (ISO 14040:2006).

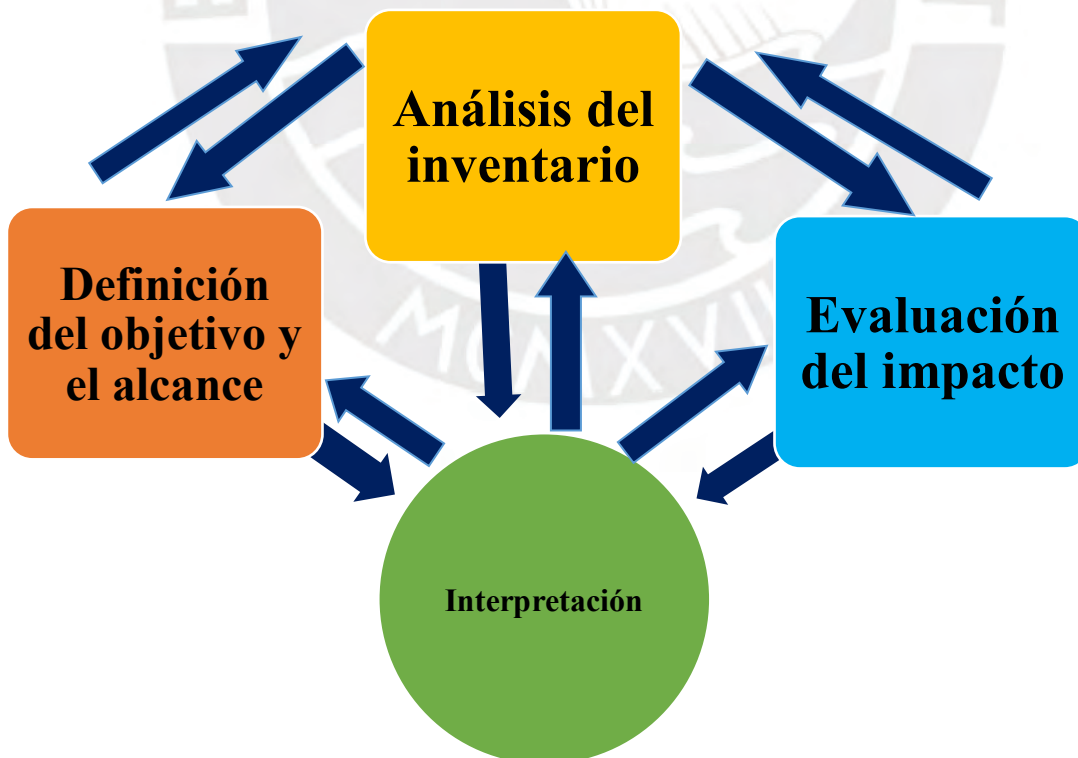
Según la facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, el Análisis de Ciclo de Vida es una metodología que facilita el cálculo de los impactos ambientales, desde un solo material hasta procesos con actividades concatenadas para desarrollar un determinado trabajo u obtener un producto más complejo. Desde el punto de vista del ámbito constructivo, se deben identificar las mejores opciones para optimizar el desempeño ambiental del edificio en cada etapa de su ciclo de vida, de modo que estas oportunidades escogidas contribuyan a un desempeño sostenible y utilizar no solo materiales que den estética o se satisfaga la necesidad de mayores espacios útiles, sino que sean seguros, funcionales y no afecte en lo posible al medioambiente.

Para realizar el Análisis de Ciclo de Vida se tendrá que proponer una unidad funcional con parámetros que sean lo más específicos posibles con el fin de que sean comparables en función a un mismo objetivo y poder diferenciar los rendimientos, gastos y desempeños en cada etapa de vida del edificio. Estas etapas deberán ser evaluadas antes de ejecutarse, de modo que se realice un proceso iterativo en la selección materiales, procesos o actividades, se comparan según su categoría y se utilice, finalmente, la opción óptima que genere menos

perjuicios al medioambiente cumpla con los parámetros de seguridad, sea estético y satisfaga correctamente las necesidades de sus usuarios. (UNAM, 2017).

### 3.2 Etapas del Análisis de Ciclo de Vida

Las fases del ACV son definidas por la norma ISO desde 1997, las cuales tienen vigencia hasta el día de hoy y están estas etapas son cuatro, las cuales son: la definición del objetivo y alcance, el análisis del inventario, la evaluación del impacto y, por último, la interpretación de todas las fases anteriores, es por eso que la última fase debe estar comprometida en todas las etapas del análisis de ciclo de vida, de manera que se verifique que todo concuerde con los objetivos planteados desde el inicio del estudio y, así, llegar a elaborar las respectivas conclusiones y posteriores reflexiones (ISO, 2006).



*Figura 3.2.1 Etapas del ACV*  
Fuente ISO 14040:2006

## **a) Definición del objetivo y alcance**

En esta etapa se especifican los límites del sistema, y un grado de detalle que dependerá del tema y el uso que se le dará al estudio. En base a los objetivos del ACV escogido, se tendrá que profundizar y amplificar el análisis (ISO 14040,2006).

Vale destacar que en esta fase se procede a establecer una unidad funcional, la función del sistema y los límites del sistema, los cuales se definirán a continuación:

### ***a.1) Función del sistema***

Es la definición clara de las funciones que conforman el sistema que se está analizando. Es de suma importancia aclarar la función del sistema debido a que un producto podría tener diferentes funciones y en el caso particular de temas medioambientales, se debe verificar que se tenga un mismo fin, si se requieren obtener resultados comparativos (Gestión Ambiental, 2013).

La función del sistema es un elemento importante en los estudios de análisis de ciclo de vida, ya que la propiedad de referencia, para calcular datos de energía y materia, deben ser precisos para detallar los impactos finales relacionados (Moreira et al., 2020).

### ***a.2) Unidad Funcional***

Está definida como la unidad más básica y punto de referencia, de modo que se cuantifica su desempeño relativo a un sistema de un determinado producto (ISO 14040:2006). En otras palabras, es la base de cálculo en la cual se procederá a realizar el balance de materia y energía, y una posterior comparación.

En este estudio se podría extrapolar al caso de una estructura que consiste en un edificio multifamiliar, en donde la unidad funcional está expresada en “unidad de vivienda”, ya que, en este caso, se estaría refiriendo al sector inmobiliario (CALLE, 2019).

En el caso de la presente investigación, por un lado, la unidad funcional para el consumo energético será “consumo de energía primaria por m<sup>2</sup> del centro educativo construido durante toda la etapa de construcción”, usando la metodología CED 1.1, la cual, en términos generales, cuantifica energía primaria en donde se toman los valores caloríficos de los combustibles( SimaPro database manual, 2020) y por el otro lado, se tiene como unidad funcional al “impacto ambiental por m<sup>2</sup> del centro educativo construido durante toda la etapa de construcción” utilizando la metodología ReCiPe 2016 Midpoint , la cual cuantifica impactos ambientales. (SimaPro database manual, 2020)

### ***a.3) Límites del sistema***

Es un conjunto de criterios, y conceptos que enmarcan los procesos unitarios y forman parte del sistema del resultado o producto (ISO 14040:2006). También, se debe incluir la obtención de recursos primarios, los procesos de fabricación de la materia prima, el transporte y la totalidad de las etapas del periodo culminado. Se selecciona un determinado proceso y fases del sistema que estarán dentro del estudio, además de los criterios para tomar decisiones y compatibilizarlos con los objetivos planteados al inicio (Gestión Ambiental, 2013).

Estos límites también son la denotación de restricciones que facultan la delimitación del sistema para determinar la selección de los procesos unitarios a escoger serán contemplados dentro del estudio. Cada proceso unitario posee una entrada y una salida, en esta etapa se subdivide para obtener un resultado más fino en la recolección de datos.

## **b) Análisis del inventario**

En esta fase se obtienen los datos y procedimientos para cuantificar e identificar la totalidad de los efectos medioambientales negativos asociados a cada unidad funcional, de modo que cada uno de estos efectos se le denomina como “carga ambiental”, la cual es definida como la entrada o salida de energía, o materia de un sistema, causando adversidades en el ambiente (TDX, 2021). Para el contexto de un sistema que desarrolla más de una función, se reparten diversos aspectos ambientales.

Asimismo, para la asignación se debe cumplir con diferentes casos: procesos con salidas múltiples, procesos con entradas múltiples y procesos con reciclo de lazo abierto (Gestión Ambiental, 2013). Vale mencionar que cuando no existe correlación de causa, con la carga ambiental y el producto, se debe consignar en base a cantidades físicas como masa o valor económico (ISO:2006).

Esta etapa es un proceso iterativo, debido a que se tiene cada vez nuevos datos y la mayor experiencia al trabajar el análisis de ciclo de vida, pues permitirá trabajar de manera óptima los flujos energéticos. Se opta por desarrollar el inventario con los siguientes pasos: construir un diagrama de flujo, establecer un nivel de precisión requerido, definir los límites del sistema, recolectar datos, y cuantificar balances de energía y masa, y redefinir los objetivos y alcances (Gestión Ambiental, 2013).

La etapa de análisis de inventario tiene dos importantes pilares para su proceso, los cuales son las herramientas y las bases de datos, ya que no se puede analizar desde el principio cada material de forma individual. De modo que las herramientas del software asociadas a la base de datos, tanto de productos como de procesos, simplifican este proceso. En el caso de las herramientas más complejas, estas pueden traducir el impacto en una estimación de costos, de manera que se pueda completar la tabulación automatizada de las cantidades de materia o procesos en una determinada unidad de medida, como el pie cuadrado (AIA, 2010).

Actualmente, las herramientas más utilizadas para el ACV son el SimaPro y GaBi, las cuales se utilizan para analizar, calcular, y evaluar cualquier tipo de proceso y base de datos con ICV (Construction21 España, 2012). Por ejemplo, el SimaPro puede modelar, y analizar ciclos de vida complejos de manera estructurada y clara, medir el impacto ambiental de los procesos en el total de la etapa de ciclo de vida e identifica los puntos más importantes de la cadena de suministro, pasando de la manufactura del material, el transporte, el uso y su posterior reciclado o eliminación (Pré Consultants, 2022).

### **c) Evaluación del Impacto**

La evaluación de impacto ambiental traduce el efecto producido por un producto derivado de un proceso, lo cual impacta tanto en el medioambiente como en los seres que la habitan. Posteriormente, para poder comprender de una forma ordenada los impactos, los efectos del proceso son agrupados y categorizados en un número finito de categorías, las cuales se calificarán y se ordenarán según su relevancia. Cabe destacar que esta relevancia es atribuida y definida por el alcance (AIA, 2010).



Esta es la fase donde se califican y se cuantifican los efectos en el medioambiente señalados en el análisis de inventario. Para ello se recurre a la metodología planteada por la SETAC (Society Environmental Toxicology and Chemistry, 1993), la cual está dividida en tres pasos:

- Determinar qué categorías e indicadores poseen los modelos.
- **Clasificación:** En este paso se proceden a cualificar las entradas y salidas, de modo que se distribuyan a determinadas categorías de impacto, definidas en el tipo de impacto que se supone que genera sobre el ambiente. Para poder asignar a cada entrada o salida del sistema se debe analizar qué tipo de impacto ambiental configura, dependiendo si es relativo a los recursos naturales, a la salud humana o a la salud ecológica.
- **Caracterización:** En esta parte de la evaluación de impacto se cuantifica el efecto de las entradas y salidas en las categorías ya seleccionadas para cada una, de forma que se suman todas las contribuciones en cada categoría seleccionada, y se proceden a modelar los datos del inventario para cada categoría y cada una de ellas, como, por ejemplo, la acidificación representa la cantidad de emisión de ácido equivalente. De este modo, la adición de todas las intervenciones medioambientales para la misma categoría se hará efectiva en cada unidad de indicador de esta.

Existen elementos que pueden ser utilizados para determinados objetivos y alcance del estudio del Análisis del Ciclo de Vida:

**Normalización:** Hace referencia a la estandarización de magnitud que es cuantificada para una determinada categoría en espacio y tiempo.

**Agrupación:** Clasificación de indicadores.

**Ponderación:** Determinar la jerarquía o importancia relacionada a diversas categorías de impacto ambiental para, posteriormente, se puedan adicionar y así alcanzar un ponderado, de forma que se tenga un único índice medioambiental.

**Análisis de calidad de datos:** Permitirá esclarecer y verificar la claridad de los valores o resultados obtenidos a partir del análisis del inventario de ciclo de vida.

*Figura 3.2.2 Herramientas utilizadas para determinar alcances y objetivos*

Para una adecuada evaluación de impactos ambientales se tienen que analizar los efectos intermedios, también conocidos como “**midpoints**” y los efectos últimos, también, nombrados como “**endpoints**”. Con respecto a los **midpoints**, estos son relativos a la intervención ambiental, detallando modelos matemáticos que se ajusten más apropiadamente a la mencionada intervención. Los **endpoints** son variables y tienen un impacto directo sobre la sociedad; por ello, su selección es de suma importancia y comprensible en todos los niveles. A continuación, se mencionan algunos ejemplos de “**Midpoints**”. Debido a que no se analizarán los endpoints en este estudio, no se pondrá énfasis en ello.

- **Midpoints:**

<b>Aumento de retención de infrarrojos.</b>	<b>Agotamiento de ozono estratosférico.</b>	<b>Aumento de exposición humana.</b>
<b>Aumento de exposición ecosistemas.</b>	<b>Acidificación.</b>	<b>Consumo de agua</b>
<b>Enriquecimiento de nutrientes en sistemas terrestres.</b>	<b>Eutrofización</b>	<b>Formación de foto-oxidantes.</b>

*Figura 3.2.3 Listado de algunos midpoints del ACV*

**Metodologías:**

Para el caso del presente estudio, se optó por la elección de las dos metodologías del tipo “midpoints” o “punto medio”, las cuales analizan el efecto intermedio que tienen los procesos sobre el impacto ambiental. Según el caso de estudio tendríamos energía consumida para la producción de materiales no renovables, fósiles, los cuales están medidos en Mega Joules (MJ) o Giga Joules según sea el caso.

- **CED**

Desde los primeros estudios del ACV, la metodología CED o también llamada “Consumo de Energía Primaria” ha sido uno de los puntos clave para el cálculo de la energía utilizada en un determinado proceso. El enfoque central de esta metodología consiste en cuantificar el contenido de energía de recursos energéticos, tanto renovables como no

renovables (Frischknecht, 2015). Los CED de un determinado producto representan el uso directo e indirecto de energía en todas las etapas de ciclo de vida, incluyendo la extracción, fabricación y la disposición de materias primas (Mark A. J. Huijbregts, 2006).

El CED es un predictor de carga ambiental por razones importantes, entre las cuales se resalta que los impactos relacionados con la energía fósil están fuertemente ponderados por varias metodologías, tales como Ecological footprint, Cumulative extraction, Climate footprint, Ecosarcity, Environmental Priority Strategy, Ecoindicator y Statistical analysis para la mayoría de los productos incluidos. La escasez de recursos frente a emisiones de gases de efecto invernadero es otra de las razones que priorizan el uso de esta metodología. Por último, la eficiencia energética y cambio a fuentes de energía renovables son prioridades máximas en las Políticas de medio ambiente (Huijbregts, M. et al, 2010).

Las categorías de tipo de energía consumida por esta metodología son las siguientes:

- Energía no renovable, fósil.
- Energía no renovable, nuclear.
- Energía no renovable, biomasa.
- Energía renovable, eólica, solar y terrestre.
- Energía renovable, agua.

La metodología consumo de energía primaria o Cumulative Energy Demand 1.11 (CED) fue utilizada para el análisis de impacto ambiental en el análisis de ciclo de vida de un edificio de oficinas en Lima (Calle Cabrera, 2019) y el análisis de ciclo de vida comparativo de edificaciones multifamiliares en Lima (Cáceres C., 2016), las cuales son estructuras que tienen una función en común, lo cual es albergar personas, en donde ellas realizan actividades de 8 horas a más y procesos constructivos similares, ya que son estructuras aporcadas, en donde el material predominante fue el concreto armado, uno de los materiales con mayor índice

de impacto ambiental dentro de todos los materiales utilizados para la construcción e implementación de acabados, debido a su mayor cantidad de peso y volumen con respecto a los demás materiales modelados en los procesos del inventario elegido.

- **ReCiPe 2016 Midpoint (H)**

ReCiPe 2016 Midpoint es una metodología que proporciona factores de caracterización que son evidentes a escala global, en vez de la escala europea; además, mantiene la posibilidad de añadir escalas de un país y continental. Desarrolla modelos de punto medio y final con la misma referencia temporal. Adicionalmente, agrega impactos del uso del agua dulce en la salud humana, los impactos de la administración del agua y el cambio climático en los ecosistemas del agua dulce, además de la formación del ozono troposférico en el ecosistema terrestre (M.A.J Huijbregts, 2016). ReCiPe 2016 Midpoint (H) trabaja con tres perspectivas, las cuales son:

- a) Perspectiva individualista definida en el interés a corto plazo, optimismo tecnológico con respecto al comportamiento y adaptación humana.
- b) Perspectiva jerárquica que consiste en un acuerdo científico basado en un marco temporal medio y la mecánica del impacto.
- c) Perspectiva igualitaria, la cual tiene en punto de referencia el marco temporal más largo de los datos disponibles.

Las categorías de impacto ambiental para esta metodología son las siguientes en mención:

Calentamiento global	Agotamiento del ozono estratosférico	Radiación ionizante	Formación de ozono, Salud humana	Formación de partículas finas
Formación de ozono, Ecosistemas terrestres	Acidificación terrestre	Eutrofización de agua dulce	Eutrofización marina	Ecotoxicidad terrestre
Ecotoxicidad en agua dulce	Ecotoxicidad marina	Toxicidad cancerígena humana	Toxicidad humana no cancerígena	Uso del suelo
	Escasez de recursos minerales	Escasez de recursos fósiles	Consumo de agua	

**Figura 3.2.4 Listado de impactos ambientales de metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H)**

Se escogió la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H), ya que presentan resultados en la caracterización de parámetros que son más tangibles y mayor sensibilidad en lo que respecta a cambios climáticos, como, por ejemplo, el calentamiento global, el cual está cuantificado en kg CO<sup>2</sup> equivalente, disminución de capa de ozono, cuantificado en kg CFC11 equivalente, toxicidad humano cancerígena cuantificada en kg 1,4-DCB, entre otras categorías de impacto ambiental que están en controversia para su mitigación, ya que ponen en peligro la sobrevivencia de la especie humana, la flora y la fauna en la Tierra.

Teniendo los resultados obtenidos de cada metodología para todo el proceso del análisis de ciclo de vida del colegio de Iquitos, se podrá realizar, posteriormente, los resultados de la energía consumida por la construcción del colegio y los impactos ambientales que conlleva la producción de cada material usado para la manufactura de este centro educativo.



#### **d) Interpretación**

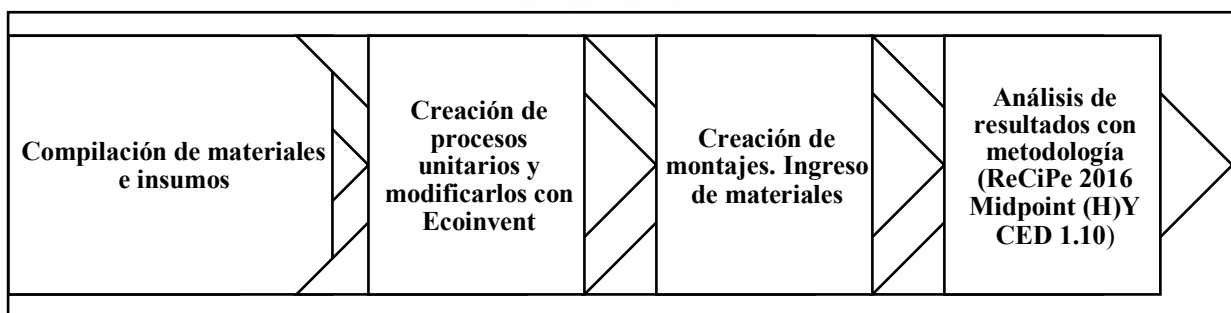
En esta fase los resultados del ACV se describen e informan de la forma más clara e informativa posible, de forma que se analiza sistemáticamente la necesidad de reducir el impacto de los procesos en el medioambiente. Para una mejor visión y entendimiento, se procede a presentar los resultados en tablas o gráficos con el fin de poder comparar dos o más opciones de diseño que podrían competir entre sí, esto será importante para la toma de decisiones para optar por el diseño o proceso más amigable con el ambiente (AIA, 2010).

Es la etapa en la cual se evalúan las opciones para mitigar el impacto ambiental, de forma que se superponen los resultados de la etapa de inventario con la evaluación de impacto ambiental. Los valores obtenidos están listos para su debida interpretación para proponer conclusiones y recomendar sobre las acciones que se tomarán a futuro con un proceso similar. Este punto es clave, ya que es donde se determina en qué fase del proceso se producen las mayores cargas ambientales y, por ende, los puntos que deben ser mejorados y se desea volver con el proceso iterativo de esta metodología.

### **3.3 Utilización del Software para el desarrollo del ACV**

Para el caso de la investigación se ha decidido trabajar con el programa SimaPro 9.2.0.2, el cual es un software para el análisis de ciclo de vida (ACV), liderando el mercado por 30 años y es utilizado en más de 80 países. Esta potente herramienta sirve para recopilar, analizar y monitorear los datos de desempeño de sustentabilidad de productos y servicios (Pré Consultas, 2021). Para el análisis de resultados se encuentran diversas metodologías, de manera que se escogerá ReCiPe 2016 Midpoint (H) y CED, los cuales se ajustan mejor a nuestro ACV.

En primer lugar, se compiló todos los materiales, logística y equipos para la creación de procesos unitarios, para lo cual se modificaron procesos presentes en la base de datos Ecoinvent y se crearon nuevos procesos para adecuarlos al caso de estudio. En segundo lugar, se procede a crear los montajes para organizar las etapas del ciclo de vida de cada material e ingresar su respectivo metrado. Para explicar de forma breve la utilización del software paso a paso, se creará un proceso y calcular su impacto sobre el ambiente.



**Figura 3.3.1: Pasos para uso del SimaPro.**

Fuente: SimaPro 9.2.0.2

➤ **Creación de procesos:**

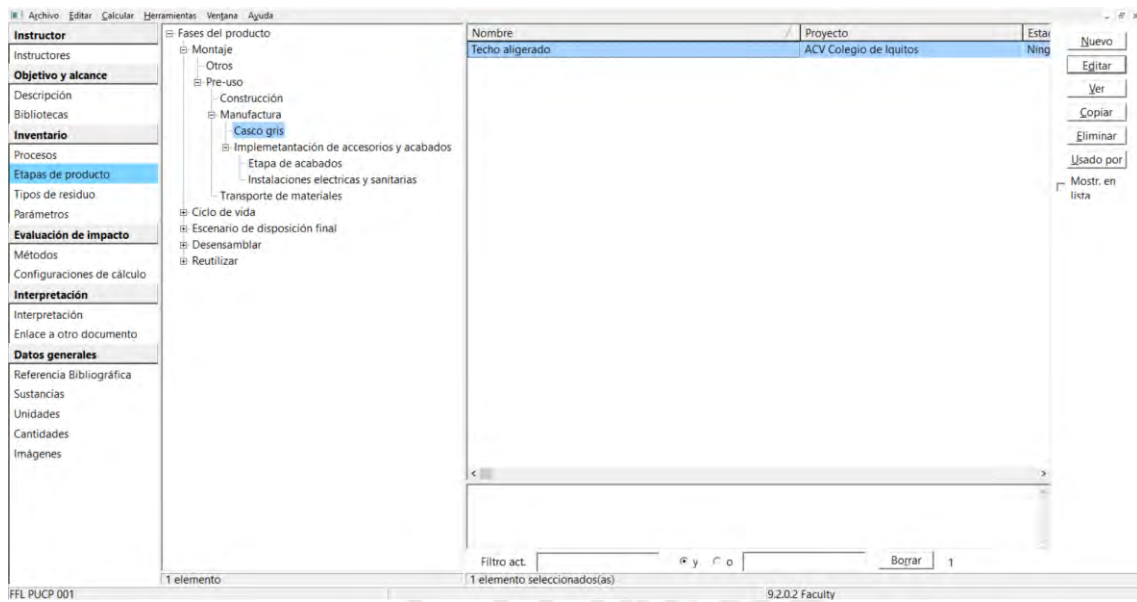
En el ejemplo de la creación del proceso unitario “Techo Aligerado”, en primer lugar, se determinó la cantidad de materiales a utilizar por cada metro cuadrado construido, entre los cuales se encuentran el concreto de 210 kg/m<sup>2</sup> de resistencia, ladrillos de dimensiones de 30 x 30 x 15 cm y acero de refuerzo de 1/4”, 8mm y 3/8”; para ello, en la sección de inventario se seleccionó “Procesos”, dentro del cual se escogió pertinentemente la opción “Material” y se creó una nueva categoría, la cual se nombró como “Arquitectura” y en ella se creó el proceso unitario mencionado, completando, así, las entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/ combustibles) del ladrillo, acero, y concreto con sus respectivas cantidades y unidades. Para la caracterización se ingresaron los datos en la siguiente ventana:

Productos						
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación	Tipo de resid.	Categoría
Losas aligeradas 1m2	1	m2	Area	100 %		Constr._Arquitectura
(Insertar línea aquí)						
Entradas						
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*D	Mín
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*D	Mín	Máx
Brick (GLO) market for   APOS_U	76	kg	Indefinido			
Concrete, 20MPa (CA-CC) concrete production 20MPa   APOS_U	0.09	m3	Indefinido			
Reinforcing steel (RoW) production   APOS_U	3.125	kg	Indefinido			
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*D	Mín	Máx
(Insertar línea aquí)						
Salidas						
Emissiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*D	Mín
(Insertar línea aquí)						
Emissiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*D	Mín
(Insertar línea aquí)						
Emissiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*D	Mín
(Insertar línea aquí)						
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*D	Mín
(Insertar línea aquí)						

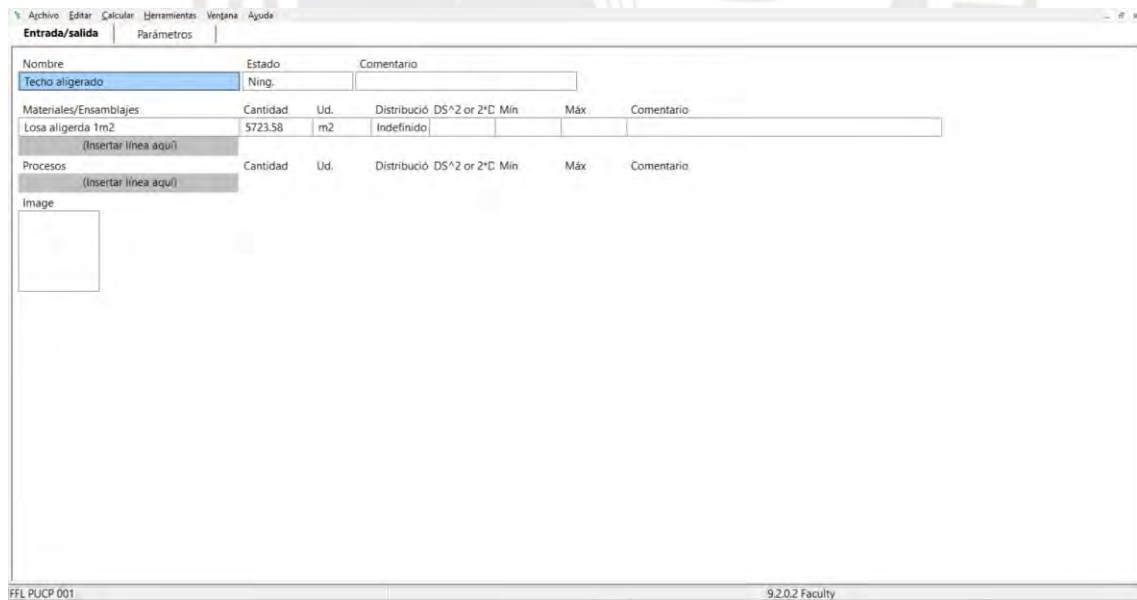
Figura 3.3.2 Creación de proceso “Losas Aligeradas”

### ➤ Creación de montajes

En la sección “Etapas de producto”, dentro de la fase de productos, se creó un montaje denominado “Pre-uso”, la cual se ha dividido en construcción, manufactura y transporte de materiales. En este caso, dentro del segundo, se creó la categoría “Casco Gris”, en la cual se tendrán todos los procesos constructivos para la elaboración de la parte estructural del centro educativo. Dentro de todos estos montajes, se procede a colocar los metrados de materiales usados según su categoría.



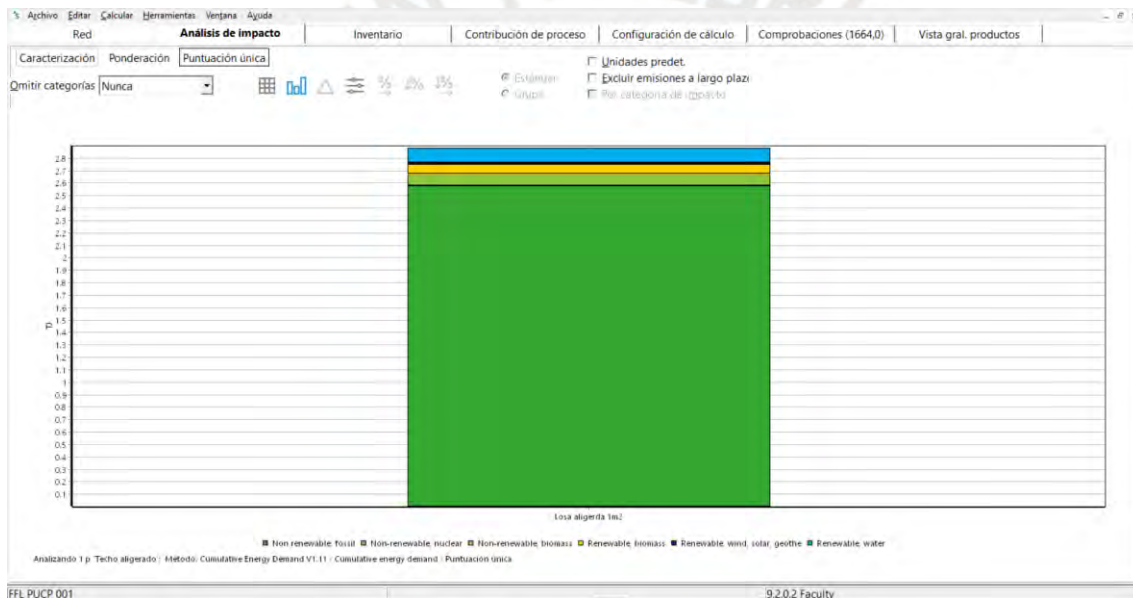
**Figura 3.3.3 Creación de montaje**



**Figura 3.3.4 Ingreso de metrado total en montaje para evaluación**

### ➤ Evaluación de impactos

Una vez creado todos los montajes se procedió a realizar la evaluación de impacto ambiental de cada proceso, para lo cual el programa posee varias metodologías para el análisis de ciclo de vida de esta unidad funcional, lo cual sería el centro educativo de Iquitos. Para el caso de esta investigación y dados los resultados que se desea obtener, se escogió ReCiPe 2016 y CED (Cumulative Energy Demand). Los resultados, según la metodología escogida, se mostrarán en las siguientes figuras:



**Figura 3.3.5 Análisis de Impacto- Puntuación única- gráficos- CED**

Se	Categoria de impacto	Unidad	Total	Losa aligerada 1m2
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable, fossil	MI	2.58E6	2.58E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable, nuclear	MI	9.55E4	9.55E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable, biomass	MI	150	150
<input checked="" type="checkbox"/>	Renewable, biomass	MI	7.34E4	7.34E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Renewable, wind, solar, geother	MI	1.2E4	1.2E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Renewable, water	MI	1.21E5	1.21E5

Analizando 1 p/ Techo aligerado; Método: Cumulative Energy Demand V1.11 / Cumulative energy demand / Caracterización  
FFL PUCP 001 9.2.0.2 Faculty

**Figura 3.3.6 Análisis de Impacto- Caracterización- tablas- CED**

## **CAPÍTULO 4: CASO DE ESTUDIO**

### **4.1 Descripción del objeto en estudio**

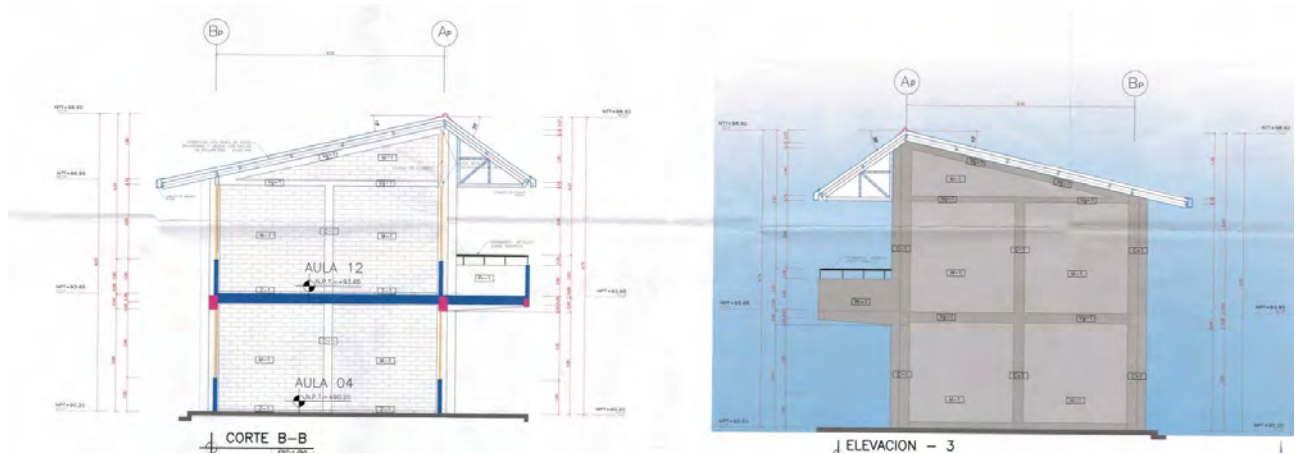
El centro educativo que se analizó está ubicado en la Av. La Marina Nro. 1 881 Punchana, Iquitos- Perú, es propiedad de la Marina de Guerra del Perú. Es una edificación que está diseñada para el libre esparcimiento y desarrollo de actividades académicas que cursan el nivel inicial, primario y secundario, por lo cual se aprecia gran diferencia entre área construida y techada. El área de los edificios de las aulas posee 18 aulas, distribuidas para todos los niveles, como son: aula de usos múltiples, un tópico, sala de cómputo, una gran biblioteca, subestación de energía, escaleras equipadas con montacarga para discapacitados y dos campos deportivos de cemento semipulido. De modo que se tiene un área construida de 9 500 m<sup>2</sup> y un área techada de 5 724 m<sup>2</sup>. El tiempo de construcción fue de 524 días calendarios y está listo para inaugurarse.





*Figura 4.1.1 Frontis del Colegio Liceo Naval. Fuente: Ministerio de Defensa.*  
<https://www.gob.pe/institucion/mindef/noticias/566526-ministro-de-defensa-inaugura-nueva-infraestructura-de-liceo-naval-en-iqitos>

El sistema estructural de la edificación de las aulas está conformado por pórticos, y está cimentado con zapatas y vigas de cimentación para mayor estabilidad estructural. En las separaciones entre aulas se usaron tabiquería de concreto y los techos de losas aligeradas. El sistema de iluminación es LED con ventilación de sistema de motor eléctrico monofásico con paletas de ventilación y aire acondicionado convencional- arranque directo. Como accesorios para los techos se usaron termo paneles para la mitigación de altas temperaturas registradas en la región de Iquitos, dentro de las aulas. La red pública provee de electricidad y agua a la edificación.



**Figura 4.1.2 Plano arquitectónico de corte “Ap-Bp” de pabellón de aulas**

## 4.2 Límites del sistema de estudio

Para poder definir correctamente los límites del sistema, se debe incorporar en el sistema las actividades más importantes para el propósito del estudio, de modo que la selección de los límites del sistema está directamente conectadas a la definición de la meta (Anne-Marie Tillman, 1994). Para este caso de estudio existieron aspectos que limitaron el tamaño y la complejidad del análisis del sistema, entre los que estaban los recursos disponibles para el análisis de ciclo de vida y la disponibilidad de datos.

La finalidad del presente estudio es determinar el consumo de energía y el impacto ambiental que genera la etapa de construcción del centro educativo ubicado en la ciudad de Iquitos. El estudio se basa exclusivamente en la manufactura y las etapas del “Pre-uso”. Este proceso se dividió en manufactura de los materiales de construcción, construcción y transporte de materiales. En el estudio no se considera el análisis del uso del colegio, porque aún no se entrega la obra, y mucho menos la demolición y transporte de los escombros.

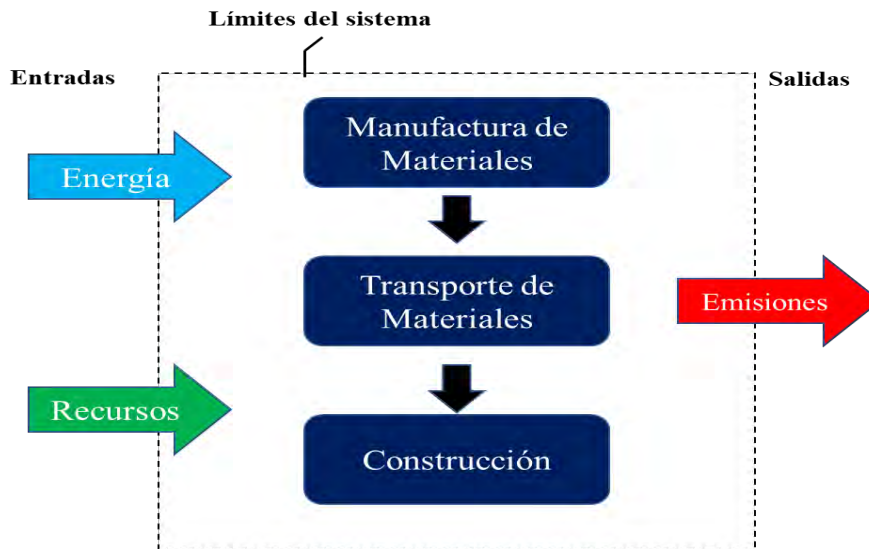
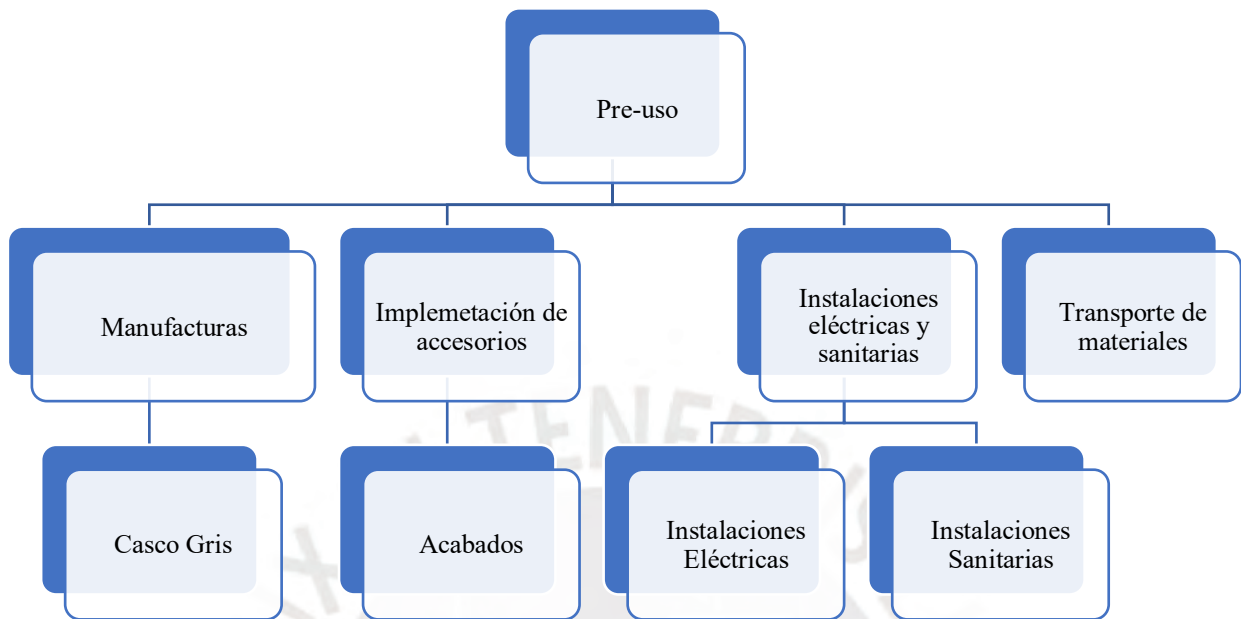


Figura 4.2 Límite del sistema

### 4.3 Inventario

Para la realización del inventario se obtuvieron todos los materiales del presupuesto del contrato principal y los adicionales de Obra, los cuales fueron facilitados por el administrador del proyecto. Además de proveer los materiales, se indicó las actividades que intervinieron en la construcción y transporte de los materiales. A continuación, se muestra el inventario, el cual luego será adaptado al inventario de Ecoinvent para proceder con todos los cálculos en el



**Tabla 4.3.1 Procesos distribuidos para todas las etapas del análisis de ciclo de vida.**

La etapa analizada será exclusivamente de pre-usage de la construcción, la cual está dividida en la categoría de manufactura, implementación de accesorios, instalaciones eléctricas y sanitarias, y transporte de materiales. El centro educativo tuvo un tiempo de ejecución de aproximadamente 20 meses efectivos ya que, por eventualidades producidas por la crisis sanitaria, hubo paralización de 2 meses y los protocolos sanitarios prolongaron el tiempo de producción en obra.

Para la categoría de manufactura tenemos lo que es “Casco Gris”, lo cual denota la producción de la parte estructural del colegio. Como se mencionó anteriormente, la totalidad de los materiales fueron obtenidos por el encargado de las valorizaciones en la obra, de modo que no se tuvo que realizar un montaje para ensamblar cada elemento estructural, los cuales serían, en este caso, las columnas, las vigas, los techos aligerados, las zapatas de cimentación

y tabiquería. De modo que se proporcionó una lista completa y detallada para todos los materiales utilizados en esta etapa.

Vale mencionar que, para la producción de la mezcla del concreto, esta fue generada in situ y los materiales en su totalidad no fueron obtenidos en la misma región de Loreto, sino que en el caso del agregado grueso y el acero, tuvieron que ser transportados desde la ciudad de Pucallpa, la cual cuenta con canteras, donde se pueden encontrar la mayoría de los materiales de construcción. Dentro de la lista de materiales tenemos al acero de refuerzo corrugado, en los que tenemos de diferentes diámetros, entre ellos de 5/8", 1/2", 3/8", 1/4" y 8 mm.

Asimismo, para su modelamiento en el programa, como se trata del mismo material y todo su proceso de producción es similar, se procedieron a sumar todos los pesos, pero con anterioridad a esto, la cantidad de cada varilla se multiplicó por una ratio de kg/m de acero corrugado según el proveedor, el cual fue "Aceros Arequipa", donde tienen una lista detallada con especificaciones técnicas. El cemento fue del tipo I Portland, el cual es obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso (UNACEM, 2012). Este tipo de cemento fue elegido debido a su rápido desarrollo de resistencia en los primeros 7 días y, por ende, permite que se desencofre lo más antes posible.

Para la construcción del techo aligerado, se procedió a usar ladrillos de 30 x 30 x 15 cm, este material, junto con el acero, el cemento y el agua formaron parte de la manufactura del techo aligerado. A pesar de pertenecer a la zona 1 en el mapa telúrico del Perú, como forma preventiva, se procedió a colocar en la etapa de construcción del casco gris, planchas de Tecnopor, usadas como juntas sísmicas, de manera que disipen los daños ocasionados por una posible actividad sísmica en la zona. Por último, los adoquines de concreto de baja resistencia fueron utilizados para formar parte de los caminos en la zona de esparcimiento del centro educativo.



Con respecto a la etapa de implantación de accesorios, se dividió esta categoría en cerámicos, porcelanatos, cerrajerías, inodoros, lavatorios, pintura, urinarios y vidrio templado, en general, los accesorios para los acabados del centro educativo. Por tener un proceso de manufacturación similar, en el caso de los cerámicos, se procedió a modelarlos con el mismo proceso de producción en el inventario, llamado baldosas de cerámica y los equipos sanitarios como los inodoros, lavatorios y urinarios, lo cual se decodificó con el peso que especificaba su ficha técnica, según el proveedor del material.

Asimismo, los vidrios templados, de igual forma que lo anterior, se modelaron con el mismo proceso, solo que en la ratio del peso varió según el volumen de cada uno. Las puertas fueron modeladas como madera o metal, según la especificación de cada proceso y el área para los cálculos del análisis de este proceso fue obtenida de los planos de arquitectura. Para las cerrajerías de estas puertas, fueron modeladas como metal de baja aleación y laminado en caliente. Por último, las pinturas para los acabados de aulas oficinas y campos deportivos, tuvieron similares especificaciones técnicas y fueron procesadas según el peso de los galones de cada tipo de estas.

Para las instalaciones eléctricas y sanitarias, se tuvo en cuenta el tipo de aleación en el caso las instalaciones eléctricas, para estas instalaciones se procedió a modelar el peso según las ratios que se manejaban en sus especificaciones técnicas, en las cuales su peso estaba determinado por kg/ m. En el caso de las tuberías se procedió obtener el peso por metro lineal, de todos los accesorios y las longitudes de las tuberías largas se obtuvieron por el mismo diseñador de la obra, el cual enlistó de forma muy completa, especificando sus diámetros y longitudes según el caso. Como tienen el mismo material, para trabajar de forma más ordenada, para el inventario, se sumaron todos los pesos de cada instalación sanitaria y se obtuvo la masa total. Vale destacar que en esta categoría se adicionó el grupo electrógeno y tablero provisional, ya que se produjo un incidente y no se pudieron proveer de electricidad pública. Se obtuvo el



dato del tiempo de uso de cada uno de ellos y se procedió a transformar el número de meses a horas para determinar el consumo energético e impacto ambiental.

Con respecto al transporte de materiales, se procedió a modelar los tipos de camiones según su capacidad de carga. También, se procedió a determinar la distancia donde obtuvieron la materia prima como los agregados finos, los agregados gruesos, los termo paneles, etc. Vale mencionar que debido a que es una zona de suelo arcilloso limoso, no se encontraban canteras de agregado grueso, los cuales se obtuvieron de Pucallpa.

En la Tabla 4.3.2 se muestra la lista de todos los materiales utilizados para la construcción y ensamblaje de un centro educativo. Todos estos materiales o elementos fueron modelados con la base de datos del proceso de Ecoinvent. Vale mencionar que todos los materiales fueron adaptados o modelados en lo mayor posible a la realidad, dependiendo del país de procedencia o región en contexto. Unos de los elementos más resaltantes en el inventario fue el cemento portland tipo I, el cual fue uno de los elementos que se ajustó más al contexto peruano y, por ende, por la cantidad de material usado, se podrá tener un resultado más fino en el cálculo de impacto ambiental y energía consumida.

**Tabla 4.3.2 Inventario de materiales modelados en el SimaPro**

<b>ELEMENTO</b>	<b>PROCESO EN ECOINVENT</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
CEMENTO APU TIPO I	Cement, Portland {PE}  cement production, Portland   APOS, U	Kg	45 827
VARILLA DE ACERO CORRUGADO 5/8	Reinforcing steel {RoW}  production   APOS, U	Kg	74 105
VARILLA DE ACERO CORRUGADO 1/2	Reinforcing steel {RoW}  production   APOS, U	Kg	87 218
VARILLA DE ACERO CORRUGADO 3/8	Reinforcing steel {RoW}  production   APOS, U	Kg	150 168
VARILLA DE ACERO CORRUGADO 1/4	Reinforcing steel {RoW}  production   APOS, U	Kg	17 087

VARILLA DE ACERO CORRUGADO 8 mm	Reinforcing steel {RoW}  production   APOS, U	Kg	2 631
ladrillo de techo 30x30 x15 cm	Clay brick {RoW}  production   APOS, U	Kg	109 200
TECNOPOR PARA JUNTAS DE DILATAACION	Polystyrene, expandable {RoW}  production   APOS, U	Kg	747
PORCELANATO 60X60 (1.41 M2/CAJA)	Ceramic tile {CH}  production   APOS, U	Kg	50 315
CERAMICO GRIS 45 X 45	Ceramic tile {CH}  production   APOS, U	Kg	12 761
CERAMICO 30 X 60 BLANCO	Ceramic tile {CH}  production   APOS, U	Kg	11 750
CERAMICO 30 X 60 MULTICOLOR	Ceramic tile {CH}  production   APOS, U	Kg	2 793
ADOQUINES DE CONCRETO	Concrete block {RoW}  production   APOS, U	Kg	106 912
CABLE BULCANIZADO 2X12	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	10.91
CABLE N· 10 AWG	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	5.5
CABLE L50H CU 80° C 10 MM2	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	9.13
CABLE SINTOX N2X0H CU 90° C 4MM2 0,6/1KV NEGRO	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	2 083
CABLE SINTOX N2X0H CU 90° C 6MM2 0,6/1KV NEGRO	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	991
CABLE SINTOX N2X0H CU 90° C 16MM2 0,6/1KV NEGRO	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	1 815
CABLE SINTOX N2X0H CU 90° C 16MM2 0,6/1KV NEGRO	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	729
CABLE SINTOX N2X0H CU 90° C 25MM2 0,6/1KV NEGRO	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	251
CABLE SINTOX N2X0H CU 90° C 35MM2 0,6/1KV NEGRO	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	307

CABLE SINTOX N2X0H CU 90° C 95MM2 0,6/1KV NEGRO	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	110
CABLE COBRE 25 MM. (7 HILOS)	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	9.04
CABLE SINTOX N2X04 CU 90C150 MM2 0.6/1FV	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	731
CABLE SINTOX N2X04 CU 90C 6 MM2 0.6/1FV N	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	220
CABLE L50H CU 80C 35 MM2 450/750 V V/A	Cable, unspecified {GLO}  production   APOS, U	Kg	55.18
VIDRIO TEMPLADO 6 MM	Tempering, flat glass {RoW}  processing   APOS, U	Kg	12 831
VIDRIO TEMPLADO 10 MM	Tempering, flat glass {RoW}  processing   APOS, U	Kg	187.5
PUERTA DE CARPINTERIA METALICA	Door, outer, wood-aluminium {RoW}  production   APOS, U	m <sup>2</sup>	85.51
PUERTA CONTRAPLACADA DE MADERA	Door, inner, wood {RoW}  production   APOS, U	m <sup>2</sup>	466.78
PINTURA COLOR BLANCO ESMALTE	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	741.45
PINTURA GLOSS BLANCO	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	163.8
BASE ZINCOMATO	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	656.6
PINTURA ESMALTE NEGRO	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	97
PINTURA VENCELATEX BLANCO	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	183.16
IMPRIMANTE	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	418
PINTURA SATINADA COLOR TEJA	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	120

PINTURA SATINADA COLOR MARFIL	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	72
PINTURA PIROXICILINA BLANCO	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	251.25
PINTURA DE TRAFICO NARANJA	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	254.4
PINTURA DE TRAFICO BLANCO	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	21.2
PINTURA DE TRAFICO AMARILLO	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	10.6
PINTURA DE TRAFICO VERDE	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	127.2
PINTURA DE TRAFICO AZUL	Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}  acrylic varnish production, product in 87.5% solution state   APOS, U	Kg	190.8
BISAGRAS DE 3X3	Steel, low-alloyed {RoW}  steel production, converter, low-alloyed   APOS, U	Kg	133.5
CERRADURA DE MANIJA CUADRADA	Steel, low-alloyed, hot rolled {RoW}  production   APOS, U	Kg	156
CERRADURA BLINDADA	Steel, unalloyed {RoW}  steel production, converter, unalloyed   APOS, U	Kg	11.9
LAVATORIO TIPO OVALIN	Sanitary ceramics {CH}  production   APOS, U	Kg	431.2
INODOROS	Sanitary ceramics {CH}  production   APOS, U	Kg	1036.2
URINARIO	Sanitary ceramics {CH}  production   APOS, U	Kg	298.7
URINARIO BAMBY	Sanitary ceramics {CH}  production   APOS, U		92
GRUPO ELECTRICO DE 120 KW ( OCT 2018 - SET 2019)	Machine operation, diesel, >= 74.57 kW, generators {GLO}  machine operation, diesel, >= 74.57 kW, generators   APOS, U	Hr	8 760
TABLERO PROVISIONAL ( DIC 2020 - MAYO 2021)	Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO}  machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state   APOS, U	Hr	4 416
Tuberías y accesorios de PVC	Polyvinylchloride, suspension polymerised {RoW}  polyvinylchloride production, suspension polymerisation   APOS, U	Kg	22 748
Camión 20 m <sup>3</sup>	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {RoW}  transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   APOS, U	Ton x km	6 028 049

## **CAPÍTULO 5: RESULTADOS**

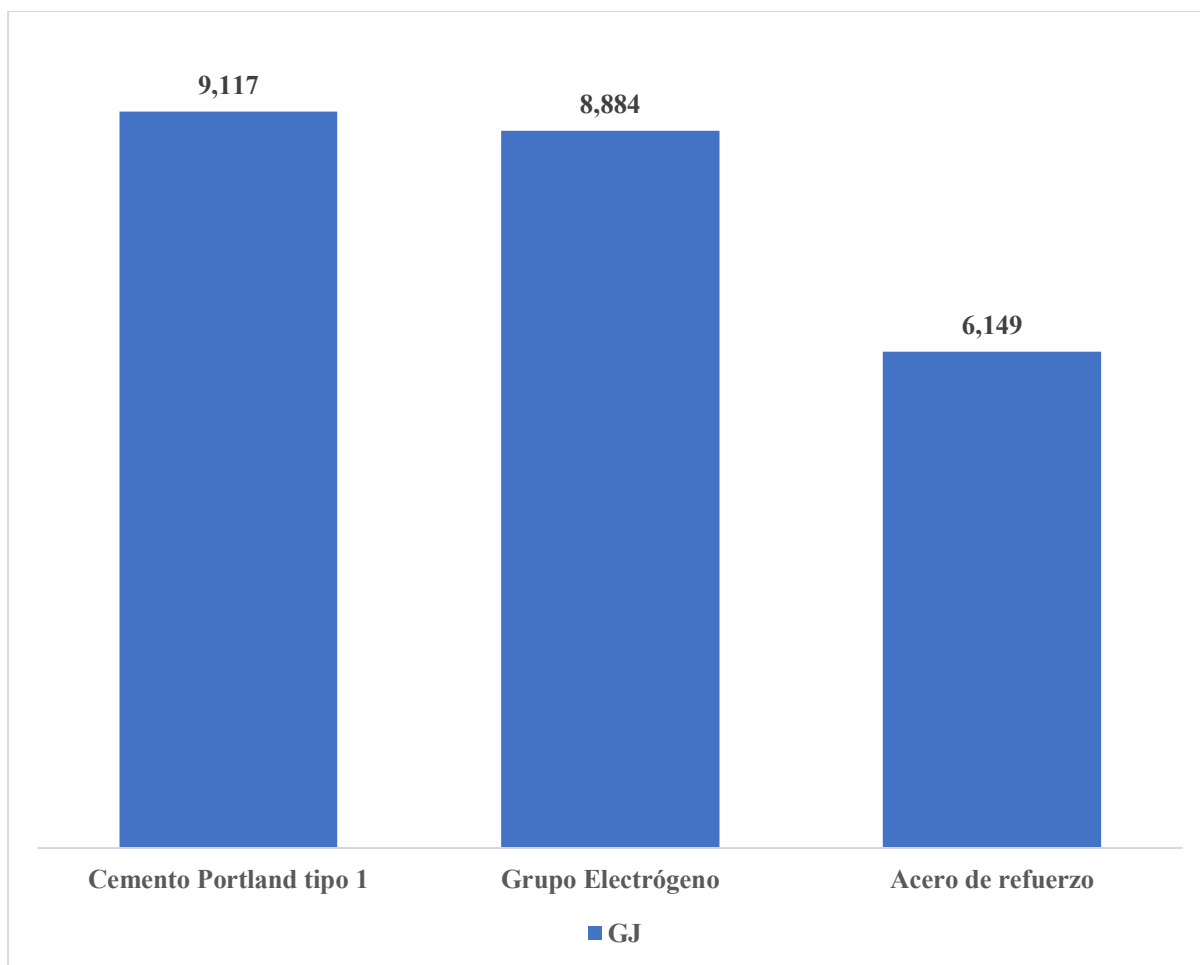
Para el análisis de inventario de vida se procedió a calcular, por un lado, la energía consumida por el proceso de producción utilizando la metodología Cumulative Energy Demand 1.11 (CED) y, por otro lado, se calculó el impacto ambiental producido por los mismo con la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H).

### **5.1 Energía consumida del colegio**

Para el cálculo de la energía consumida se procedió a calcular proceso por proceso, tal como se muestran en las siguientes tablas, en las que se subdivide a su vez en energías renovables y no renovables, y están medidas en Mega Joules (MJ) o Giga Joules (GJ), según sea el caso.

Como síntesis del resultado del consumo de energía primaria de los 28 procesos que intervienen en la etapa de pre-uso del colegio de Iquitos, se muestra en la figura 5.1.1 las categorías más incidentes en el consumo de energía primaria, los cuales son el Cemento Portland tipo 1, Grupo electrógeno y el Acero de Refuerzo, los cuales representan el 23.3%, 22.7% y el 15.7% del total de la energía consumida en la etapa de pre-uso del centro educativo.





**Figura 5.1.1 Energías consumidas por categorías más incidentes en consumo energético**

La energía total consumida por el centro educativo en Iquitos es de  $3.91 \times 10^4$  GJ, como se muestra en la tabla de resumen de resultados de energía total. Dentro de los resultados más resaltantes en los resultados de energía consumida fue, por un lado, el proceso de la etapa de “Casco Gris” con un total de 15 702 GJ, el cual tiene un 40% de participación del total, en donde el proceso de producción de cemento portland tipo I abarcó un 58 % del total en este rubro, el cual tiene un costo ambiental de producción muy elevado y se verifica en el presente resultado. Por otro lado, el proceso de mayor consumo corresponde a la categoría de Instalaciones Eléctricas, con un consumo energético total de 11 441 GJ, el cual tiene un 29% de participación en la etapa de casco gris, en donde el consumo de energía por el uso del grupo electrógeno en seis meses, de modo que esto abarca el 78% del consumo para la producción de materiales de instalaciones eléctricas.



A continuación, se muestra el resultado de los cálculos de energía consumida usando la metodología Consumo de energía primaria o Cumulative Energy Demand 1.11 para cada proceso que estuvo presente en la construcción del colegio.

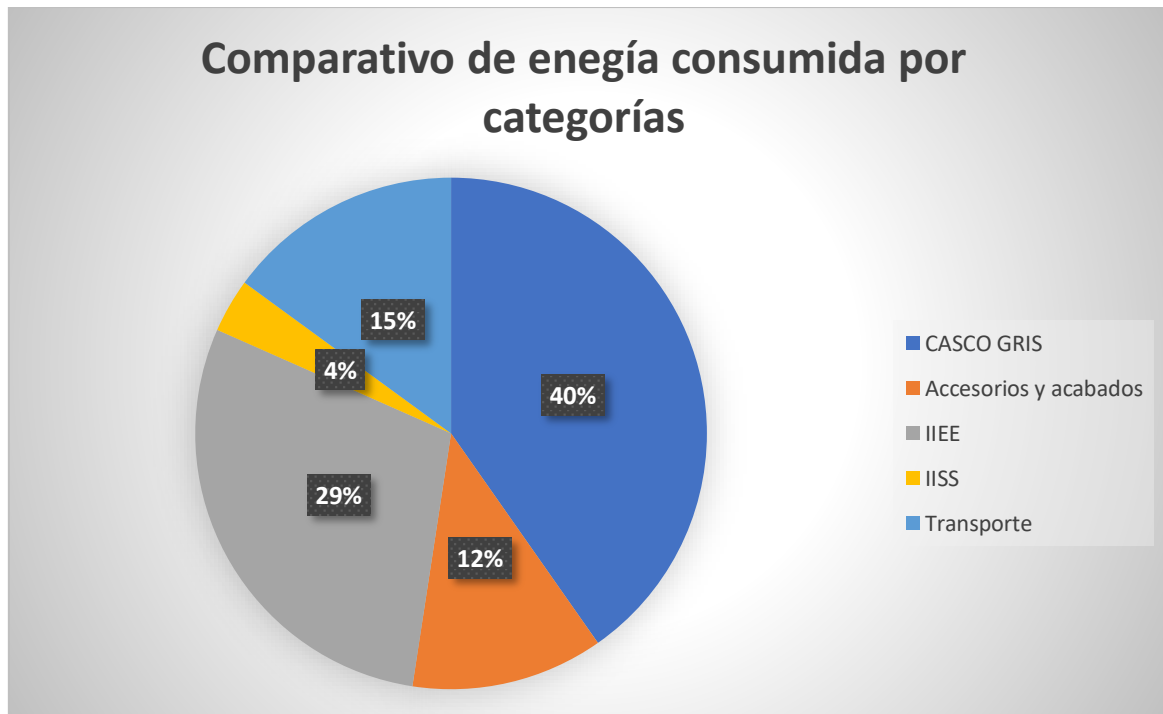
### **Resumen de resultados de energía total para el proceso de construcción**

La tabla 5.1 detalla los resultados totales de la energía consumida en toda la etapa de la construcción del colegio en Iquitos. Esta tabla se divide la etapa en cinco categorías: accesorios y acabados, instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias y el transporte de materiales.

**Tabla 5.1 Resumen de resultados**

<b>ENERGÍA CONSUMIDA TOTAL (GJ)</b>	<b>39 100</b>
CASCO GRIS	15 702
Accesorios y acabados	4 758
Instalaciones eléctricas (IIEE)	11 441
Instalaciones sanitarias (IISS)	1 334
Transporte	5 858

A continuación, se mostrará un gráfico circular en donde se puede apreciar el comparativo de demanda energética de las cinco categorías. Cabe mencionar que, dentro las categorías de mayor porcentaje o participación, el cemento, el acero de refuerzo y conductores de corriente tuvieron mayoría en casi todos los tipos de energía primaria consumida.



*Figura 5.1.2 Energías consumidas por categorías*

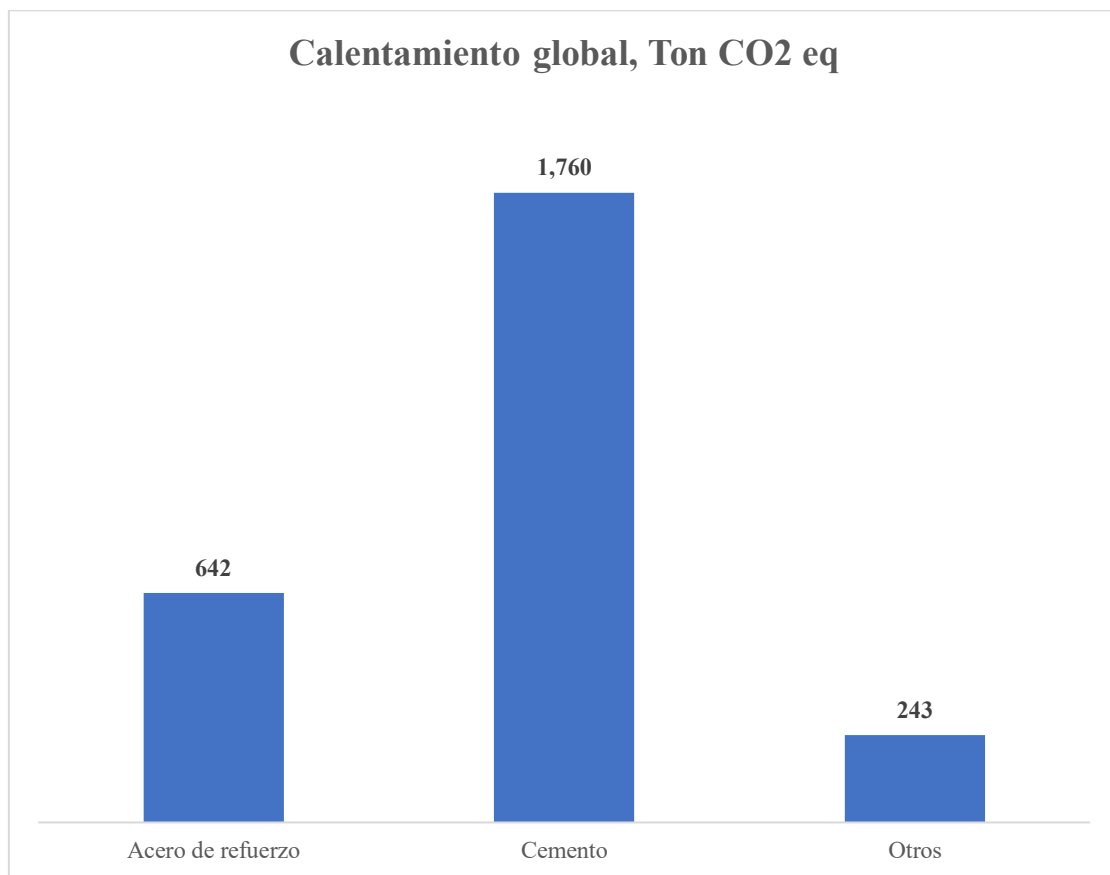
## 5.2 Impacto Ambiental del colegio

Para el cálculo de los resultados de impacto ambiental se tuvieron con datos de salida varios parámetros de efectos producidos al ambiente por el proceso de producción de los materiales utilizados en la manufactura del centro educativo.

Resultados para inventario de casco gris de la obra:

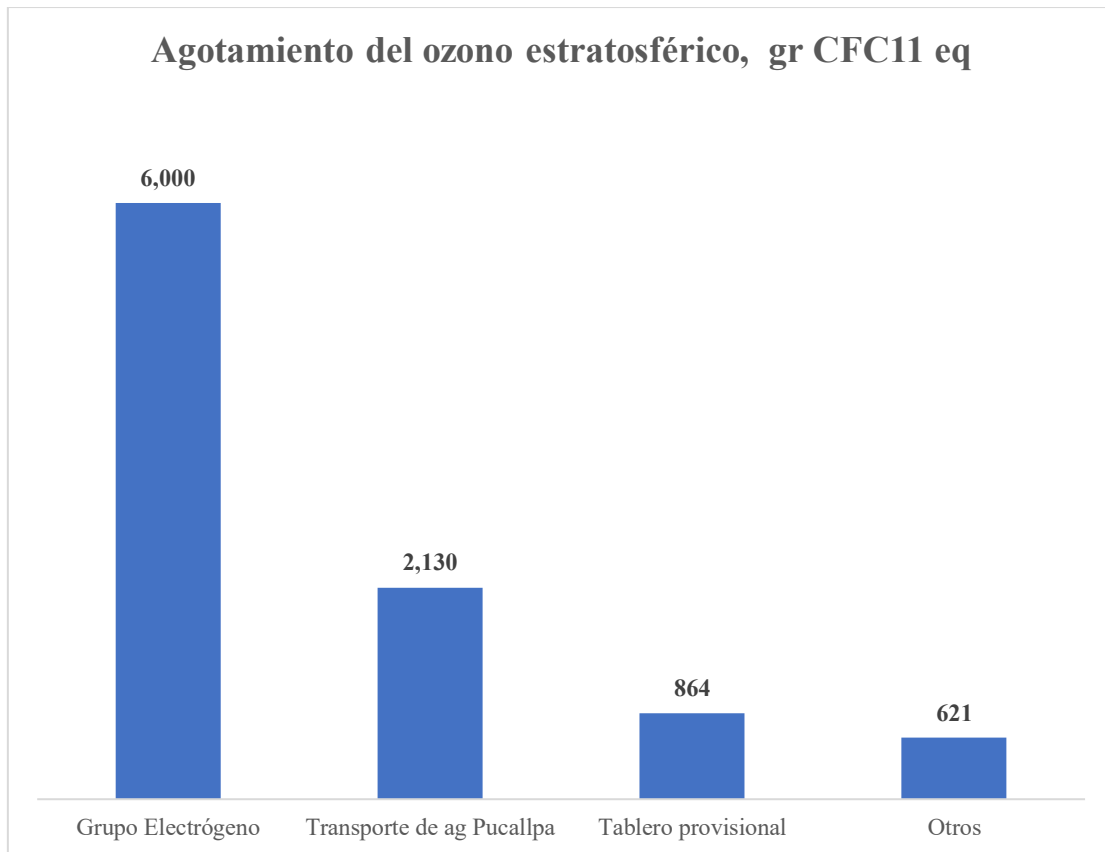
La figura 5.2.1 muestra el impacto ambiental relacionado con el Calentamiento Global, donde se muestra uno de sus parámetros como la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, producido por la producción de materiales de construcción, por el uso de equipos eléctricos, transporte de materiales, etc. El CO<sub>2</sub> es uno de los 6 gases de efecto invernadero que se incluyen en el Protocolo de Kioto y proviene de la quema de combustibles fósiles, deforestación, entre otros procesos (Alicia Frohmann, 2013). Dentro de los 28 procesos que intervienen en la construcción de colegio, los materiales que pertenecen a la fase de producto de “Casco Gris”,

los cuales son el cemento Portland tipo 1 y acero de refuerzo. La producción de estos materiales de construcción causa emisiones de 1 760 ton y 642 ton de CO<sub>2</sub>, respectivamente.



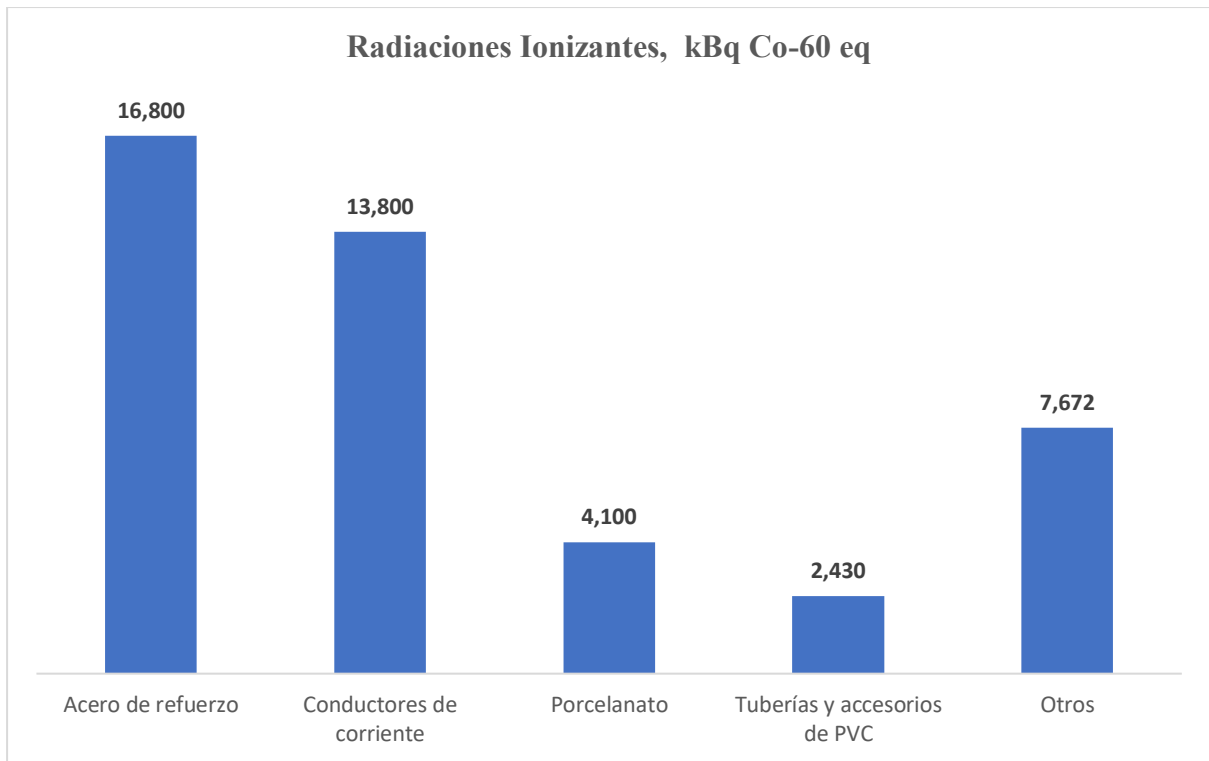
**Figura 5.2.1 Impacto ambiental por manufactura de Acero de refuerzo**

La figura 5.2.2 detalla la distribución de cantidad de agotamiento de ozono troposférico en unidades de gr CFC 11 equivalente, el cual es un gas de efecto invernadero que causa la destrucción de la capa de ozono troposférica. En 1986, la comunidad internacional, en el Protocolo de Montreal, se comprometió a mitigar por completo el uso de este gas (BBC Mundo, 2019). El uso del grupo electrógeno y el transporte de agregado grueso, extraído de Pucallpa, obtuvieron las mayores cifras en emisiones en gr de CFC 11 equivalente, con 6000 gr y 2 130 gr, respectivamente. Cabe mencionar que, para estos dos procesos se tiene en común al uso del petróleo para el funcionamiento de las máquinas (el grupo electrógeno y el camión).



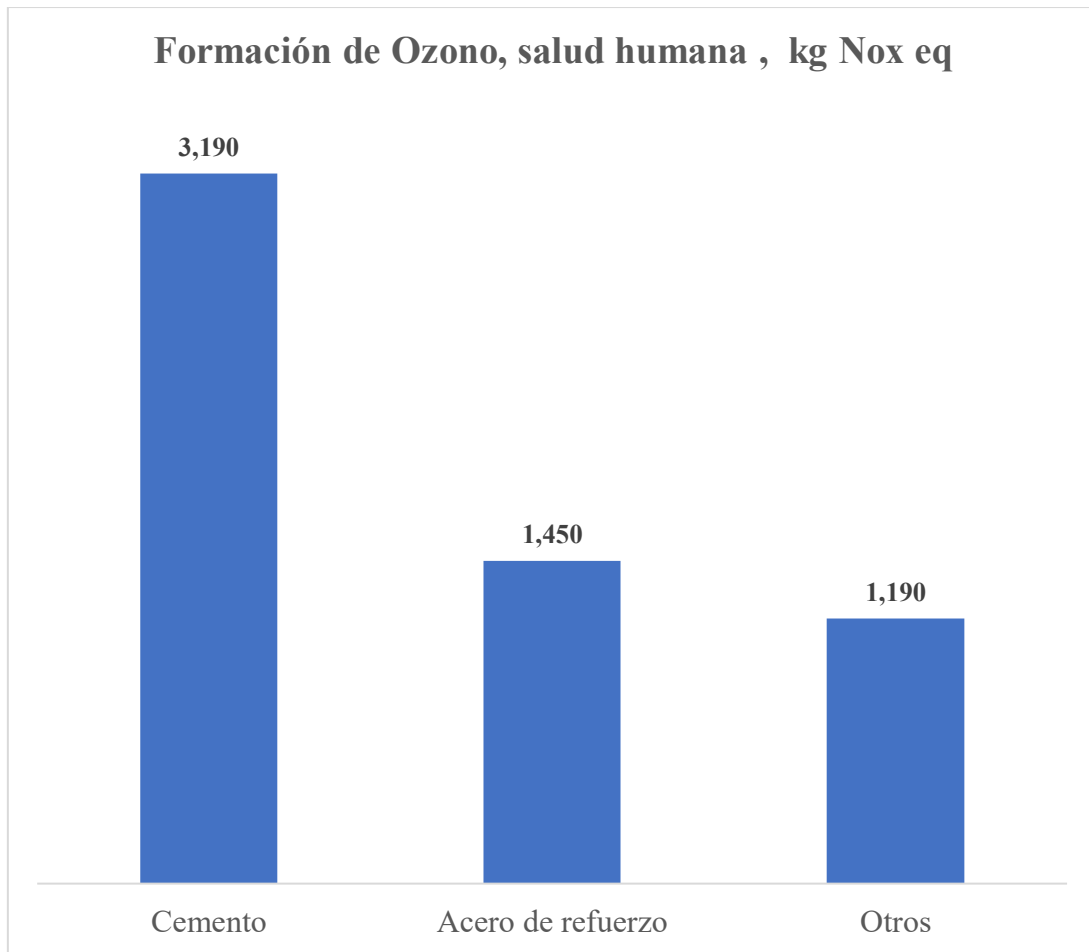
**Figura 5.2.2 Impacto ambiental por manufactura de Bloques de concreto**

En la figura 5.2.3 se aprecia los valores de radiación ionizantes de kBq Co-60 equivalente por cada proceso. Este impacto ambiental hace referencia al nivel de exposición de radiación en la población mundial y esta radiación ionizante es la energía necesaria para extraer electrones enlazados al átomo, de modo que, la sobre exposición a niveles mayores a los permisibles son nocivos a la salud humana (Garcés y Rangel, 2018). Para este caso, los valores que se resaltan son la producción de acero de refuerzo y conductores de acero con valores de 16 800 y 13 800 kBq Co-60.



**Figura 5.2.3 Impacto ambiental, Radiaciones Ionizantes, kBq Co-60 eq**

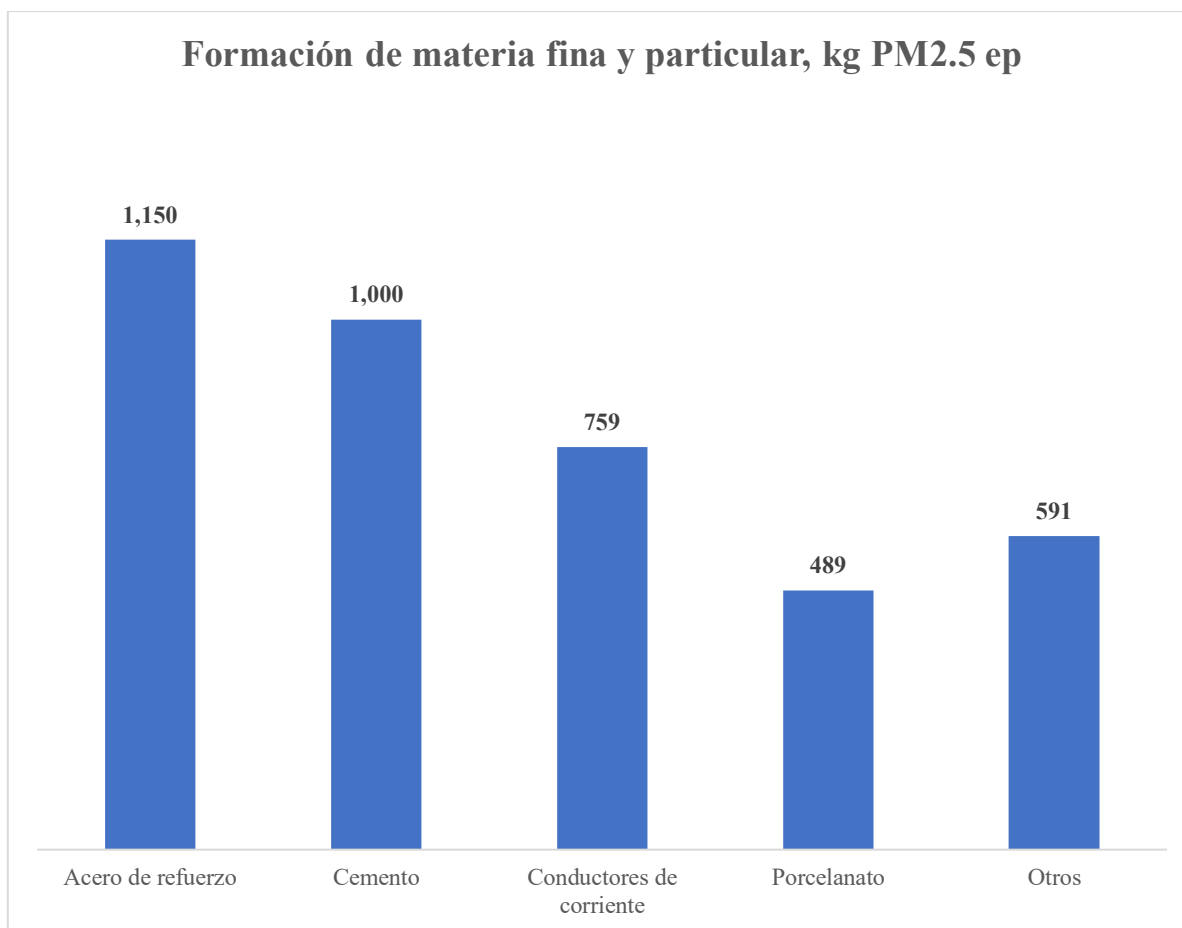
La figura 5.2.4 representa la distribución de valores referentes a la formación de Ozono, lo cual está relacionado a la salud humana y está parametrizado en kg Nox equivalente, lo cual es relativo a la producción de los NO<sub>x</sub>, cuya partícula participa en un ciclo fotoquímico para la formación de ozono troposférico junto con las partículas COV; sin embargo, el NO<sub>x</sub> está catalogado como contaminante primario y las fuentes de producción se encuentran en centrales térmicas, emisiones del parque automotor, etc. (Dorairo, 2013). Los valores destacados son debido a la producción de acero de refuerzo y conductores de corriente, con 13 800 kBq Co-60 equivalente, respectivamente.



**Tabla 5.2.4 Impacto ambiental, Formación de Ozono, salud humana, kg Nox eq**

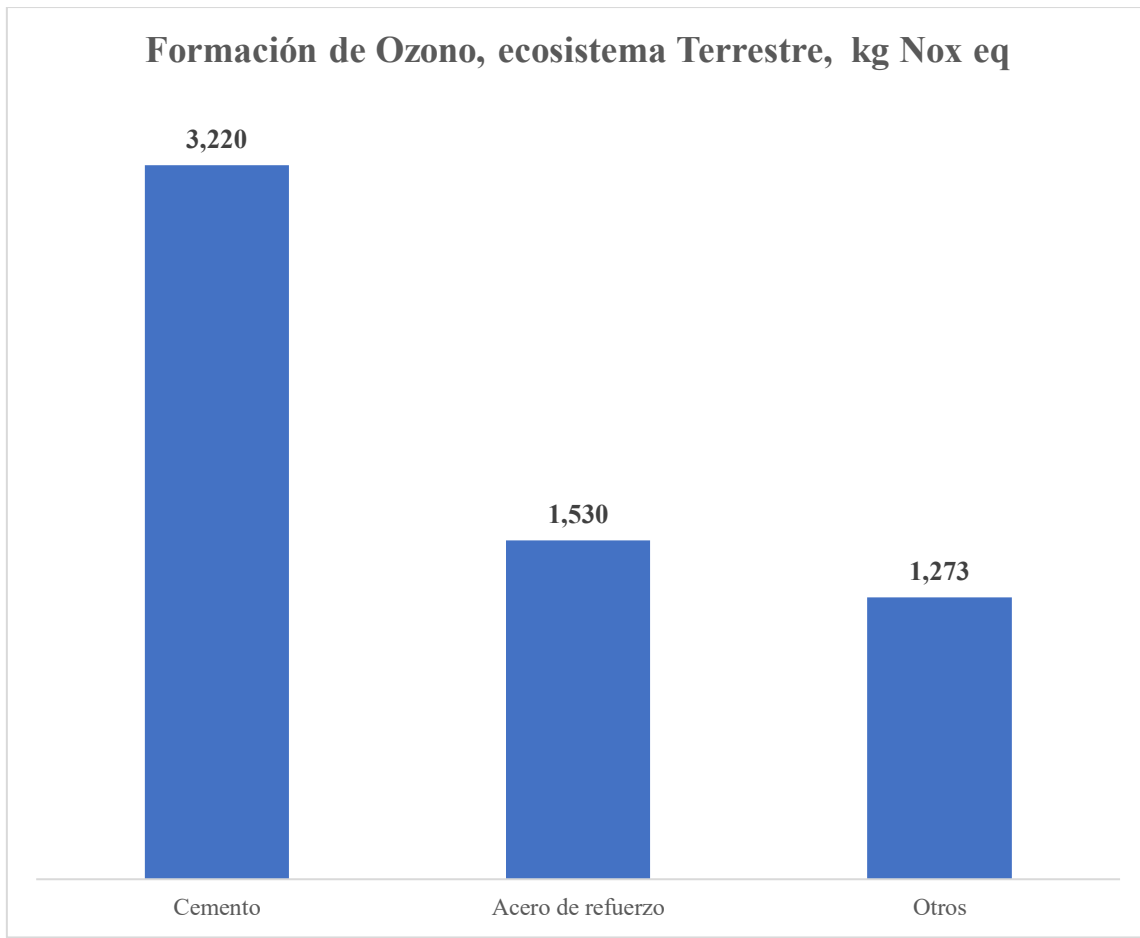
La tabla 5.2.5 muestra los valores de formación de materia fina y particular en kg de PM<sub>2.5</sub> , el cual hace referencia al material particulado y está clasificados como partículas suspendidas con una dimensión de 2.5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) y es un indicador para poder medir la calidad del aire puro en una determinada área, además, esta clase de partícula incide negativamente en la salud humana por presentar parámetros toxicológicos (Meza, 2009). Con respecto a los valores más resaltantes, del cuadro estadístico, se destaca a la producción de acero de refuerzo, cemento Portland tipo 1, conductores de corriente y el porcelanato, los cuales causan la formación de 1 150, 1 000, 759 y 489 kg de PM<sub>2.5</sub>.





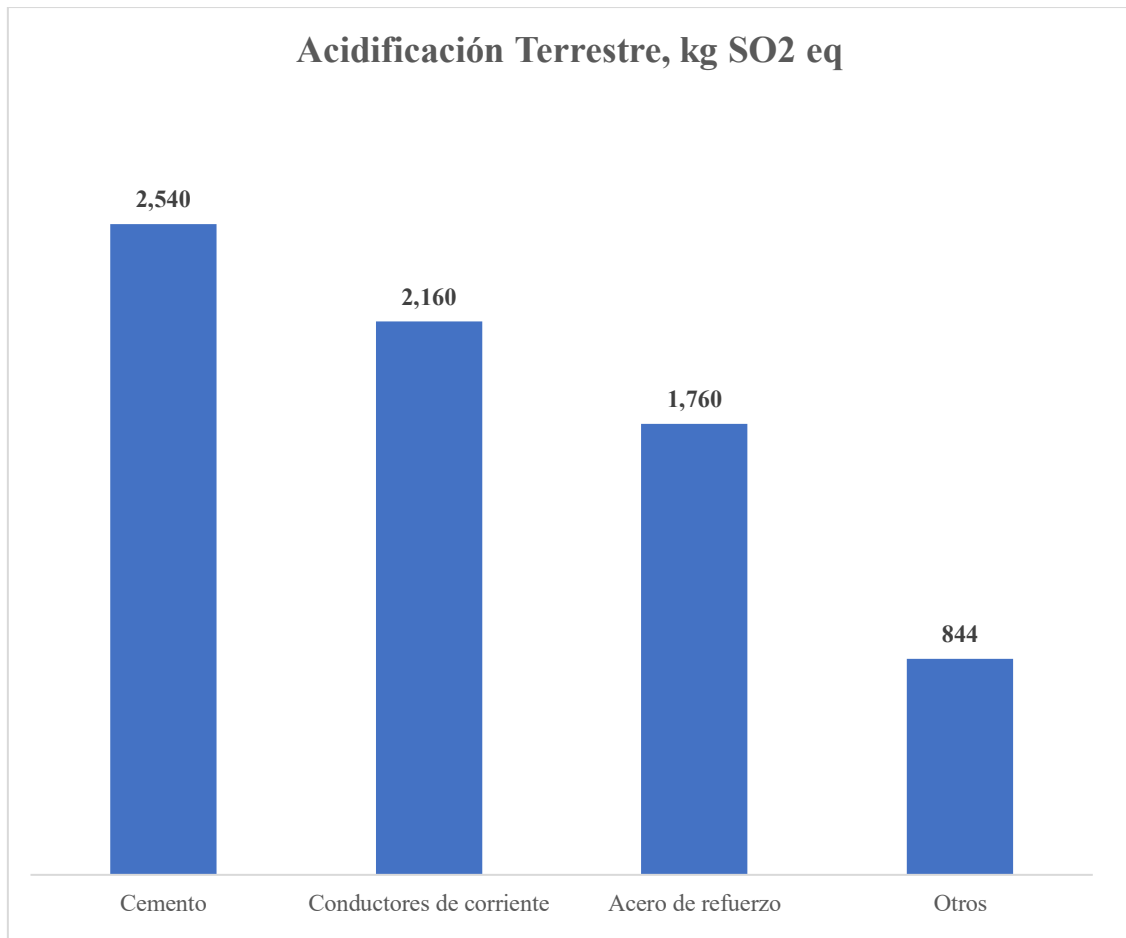
**Tabla 5.2.5 Impacto ambiental, Formación de materia fina y particular, kg PM2.5 ep**

La figura 5.2.6 muestra la distribución de valores de cantidad de kg de NO<sub>x</sub>, lo cual está relacionado a la formación de Ozono y en este caso se evaluó la cantidad de este componente que afecta directamente al ecosistema terrestre. Además de que su presencia cause impactos negativos en la salud humana, este también influye en la naturaleza, específicamente en el ecosistema terrestre, de modo que, produce limitación de crecimiento vegetal, contribuyen a la formación de partículas inorgánicas y contaminantes fotoquímicos (MITECO, 2020). En la evaluación de este impacto ambiental se tiene que la producción del cemento Portland tipo 1, este representa el 53% del total de cantidad de NO<sub>x</sub> que afecta al ecosistema terrestre y en segundo lugar, el acero de refuerzo, cuya fabricación es el 23 % del total de cantidad de kg Nox.



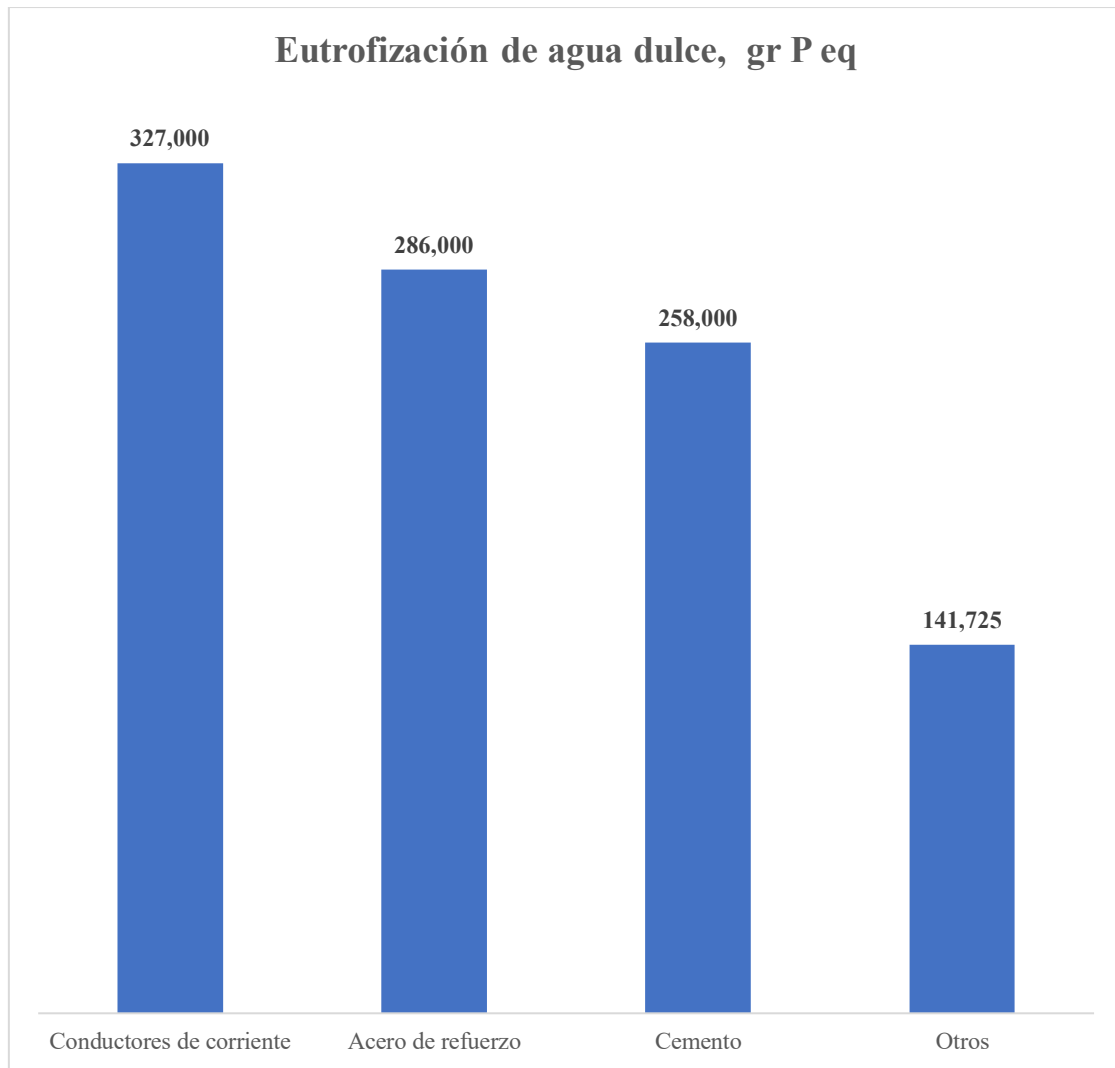
**Tabla 5.2.6 Impacto ambiental, Formación de Ozono, ecosistema Terrestre, kg Nox eq**

La figura 5.2.7 muestra los valores de Acidificación terrestre, parametrizados en kg SO<sub>2</sub> equivalente, derivados de la producción de los 28 procesos que participan en la construcción del colegio en Iquitos. Este impacto ambiental se refiere a la pérdida de propiedades del suelo, como el poder neutralizante, debido al retorno del SO<sub>2</sub>, entre otros compuestos, que son descargados al suelo en forma de precipitaciones ácidas. Para este caso los procesos que produjeron la mayor parte de este compuesto fue el cemento Portland tipo 1, cuyo valor representa el 34% de emisión de este compuesto.



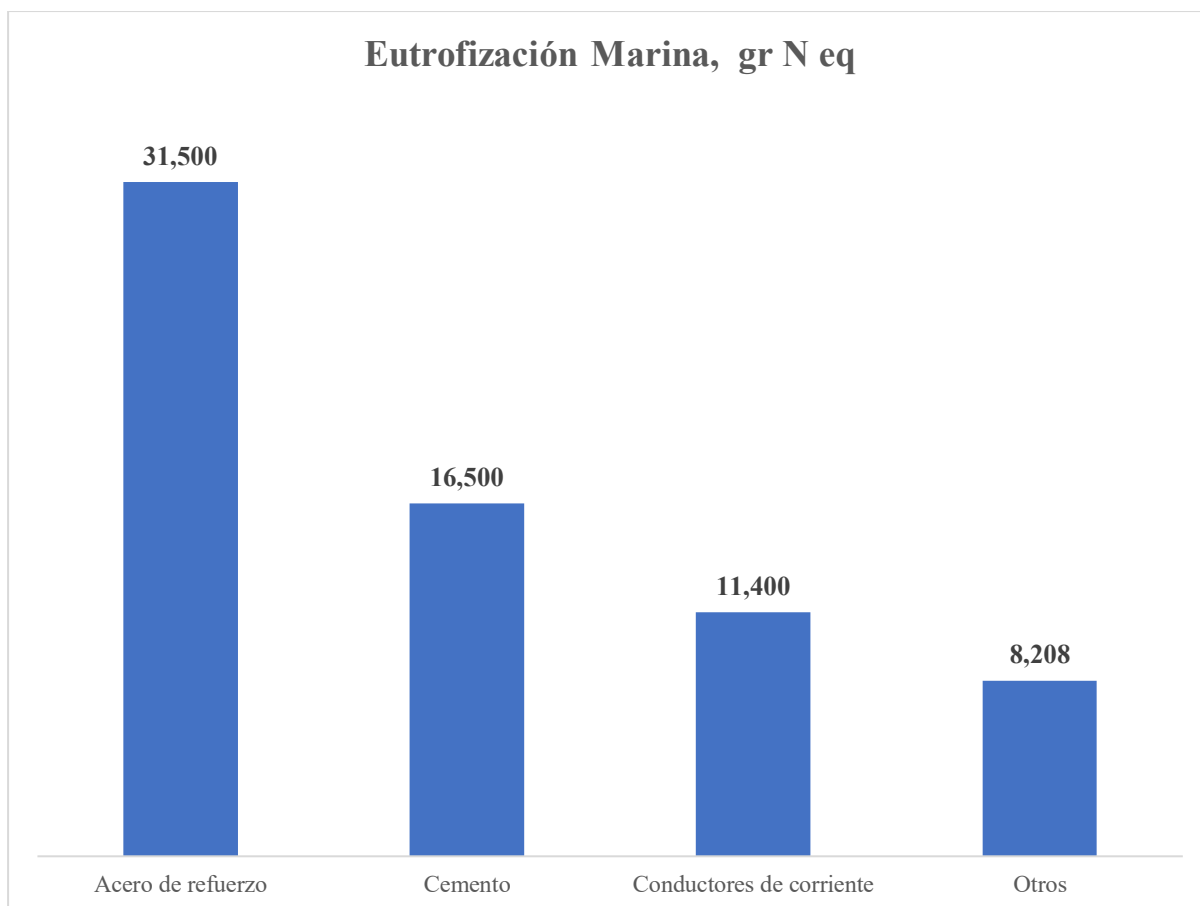
**Figura 5.2.7 Impacto ambiental Acidificación Terrestre, kg SO2 eq**

La figura 5.2.8 muestra valores de Eutrofización de Agua Dulce, lo cual está cuantificado en gr de Fósforo (P) equivalente. Este impacto ambiental se define como la disminución de la calidad del agua, de modo que aumenta la producción de nutrientes, entre ellos el fósforo, lo cual produce cambios sanitarios y ecológicos a gran escala. En otras palabras, este impacto ambiental hace que el material vegetal prospere y al descomponerse, esto produzca una disminución de oxígeno disuelto, lo cual es indispensable para los seres bajo el agua. (García y Miranda, 2018). Los procesos que resaltan en este impacto ambiental son la producción de los conductores de corriente, acero de refuerzo y cemento Portland tipo 1.



**Tabla 5.2.8 Impacto ambiental Eutrofización de agua dulce, gr P eq**

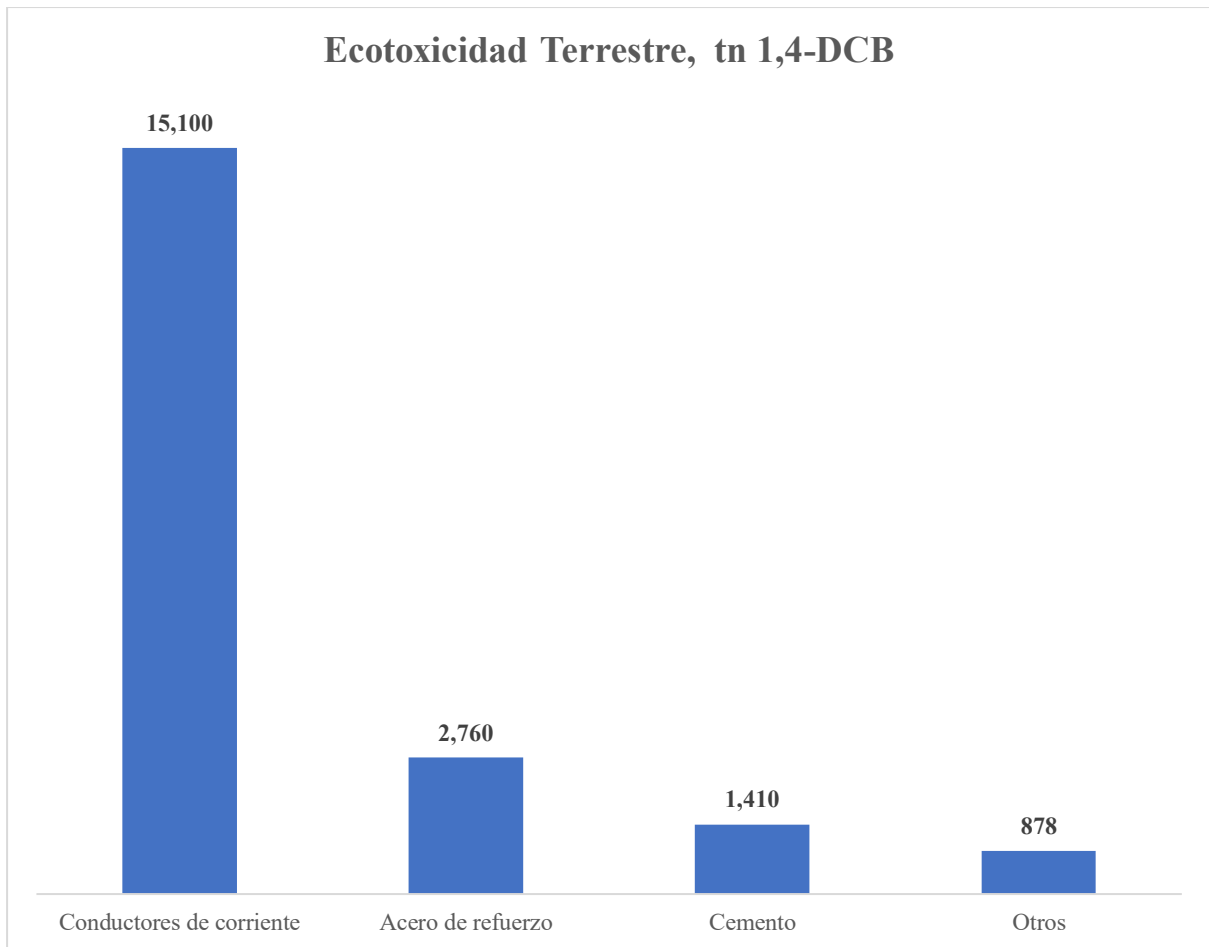
La figura 5.2.9 muestra valores de Eutrofización marina, los cuales están cuantificados en gr de nitrógeno equivalente. El concepto de este impacto ambiental es similar al mostrado en la figura 5.2.8, la cual mencionaba la eutrofización de agua dulce, sin embargo, en este caso se tratará la producción de N que provocará la disminución de la calidad del agua marina. En este caso, al igual que el anterior, se muestra que los mismos procesos conllevan al mayor impacto ambiental de Eutrofización Marina.



**Figura 5.2.9 Impacto ambiental por manufactura de Cerrajería de manija cuadrada**

Para la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H), el concepto de Ecotoxicidad, expresada en kg equivalente de 1,4 diclorobenceno, se utiliza para cuantificar la toxicidad humana, acuática, marina y terrestre. El químico tiene un impacto ambiental al ser emitido al aire urbano (M.A.J. Huijbregts et al., 2016). Cabe resaltar que, las tablas 5.2.10, 5.2.11 y 5.2.12 se representará los valores provenientes del impacto ambiental de ecotoxicidad terrestre, humana, marina y agua dulce.

La figura 5.2.10 representa la distribución de valores de Ecotoxicidad Terrestre obtenidos de los 28 procesos incluidos en la construcción del centro educativo. La producción de conductores de corriente representa el 75 % del total de este impacto ambiental.

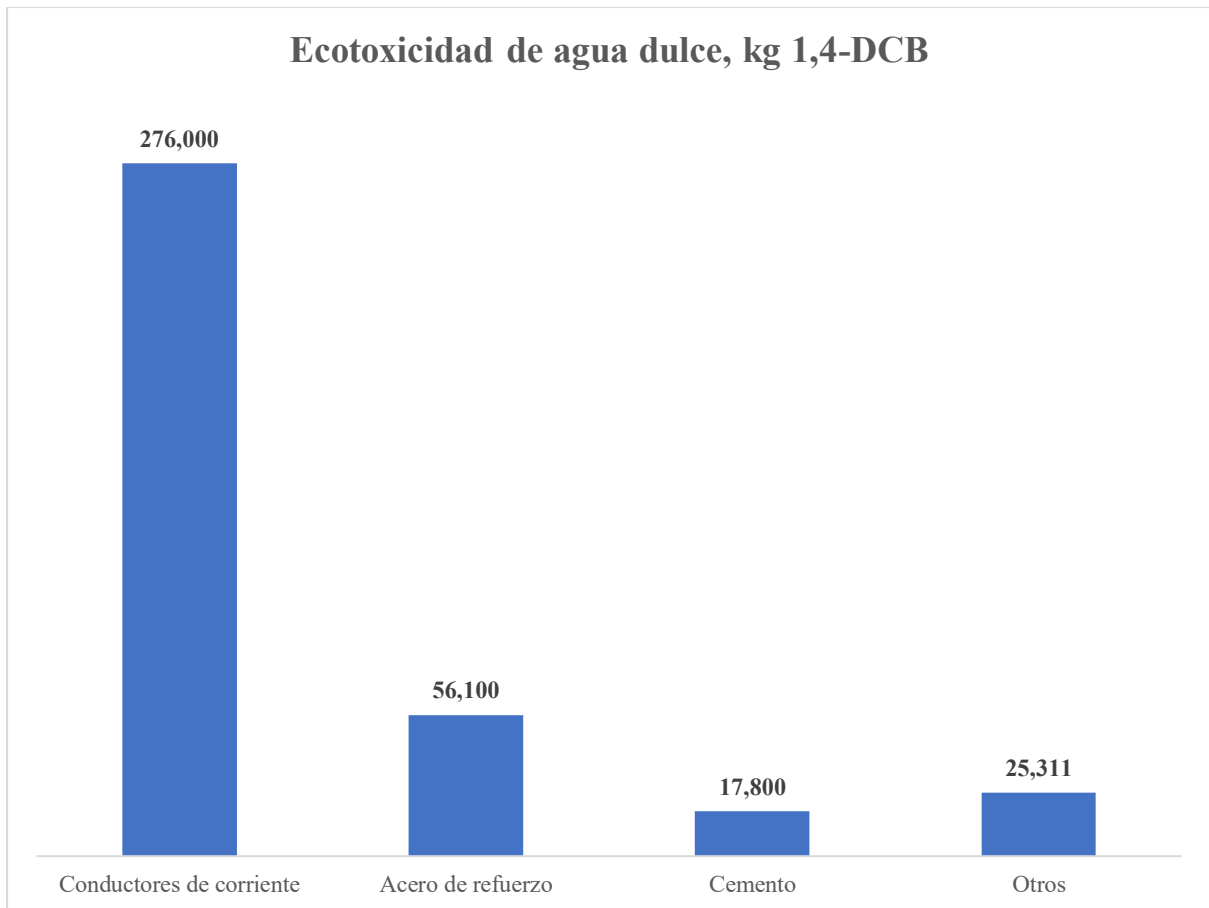


**Figura 5.2.10 Impacto ambiental, Ecotoxicidad Terrestre, tn 1,4-DCB**

La tabla 5.2.11 muestra la cantidad de kg de 1.4 DCB equivalente, el cual está relacionado a la Ecotoxicidad de agua dulce, lo cual se produce una exposición a los seres vivos, propagándose a través de cultivos de hojas, perjudicando directamente a sus consumidores, así también, del propio consumo del agua dulce (M.A.J. Huijbregts et al., 2016).

Al igual que el caso de la figura 5.2.10, el valor con mayor porcentaje de impacto ambiental es el proceso de producción de conductores de corriente, con 74 % del total de kg 1,4-DCB.

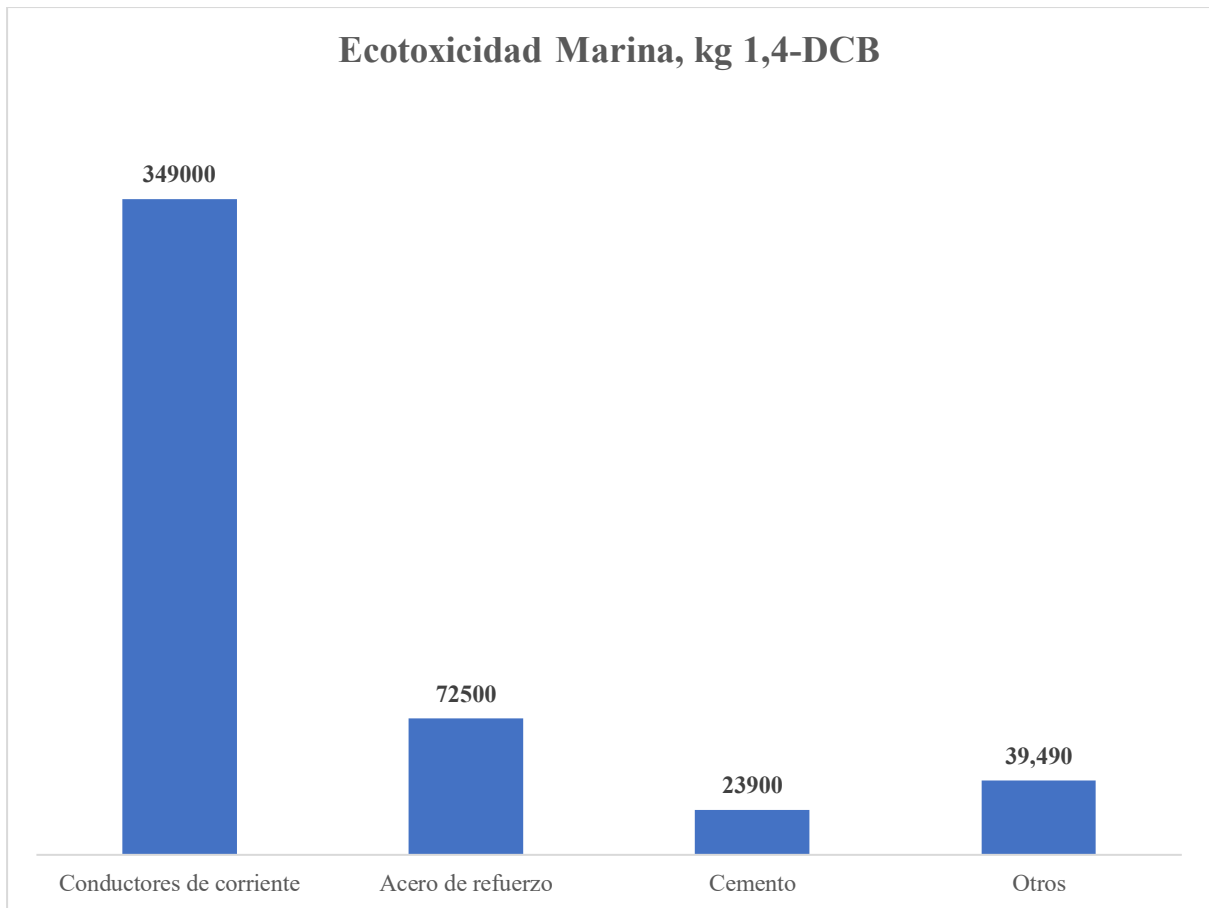




**Figura 5.2.11 Impacto ambiental, Ecotoxicidad de agua dulce, kg 1,4-DCB**

La tabla 5.2.12 muestra la cantidad de kg de 1.4 DCB equivalente, el cual está relacionado a la Ecotoxicidad de agua marina, lo cual se produce una exposición a los seres vivos, propagándose a través de ingestión de peces marinos, perjudicando directamente a sus consumidores. (M.A.J. Huijbregts et al., 2016).

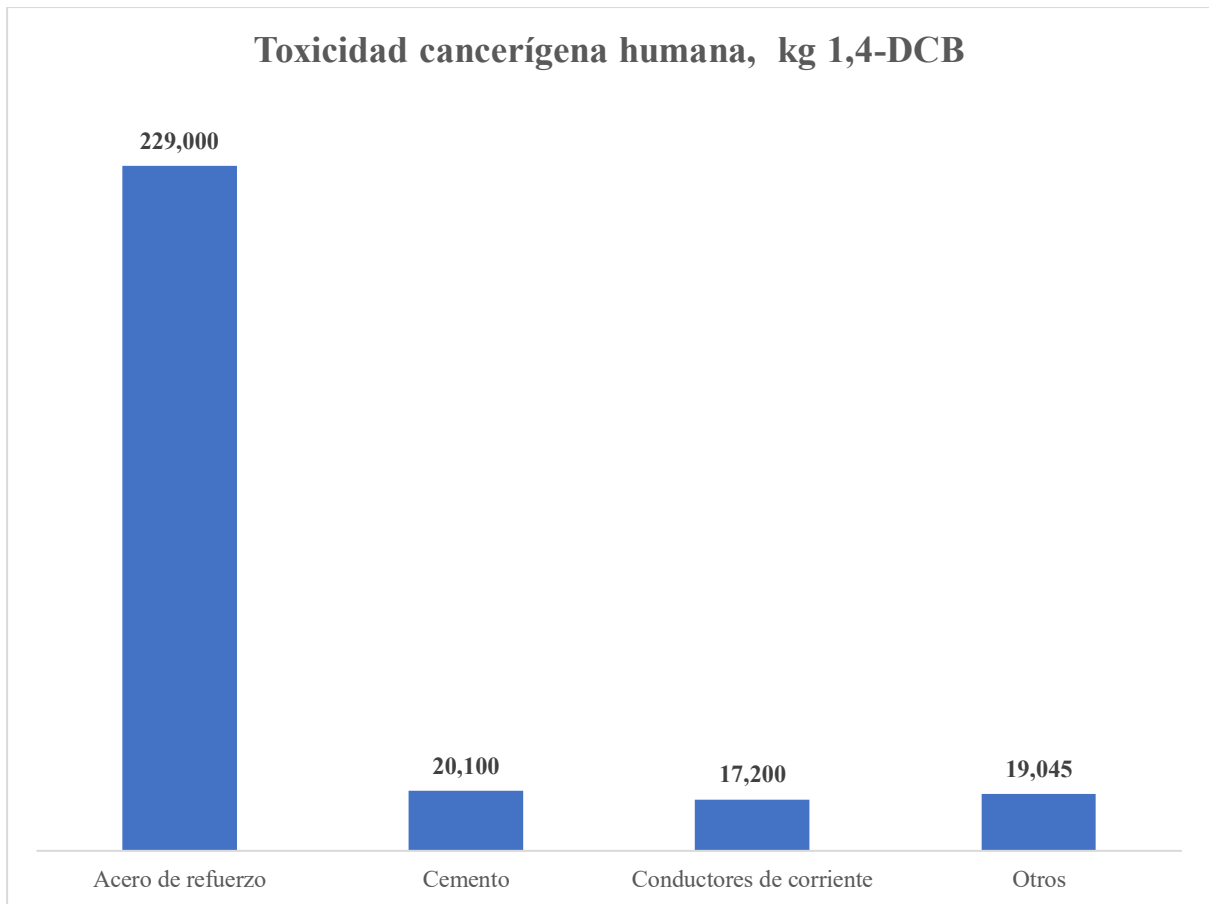
Al igual que el caso de la figura 5.2.10 y 5.2.11 el valor con mayor porcentaje de impacto ambiental es el proceso de producción de conductores de corriente, con 72 % del total de kg 1,4-DCB equivalente.



**Tabla 5.2.12 Impacto ambiental, Ecotoxicidad Marina, kg 1,4-DCB**

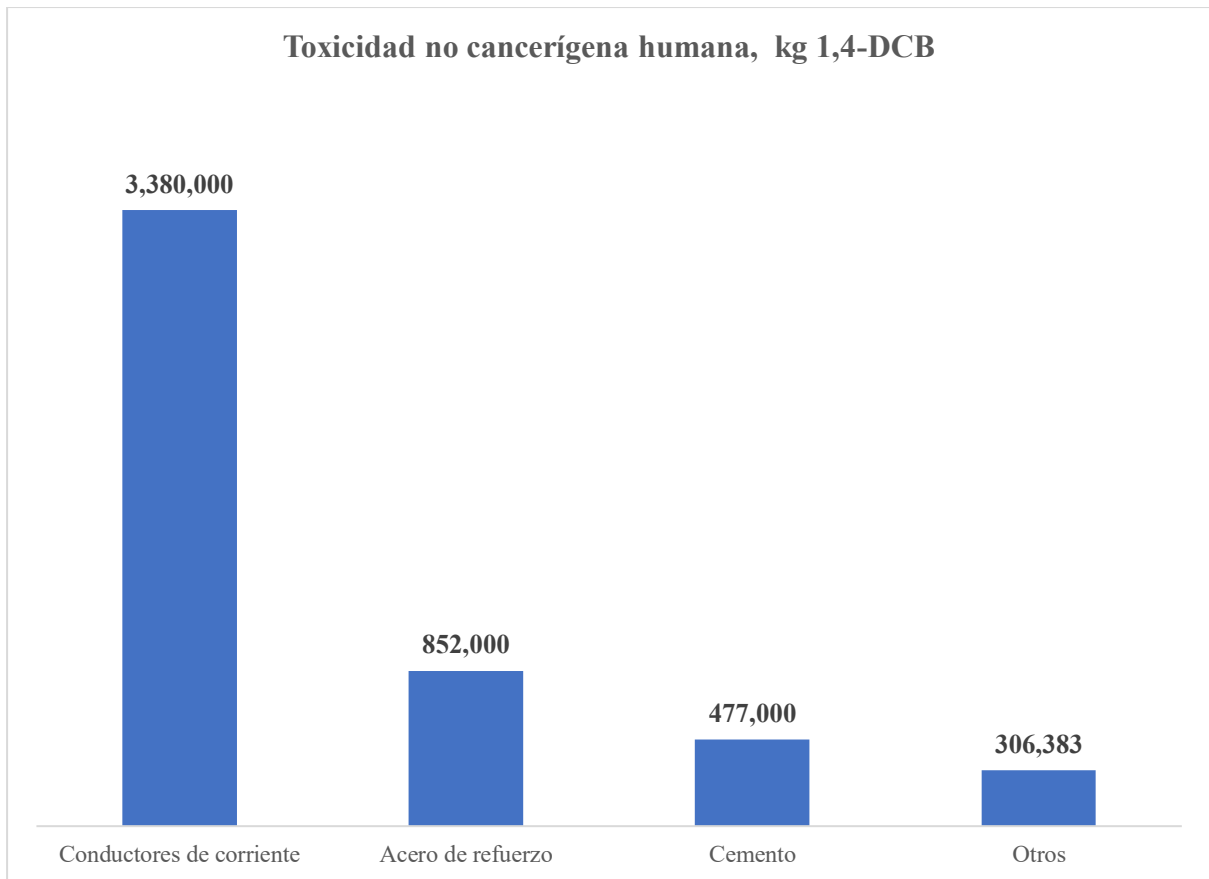
La figura 5.2.13 muestra la cuantificación del impacto ambiental, relativo a la Toxicidad cancerígena humana, expresada en 1.4 kg 1,4-DCB. Todas estas sustancias producen cáncer o incrementar su probabilidad de producción en el cuerpo debido a la ingesta, inhalación o penetración en la piel (MITRAMISS, 2017).

Para este caso, la producción del acero de refuerzo representa un 80% del total de kg 1,4 DCB, generando el mayor impacto.



**Figura 5.2.13 Impacto ambiental, Toxicidad cancerígena humana, kg 1,4-DCB**

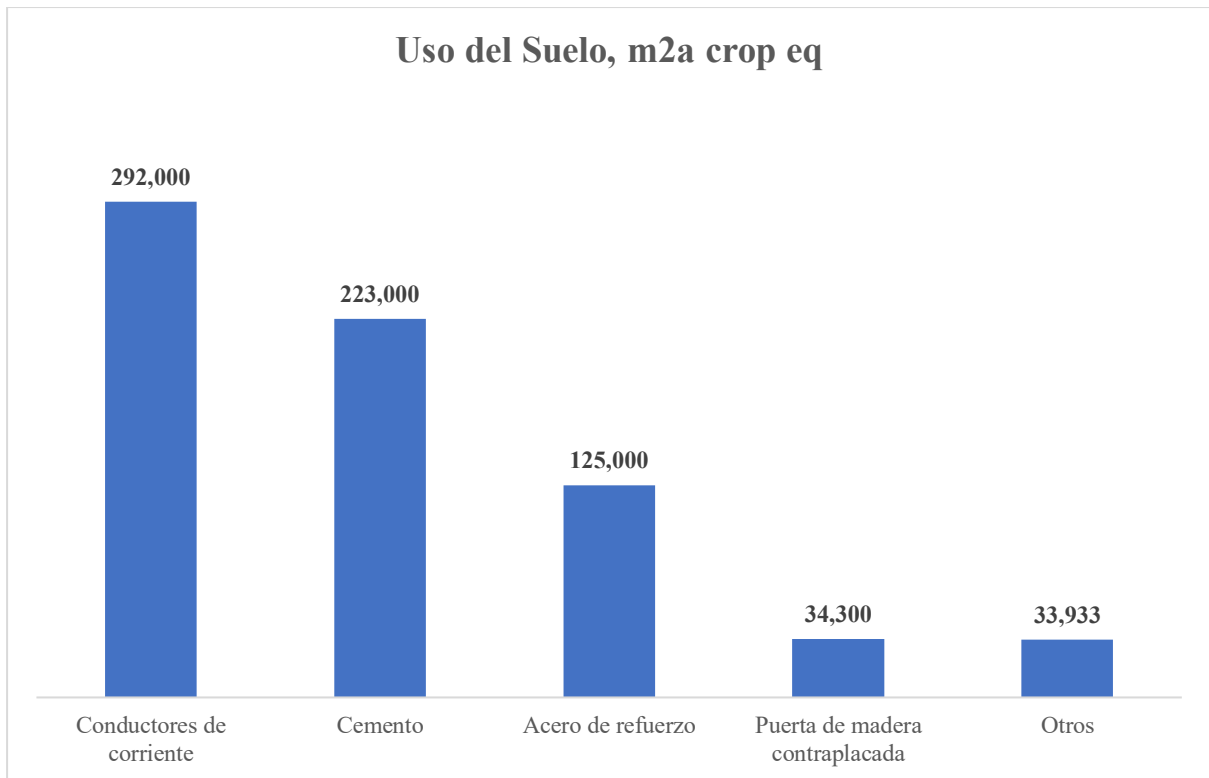
En la figura 5.2.14 se muestra los valores de toxicidad no cancerígena humana en kg 1,4 – DCB, en la cual se tiene que la producción de Conductores de corriente con 3 380 000 kg 1,4 – DCB, representando así, el 67% del total de este impacto ambiental.



**Figura 5.2.14 Impacto ambiental, Toxicidad no cancerígena humana, kg 1,4-DCB**

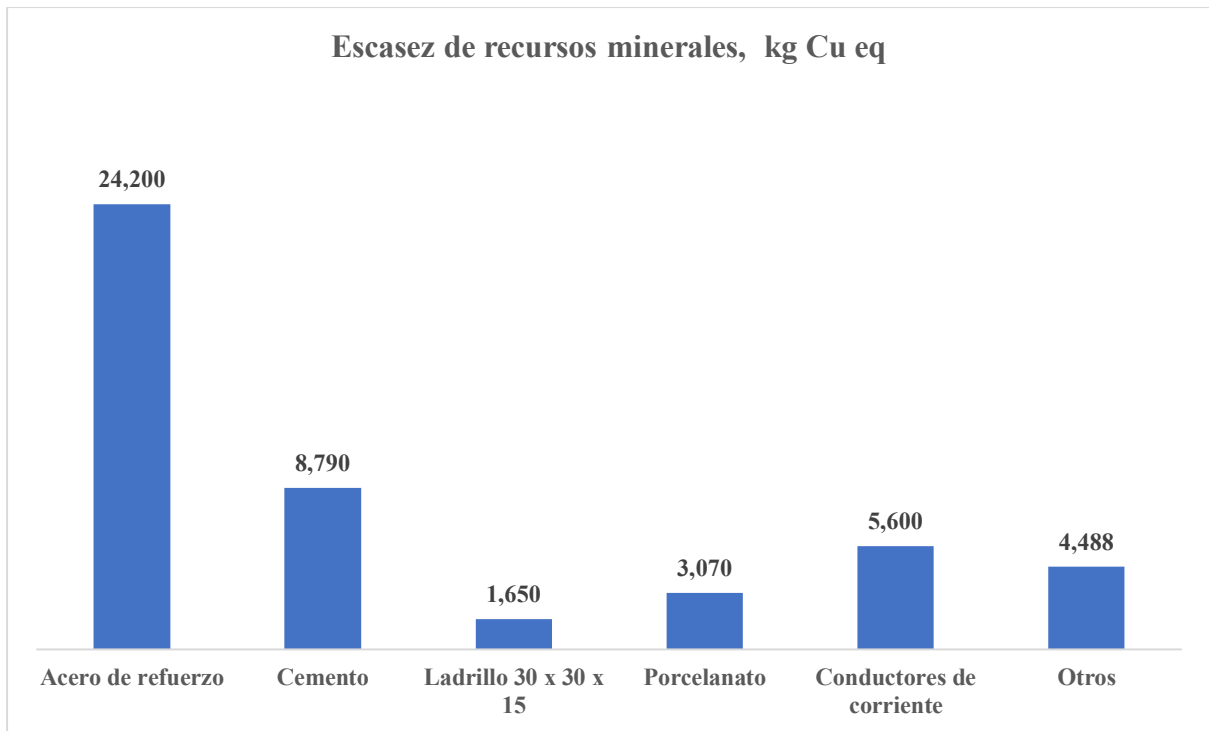
La figura 5.2.15 muestra valores de Uso del Suelo, medido en m<sup>2</sup> equivalente. En la metodología ReCiPe 2016 midpoint (H), este impacto ambiental se define como la pérdida de especies causada por el uso local de tierras que abarca la transformación de la tierra. (M.A.J. Huijbregts et al., 2016).

En este caso, la producción de conductores eléctricos abarcó el mayor porcentaje de uso de suelo, representando así el 41% del total de uso del suelo.



**Figura 5.2.15 Impacto ambiental por manufactura de Puerta de madera contraplacada**

La figura 5.2.16 muestra los valores de Escasez de recursos minerales, representado en kg Cu equivalente. Este impacto se connota como el potencial excedente de mineral SOP, el cual se cuantifica en el promedio de la cantidad de mineral que se producirá en el futuro en consecuencia del proceso de extracción de un 1kg de cobre (Cu) (M.A.J. Huijbregts et al., 2016). En este caso se muestra que la producción de acero de refuerzo representa el 51% del total de cantidad de kg de Cu producidos en la construcción del colegio, siendo este el mayor porcentaje.

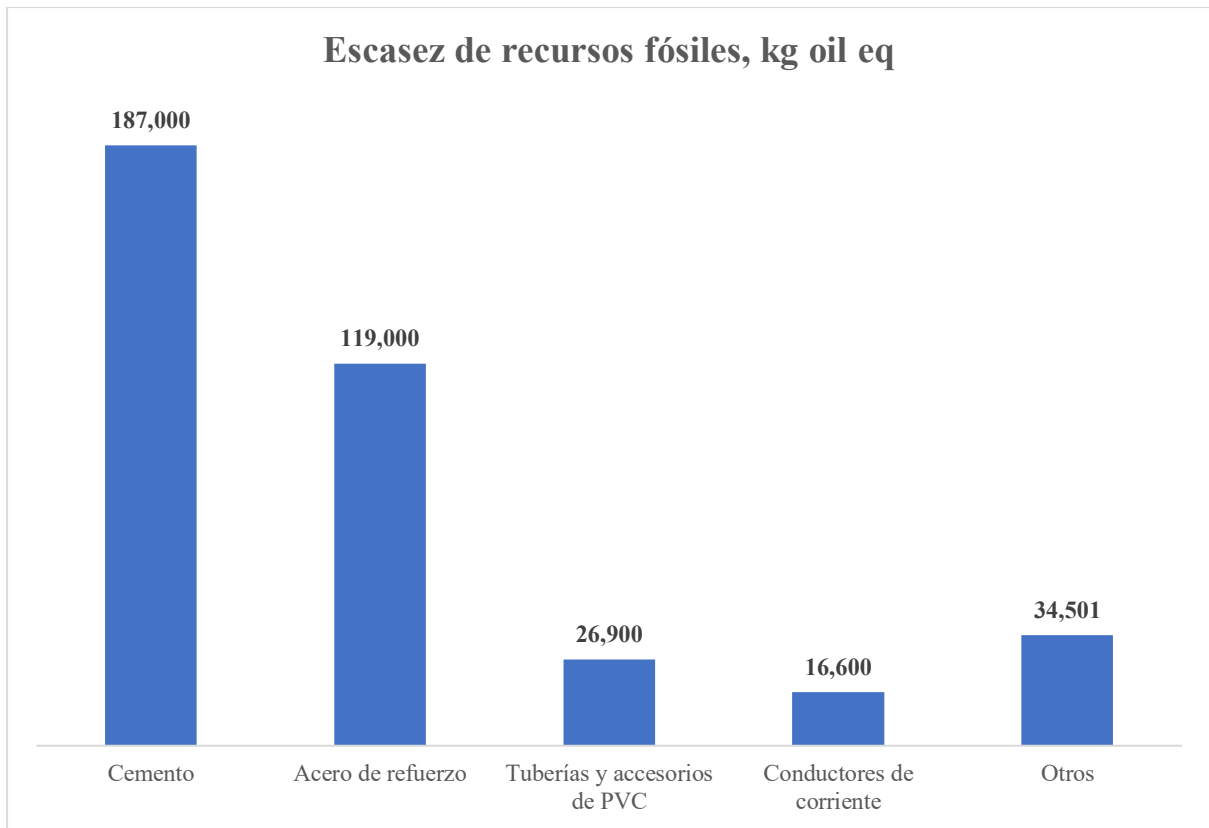


**Figura 5.2.16 Impacto ambiental, Escasez de recursos minerales, kg Cu eq**

La figura 5.2.17 muestra valores de impacto ambiental relativo a la escasez de recursos fósiles, el cual está determinado como el potencial de combustible fósil del recurso fósil, en este caso el petróleo crudo (M.A.J. Huijbregts et al., 2016).

Para este caso, la producción de cemento Portland tipo 1 tuvo el mayor porcentaje de impacto ambiental esta categoría, representando así un 49% de participación.

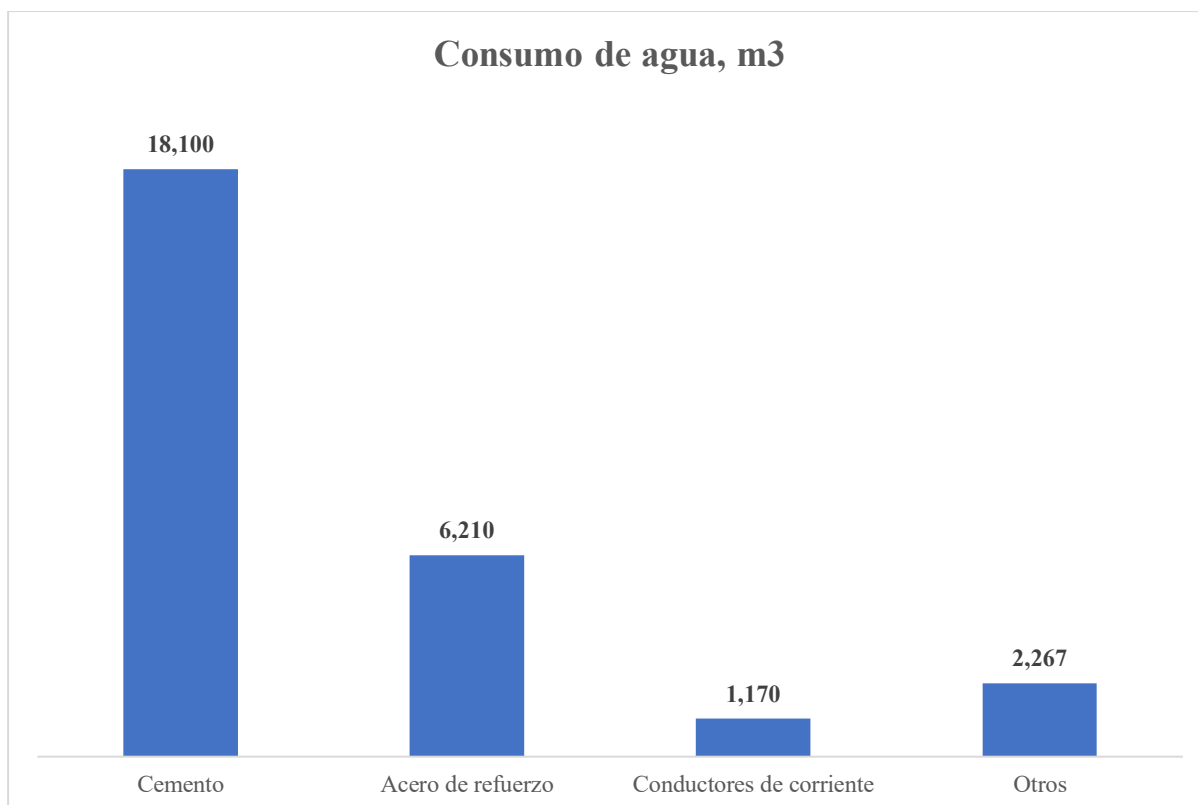




**Figura 5.2.17 Impacto ambiental, Escasez de recursos fósiles, kg oil eq**

La figura 5.2.18 representa el impacto ambiental que hace referencia al consumo del agua, cuantificado en m<sup>3</sup> y según la metodología ReCiPe 2016 midpoint (H), se refiere a la extracción de agua, tanto de la zona superficial como de la subterránea, independiente de retornos de retornos o eficiencia en el uso del agua (M.A.J. Huijbregts et al., 2016).

Los procesos de mayor consumo de agua fueron el cemento Portland tipo 1 y acero de refuerzo, representando así el 65% y 22%, respectivamente.



**Figura 5.2.18 Impacto ambiental, Consumo de agua, m<sup>3</sup>**

Como resultados finales, podemos observar que uno de los impactos ambientales más incidentes en el proceso de construcción del colegio fue de “Ecotoxicidad terrestre” con 19 943 ton 1,4-DCB y de “Calentamiento Global” con 2 588 ton CO<sub>2</sub> eq. Según estos resultados globales, se tiene que la producción del cemento portland tipo I de Perú fue el que sumó en gran parte a estas cantidades finales en un 68% al Calentamiento global.

En el siguiente capítulo se desarrollará sobre los resultados obtenidos de este trabajo.

## **CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Luego de haber obtenido los resultados de los procesos de manufacturas del centro educativo en Iquitos, en un primer lugar, se realizó un análisis comparativo con otras estructuras de un similar proceso constructivo, entre estas estructuras tenemos al edificio de oficinas, información que se obtuvo de la tesis para licenciatura de Calle (2019); dos edificios

multifamiliares de la tesis para licenciatura de Cáceres (2016) y un edificio unifamiliar analizado en la tesis para título de García (2014).

Además, para todos los casos se contrastaron la energía consumida o energía primaria y, para algunos casos, el impacto ambiental. Luego se procedió a realizar un comparativo con el impacto ambiental con el estudio realizado en 23 edificios de escuelas primarias en Corea del Sur. Por último, se discutieron las posibles soluciones para mitigar el impacto ambiental causado por la producción de un centro educativo.

### **6.1 Comparación con infraestructuras similares**

En relación con el estudio de Calle (2019) que se realizó en base al edificio de oficinas, esta estructura tuvo un  $4.90 \text{ GJ/m}^2$ , de modo que obtuvo una menor ratio de energía consumida y área techada, teniendo así 40 % menos de  $\text{GJ/m}^2$  que el colegio en Iquitos y se puede demostrar en el uso del concreto, el cual fue mayor para el centro educativo, ya que la mayor parte fue producida por la mezcla de concreto como el casco gris y los adoquines utilizados para manufactura del casco gris. Vale destacar que la gran cantidad de cemento utilizado, así, también, como su transporte, produjo una gran incidencia en el resultado final de uso de energía primaria.

El edificio multifamiliar tuvo un gasto por  $\text{m}^2$  mayor, de modo que supera en un 5% a la energía consumida al colegio en estudio. En otras palabras, a pesar de tener una menor área, tuvo un nivel de gasto por metro cuadrado de área techada debido a la similitud del diseño estructural al centro educativo.

Los edificios multifamiliares son estructuralmente más rígidos por ser sísmicamente más vulnerables, debido a que cuentan con una gran masa y, por ello, se procedió a ser construido con placas que mitiguen los daños de un movimiento telúrico para estas estructuras. Al contar

con más elementos estructurales que soliciten al concreto armado, la ratio de GJ/m<sup>2</sup> será mayor, los edificios multifamiliares demandarán de más instalaciones eléctricas y sanitarias, así, también, como conexiones de telefonía.

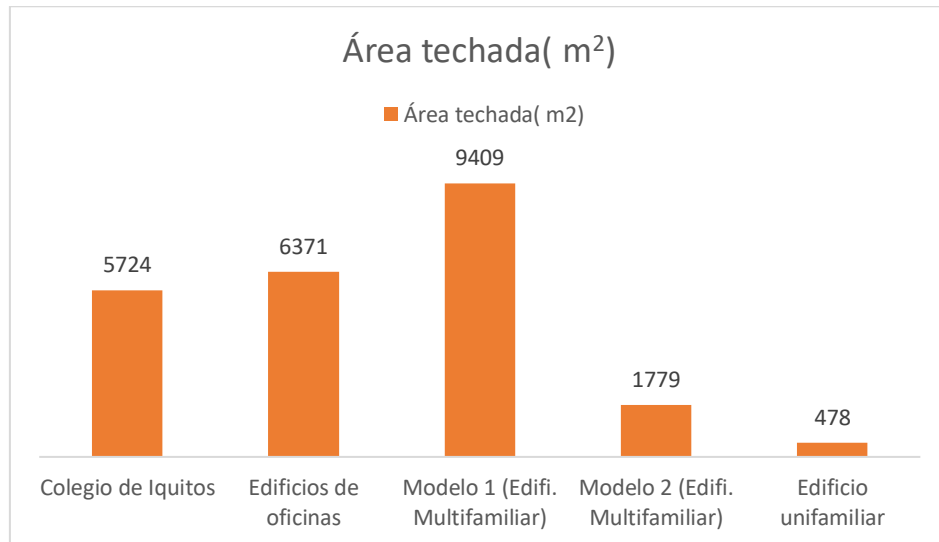
**Tabla 6.1.1 Comparación entre otras estructuras similares**

Etapa de pre-uso	Energía (GJ)	Área techada (m <sup>2</sup> )	GJ/m <sup>2</sup>
Colegio de Iquitos	39 093	5 724	6.83
Edificios de oficinas	31 240	6 371	4.90
Modelo 1 (Edifi. Multifamiliar)	115 000	9 409	12.22
Modelo 2 (Edifi. Multifamiliar)	25 100	1 779	14.11
Edificio unifamiliar	3 432	478	7.18

Como se puede apreciar en el gráfico de barras, podemos notar el modelo uno de los edificios multifamiliares posee mayor área construida que todas, pero, sobre todo, se puede observar que es mayor al del modelo 2 y, a pesar de ello, este último modelo tiene una mayor ratio de energía consumida en el proceso de construcción de la obra. Vale mencionar que los dos se realizaron en terrenos de condiciones similares; sin embargo, podemos notar que la estructuración del casco gris es distinta, y la gestión del traslado de tierras y de materiales para la ejecución de la obra fue muy diferente y esto genera la diferencia de ratio energético que fue consumido para un metro cuadrado de edificación construida.

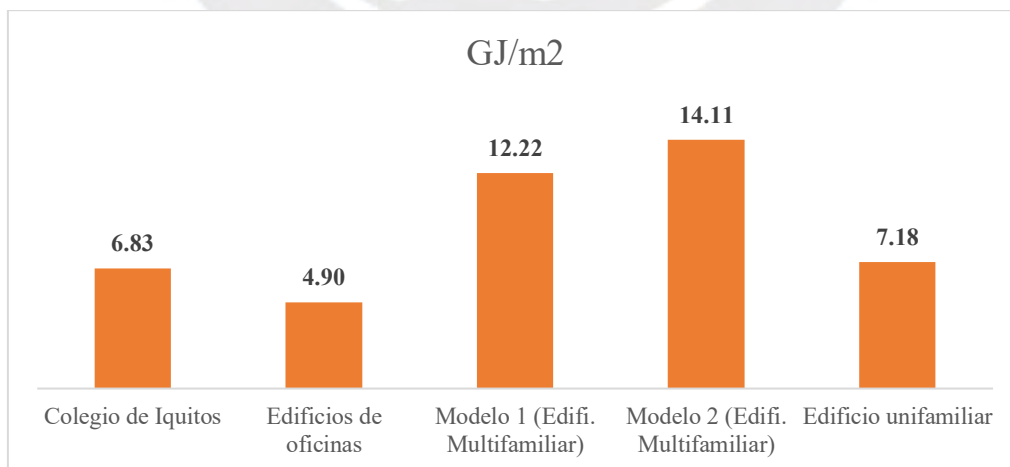
A continuación, se mostrará, en la figura 6.1.1, el área techada de cada edificación. La visualización de este gráfico de barras es importante para poder apreciar las notables diferencias en dimensiones de las estructuras en cuestión, ya que en la figura 6.1.2 podemos apreciar la eficiencia de energía consumida para la etapa de producción de materiales de construcción, actividad en la obra y transporte de los materiales. Por ejemplo, se muestra que el Modelo 1, la cual es una edificación familiar, posee aproximadamente 5 veces más área que el Modelo 2; sin embargo, la figura 6.1.2 muestra un resultado opuesto, ya que el

consumo de energía, para construcción del Edificio Multifamiliar del modelo 2 aproximadamente 16% mayor gasto energético por metro cuadrado de área techada del modelo 1.



**Figura 6.1.1 Distribución de áreas techadas por edificación**

La figura 6.1.2 muestra los valores de la unidad funcional, la cual consiste en “consumo de energía primaria por m<sup>2</sup> del centro educativo techado durante toda la etapa de construcción” y la ratio de energía consumida sobre área techada de las otras edificaciones analizadas.



**Figura 6.1.2 Distribución de energía primaria consumida por área techada de cada edificación**

## 6.2 Comparación con colegios a nivel internacional

Se realizó un estudio de impacto ambiental usando la herramienta del ACV en 23 escuelas de Corea del Sur. Por un lado, se tomó esta cantidad abundante en el muestreo para tener un resultado más fino en los impactos ambientales. Normalmente, las investigaciones realizan un análisis comparativo entre 2 o 3 estructuras similares; sin embargo, con esta cantidad se puede realizar diagramas de caja que permita analizar, estadísticamente, cuál es la mayor incidencia de impacto ambiental en cada etapa de vida de los colegios.

A continuación, se muestra el promedio de resultados de impacto ambiental de los 23 centros educativos localizados en diferentes longitudes y latitudes, lo cual según (Ji et. Al, 2016) plantean que estas variables afectan al consumo energético, debido a la severidad diversa de poder transportar los materiales, así como los diferentes tipos de clima que influyen en la forma y distribución en la que se construirá la edificación. Por ejemplo, dependiendo de la zona sísmica, se procederá a usar una determinada cantidad de concreto armado, ya que se analizará en colocarle al edificio una determinada cantidad de placas para que se pueda desempeñar correctamente ante un movimiento telúrico.

**Tabla 6.2.1 Impacto ambiental por manufactura de colegios en Corea del Sur**

Environmental impacts	Building's life cycle		
	Materials	Transportation	Construction
GWP (kg-CO <sub>2</sub> eq./m <sup>2</sup> )	7.92E+02 (24.99%)	1.33E+01 (0.42%)	9.94E+00 (0.31%)
OPD (kg-CFC-11 eq./m <sup>2</sup> )	1.10E-05 (34.06%)	1.74E-07 (0.54%)	1.30E-07 (0.40%)
AP (kg-SO <sub>2</sub> eq./m <sup>2</sup> )	1.38E+00 (32.33%)	3.26E-02 (0.76%)	2.43E-02 (0.57%)
EP (kg-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq./m <sup>2</sup> )	2.41E-01 (34.70%)	5.89E-03 (0.85%)	4.41E-03 (0.64%)
POCP (kg-CO <sub>2</sub> eq./m <sup>2</sup> )	6.79E-01 (15.05%)	5.42E-03 (0.12%)	4.06E-03 (0.09%)
ADP (kg-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq./m <sup>2</sup> )	4.61E+00 (27.84%)	8.28E-02 (0.50%)	6.19E-02 (0.37%)
HCP ( <i>cases<sub>can</sub></i> /m <sup>2</sup> )	8.62E-08 (98.99%)	3.26E-11 (0.04%)	2.44E-11 (0.03%)
HNCP ( <i>cases<sub>nonc</sub></i> /m <sup>2</sup> )	1.47E-06 (99.84%)	6.75E-11 (0.00%)	5.05E-11 (0.00%)

*Tabla recuperada de Establishing environmental benchmarks to determine the*



La tabla 6.2.2 muestra los valores de la unidad funcional que consiste en “impacto ambiental por m<sup>2</sup> del centro educativo construido durante toda la etapa de construcción”. Estos valores son comparables con los resultados mostrados en la tabla 6.2.1.

**Tabla 6.2.2 Impacto ambiental sobre área construida por construcción de colegio**

<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>Impacto Ambiental/Área construida</b>
Calentamiento Global	278
Agotamiento del ozono estratosférico	1.23E-03
Radiaciones Ionizantes	4.72
Formación de Ozono, salud humana	6.25E-01
Formación de materia fina y particular	4.22E-01
Formación de Ozono, ecosistema Terrestre	6.48E-01
Acidificación Terrestre	7.72E-01
Eutrofización de agua dulce	1.11E-01
Eutrofización Marina	7.17E-03
Ecotoxicidad Terrestre	2120
Ecotoxicidad de agua dulce	40.1
Ecotoxicidad Marina	52.3
Toxicidad cancerígena humana	30.3
Toxicidad no cancerígena humana	528
Uso del Suelo	74.5
Escasez de recursos minerales	5.03
Escasez de recursos fósiles	40.4
Consumo de agua	2.92

Como podemos observar, el GWP (kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>) promedio de los colegios de Corea del Sur fue de 824 kg-CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup> frente a 278 kg-CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup> del colegio construido en la selva peruana, lo cual es casi el triple. Según el análisis realizado se demuestra que los materiales que definen y tienen gran incidencia en los resultados finales de este factor de impacto ambiental es la producción del acero de refuerzo y la producción de cemento Portland para la mezcla del concreto armado, de forma que el mayor requerimiento de este componente para el armado del casco gris de la estructura se debe a que según BBC Mundo, Corea del Sur es uno de los países más vulnerables a los desastres naturales, mientras que "China, México, India,

Filipinas, Corea del Sur, Indonesia, Turquía, Bangladesh e Irán están fuertemente expuestos a riesgos naturales de gran poder destructivo como terremotos, inundaciones y ciclones tropicales" (BBC Mundo, 2012).

Con respecto a otro punto resaltante en relación con el impacto ambiental, se tiene al Factor de toxicidad cancerígena humana y toxicidad no cancerígena humana, las cuales en promedio son en total 0.86 y  $1.47E^{-06}$  (kg 1,4-DCB/m<sup>2</sup>) respectivamente, las cuales son mucho menores en comparación a 30.3 (kg 1,4-DCB/m<sup>2</sup>) y 528 (kg 1,4-DCB/m<sup>2</sup>) respectivamente, de modo que los materiales del inventario que más contribuyeron fueron el acero de refuerzo, cemento Portland y adoquines de concreto de baja resistencia.

### **6.3 Posibles soluciones para disminuir el impacto ambiental**

Como hemos determinado en el análisis comparativo en colegios internacionales, podemos **mencionar** que el uso óptimo del concreto armado como solución constructiva debe ser estudiada y encontrar materiales de un similar desempeño, ya que la producción de estos materiales es altamente perjudicial.

Vale mencionar que, para la construcción del colegio, se debió transportar gran parte de los materiales desde Lima a Iquitos, lo cual, mediante el uso de combustibles fósiles, que propician el calentamiento global, estos tuvieron grandes efectos para el medio ambiente, debido al gran número de viajes realizados. Así, se recomienda tener una casa de fabricación de estos materiales cerca de la zona de construcción.

Es importante la elección de materiales menos nocivos sobre la naturaleza en cuanto al diseño y construcción de un edificio como este, ya que, debido al gran volumen necesario de cemento, acero de refuerzo y conductores de electricidad, el impacto ambiental se amplifican, de forma que en vez de ser una obra que beneficie a la población de Iquitos, esta se convierta

en un factor que perjudique directamente al ecosistema y que genere posteriormente daños colaterales tanto en la salud como en la economía de la región y del país.

Del resultado de la tabla 6.2.2, se muestra que el mayor valor de unidad funcional de “impacto ambiental por m<sup>2</sup> del centro educativo construido durante toda la etapa de construcción” representa la Ecotoxicidad Terrestre, de la cual el proceso de fabricación de conductores de corriente, de modo que sería mejor poder utilizar materiales menos nocivos para el medioambiente o poder reutilizar los conductores de corriente de otras estructuras sin uso o en demolición para evitar que se fabriquen nuevamente.

Además de pertenecer a una zona sísmica de bajo peligro sísmico, este colegio se encuentra en una zona donde abundan materiales de usos estructurales, por su dureza y versatilidad, como es el caso del bambú, el cual se puede aprovechar y, así, evitar grandes gastos de recursos y posteriores efectos de impactos ambientales, ya que es un cultivo que no demanda de grandes inversiones, no necesita fertilizantes, se mantiene con poca agua y crece en tierras poco fértiles (MINAGRI, 2018). Adicionalmente, estudios de los productos del bambú encuentran que tiene menor costo ecológico que la madera y su rendimiento es mayor con respecto a la mayoría de otras especies de madera (Vogtländer et. Al, 2010). Además de estas ventajas medioambientales, se tiene que los usos de la madera y del bambú tienen un buen desempeño en el secuestro de carbón y recuperación de calor al final de la vida útil (Vogtländer et. Al, 2013).

## CONCLUSIONES

La energía primaria demandada total fue de 39 093 GJ, de la cual la manufactura del cemento Portland Tipo I representó aproximadamente el 28% de este valor. Además de la energía consumida, se tiene que el impacto ambiental relativo al “Calentamiento Global” con 2 588 ton CO<sub>2</sub> eq, donde el cemento contribuyó en un 68%. A pesar de que en la hipótesis se pensó que la energía consumida y el impacto ambiental serían los más eficientes posibles, debido a la existencia de materiales construcción estructurales como es el caso del bambú, el cual es un recurso abundante en la selva y menos contaminante por ser un producto natural, se optó por el uso de concreto armado el cual posee al cemento Portland, el cual es el más usado en estructuras, así también como el más nocivo según observamos en los resultados de la presente investigación.

Debido a las exigencias del cliente en el expediente técnico, de tener un plantel educativo moderno, los acabados y equipos implementados tuvieron que ser transportados desde la ciudad de Lima por medios de transporte que fueron modelados como EURO 3 en la base de datos del Ecoinvent. Además, el agregado grueso es transportado desde la ciudad de Pucallpa. Se concluye que se obtuvo una gran emisión de gases de efecto invernadero, entre ellos, el más resaltante, el CO<sub>2</sub>.

Según la Figura 6.1.1, la cual muestra la distribución de áreas techadas de cada estructura, podemos determinar que el tamaño o dimensión de la estructura no es determinante para poder afirmar que está directamente relacionado con la proporción de cantidad de energía consumida en la etapa de pre-uso, ya que, como podemos observar, en la Figura 6.1.2

Distribución de energía primaria consumida por área techada de cada edificación, los resultados de la relación  $GJ/m^2$  no corresponden directamente al área techada de cada edificación.

Se demuestra que según la metodología CED, la cual cuantifica el consumo de energía primaria consumida, los procesos de mayor demanda de energía fueron debido a la producción del cemento Portland tipo 1 y el acero de refuerzo, los cuales, en conjunto, forman parte del concreto armado, cuyo material predominó en la construcción del colegio. Además, según los resultados de la metodología ReCiPe 2016 midpoint (H), que cuantifican los impactos ambientales, también se tiene al cemento y al acero de refuerzo como principales causantes de la mayoría de los impactos ambientales, pero adicionalmente, se presenta la producción de conductores de corriente.

Según los resultados del ratio de energía consumida sobre área techada de cada edificación, se concluye que no existe una correlación directa entre las dimensiones de la estructura y la energía consumida, debido a que dentro de los criterios de consumo energético existen variables como la ubicación de la edificación, la cual es sensible al transporte usado, a las distancias recorridas para movilizar los materiales, los que están relacionados al gasto de combustible fósiles, acidificación de ecosistemas, eutrofización de hábitats, entre otros. Esto se verifica con los resultados mostrados en la tabla 6.1.2, donde se muestra que a pesar de que el colegio de Iquitos está constituido por una menor área techada que el edificio de oficinas, el colegio posee una mayor ratio de energía consumida y área techada frente al edificio destinado a oficinas.

Como lección aprendida se tiene que, antes de llevar a la realidad o construir el proyecto, se debe pasar por un análisis de ciclo de vida para realizar la debida comparación de impacto ambiental y energía consumida entre materiales primarios elegidos para la conformación del casco estructural o de los acabados de la edificación. En este caso, se debió realizar una

propuesta, en paralelo, de diseño con materiales más eco amigables, como es el caso mencionado del bambú y otros materiales de la zona y así realizar un contraste del desempeño ambiental de la construcción para cada caso y así poder prevenir y mitigar lo óptimo posible el efecto ambiental, ya que, si bien es abundante la flora y fauna en la zona, esta es a la vez muy endeble a cambios climáticos causados por los impactos ambientales.





## BIBLIOGRAFÍA

ASOCEM (2017) Asociación de Productores de Cemento. Estadísticas Nacionales.

Recuperado el 19 de abril del 2021, de <http://www.asocem.org.pe/estadisticas-nacionales/indice>

AQUAE FUNDACIÓN (2022) La acidificación del océano podría causar una extinción

Masiva. Recuperado el 22 de abril del 2022, de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/la-acidificacion-del-océano-podria-causar-una-extincion-masiva/#:~:text=La%20acidificaci%C3%B3n%20de%20los%20oc%C3%A9anos%20es%20la%20disminuci%C3%B3n%20continua%20del,la%20quemado%20de%20combustibles%20f%C3%B3siles.>

Beauperthuy y Urich (2011). EL EFECTO DE COLUMNA CORTA ESTUDIO DE CASOS.

Recuperado el 11 de mayo del 2022. [https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci27\\_e1\\_efecto\\_de\\_columna\\_corta\\_casos\\_de\\_estudios.pdf](https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci27_e1_efecto_de_columna_corta_casos_de_estudios.pdf)

BBC News Mundo (2019). Qué son los gases CFC que destruyen la capa de ozono y que en su

mayoría provienen de China. Recuperado el 9 de junio del 2022, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48390390>

Bishop, Paul L. (2000) Pollution prevention. Fundamentals and practice. McGraw-Hill

Higher Education. International Edition. Recuperado el 2 de Mayo de 2021, de [https://books.google.com.pe/books/about/Pollution\\_Prevention.html?id=Bn8eAQAAIAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Pollution_Prevention.html?id=Bn8eAQAAIAAJ&redir_esc=y)

Cáceres, Ana Lucía (2016) Análisis de Ciclo de Vida comparativo de edificaciones

multifamiliares en Lima. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6682>

Cal Mourinho, Alba (2017) EL CICLO DE VIDA DE LA MADERA EN LA

CONSTRUCCIÓN. ANÁLISIS DE UN CASO PRÁCTICO. <https://es.scribd.com/document/435428513/CalMourinho-Alba-TFG-2017-pdf>

Calle, Vania Vanessa (2019) ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UN EDIFICIO DE

OFICINAS EN LIMA (PERÚ). Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/15894>

Carlos Parodi (2012) “Perú: Crecimiento y Desarrollo”. Gestión. Recuperado de

<https://gestion.pe/blog/economiaparatos/2012/08/peru-crecimiento-y-desarrollo.html/?ref=gesr>

CEPAL, Naciones Unidas (2013) “Huella de carbono e inventario corporativos” Buenos Aire,

y 9 de marzo 2013. Recuperado el 9 de junio del 2022, de [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/seminario\\_hc\\_flacso\\_argentina-presentacion2\\_2013.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/seminario_hc_flacso_argentina-presentacion2_2013.pdf)

Doadrio Villarejo, Antonio L. (2013). Nox y COV y CFC: química de formación y destrucción del ozono atmosférico. España. Recuperado el 10 de junio del 2022, de <http://ebook.ranf.com/ozono/files/assets/basic-html/page42.html>

Ecología Verde (2018) ¿Qué es la eutrofización?. Recuperado el 28 de marzo del 2022, de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-eutrofizacion-34.html>

ENVIRA, Ingenieros asesores (2020) ISO 14040: Principios relacionados con la gestión Ambiental. Recuperado el 9 de mayo de 2021, de <https://envira.es/es/iso-14040-principios-relacionados-gestion-ambiental/>

Emani, Marteinsson y Heinonen (2016) Environmental Impact Assessment of a School Building in Iceland Using LCA-Including the Effect of Long-Distance Transport of Materials. Buildings. Iceland 1 de noviembre del 2016. 6(46), 2-11

Energy and Buildings (2016) Establishing environmental benchmarks to determine the environmental performance of elementary school buildings using LCA. Energy and Buildings. pp. 127, 818–829.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (2021) Tool for the reduction and

assessment of chemical and other environmental impacts (TRACI). Recuperado el 9 de Setiembre de 2021, de <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>

Frank Werner and Roland W. Scholz (2002) Ambiguities in Decision- Oriented Life Cycle Inventories. The Role of Mental Models.pp. 330-337. Recuperado el 20 de abril de 2021, de <https://link-springer-com.ezproxybib.pucp.edu.pe/content/pdf/10.1007%2FBF02978680.pdf>

Garcés N. y Rangel C. (2018). Evaluación del impacto ambiental de la explotación de asfaltita, en la mina Juan Pablo II, de la Esperanza N.S mediante el análisis de ciclo de vida. Tesis de maestría en Calidad y Gestión Ambiental. Florida Blanca, Colombia: Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Industrial. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13064/2018nellygarcesclaudiaraengel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, F y Miranda, V. (2018). EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO. Vol2\_Parte1\_Eje3\_Cap5-177. Recuperado el 11 de junio del 2022, de [http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2\\_Parte1\\_Eje3\\_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf](http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf)

GARCÍA, Samy (2014) Evaluación ambiental durante el ciclo de vida de una vivienda unifamiliar. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5313/GARCIA\\_S](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5313/GARCIA_S)

AMY\_EVALUACION\_AMBIENTAL\_CICLO\_VIDA\_VIVIENDA\_UNIFAMILIA  
R.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gestión Ambiental (2013) Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Facultad de Ingeniería.

Recuperado el 10 de Julio de 2021 de  
[https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf)

GESTIÓN (2019) “Los números que cuenta Minedu para llegar a los 1,000 colegios este año”. Gestión. Lima, 4 de diciembre. Recuperado el 19 de abril de 2021, de <https://gestion.pe/peru/los-numeros-que-cuenta-minedu-para-llegar-a-los-1000-colegios-este-ano-noticia/>.

Huijbregts, M., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendricks, H., Hungerbühler, K., & Jan, H.

(2010). Cumulative Energy Demand As Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production. *Environ. Sci. Technol.* 44, 2189–2196.

Huijbregts, Steinmann, Elshout, Stam, Verones, Viera, Hollander, Zijp y van Zelm. (2016).

ReCiPe 2016. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization. Recuperado el 12 de mayo del 2022, de <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0104.pdf>

ISO 14040 (2006) Gestión ambiental-Análisis de Ciclo de Vida (ACV)- Principios y marco

de referencia (español). Online Browsing Platform (OBP). Recuperado el 11 de Julio de 2021, de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

Jairo Raúl Chacón Vargas (2008) Historia Ampliada y comentada del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N°72. Recuperado el 1 de Mayo de 2021, de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/122/2009/07/Historia-ACV.pdf>

Ji, Hong, Kim, Lee y Jeong (2016) Establishing environmental benchmarks to determine the environmental performance of elementary school buildings using LCA. Energy and Buildings. pp. 818-829

Jungbluth y Frischknecht (2007) Cumulative energy demand. Recuperado el 10 de mayo de 2022, de <https://www.researchgate.net/publication/281199227>

McCaffrey (2002). Climate change and the cement industry. Environmental overview, 25-30

Meza, L., Quintero, M., García, R., Ramírez, J. (2009). Estimación de Factores de Emisión de PM10 y PM2.5, en Vías Urbanas en Mexicali, Baja California, México. Instituto de ingeniería UABC. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/251071630\\_Estimacion\\_de\\_Factores\\_de\\_Emision\\_de\\_PM10\\_y\\_PM25\\_en\\_Vias\\_Urbanas\\_en\\_Mexicali\\_Baja\\_California\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/251071630_Estimacion_de_Factores_de_Emision_de_PM10_y_PM25_en_Vias_Urbanas_en_Mexicali_Baja_California_Mexico)



MINAM (2013) Ley General del Ambiente. Ley N°28611. Recuperado el 2 de mayo de 2021, de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>

MINEM (2021) Balance Nacional de Energía 2019. Recuperado el 2 de mayo de 2021, de [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=633](http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=633)

Milleer and Moore (2018) Climate and health damages from global concrete production. Nature Climate Change.pp. 439-448. Recuperado de <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0733-0>

Ministerio de Educación y formación profesional (2019) Panorama de la educación Indicadores de la OCDE. Recuperado el 19 de abril de 2021, de <https://www.educacionyfp.gob.es/dam/jcr:b8f3deec-3fda-4622-befb-386a4681b299/panorama%20de%20la%20educaci%C3%B3n%202019.pdf>

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico de España (MITECO) (2020). Calidad del aire. Efectos en salud y ecosistema. Recuperado el 10 de junio del 2022, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx>.

PNUMA (2016) Potencial de calentamiento global (PCG) de los refrigerantes: ¿Por qué se usan valores específicos? Recuperado el 20 de marzo del 2022, de [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28246/7789GWPref\\_SP.pdf?](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28246/7789GWPref_SP.pdf?)



optimal policy making strategy to set national electricity mixes? *Applied Energy* 159, 108-116.

Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., & Sánchez, I. (2019). Perú LCA: launching the Peruvian national life cycle database. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24, 2089–2090.

Vázquez-Rowe, I., Ziegler, K., Laso, J., Quispe, I., Aldaco, R., & Kahhat, R. (2019). Production of cement in Peru: Understanding carbon-related environmental impacts and their policy implications. *Resources, Conservation & Recycling* 142, 283-292.

Vázquez-Rowe, I., Cristina Córdova-Arias, Xavier Brioso & Sandra Santa-Cruz (202

1).

A Method to Include Life Cycle Assessment Results in Choosing by Advantage (CBA) Multicriteria Decision Analysis. A Case Study for Seismic Retrofit in Peruvian Primary Schools. *Sustainability*,13,8139, 1-15.

# ANEXOS



# **ENERGÍA CONSUMIDA**



**Tabla 5.1.1 Energía consumida por manufactura de Acero de Refuerzo**

<b>Acero de refuerzo</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	5 480 000
Non renewable, nuclear	304 000
Non renewable, biomass	357
Renewable, biomass	91 500
Renewable, wind, solar, geothermal	35 700
Renewable, water	237 000
<b>Energía (GJ)</b>	<b>6 149</b>

**Tabla 5.1.2 Energía consumida por manufactura de Cemento Portland tipo 1**

<b>Cemento Portland tipo 1</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	8 550 000
Non renewable, nuclear	33 800
Non renewable, biomass	111
Renewable, biomass	51 400
Renewable, wind, solar, geothermal	23 100
Renewable, water	459 000
<b>Energía (GJ)</b>	<b>9 117</b>

**Tabla 5.1.3 Energía consumida por manufactura de Bloque de concreto**

<b>Bloque de concreto</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	118 000
Non renewable, nuclear	6 050
Non renewable, biomass	37.1
Renewable, biomass	5 850
Renewable, wind, solar, geothermal	642
Renewable, water	3 090
<b>Energía (GJ)</b>	<b>133.67</b>



**Tabla 5.1.4 Energía consumida por manufactura de ladrillo para techo aligerado 30 x 30 x 15**

Ladrillo para techo aligerado 30 x 30 x 15	Total (MJ)
Non renewable, fossil	275 000
Non renewable, nuclear	7 640
Non renewable, biomass	8.26
Renewable, biomass	14 600
Renewable, wind, solar, geothermal	915
Renewable, water	4 360
<b>Energía (GJ)</b>	<b>302.52</b>

Resultados para inventario de accesorios y acabados de la obra:

**Tabla 5.1.5 Energía consumida por manufactura de Cerámico blanco**

Cerámico blanco	Total (MJ)
Non renewable, fossil	2 750 000
Non renewable, nuclear	7 640
Non renewable, biomass	8.26
Renewable, biomass	14 600
Renewable, wind, solar, geothermal	915
Renewable, water	4 360
<b>Energía (GJ)</b>	<b>2 778</b>

**Tabla 5.1.6 Energía consumida por manufactura de Cerámico gris 45 x 45**

Cerámico gris 45 x 45	Total (MJ)
Non renewable, fossil	75 100
Non renewable, nuclear	19 300
Non renewable, biomass	5.48
Renewable, biomass	6 630
Renewable, wind, solar, geothermal	925
Renewable, water	11 500
<b>Energía (GJ)</b>	<b>113.46</b>

**Tabla 5.1.7 Energía consumida por manufactura de Cerámico multicolor 30 x 60**

<b>Cerámico multicolor 30 x 60</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	16 400
Non renewable, nuclear	4 220
Non renewable, biomass	1.2
Renewable, biomass	1 450
Renewable, wind, solar, geothermal	202
Renewable, water	2 510
<b>Energía (GJ)</b>	<b>24.78</b>

**Tabla 5.1.8 Energía consumida por manufactura de Porcelanato**

<b>Porcelanato</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	296 000
Non renewable, nuclear	76 000
Non renewable, biomass	21.6
Renewable, biomass	26 100
Renewable, wind, solar, geothermal	3 650
Renewable, water	45 200
<b>Energía (GJ)</b>	<b>446.97</b>

**Tabla 5.1.9 Energía consumida por manufactura de Pinturas**

<b>Pinturas</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	136 000
Non renewable, nuclear	8 770
Non renewable, biomass	5.99
Renewable, biomass	3 350
Renewable, wind, solar, geothermal	989
Renewable, water	4 050
<b>Energía (GJ)</b>	<b>153.16</b>

**Tabla 5.1.10 Energía consumida por manufactura de Bisagras 3 x 3 Pinturas**

<b>Bisagras 3 x 3</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	2 640
Non renewable, nuclear	119
Non renewable, biomass	0.136
Renewable, biomass	61.8
Renewable, wind, solar, geothermal	13.9
Renewable, water	239
<b>Energía (GJ)</b>	<b>3.07</b>

**Tabla 5.1.11 Energía consumida por manufactura de Manija cuadrada**

<b>Manija cuadrada</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	3 040
Non renewable, nuclear	234
Non renewable, biomass	0.281
Renewable, biomass	67.1
Renewable, wind, solar, geothermal	26.8
Renewable, water	211
<b>Energía (GJ)</b>	<b>3.58</b>

**Tabla 5.1.12 Energía consumida por manufactura de Inodoros**

<b>Inodoros</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	14 900
Non renewable, nuclear	3 630
Non renewable, biomass	0.55
Renewable, biomass	663
Renewable, wind, solar, geothermal	144
Renewable, water	2 330
<b>Energía (GJ)</b>	<b>21.67</b>

**Tabla 5.1.13 Energía consumida por manufactura de Lavatorios tipo ovalin**

<b>Lavatorios tipo ovalin</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	6 180
Non renewable, nuclear	1 510
Non renewable, biomass	0.229
Renewable, biomass	276
Renewable, wind, solar, geothermal	60.1
Renewable, water	970
<b>Energía (GJ)</b>	<b>9.00</b>

**Tabla 5.1.14 Energía consumida por manufactura de Puertas de carpintería metálica**

<b>Puertas de carpintería metálica</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	100 000
Non renewable, nuclear	8 150
Non renewable, biomass	53.5
Renewable, biomass	72 200
Renewable, wind, solar, geothermal	753
Renewable, water	6 690
<b>Energía (GJ)</b>	<b>187.85</b>

**Tabla 5.1.15 Energía consumida por manufactura de Puertas de madera contraplacada**

<b>Puertas de madera contraplacada</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	359 000
Non renewable, nuclear	24 900
Non renewable, biomass	822
Renewable, biomass	579 000
Renewable, wind, solar, geothermal	3 030
Renewable, water	12 900
<b>Energía (GJ)</b>	<b>979.65</b>

**Tabla 5.1.16 Energía consumida por manufactura de Urinarios**

<b>Urinarios</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	4 280
Non renewable, nuclear	1 050
Non renewable, biomass	0.159
Renewable, biomass	191
Renewable, wind, solar, geothermal	41.6
Renewable, water	672
<b>Energía (GJ)</b>	<b>6.23</b>

**Tabla 5.1.17 Energía consumida por manufactura de Urinarios Bambi**

<b>Urinarios Bambi</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	1 320
Non renewable, nuclear	322
Non renewable, biomass	0.0488
Renewable, biomass	58.9
Renewable, wind, solar, geothermal	12.8
Renewable, water	207
<b>Energía (GJ)</b>	<b>1.92</b>

**Tabla 5.1.18 Energía consumida por manufactura de Vidrio Templado 10 mm**

<b>Vidrio Templado 10 mm</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	398
Non renewable, nuclear	6.4
Non renewable, biomass	0.00704
Renewable, biomass	6.85
Renewable, wind, solar, geothermal	0.744
Renewable, water	3.96

---

**Energía (GJ)****0.42**

---

**Tabla 5.1.19 Energía consumida por manufactura de Vidrio Templado 6 mm**

<b>Vidrio Templado 6 mm</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	27 200
Non renewable, nuclear	438
Non renewable, biomass	0.482
Renewable, biomass	469
Renewable, wind, solar, geothermal	50.9
Renewable, water	271
<b>Energía (GJ)</b>	<b>28.43</b>

**Tabla 5.1.20 Energía consumida por manufactura de Cerrajería blindada**

<b>Cerrajería blindada</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	179
Non renewable, nuclear	5.62
Non renewable, biomass	0.00893
Renewable, biomass	2.42
Renewable, wind, solar, geothermal	0.696
Renewable, water	4.53
<b>Energía (GJ)</b>	<b>0.19</b>

Resultados instalaciones eléctricas de la obra:

**Tabla 5.1.21 Energía consumida por manufactura de Conductores de corriente**

<b>Conductores de corriente</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	759 000
Non renewable, nuclear	269 000
Non renewable, biomass	764
Renewable, biomass	106 500
Renewable, wind, solar, geothermal	4 340
Renewable, water	69 000
<b>Energía (GJ)</b>	<b>1208.60</b>



**Tabla 5.1.22 Energía consumida por uso de Grupo Electrónico**

<b>Grupo Electrónico</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	8 780 000
Non renewable, nuclear	57 100
Non renewable, biomass	44.3
Renewable, biomass	12 600
Renewable, wind, solar, geothermal	6 210
Renewable, water	28 000
<b>Energía (GJ)</b>	<b>8 884</b>

**Tabla 5.1.23 Energía consumida por uso de Tablero Provisional**

<b>Tablero Provisional</b>	<b>Total (MJ)</b>
Non renewable, fossil	1 260 000
Non renewable, nuclear	82 100
Non renewable, biomass	6.38
Renewable, biomass	1 820
Renewable, wind, solar, geothermal	895
Renewable, water	4 040
<b>Energía (GJ)</b>	<b>1 349</b>

Resultados instalaciones sanitarias de la obra:

**Tabla 5.1.24 Energía consumida por manufactura de Tuberías y accesorios de PVC**

<b>Tuberías y accesorios de PVC</b>	<b>Total (MJ)</b>
-----------------------------------------	-----------------------

Non renewable, fossil	1 230 000	
Non renewable, nuclear	61 200	
Non renewable, biomass	32.1	
Renewable, biomass	13 600	
Renewable, wind, solar, geothermal	5 530	
Renewable, water	23 600	
<b>Energía (GJ)</b>		<b>1 334</b>

Resultados transporte de materiales de la obra:

**Tabla 5.1.25 Energía consumida por Transporte de acero**

<b>Transporte de acero</b>	<b>Total (MJ)</b>	
Non renewable, fossil	2 700	
Non renewable, nuclear	35.3	
Non renewable, biomass	0.073	
Renewable, biomass	9.96	
Renewable, wind, solar, geothermal	3.88	
Renewable, water	16.6	
<b>Energía (GJ)</b>		<b>2.77</b>

**Tabla 5.1.26 Energía consumida por Transporte agregado fino**

<b>Transporte agregado fino</b>	<b>Total (MJ)</b>	
Non renewable, fossil	25 200	
Non renewable, nuclear	329	
Non renewable, biomass	0.681	
Renewable, biomass	92.9	
Renewable, wind, solar, geothermal	36.2	
Renewable, water	155	
<b>Energía (GJ)</b>		<b>25.81</b>

**Tabla 5.1.27 Energía consumida por Transporte agregado grueso**

<b>Transporte agregado grueso</b>	<b>Total (MJ)</b>
-----------------------------------	-------------------

Non renewable, fossil	5 390 000	
Non renewable, nuclear	70 300	
Non renewable, biomass	145	
Renewable, biomass	19 800	
Renewable, wind, solar, geothermal	7 730	
Renewable, water	33 100	
<b>Energía (GJ)</b>		<b>5 521</b>

**Tabla 5.1.28 Energía consumida por Transporte tuberías de PVC**

<b>Transporte de tuberías de PVC</b>	<b>Total (MJ)</b>	
Non renewable, fossil	301 000	
Non renewable, nuclear	3 930	
Non renewable, biomass	8.12	
Renewable, biomass	1 110	
Renewable, wind, solar, geothermal	432	
Renewable, water	1 850	
<b>Energía (GJ)</b>		<b>308.33</b>



**IMPACTO  
AMBIENTAL**

---

Resultados para inventario de casco gris de la obra:

**Tabla 5.2.1 Impacto ambiental por manufactura de Acero de refuerzo**

<b>Acero de refuerzo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	642 000
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.153
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	16 800
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	1 450
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1 150
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	1 530
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1 760
Freshwater eutrophication	kg P eq	286
Marine eutrophication	kg N eq	31.5
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2 760 000
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	56 100
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	72 500
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	229 000
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	852 000
Land use	m <sup>2</sup> a crop eq	125 000
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	24 200
Fossil resource scarcity	kg oil eq	119 000
Water consumption	m <sup>3</sup>	6 210

**Tabla 5.2.2 Impacto ambiental por manufactura de Bloques de concreto**

<b>Bloques de concreto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	15 700
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.00363
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	348
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	45.5
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	17.8
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	46.2

Terrestrial acidification	kg SO2 eq	39
Freshwater eutrophication	kg P eq	3.14
Marine eutrophication	kg N eq	0.337
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	72 300
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	690
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	913
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	704
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	13 100
Land use	m2a crop eq	3 900
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	177
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2 570
Water consumption	m3	141

**Tabla 5.2.3 Impacto ambiental por manufactura de cemento**

<b>Cemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	1 760 000
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.132
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	2 030
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	3 190
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1 000
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	3 220
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2 540
Freshwater eutrophication	kg P eq	258
Marine eutrophication	kg N eq	16.5
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1 410 000
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	17 800
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	23 900
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	20 100
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	477 000
Land use	m2a crop eq	223 000
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	8 790
Fossil resource scarcity	kg oil eq	187 000
Water consumption	m3	18 100

**Tabla 5.2.4 Impacto ambiental por manufactura de Juntas sísmicas de Tecnopor**

<b>Juntas sísmicas de tecnopor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	2 790
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.0000545
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0.376
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	4.37
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	2.13
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	4.8
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	6.59
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.0854



Marine eutrophication	kg N eq	0.0219
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1 100
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	14.5
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	19.9
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	53.2
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	340
Land use	m <sup>2</sup> a crop eq	2.05
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.427
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1 400
Water consumption	m <sup>3</sup>	48.4

**Tabla 5.2.5 Impacto ambiental por manufactura de Ladrillo 30 x 30 x 15**

<b>Ladrillo 30 x 30 x 15</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO <sub>2</sub> eq	28 300
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.00457
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	428
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	60.4
Fine particulate matter formation	kg PM <sub>2.5</sub> eq	26
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	62.5
Terrestrial acidification	kg SO <sub>2</sub> eq	57.4
Freshwater eutrophication	kg P eq	3.5
Marine eutrophication	kg N eq	0.287
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	44 600
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	723
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	938
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	826
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	12 500
Land use	m <sup>2</sup> a crop eq	2 200
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1 650
Fossil resource scarcity	kg oil eq	5 910
Water consumption	m <sup>3</sup>	54.6

Resultados para inventario de accesorios y acabados de la obra:

**Tabla 5.2.6 Impacto ambiental por manufactura de Bisagras 3 x 3**

<b>Bisagras 3 x 3</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO <sub>2</sub> eq	332
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.0000854
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	6.59
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	0.793

Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	0.756
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	0.83
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.212
Marine eutrophication	kg N eq	0.0163
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2890
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	88.6
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	112
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	115
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	985
Land use	m2a crop eq	101
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	19.6
Fossil resource scarcity	kg oil eq	57.3
Water consumption	m3	2.12

**Tabla 5.2.7 Impacto ambiental por manufactura de Cerámico blanco 30 x 60**

<b>Cerámico blanco 30 x 60</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	5320
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.00371
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	957
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	13.3
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	114
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	13.6
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	34.1
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.26
Marine eutrophication	kg N eq	0.226
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	55200
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1000
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1310
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	381
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	21100
Land use	m2a crop eq	1760
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	718
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1510
Water consumption	m3	106

**Tabla 5.2.8 Impacto ambiental por manufactura de Cerámico gris 45 x 45**

<b>Cerámico gris 45 x 45</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	5780
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.00403
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	1040
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	14.5
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	124
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	14.8

Terrestrial acidification	kg SO2 eq	37.1
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.45
Marine eutrophication	kg N eq	0.246
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	59900
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1090
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1420
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	414
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	22900
Land use	m2a crop eq	1920
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	780
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1640
Water consumption	m3	116

**Tabla 5.2.9 Impacto ambiental por manufactura de Cerámico multicolor 30 x 60**

<b>Cerámico multicolor 30 x 60</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	1260
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000883
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	227
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	3.17
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	27.1
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	3.24
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	8.12
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.536
Marine eutrophication	kg N eq	0.0538
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	13100
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	238
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	310
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	90.6
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	5020
Land use	m2a crop eq	419
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	171
Fossil resource scarcity	kg oil eq	360
Water consumption	m3	25.3

**Tabla 5.2.10 Impacto ambiental por manufactura de Cerrajería de manija cuadrada**

<b>Cerrajería de manija cuadrada</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	322
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.0000974
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	12.8
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	0.793
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0.694
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	0.833

Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.997
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.188
Marine eutrophication	kg N eq	0.0188
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2650
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	67.1
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	85.6
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	224
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	836
Land use	m2a crop eq	85.6
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	13.8
Fossil resource scarcity	kg oil eq	66.1
Water consumption	m3	3.38

**Tabla 5.2.11 Impacto ambiental por manufactura de Inodoros**

<b>Inodoros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	1050
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000951
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	195
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	1.84
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	9.91
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	1.89
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2.28
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.229
Marine eutrophication	kg N eq	0.0199
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4010
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	81.5
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	106
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	29.2
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1320
Land use	m2a crop eq	166
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	11.5
Fossil resource scarcity	kg oil eq	325
Water consumption	m3	14.8

**Tabla 5.2.12 Impacto ambiental por manufactura Lavatorios tipo ovalin**

<b>Lavatorios tipo ovalin</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	437
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000396
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	81.3

Ozono formation, Human health	kg Nox eq	0.766
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	4.12
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	0.785
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.95
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.0952
Marine eutrophication	kg N eq	0.00826
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1670
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	33.9
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	43.9
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	12.2
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	548
Land use	m2a crop eq	69
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	4.79
Fossil resource scarcity	kg oil eq	135
Water consumption	m3	6.14

**Tabla 5.2.13 Impacto ambiental por manufactura Pinturas para aulas, oficinas y campo deportivo**

<b>Pinturas para aulas, oficinas y campo deportivo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	9270
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.00342
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	444
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	23.5
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	19.4
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	24.1
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	44.7
Freshwater eutrophication	kg P eq	3.59
Marine eutrophication	kg N eq	0.379
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	33300
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	662
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	866
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	380
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	13300
Land use	m2a crop eq	1390
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	770
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2970
Water consumption	m3	138

**Tabla 5.2.14 Impacto ambiental por manufactura de Porcelanato**

<b>Porcelanato</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	22800
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.0159



Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	4100
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	57.2
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	489
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	58.4
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	146
Freshwater eutrophication	kg P eq	9.66
Marine eutrophication	kg N eq	0.97
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	236000
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4290
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5590
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1630
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	90400
Land use	m2a crop eq	7550
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	3070
Fossil resource scarcity	kg oil eq	6480
Water consumption	m3	455

**Tabla 5.2.15 Impacto ambiental por manufactura de Puerta de carpintería metálica**

<b>Puerta de carpintería metálica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	9630
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.00332
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	441
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	26.3
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	20
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	27
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	52.8
Freshwater eutrophication	kg P eq	3.64
Marine eutrophication	kg N eq	0.396
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	43700
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	845
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1140
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2040
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	24200
Land use	m2a crop eq	6730
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	935
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2180
Water consumption	m3	90.7

**Tabla 5.2.16 Impacto ambiental por manufactura de Puerta de madera contraplacada**

<b>Puerta de madera contraplacada</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	29700
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.0131



Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	1330
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	87
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	69.3
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	90.3
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	134
Freshwater eutrophication	kg P eq	10.2
Marine eutrophication	kg N eq	1.63
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	83900
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1190
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1590
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1670
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	32100
Land use	m2a crop eq	34300
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	613
Fossil resource scarcity	kg oil eq	7820
Water consumption	m3	276

**Tabla 5.2.17 Impacto ambiental por manufactura de Urinario**

<b>Urinario</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	303
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000274
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	56.3
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	0.53
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	2.86
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	0.544
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.658
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.066
Marine eutrophication	kg N eq	0.00572
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1160
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	23.5
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	30.4
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	8.43
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	379
Land use	m2a crop eq	47.8
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	3.32
Fossil resource scarcity	kg oil eq	93.8
Water consumption	m3	4.26

**Tabla 5.2.18 Impacto ambiental por manufactura de Urinario Bambi**

<b>Urinario Bambi</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	93.3
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.0000844
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	17.3
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	0.163

Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	0.88
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	0.168
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.203
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.0203
Marine eutrophication	kg N eq	0.00176
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	356
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	7.23
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	9.37
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2.6
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	117
Land use	m2a crop eq	14.7
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1.02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	28.9
Water consumption	m3	1.31

**Tabla 5.2.19 Impacto ambiental por manufactura de Vidrio templado 10mm**

Vidrio templado 10mm	Unidad	Total
Global Warming	kg CO2 eq	31.8
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.00000775
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0.39
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	0.106
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	0.0596
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	0.108
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.173
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.00303
Marine eutrophication	kg N eq	0.000354
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	30.7
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.814
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1.07
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.385
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	16
Land use	m2a crop eq	2.57
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.23
Fossil resource scarcity	kg oil eq	8.71
Water consumption	m3	0.137

**Tabla 5.2.20 Impacto ambiental por manufactura de Vidrio templado 6mm**

Vidrio templado 6mm	Unidad	Total
Global Warming	kg CO2 eq	2170
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000531
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	26.7

Ozono formation, Human health	kg Nox eq	7.27
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	4.08
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	7.36
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	11.8
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.207
Marine eutrophication	kg N eq	0.0242
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4150
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	55.7
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	72.9
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	26.3
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1100
Land use	m2a crop eq	176
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	15.8
Fossil resource scarcity	kg oil eq	596
Water consumption	m3	9.39

Resultados instalaciones eléctricas de la obra:

**Tabla 5.2.21 Impacto ambiental por manufactura de Conductores de corriente**

<b>Conductores de corriente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	50 200
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.106
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	13 800
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	390
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	759
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	399
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2 160
Freshwater eutrophication	kg P eq	327
Marine eutrophication	kg N eq	11.4
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	15 100 000
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	276 000
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	349 000
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	17 200
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3 380 000
Land use	m2a crop eq	292 000
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	5 600
Fossil resource scarcity	kg oil eq	16 600
Water consumption	m3	1 170

**Tabla 5.2.22 Impacto ambiental por manufactura de Cerradura blindada**

<b>Cerradura blindada</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	0.00303
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.0000742

Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0.000657
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	0.00239
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	0.00151
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	0.00294
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.00147
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.0141
Marine eutrophication	kg N eq	0.000243
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.0484
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.461
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.744
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1.28
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.103
Land use	m2a crop eq	0.000634
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.00000775
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0.00396
Water consumption	m3	0.000575

**Tabla 5.2.23 Impacto ambiental por uso de Grupo Electrónico**

<b>Grupo Electrónico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	76.5
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	6
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	14.6
Ozono formation, Human health	kg Nox eq	192
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 ep	31.8
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	226
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	49.1
Freshwater eutrophication	kg P eq	32.1
Marine eutrophication	kg N eq	0.416
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	712
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3 280
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5 550
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	4 600
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	564
Land use	m2a crop eq	2.02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.00817
Fossil resource scarcity	kg oil eq	195
Water consumption	m3	1.77

**Tabla 5.2.24 Impacto ambiental por uso de Tablero provisional**

<b>Tablero provisional</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	11
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.864
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	2.1
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	22
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	4.12
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	25.9
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	3.06
Freshwater eutrophication	kg P eq	4.63
Marine eutrophication	kg N eq	0.06
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	103
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	472
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	799
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	653
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	80.4
Land use	m2a crop eq	0.291
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.00118
Fossil resource scarcity	kg oil eq	28.2
Water consumption	m3	0.255

Resultados instalaciones sanitarias de la obra:

**Tabla 5.2.25 Impacto ambiental por manufactura Tuberías y accesorios de PVC**

<b>Tuberías y accesorios de PVC</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	7.23
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.757
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	5.06
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	5.67
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	3.46
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	6.81
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	4.4
Freshwater eutrophication	kg P eq	27.9
Marine eutrophication	kg N eq	0.541
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	204
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3030
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4 640
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	780
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	427
Land use	m2a crop eq	1.2
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.00211
Fossil resource scarcity	kg oil eq	27.4
Water consumption	m3	2.89

Resultados transporte de materiales de la obra:



**Tabla 5.2.26 Impacto ambiental por Transporte de acero**

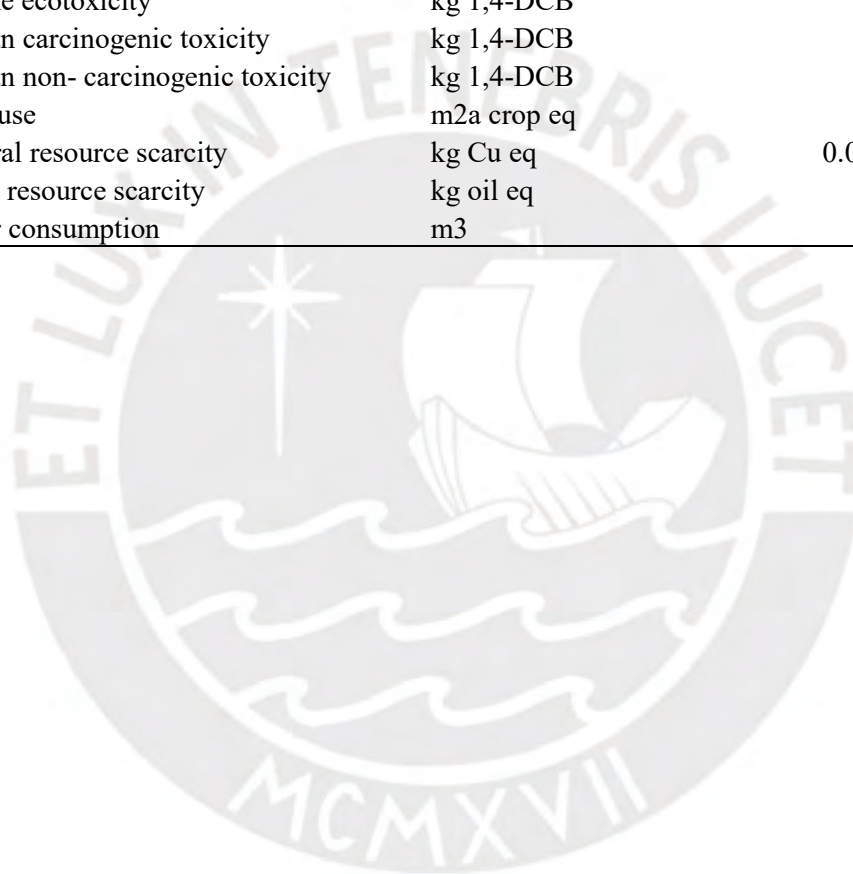
<b>Transporte de acero</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	0.0218
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.00107
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0.00626
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	0.0575
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0.01111
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	0.0677
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.0162
Freshwater eutrophication	kg P eq	0.0222
Marine eutrophication	kg N eq	0.000284
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2.87
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.19
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6.52
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1.43
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.887
Land use	m2a crop eq	0.00311
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.00000507
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0.0602
Water consumption	m3	0.00114

<b>Transporte de ag Pucallpa</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	43.4
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2.13
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	12.5
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	115
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	22
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	135
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	32.3
Freshwater eutrophication	kg P eq	44.1
Marine eutrophication	kg N eq	0.565
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5 720
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6 350
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	13 000
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2 850
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1 770
Land use	m2a crop eq	6.2
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.0101
Fossil resource scarcity	kg oil eq	120
Water consumption	m3	2.27

**Tabla 5.2.27 Impacto ambiental por Transporte de ag Pucallpa****Tabla 5.2.28 Impacto ambiental por Transporte de tuberías de PVC**



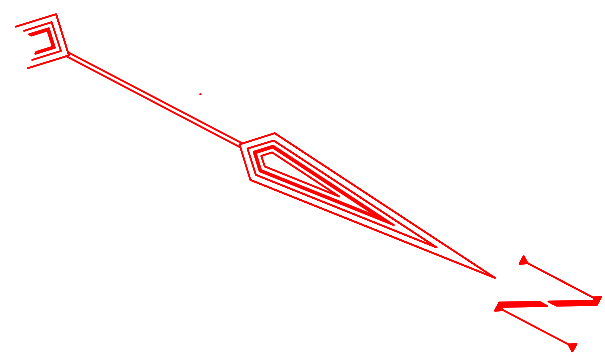
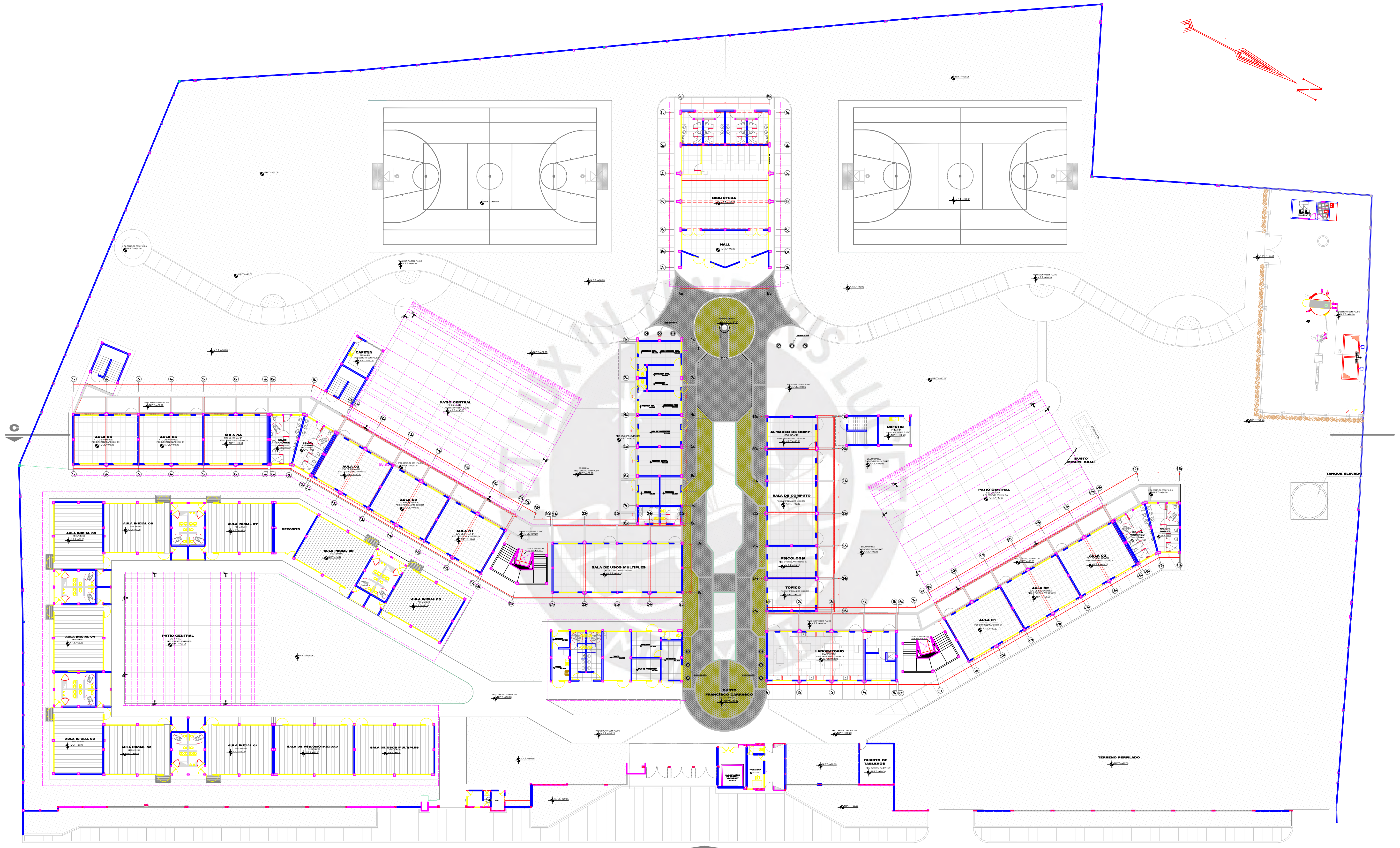
<b>Transporte de tuberías de PVC</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Global Warming	kg CO2 eq	2.42
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0.119
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0.697
Ozone formation, Human health	kg Nox eq	6.4
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1.23
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg Nox eq	7.53
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.8
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.47
Marine eutrophication	kg N eq	0.0316
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	319
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	355
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	725
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	159
Human non- carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	98.7
Land use	m2a crop eq	0.347
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.000564
Fossil resource scarcity	kg oil eq	6.7
Water consumption	m3	0.127






# **PLANO GENERAL**





**PLANTA GENERAL**  
 ESC: 1/250

PRIMARIA Y SECUNDARIA ESTACIONAMIENTO TERRENO PERILADO ESTACIONAMIENTO

<b>GOBIERNO REGIONAL DE LORETO</b>		"MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO EDUCATIVO DEL NIVEL INICIAL, PRIMARIA Y SECUNDARIA DEL LICEO NAVAL CAPITAN DE NAVIO FRANCISCO CARRASCO DEL DISTRITO DE PUNCHANA, PROVINCIA DE MAYNAS, REGION LORETO"		 <b>GOBIERNO REGIONAL LORETO</b>
EQUIPO CONSULTOR		PLANO POST-CONSTRUCCION		
JEFE DE PROYECTO: WLADIMIR YUCH ROJAS PALMADO (CIP-40895) DISEÑO ARQUITECTONICO: MANUEL JULIO DAMIAN CUBAS (CIP-10774) DISEÑO ESTRUCTURAL: CESAR WILLIAM DAMIAN SUGLUPE (CIP-117093) INSTALACIONES ELECTRICAS: MANUEL PASCUAL GARCIA DAMIAN (CIP-76732) INSTALACIONES SANITARIAS: CARMEN TERESA MEZA CAMACHO (CIP-23595) METRADOS, COSTOS Y PPTOS.: LUIS CESAR VINATA CRESPO (CIP-56621)		ESPECIALIDAD: <b>ARQUITECTURA</b>		<b>AG-01</b>
DISEÑO ARQUITECTONICO: MANUEL JULIO DAMIAN CUBAS (CIP-10774) DISEÑO ESTRUCTURAL: CESAR WILLIAM DAMIAN SUGLUPE (CIP-117093) INSTALACIONES ELECTRICAS: MANUEL PASCUAL GARCIA DAMIAN (CIP-76732) INSTALACIONES SANITARIAS: CARMEN TERESA MEZA CAMACHO (CIP-23595) METRADOS, COSTOS Y PPTOS.: LUIS CESAR VINATA CRESPO (CIP-56621)		DISTRIBUCION GENERAL 1ER NIVEL D.G.P.V. ESCALA: INDICADA FECHA: NOVIEMBRE-2021		