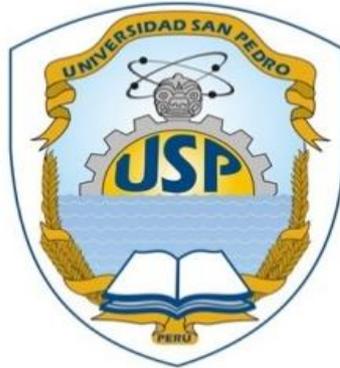


UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



Evaluación del nivel de sostenibilidad en el ciclo de vida
de dos edificaciones multifamiliares, Lima – 2017

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Salazar Moreno, Ingrid Jackelyn

Asesor:

Castañeda Gamboa, Rogelio Fermín

Huaraz– Perú

2018

ÍNDICE

Contenido	
Título	i
Palabras Claves – Key Words – Línea de investigación	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
I. Introducción	1
II. Metodología	17
III. Resultados	28
IV. Análisis y discusión	56
V. Conclusiones	60
VI. Recomendaciones	62
VII. Agradecimiento	63
VIII. Referencia bibliográfica	64
IX. Anexos y apéndices	66

Lista de tablas

Tabla 1: Áreas de los niveles del M01	18
Tabla 2: Áreas de los niveles del M02.....	19
Tabla 3: Consumo de energía primaria durante, el ciclo de vida del M01	28
Tabla 4: Consumo de energía primaria en relación al tipo de estructura del M01	29
Tabla 5: Consumo de combustibles fósiles durante, el ciclo de vida del M01.....	30
Tabla 6: Consumo de combustibles fósiles en relación al tipo de estructura del M01.	30
Tabla 7: Potencial de calentamiento global durante, el ciclo de vida del M01.	31
Tabla 8: Potencial de calentamiento global en relación al tipo de estructura del M01	32
Tabla 9: Potencial de acidificación durante, el ciclo de vida del M01	32
Tabla 10: Potencial de acidificación en relación al tipo de estructura del M01	33
Tabla 11: Criterios de salud humana durante, el ciclo de vida del M01.....	33
Tabla 12: Criterios de salud humana en relación al tipo de estructura del M01.....	34
Tabla 13: Potencial de eutrofización durante, el ciclo de vida del M01	35
Tabla 14: Potencial de eutrofización en relación al tipo de estructura del M01.....	35
Tabla 15: Potencial de formación de Smog durante, el ciclo de vida del M01	36
Tabla 16: Potencial de formación de smog en relación al tipo de estructura del M01	37
Tabla 17: Energía no renovable durante, el ciclo de vida del M01	37
Tabla 18: Energía no renovable en relación al tipo de estructura del M01	38
Tabla 19: Potencial de agotamiento de ozono durante, el ciclo de vida del M01.....	38
Tabla 20: Potencial de agotamiento de ozono en relación al tipo de estructura del M01	39
Tabla 21: Resumen General de Indicadores Ambientales durante el CV del M01 ...	40
Tabla 22: Consumo total de energía primaria durante, el ciclo de vida del M02.....	42
Tabla 23: Consumo total de energía primaria en relación al tipo de estructura del M02	43
Tabla 24: Consumo de combustibles fósiles durante, el ciclo de vida del M02.....	44

Tabla 25: Consumo de combustibles fósiles en relación al tipo de estructura del M02	44
Tabla 26: Potencial de calentamiento global durante, el ciclo de vida del M02	45
Tabla 27: Potencial de calentamiento global en relación al tipo de estructura del M02	45
Tabla 28: Potencial de acidificación durante, el ciclo de vida del M02	46
Tabla 29: Potencial de acidificación en relación al tipo de estructura del M02	47
Tabla 30: Criterios de salud humana durante, el ciclo de vida del M02.....	47
Tabla 31: Criterios de salud humana en relación al tipo de estructura del M02.....	48
Tabla 32: Potencial de eutrofización durante, el ciclo de vida del M02.....	48
Tabla 33: Potencial de eutrofización en relación al tipo de estructura del M02.....	49
Tabla 34: Potencial de formación de smog durante, el ciclo de vida del M02	50
Tabla 35: Potencial de formación de Smog en relación al tipo de estructura del M02	50
Tabla 36: Energía no renovable durante, el ciclo de vida del M02	51
Tabla 37: Energía no renovable en relación al tipo de estructura del M02	52
Tabla 38: Potencial de agotamiento de ozono durante, el ciclo de vida del M02.....	52
Tabla 39: Potencial de agotamiento de Ozono en relación al tipo de estructura del M02	53
Tabla 40: Resumen General de Indicadores Ambientales durante el CV del Modelo 02	54
Lista de esquemas	
Esquema 1: Pilares de la sostenibilidad.....	4
Esquema 2: Proceso del análisis del ciclo de vida.....	6
Esquema 3: Fases del ACV.	7
Esquema 4: Herramientas para la obtención de la certificación LEED.....	14
Esquema 5: Proceso de sistematización general del software	21
Esquema 6: Porcentaje de la matriz energética en Perú 2009	22

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Primer Proceso: Registro de la información general	22
Ilustración 2: Uso operativo anual de cada edificación.	23
Ilustración 3 Segundo Proceso: Descripción arquitectónica, y Estructural	23
Ilustración 4: Modelamiento de vigas y columnas.	24
Ilustración 5: Descripción de cálculo V&C	24
Ilustración 6: Modelamiento de pisos y/o aligerado	25
Ilustración 7: Descripción del cálculo de pisos y/o aligerado.....	25
Ilustración 8: Modelamiento de zapatas.	26
Ilustración 9 Segundo Proceso: Descripción de Muros y Pisos.....	26
Ilustración 10: Tercer y cuarto proceso: Reporte o ficha técnica	27

Lista de gráficos

Grafico 1: Consumo de energía primaria según, el ciclo de vida del M01.....	29
Grafico 2 Consumo de combustibles fósiles según, el ciclo de vida del M01.....	30
Grafico 3: Potencial de calentamiento global según, el ciclo de vida del M01	31
Grafico 4: Potencial de acidificación según el ciclo de vida del M01	32
Grafico 5: Criterios de salud humana según, el Ciclo de vida del M01	34
Grafico 6: Potencial de eutrofización según, el Ciclo de vida del M01	35
Grafico 7: Potencial de formación de Smog según, el Ciclo de vida del M01	36
Grafico 8: Energía no renovable según, el ciclo de vida del M01	37
Grafico 9: Potencial de agotamiento de ozono, el ciclo de vida del M01	39
Grafico 10: Resumen General de indicadores Ambientales según el ciclo de vida del M01	41
Grafico 11: Consumo total de energía primaria según, el ciclo de vida del M02.....	42
Grafico 12: Consumo de combustibles fósiles según, el ciclo de vida del M02	44
Grafico 13: Potencial de calentamiento global según, el ciclo de vida del M02	45
Grafico 14: Potencial de acidificación según, el ciclo de vida del M02.....	46
Grafico 15: Criterios de salud humana según, el ciclo de vida del M02	47
Grafico 16: Potencial de eutrofización según, el ciclo de vida del M02	49
Grafico 17: Potencial de formación de Smog según, el ciclo de vida del M02.....	50
Grafico 18: Energía no renovable según, el ciclo de vida del M02.....	51

Grafico 19: Potencial de agotamiento de ozono según, el ciclo de vida del M02	53
Grafico 20: Resumen General de Indicadores Ambientales según ciclo de vida del Modelo 02.	55
Grafico 21: Porcentaje de generación de cargas ambientales durante el CV de M01 y M02.....	56
Grafico 22: Resumen comparativo general del ciclo de vida de M01 y M02 en relación a los indicadores Ambientales.	59

**EVALUACION DEL NIVEL DE SOSTENIBILIDAD
EN EL CICLO DE VIDA DE DOS EDIFICACIONES
MULTIFAMILIARES, LIMA – 2017**

PALABRAS CLAVE

Tema	Planificación Urbana
Especialidad	Tecnologías de la construcción

KEY WORDS:

Theme	Urban planning
Specialty	Construction technologies

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Código	Línea
1.0.	Ingeniería
2.0.	Ingeniería y Tecnología
2.1.	Ingeniería Civil

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito impulsar el concepto de ingeniería sostenible en la industria de la construcción, que sirva como base de información para la correcta implementación de políticas públicas, y buenas prácticas en el uso eficiente de materiales y elaboración del diseño constructivo.

Es una investigación aplicada y descriptiva, con un enfoque cuantitativo y de diseño no experimental y transversal. Planteando como objetivo determinar el nivel de sostenibilidad de dos edificaciones ubicadas en la ciudad de Lima.

El estudio utiliza la metodología de Análisis del Ciclo de Vida, para estimar los impactos sociales, ambientales y económicos producidos durante todas sus etapas, desde la manufactura de materiales y procesos constructivos; mantenimiento y energía operacional hasta el fin de vida útil mediante los siguientes indicadores ambientales: Consumo total de energía primaria, consumo de combustibles fósiles, potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, criterios de salud humana Air-mobile, potencial de eutrofización, potencial de formación de smog, energía no renovable, y potencial de agotamiento de ozono. Tomando en cuenta para esta práctica los antecedentes de investigación enfocadas al desarrollo y uso de herramientas de gestión ambiental, mediante la aplicación del software Athena Impact Estimator for Buildings.

Por último, de acuerdo con los resultados obtenidos en el cálculo de cargas ambientales de cada etapa del ciclo de vida de las viviendas multifamiliares, se reflejan distintos escenarios, por un lado, el M01 tiene mayor relevancia en la etapa de pre-uso, mientras que, en el M02 existe una brecha mínima entre el pre-uso y uso. Sin embargo, en la etapa final coinciden en un porcentaje no mayor a 5%.

Abstract

The purpose of the research was to promote the concept of sustainable engineering in the construction industry, which serves as a base of information for the correct implementation of public policies, and good practices in the efficient use of materials and construction design.

It is an applied and descriptive research, with a quantitative and non-experimental and transversal design approach. Setting as objective to determine the level of sustainability of two buildings located in the city of Lima.

The study uses the methodology of Life Cycle Analysis, to estimate the social, environmental and economic impacts produced during all its stages, from the manufacture of materials and construction processes; Maintenance and operational energy up to the end of useful life through the following environmental indicators: Total consumption of primary energy, consumption of fossil fuels, global warming potential, acidification potential, criteria of human health Air-mobile, potential of eutrophication, potential of smog formation, non-renewable energy, and ozone depletion potential. Taking into account for this practice the research background focused on the development and use of environmental management tools, through the application of Athena Impact Estimator for Buildings software.

Finally, according to the results obtained in the calculation of environmental loads of each stage of the life cycle of multi-family dwellings, different scenarios are reflected, on the one hand, the M01 has greater relevance in the pre-use stage, while that, in the M02 there is a minimum gap between pre-use and use. However, in the final stage they coincide in a percentage no greater than 5%.

I. INTRODUCCIÓN

De los antecedentes encontrados se ha abordado algunos trabajos relevantes a esta investigación, como el de Cáceres k. (2016) donde se realizó la evaluación de Análisis del ciclo de vida de la planta de tratamiento Chen Chen, ubicada en la ciudad de Moquegua con el fin de comparar el sistema tradicional frente al mismo sistema con la influencia del uso de técnicas de mejora para la reducción de pérdidas de agua. La metodología se desarrolló mediante herramientas cualitativas (entrevistas) buscando conocer la perspectiva de los usuarios de la calidad del servicio de agua potable, y cuantitativa en la etapa constructiva y operativa de la empresa. Asimismo, para la evaluación de impacto ambiental se utilizó la herramienta Análisis del Ciclo de Vida (ACV o LCA). Como resultados se evidenció que la fase de operación es la que presenta mayores cargas ambientales. Además que dicha reducción (en pérdida de agua) afecta significativamente y positivamente a la disminución de cargas ambientales.

Asimismo, en la investigación de García, S. (2014) se sostiene que, debido a la falta de preocupación y poca sensibilización e información, sobre temas que conciernen a los impactos producidos en el sector construcción, por el incremento de edificaciones promovidos por el crecimiento de población y la necesidad que existe en poseer una vivienda en la ciudad de Lima y a nivel nacional, es necesario impulsar la utilización de herramientas de gestión ambiental como el Análisis del Ciclo de Vida, que tiene como indicadores el consumo de energía primaria, emisiones o desechos al suelo, uso de recursos entre otros. El Resultado del estudio refleja relevancia en dos etapas: uso y pre- uso del ciclo de vida de la vivienda unifamiliar, siendo el consumo de energía primaria de 3, 432GJ y 4, 480GJ respectivamente. Asimismo los indicadores analizados presentan mayor impacto.

Por otro lado, en el estudio de Montoya E. (2014) afirma que, debido a la economía y a los requerimientos de la sociedad, las actividades constructivas y sus procesos son los consumidores más grandes de materiales y energía y contaminadores significativos a una escala global. Es necesario investigar, entender y reducir los impactos negativos

que conlleva. La metodología utilizada comprende primero la selección del proyecto de edificación: el Centro Comercial San Borja Plaza, dirigido por Proyecta Ingenieros Civiles S.A.C., así como la observación periódica del proceso constructivo del mismo, además de encuestas no probabilísticas y entrevistas a profesionales y ciudadanos relacionados al proyecto, para finalmente desarrollar la propuesta de prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones. Los resultados demostraron, que las dimensiones ambientales y sociales no son consideradas para la toma de decisiones. Por otro lado, se percibió la ausencia del concepto de ciclo de vida y la importancia de la cadena inversa de suministros.

También se revisó la investigación de Valdez, E. (2011) que tiene como base la preocupación de la problemática de impacto ambiental en la construcción de viviendas en el Estado de México. Se desarrolló la investigación con el objetivo de analizar y evaluar el diseño, comportamiento y durabilidad de la estructura de viviendas de interés social. Para ello se procedió a seleccionar cuatro tipologías más representativas, para luego plantear un prototipo de vivienda. Se calculó la vida útil de cada una de ellas con el objeto de identificar y comparar los beneficios. Utilizando como instrumento metodológico al ACV en la que se cuantifican las emisiones producidas durante su ciclo de vida, además de identificar la tipología que presente mayor durabilidad y costos reducidos.

Mientras que, en el estudio de Vega, R. (2015) el objetivo fue comparar los diferentes sistemas de construcción industrializados de fachadas en edificios de vivienda colectiva en España bajo el punto de vista de su sostenibilidad. Referido a la conservación de energía y los recursos naturales, su reutilización y la gestión durante el ciclo de vida de los materiales y componentes. Asimismo desarrollar herramientas que permitan guiar a los diferentes agentes en el diseño con las mejores prácticas y evaluación de sostenibilidad de manera objetiva. La metodología utilizada incluye normativas internacionales ISO TC59/SC 17 and CEN TC 350, así como también otros sistemas aplicables a edificios: LEED, BREEAM, VERDE, entre otros. Basada en la evaluación de criterios de sostenibilidad (ambiental, social y económica) en el ciclo de vida. El resultado de estudio arroja que los materiales más industrializados obtienen

valores por encima de la media, sin embargo no significa que tenga relación directamente proporcional con la sostenibilidad. Por otro lado, la comparación de fachadas ha permitido detectar tres lineamientos: La reducción de empleo de recursos naturales, el uso de materiales y procesos de menor impacto ambiental y finalmente la disposición de información técnica ambiental.

Del mismo modo, la investigación de Alvarado Z., Juárez J., Vidal F. y Zarate A. (2016) identificó el uso de criterios de construcción sostenible y su valoración, para el desarrollo de proyectos de vivienda en Lima Metropolitana. El instrumento usado para este fin fue un cuestionario basado en el sistema Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) v4, desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC). La población estuvo compuesta por 14 empresas inmobiliarias dedicadas al desarrollo y construcción de proyectos de viviendas en Lima Metropolitana, adscritas a la Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios (ADI). Los resultados de la investigación mostraron que el uso de criterios de construcción sostenible se concentra en aplicar estrategias de sostenibilidad vinculadas a: (a) uso eficiente de agua, (b) uso eficiente de energía, y (c) sitios sustentables. Entre las principales barreras que frenan la construcción sostenible: (a) sobrecostos de inversión; (b) falta de programas de construcción sostenible que promuevan incentivos fiscales, tributarios y financiamiento para atraer nuevas inversiones; y (c) desconocimiento sobre los beneficios de la construcción sostenible.

De la bibliografía consultada se pudo revisar diversas definiciones que serán útiles para el desarrollo de la investigación, tales como:

La sostenibilidad que, entre las diversas definiciones, desde la perspectiva de la prosperidad humana, el Informe de Brundtland de 1987, define desarrollo sostenible como la “capacidad de satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987). Por lo tanto, se refiere al equilibrio entre una especie con los recursos de su entorno. Para que exista un desarrollo sostenible, el desempeño de los pilares de sostenibilidad debe ser mutuamente inclusivo: ambiental, social y económico. La ejecución de los tres pilares es el llamado triple resultado. Al profundizar en su

concepto, la sostenibilidad, no sólo se refiere al soporte de los sistemas en la Tierra, sino a todos los sistemas, situaciones y contextos, en todas las escalas que impacte. (...) Tal como explica The Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. (2003): “La sostenibilidad se estudia y maneja a varios niveles de tiempo y espacio y en muchos contextos de organización económica, social y ambiental. Se enfoca desde la sostenibilidad total del planeta a la sostenibilidad de sectores económicos, países, municipios, barrios, casas individuales; bienes y servicios, ocupaciones, estilos de vida, etc. En resumen puede incluir el total de las actividades humanas y biológicas o partes especializadas de ellas” (Conceptual Framework Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment, 2003). Montoya (2014).



Esquema 1: Pilares de la sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia

Ingeniería sostenible:

“La ingeniería necesita autopromoverse como disciplina adecuada para solucionar los problemas contemporáneos, convertirse en una actividad socialmente responsable y vincularse a las cuestiones éticas que guardan relación con el desarrollo” Tony Marjoram. Asimismo en el proyecto de Valdez (2011) cita a Kiberth (1994) quien establece que la construcción sostenible es “la manera de crear y mantener un sano y responsable entorno construido, teniendo en cuenta los principios ecológicos (para evitar los efectos ambientales) y el uso de recursos de manera eficiente”

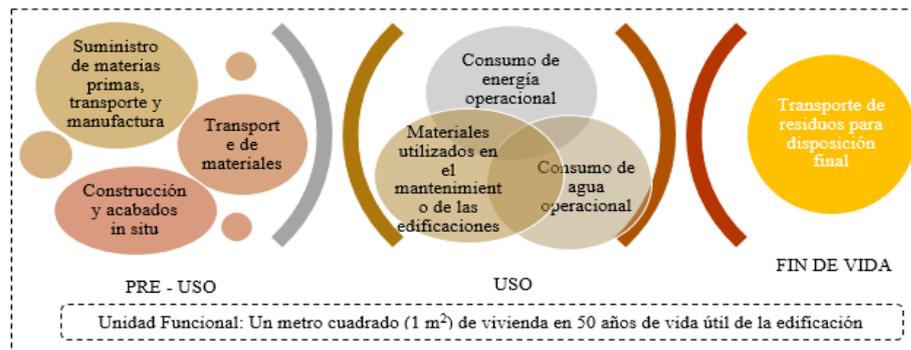
La ingeniería sostenible es el proceso de utilizar recursos de una manera que no comprometa el medio ambiente o agote los materiales para las generaciones futuras. La ingeniería sostenible requiere un enfoque interdisciplinario en todos los aspectos de la ingeniería y no debe designarse como una responsabilidad exclusiva de la ingeniería ambiental. Todos los campos de ingeniería deben incorporar la sostenibilidad en su práctica para mejorar la calidad de vida para todos.

Una forma de medir el mejoramiento socioeconómico de las sociedades son los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Mediante la creación y el mantenimiento de las infraestructuras físicas que ayudan a erradicar la pobreza extrema y el hambre, lograr la educación primaria universal, reducir la mortalidad infantil y mejorar la salud materna, los ingenieros están demostrando su responsabilidad social y ambiental para desarrollar sociedades de manera sostenible.

Ciclo de vida:

El ciclo de vida una edificación está dividida en tres etapas, cada una genera impactos ambientales en diferente tiempo y dimensión. La etapa de pre uso se refiere a todas las actividades previas a la operación del proyecto, como la extracción de recursos, fabricación de la materia prima, el transporte y la construcción.

La etapa de operación es la que mayor impacto negativo ocasiona al ambiente, debido a la duración de la etapa, que depende del tiempo de vida de las edificaciones. (...) La etapa final se da luego que la infraestructura, (...) ha cumplido su vida útil, ya sea por el tiempo para la que fue diseñada o porque se desea demolerla para construir un nuevo proyecto. Ésta etapa ocasiona impactos en el medio ambiente, pero en menor magnitud que la etapa de operación. Siendo el principal problema los residuos, especialmente de concreto, que genera la demolición y que terminan en vertederos ilegales. Montoya (2014).



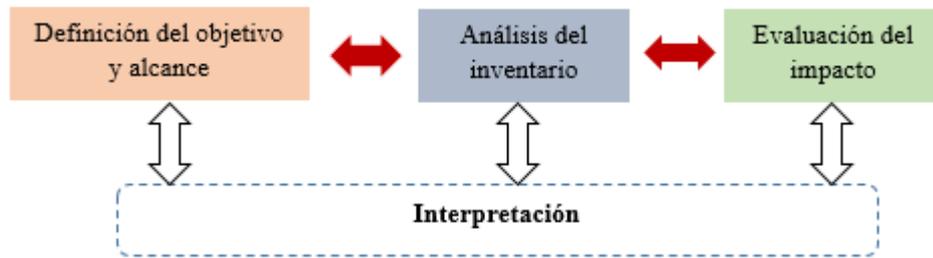
Esquema 2: Proceso del análisis del ciclo de vida..

Fuente: Elaboración propia

Análisis de Ciclo de Vida:

El análisis del ciclo de vida (ACV, en inglés life cycle analysis, LCA) es un procedimiento regulado con normas internacionales de carácter voluntario.

Dentro de la serie 14040, ISO trata de establecer una estructura flexible que oriente la relación de cualquier ACV. Según la norma ISO 14040 (2006) el ciclo de vida es un concepto que se refiere a las “etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema producto, a partir de la adquisición de materia prima o de su generación a partir de los recursos naturales hasta la disposición final” del producto que se trate. Entre esas etapas se destacan la extracción y la adquisición de materias primas, la fabricación, el transporte, el uso del producto, y su disposición final al concluir su vida útil para su usuario. El ACV de acuerdo con la misma norma, “es una técnica para evaluar los aspectos y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto durante su ciclo de vida”. En los últimos años diversos autores (Weidema, 2006; Klopffer, 2008; Andrews, 2009) han propuesto ampliar el enfoque tradicional del ACV a una perspectiva global de la sostenibilidad que incluya los aspectos ambientales, sociales y económicos. De este modo, se define el ACV para la sostenibilidad como la integración del ACV convencional con el análisis del coste del ciclo de vida y el análisis social del ciclo de vida. Vega (2015).



Esquema 3: Fases del ACV.

Fuente: Elaboración propia en base a la norma ISO: 2006

Vida útil:

La vida útil se define como “(...) la vida útil esperable de un edificio para unas condiciones de uso específico” (UNE-EN 15643-1:2010). En la normativa española sobre el cálculo y seguridad en estructuras de hormigón, Instrucción de hormigón estructural (EHE-08), se define la vida útil nominal en 50 años para edificios de viviendas u oficinas y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media. Hernández (2015)

El 21 de mayo de 2014 se publicó la Directiva 002-2014-EF/51.01 “Metodología para la Modificación de la Vida Útil de Edificios, Revaluación de Edificios y Terrenos, Identificación e Incorporación de Edificios y Terrenos en Administración Funcional y Reclasificación de Propiedades de Inversión en las Entidades Gubernamentales”. En la que se considera el rango de 50 a 80 años de vida útil para edificaciones construidas con material concreto/ladrillo/ cemento y otros materiales equivalentes.

Athena impact estimator for buildings:

La herramienta ATHENA, desarrollada por el ATHENA Institute de Canadá, es uno de los programas más conocidos desarrollados con enfoque global. Athena evalúa el impacto ambiental de un edificio basándose en la metodología científica (LCA o ACV). Con este estimador se puede evaluar y comparar las implicaciones medioambientales que supone el desarrollo de un nuevo edificio (o de parte del mismo) o de una rehabilitación desde la fase de diseño. El programa tiene en consideración los siguientes aspectos:

- La fabricación del material, incluyendo la extracción de materia prima y el contenido en reciclados.
- Transporte
- La construcción in-situ
- Variaciones en el uso de energía, transporte y otros factores debidas a características regionales.
- Tipo del edificio y vida útil prevista
- Efectos derivados del mantenimiento, reparaciones y recambios.
- Demolición y eliminación
- Emisiones derivadas de la fase de uso del edificio y efectos de precombustión

Permite, además realizar un análisis comparativo entre dos o más posibles diseños para comparar su comportamiento ambiental. Para evaluar el impacto de los materiales y la construcción del edificio realizada, ha de introducirse una descripción general del edificio, incluyendo su ubicación. Posteriormente se especifican las características del edificio seleccionando entre distintos sistemas básicos o definiendo las cantidades de los distintos productos que hayan sido empleados, introduciendo datos sobre suelos o paredes, cargas y vanos. En cuanto a sistemas constructivos, su base de datos recoge y cubre la mayoría de los sistemas estructurales y de envolvente principalmente los más empleados en los edificios residenciales y comerciales de Norteamérica. (IHOBE, 2010)

Indicadores ambientales:

A nivel ambiental, es importante definir los indicadores a evaluar. Se consideraron los siguientes según el software Athena: Consumo total de energía primaria, consumo de combustibles fósiles, potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, criterios de salud humana Air-mobile, potencial de eutrofización, potencial de formación de smog, energía no renovable, y potencial de agotamiento de ozono:

Consumo total de energía primaria:

El consumo total de energía primaria se informa en megajulios (MJ) La energía primaria incorporada incluye toda la energía, directa e indirecta, utilizada para

transformar o transportar materias primas en productos y edificios, incluida la energía inherente contenida en materias primas o materia prima que también se utilizan como fuentes de energía comunes. (Por ejemplo, el gas natural utilizado como materia prima en la producción de varias resinas plásticas (polímeros)).

El software en su función de Estimador de Impacto, captura el uso de energía indirecta asociado con el procesamiento, transporte, conversión y entrega de combustible y energía. Si el usuario ingresa el Consumo de energía de funcionamiento. La energía primaria incluye lo siguiente: Consumo de combustibles fósiles no renovables, energía nuclear no renovable, renovable solar / eólica / agua / geotérmica, biomasa renovable, materia prima fósil, biomasa de materia prima. Específicamente, en la Tabla de consumo de energía de los resultados del inventario del ciclo de vida, la energía primaria total es la suma de todos los tipos de energía: Hydro, Renovación no hidráulica, Carbón, Diesel, materia prima, Gasolina, Combustible de aceite pesado, LPG (propano) Gas natural, Nuclear, y Madera. Manual Athena IE4B (2016)

Consumo de combustibles fósiles:

Es un subtotal de la Energía Primaria Total, por tipo de energía, que incluye todas las energías de combustibles fósiles. Es la suma de los siguientes tipos de Energía: Carbón, Diesel, materia prima, Gasolina, Combustible de aceite pesado, LPG (propano) y Gas natural. Manual Athena IE4B (2016)

Potencial de calentamiento global (GWP):

El potencial de calentamiento global es una medida de referencia. La metodología y la ciencia detrás del cálculo de GWP se pueden considerar una de las categorías de LCIA más aceptadas. GWP se expresará en una base de equivalencia en relación con el CO₂, en kg o toneladas de CO₂ equivalente. El dióxido de carbono es el estándar de referencia común para el calentamiento global o los efectos de los gases de efecto invernadero. Todos los demás gases de efecto invernadero se denominan con un "efecto de equivalencia de CO₂" que es simplemente un múltiplo del potencial de invernadero (capacidad de atrapar calor) del dióxido de carbono. Este efecto tiene un horizonte temporal debido a la reactividad atmosférica o la estabilidad de los diversos

gases contribuyentes a lo largo del tiempo. Las cifras del horizonte temporal de 100 años del Panel Internacional sobre el Cambio Climático se han utilizado como base para el índice de equivalencia: $\text{CO}_2 \text{ Equivalente kg} = \text{CO}_2 \text{ kg} + (\text{CH}_4 \text{ kg} \times 28) + (\text{N}_2\text{O kg} \times 265)$ Si bien las emisiones de gases de efecto invernadero son en gran parte una función de la combustión de energía, algunos productos también emiten gases de efecto invernadero durante el procesamiento de las materias primas. Las emisiones del proceso a menudo no se tienen en cuenta debido a la complejidad asociada con el modelado de las etapas del proceso de fabricación. Un ejemplo donde las emisiones de CO_2 del proceso son significativas es en la producción de cemento (calcinación de la piedra caliza). Es importante señalar que, debido a que el Estimador de Impacto utiliza datos desarrollados por un enfoque detallado de modelado del ciclo de vida, todas las emisiones de gases de efecto invernadero relevantes del proceso se incluyen en el índice de potencial de calentamiento global resultante. Manual Athena IE4B (2016)

Potencial de Acidificación:

La acidificación es un impacto más regional que global que afecta la salud humana cuando se alcanzan altas concentraciones de NO_x y SO_2 . El potencial de acidificación de una emisión de aire o agua, se calcula sobre la base de su efecto de equivalencia de SO_2 sobre una base de masa. Manual Athena IE4B (2016)

Criterios de salud humana Air-mobile:

El material particulado de diversos tamaños (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) tiene un impacto considerable en la salud humana. La EPA ha identificado las "partículas" (combustión del combustible diesel) como la causa número uno del deterioro de la salud humana debido a su impacto en el sistema respiratorio humano: asma, bronquitis, enfermedad pulmonar aguda, etc. Debe mencionarse que las partículas son un producto ambiental importante de la producción de productos de madera contrachapada y deben rastrearse y abordarse. El Instituto utilizó el factor de caracterización "Partículas de salud humana a partir de fuentes móviles" de TRACI, en una base de $\text{PM}_{2.5}$ equivalente, en el conjunto final de indicadores de impacto. Manual Athena IE4B (2016)

Potencial de eutrofización:

La eutrofización es la fertilización de las aguas superficiales por nutrientes que antes eran escasos. Cuando se agrega un nutriente previamente escaso o limitante a un cuerpo de agua, esto conduce a la proliferación de la vida de las plantas fotosintéticas acuáticas. Esto puede llevar a una cadena de consecuencias adicionales que van desde malos olores hasta la muerte de los peces. El resultado calculado se expresa en una masa equivalente de nitrógeno (N). Manual Athena IE4B (2016)

Potencial de formación de smog:

Bajo ciertas condiciones climáticas, las emisiones al aire de la industria y el transporte pueden quedar atrapadas a nivel del suelo donde, en presencia de la luz del sol, producen smog fotoquímico, un síntoma del potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP). Si bien el ozono no se emite directamente, es un producto de las interacciones de los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los óxidos de nitrógeno (NOx). El indicador "smog" se expresa en una masa de O₃ equivalente.

Energía no renovable:

La energía no renovable es un subtotal de la energía primaria total, por tipo de energía, que incluye todas las energías de los combustibles fósiles y la energía nuclear. La energía no renovable es la suma de los siguientes tipos de energía: Carbón, Diesel, materia prima, Gasolina, Combustible de aceite pesado, LPG (propano), Gas natural, y Nuclear. Se informa en megajulios (MJ) Manual Athena IE4B (2016)

Potencial de agotamiento de ozono (ODP):

El potencial de agotamiento del ozono estratosférico representa los impactos relacionados con la reducción de la capa protectora de ozono en la estratosfera causada por las emisiones de sustancias que agotan la capa de ozono (CFC, HFC y halones). El potencial de agotamiento del ozono de cada una de las sustancias contribuyentes se caracteriza con relación al CFC-11, con el indicador de impacto final que indica la masa (por ejemplo, kg) de CFC-11 equivalente. Manual Athena IE4B (2016)

La capa de ozono está presente en la estratósfera y actúa como filtro, absorbiendo la radiación ultravioleta. La disminución de la capa de ozono provoca un incremento de la cantidad de radiación uv-b que llega a la superficie de la Tierra. Dichas radiaciones son causa del aumento de algunas enfermedades en humanos (cáncer de piel, supresión del sistema inmunitario, cataratas, etc.), afectan la producción agrícola, degradan los materiales plásticos e interfieren en los ecosistemas. Por lo tanto afectan a las cuatro grandes áreas de protección: salud humana, entorno natural, entorno modificado por el hombre y recursos naturales. La mayoría de los cloruros y bromuros, procedentes de compuestos clorofluorocarbonados (cfc, por sus siglas en inglés) y otras fuentes, reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares (psc, por sus siglas en inglés) emiten cloruros y bromuros activos, que bajo la acción catalizadora de los rayos uv provocan la descomposición del ozono. Valdez E. (2011)

Certificaciones Ambientales:

La certificación LEED, por sus siglas en inglés de “Leadership In Energy And Environmental Design”, es el sistema de certificación de edificios sostenibles más usado en el mundo. La certificación LEED proporciona una verificación independiente de las características sostenibles de un edificio o de un desarrollo urbano, lo que permite que el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los mismos sea más eficiente en el uso de recursos, de alto rendimiento, más saludables y rentables. Esta es la certificación más utilizada en nuestro país. (Perú GBC)

Es una certificación en la cual, terceros evalúan la sustentabilidad de los edificios con parámetros objetivos cuantificables. Cumple con los estándares internacionales más exigentes de edificación, se considera el comportamiento medioambiental que tendrá el edificio desde el diseño y a lo largo de su ciclo de vida, tiene menores costos de operación porque ahorra en gastos de agua y de manejo de energía.

LEED funciona para todos los edificios en cualquier lugar, independientemente de dónde se encuentren en su ciclo de vida. Desde hospitales hasta centros de datos, desde edificios históricos hasta aquellos en fase de diseño, hay un LEED para cada tipo de proyecto de construcción:

- BD+C Building Design and Construction: Se aplica a edificios que se están construyendo recientemente o que están pasando por una renovación importante; incluye Construcción nueva, Core & Shell, Escuelas, Venta al por menor, Hospitalidad, Centros de datos, Almacenes y Centros de distribución y Atención médica.
- ID+C Diseño de interiores y construcción: Se aplica a proyectos que son un equipamiento interior completo; incluye Interiores Comerciales, Minorista y Hospitalidad.
- O+M Building Operations and Maintenance: Se aplica a edificios existentes que están experimentando trabajos de mejora o poca o ninguna construcción; Edificios existentes, Escuelas, Venta al por menor, Hospitalidad, Centros de datos y Almacenes y Centros de distribución.
- ND Neighborhood Development: Se aplica a nuevos proyectos de desarrollo de tierras o proyectos de redesarrollo que contienen usos residenciales, usos no residenciales o una combinación. Los proyectos pueden estar en cualquier etapa del proceso de desarrollo, desde la planificación conceptual hasta la construcción; incluye Plan y Proyecto Construido.
- Casas: Se aplica a casas unifamiliares, multiculturales de poca altura (de una a tres plantas) o multifamiliares de mediana altura (de cuatro a seis pisos); incluye casas y Lowrise multifamiliar y Midrise multifamiliar.

LEED proporciona un marco para crear edificios ecológicos saludables, altamente eficientes y económicos. La certificación LEED es un símbolo mundialmente reconocido del logro de la sostenibilidad. A nivel económico, la certificación atrae inquilinos, cuestan menos para operar y aumentan la productividad y la retención de los empleados, además del aumento de plusvalía, promoviendo mejores tasas de arrendamiento. Los edificios LEED ahorran energía, agua, recursos, generan menos desperdicios y respaldan la salud humana, son espacios saludables, en general mejora la calidad de vida.(LEED, USGBC)



Esquema 4: Herramientas para la obtención de la certificación LEED
 Fuente: Elaboración propia

Por otro lado la certificación ISO 14040 es una Norma Internacional que describe los principios y el marco de referencia para el análisis del ciclo de vida (ACV) y los estudios de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV). No describe la técnica de ACV en detalle, ni especifica metodologías para las fases individuales del ACV. Esta Norma Internacional no está prevista para fines contractuales o reglamentarios, ni para registro y certificación.

Según la norma ISO 14040, la metodología del ACV consta de cuatro etapas: Objetivo y alcance, análisis del inventario, análisis del impacto y finalmente la interpretación.

Además, con la creación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los ingenieros continuarán desempeñando un papel decisivo en su éxito. La necesidad de tecnologías respetuosas con el medio ambiente en el futuro requerirá la experiencia de los ingenieros. UNESCO

De acuerdo a lo revisado en los antecedentes se justifica la presente investigación de manera social, económica y ambiental, porque pretende identificar el panorama de la realidad en la construcción de edificaciones de viviendas en Perú. Para ello resulta de gran importancia analizar el nivel de sostenibilidad del ciclo de vida de una edificación. Siendo necesario desarrollarlas con el fin de obtener información para la correcta implementación de políticas públicas.

Este estudio beneficia a la sociedad, ya que el análisis permite evaluar los efectos que se producen en el ambiente mediante una metodología eficaz, sencilla y económica, para instaurar y generar un hábitat adecuado que promueva el mejoramiento de la calidad de vida en un entorno sano y responsable.

El problema de la presente investigación se pone de manifiesto en las siguientes líneas:

Las obras de ingeniería civil y, en particular, la construcción de viviendas requieren insumos de la naturaleza, cuestionados por su insostenibilidad, ya que, para su fabricación consumen importantes cantidades de energía y emiten considerables volúmenes de contaminantes con enormes emisiones y residuos generados al medio ambiente. Asimismo, se suma el desconocimiento de metodologías y herramientas tecnológicas eficaces para la construcción sostenible. Del mismo modo, el alto consumo energético, el mantenimiento y la disposición final de las viviendas generan cargas ambientales negativas.

Por lo expuesto nos planteamos el siguiente problema de investigación:

¿Cuál es el nivel de sostenibilidad de dos edificaciones multifamiliares durante su ciclo de vida en la ciudad de Lima, 2017?

Conceptualización y operacionalización de variables

Variable: Nivel de Sostenibilidad.

Definición conceptual: “Capacidad de satisfacer necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones” ONU (1987), en sus tres pilares, ambiental, económico y social.

Definición operacional: La evaluación del nivel de sostenibilidad de edificaciones durante sus tres etapas: Pre uso, uso y fin de vida, se realiza a través de la metodología de ACV mediante el uso del software Athena.

El objetivo general de la presente investigación es evaluar el nivel de sostenibilidad durante el ciclo de vida de dos edificaciones multifamiliares en Lima. Y como objetivos específicos, identificar y caracterizar las dos edificaciones multifamiliares

de los distritos de San Miguel y San Borja, sistematizar y modelar cada edificación multifamiliar, calcular y cuantificar los impactos en cada etapa del ciclo de vida de las dos edificaciones multifamiliares y por ultimo comparar e interpretar los resultados.

II. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Tipo de Investigación:

Es Aplicada, porque la investigación está orientada a lograr un nuevo conocimiento destinado a procurar soluciones a fin de conocer el nivel de sostenibilidad en el ciclo de vida de dos edificaciones multifamiliares en la ciudad de Lima.

En coherencia con el fin de la ciencia. Descriptivo, debido a que se tiene como objeto analizar y conocer las características, rasgos, propiedades y cualidades de dos edificaciones multifamiliares en los distritos de San Miguel y San Borja en la ciudad de Lima.

Diseño de Investigación

En cuanto al diseño de investigación es de enfoque cuantitativo, alcance descriptivo, diseño no experimental y transversal. Se buscó describir el estado de la situación actual del uso y valoración de criterios de construcción sostenible de dos edificaciones multifamiliares existentes en la ciudad de Lima, pero en diferentes distritos, la primera en San Miguel y la segunda en San Borja.

El estudio se realizará en la población total de familias que residen en las edificaciones multifamiliares seleccionadas de los distritos de San Miguel y San Borja de la ciudad de Lima.

Las viviendas multifamiliares consideradas como muestra a investigar son las siguientes:

Modelo 01: Vivienda multifamiliar San Miguel

Ubicación geográfica: El edificio se encuentra ubicado en el departamento de Lima, distrito de San Miguel, en la Av. De los Patriotas.

Descripción Arquitectónica: El edificio es de 08 pisos y 02 sótanos. Cuenta con 28 departamentos. El total de área construida es de 2914,34 m² Con respecto al consumo de servicios eléctrico es de 285 KW/h y agua 6.40 m³ al mes por departamento. Esta edificación tiene 04 años de antigüedad.

Tabla 1:

Áreas de los niveles del M01

Niveles	Área
Cisterna	86.69 m ²
Sótano 2	425.00 m ²
Sótano 1	408.57 m ²
Primer piso	275.81 m ²
Segundo piso	275.34 m ²
Tercer piso	275.34 m ²
Cuarto piso	275.34 m ²
Quinto piso	275.34 m ²
Sexto piso	275.34 m ²
Séptimo piso	275.34 m ²
Azotea	66.23 m ²
Total	2,914.34 m ²

Fuente: Elaboración propia según planos de arquitectura.

Departamento prototipo A: El promedio de área es de 80 m², el cual cuenta con de 3 dormitorios.

Descripción Estructural: El modelo 01 contempla la construcción de una estructura que cuenta con columnas de dimensión 0.30 x 0.90 y 0.50 x 0.60 y vigas de 0.30 x 0.50 y 0.20 x 0.60 entre las principales.

Modelo 02: Vivienda multifamiliar San Borja

Ubicación geográfica: El edificio se encuentra ubicado en el departamento de Lima, en el distrito de San Borja, en la calle Claude Monteverdi.

Descripción Arquitectónica: El edificio es de 05 pisos y 01 semisótano. Cuenta con 15 departamentos. El total de área construida es de 2338.96 m². Con respecto al consumo de servicios eléctrico varía entre los 460 KW/h y los 960 KW/h . El servicio de agua potable es de 7.60 m³ al mes. Esta edificación tiene 10 años de antigüedad

Tabla 2:

Áreas de los niveles del M02

Niveles	Área
Semisotano	439.21 m ²
Primer piso	337.09 m ²
Segundo piso	337.09 m ²
Tercer piso	337.09 m ²
Cuarto piso	337.09 m ²
Quinto piso	337.09 m ²
Azotea	170.71 m ²
Cisterna	24.83m ²
T. Elevado	11.76 m ²
Dto de maquinas	7.00 m ²

Fuente: Elaboración propia según planos de arquitectura.

Departamento prototipo B: El promedio de área es de 90 m², el cual cuenta con 03 dormitorios (principal, compartido, diversos).

Descripción Estructural: El modelo 02 contempla la construcción de una estructura que cuenta con columnas de dimensión 0.25x0.60 (externas) y 0.20x0.60 (internas) y vigas de 0.35x0.70 y 0.30x0.50 entre las principales. Además se utilizó concreto armado con resistencia de 210 kg/cm².

Se debe tener en cuenta que, la selección de datos o muestreo es de acuerdo a la metodología del Análisis del Ciclo de Vida. A través del Software Athena Impact Estimator for Buildings

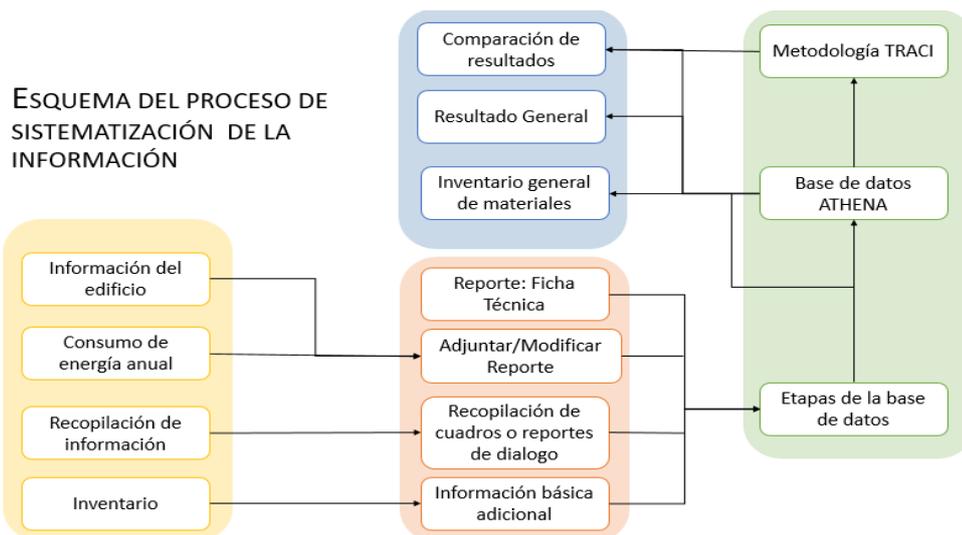
Análisis de contenido: Se realiza el análisis del ciclo de vida de las dos edificaciones multifamiliares a través de la documentación recopilada (planos).

Instrumentos: Para la ejecución de las técnicas antes mencionadas, se utiliza como instrumento, el análisis de datos, mediante el software Athena impact estimator for buildings haciendo uso de la metodología de análisis del ciclo de vida.

Existen diferentes maneras o métodos para la evaluación del nivel de sostenibilidad, que, generan distintas alternativas o posibles soluciones en la construcción, distinguiéndose tres tipos: Sistemas de evaluación de la sostenibilidad, estándares en edificaciones sostenibles y Herramientas (software) de evaluación. En este estudio se optó por la tercera metodología mediante el uso del software Athena impact estimator for buildings. Las herramientas software o programas informáticos se han centrado en dos objetivos fundamentales: La evaluación ambiental basada en el Análisis de Ciclo de Vida, con el fin de calcular las emisiones en relación a los indicadores ambientales y las herramientas de evaluación del comportamiento energético, que permiten la modelización energética de los edificios.

Asimismo, la herramienta de gestión ambiental ACV, ayuda a tener resultados durante el pre-uso, uso, y fin de vida de la edificación, y gracias a la interpretación de los resultados se puede adquirir en forma de conclusiones y recomendaciones toma de decisiones que sirvan para un mejor manejo en los tres niveles de sostenibilidad.

Se desarrolla en cuatro procesos. Primero, se registra la información general de las edificaciones, luego, se clasifica e ingresa la datos según el tipo de análisis a realizar, para proceder al cálculo de resultados del inventario y análisis del ciclo de vida a través de la base interna del software Athena y la metodología Traci, y finalmente, se genera un informe con los resultados mediante tablas y gráficos. Este procedimiento es replicado para los dos edificios multifamiliares.



Esquema 5: Proceso de sistematización general del software

Fuente: Elaboración propia en base al manual de Athena Impact Estimator for Buildings

En el primer proceso se proporcionan los datos del proyecto, y el uso operativo. En este caso viviendas multifamiliares

Asimismo, el software presenta ventanas de dialogo, las cuales se tienen que llenar según convenga. Se pudo notar que en la opción de ubicación no se encuentra nuestro país, ya que está diseñado para ciudades del norte de EE.UU y algunas provincias Canadienses. Por ello, al momento de iniciar con el llenado de información se tuvo que evaluar e identificar algunos factores como la matriz energética que tenga indicadores similares con la ciudad de Lima.

Según el análisis en el estudio de García S. (2014), la matriz energética en el Perú en el año 2009 tiene como principales fuentes de energía primaria a la hidroenergía y a la fuente de gas natural. Ambos tienen una presencia de 41% cada una con respecto al total de generación eléctrica, dejando al petróleo en segundo lugar y a las fuentes de carbón natural y biomasa en último lugar con una participación de 5% y 3% respectivamente. Por otro lado en el caso de Estados Unidos, los cuatro estados que presentan una matriz energética con similitudes a la matriz peruana son los estados de California, Florida, Minnesota y Georgia.

Fuente Energética	Participación en Generación Eléctrica
PETRÓLEO + LGN	10%
GAS NATURAL	41%
CARBÓN MINERAL	5%
BIOMASA	3%
HIDROENERGÍA	41%

Esquema 6: Porcentaje de la matriz energética en Perú 2009

Fuente: Elaboración propia en base al MEM

Entonces tomando como referencia dichos resultados del análisis de las matrices se opta por localizar al proyecto en EE.UU.

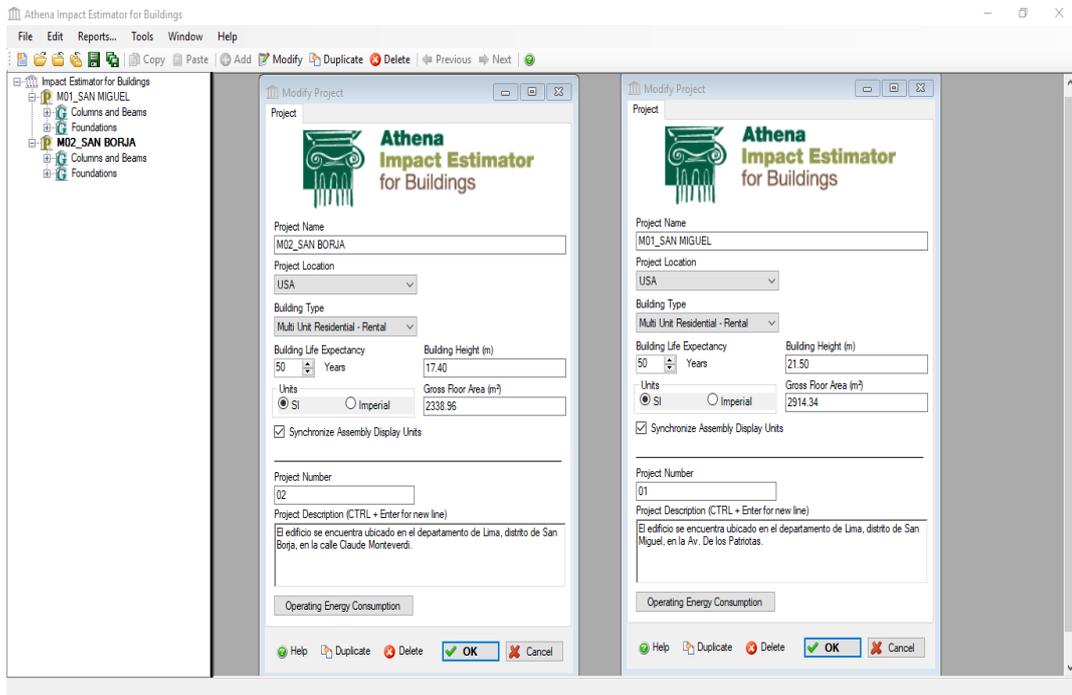


Ilustración 1 Primer Proceso: Registro de la información general

Fuente: Elaboración propia según los análisis realizados en ATHENA

Luego, se describen las dimensiones como la altura del edificio, y el tiempo de vida útil, siendo para las edificaciones en estudio cincuenta años. Por último, el botón Operating Energy Consumption, nos permite ingresar la información del consumo de energía anual (eléctrica, gas, agua y diésel)

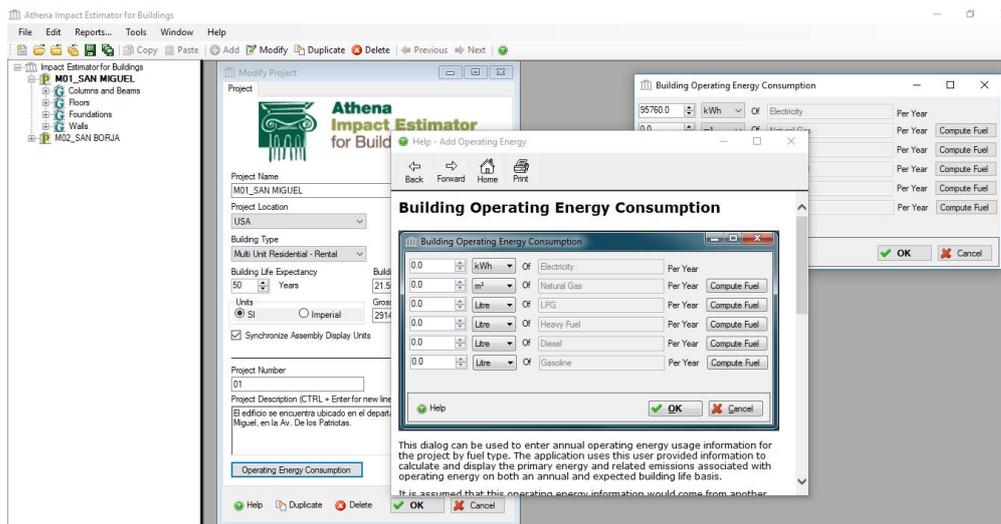


Ilustración 2: *Uso operativo anual de cada edificación.*

Fuente: Elaboración propia según los análisis realizados en ATHENA

Continuando con el segundo proceso, se inicia con el modelamiento según las características arquitectónicas y estructurales: vigas, columnas, zapatas, muros y pisos en base a las características de las edificaciones.

El programa obedece a la cantidad total de cada edificación para la descripción de vigas, columnas y zapatas tomando en cuenta la cantidad, el área, la altura, el tipo de material y la carga viva.

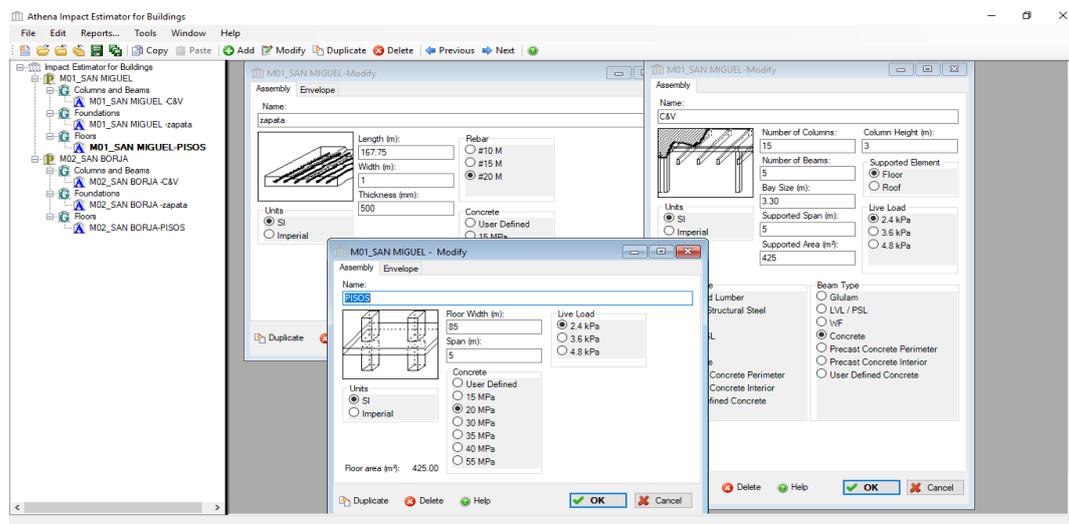


Ilustración 3 Segundo Proceso: *Descripción arquitectónica, y Estructural*

Fuente: Elaboración propia según los análisis realizados en ATHENA

Para el modelamiento de vigas y columnas, es necesario rediseñar la estructura, según requiere el sistema, mediante la siguiente ruta: edit_add assembly_columns and beams. La información necesaria es la cantidad de columnas, su altura por piso; cantidad de vigas, y el factor de carga que esta soporta, además el área total del piso y el tipo de material constructivo, como se muestra en la ilustración 5.

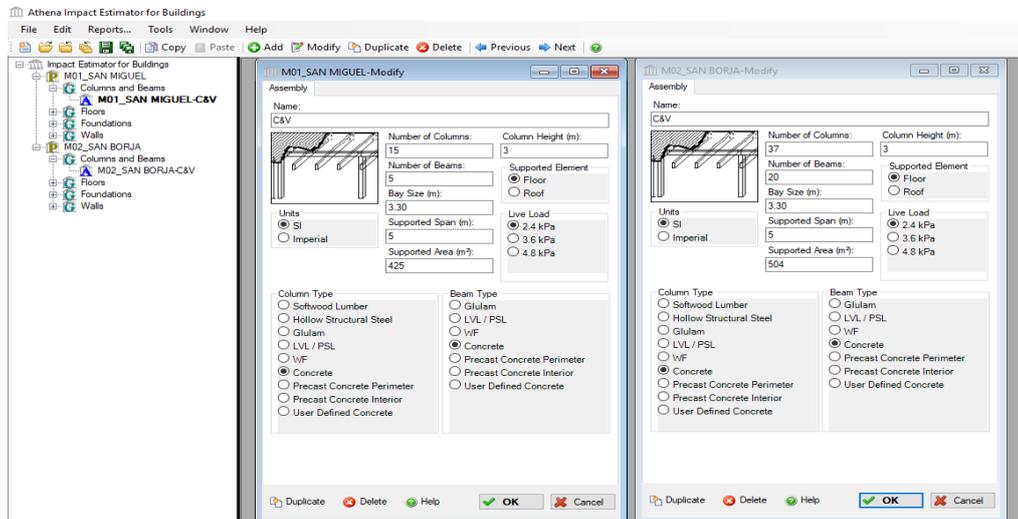


Ilustración 4: Modelamiento de vigas y columnas.

Fuente: Elaboración propia según los análisis realizados en ATHENA

Figure 1 - A typical Column and Beam System, used to support a floor or roof assembly.

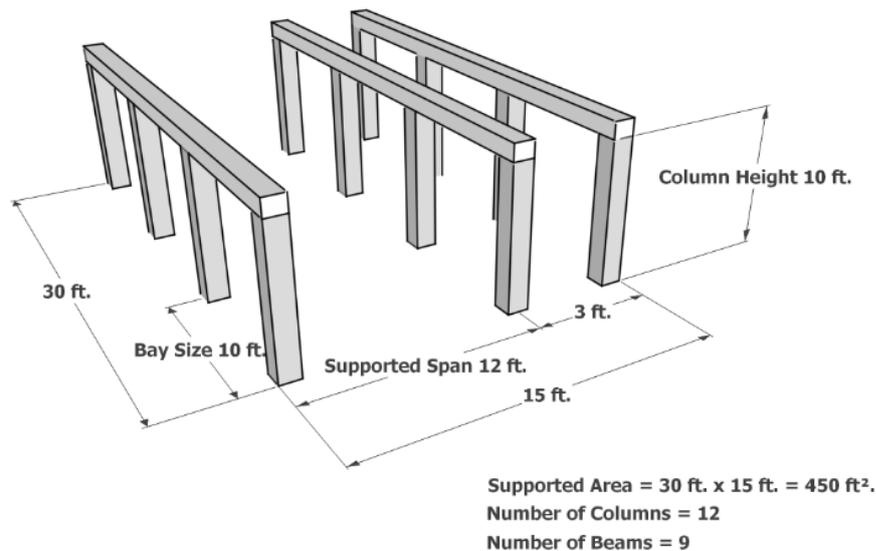


Ilustración 5: Descripción de cálculo V&C

Fuente: Elaboración propia según help del software ATHENA

Para el caso del modelamiento de pisos y/o aligerado, seguir la ruta: edit_add assembly_floors. Asimismo, se debe tener información de las dimensiones, y la longitud del espacio de viga en viga. Además de la carga que ésta soporta y finalmente, la resistencia del concreto.

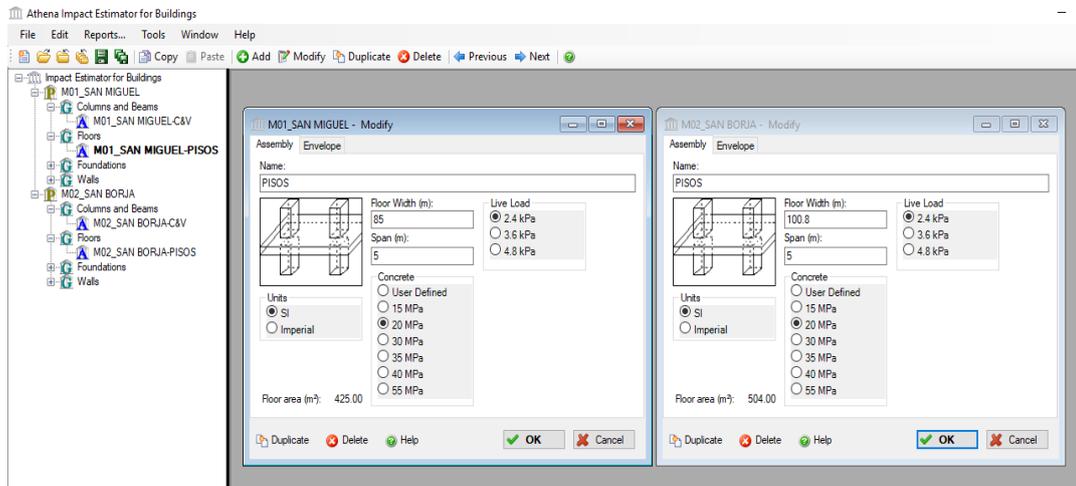


Ilustración 6: Modelamiento de pisos y/o aligerado

Fuente: Elaboración propia según los análisis realizados en ATHENA

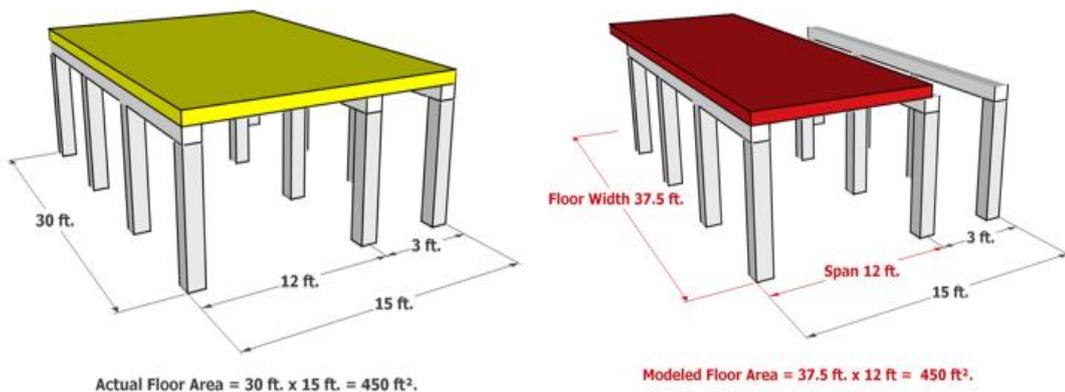


Ilustración 7: Descripción del cálculo de pisos y/o aligerado

Fuente: Elaboración propia según help del software ATHENA

Por último, el modelamiento de zapatas. Mediante la siguiente ruta: edit_add assembly_foundation. Se ingresa la cubicación de la estructura, es decir sus dimensiones, asimismo de los materiales que constituyen, como el diámetro del acero y la resistencia del concreto.

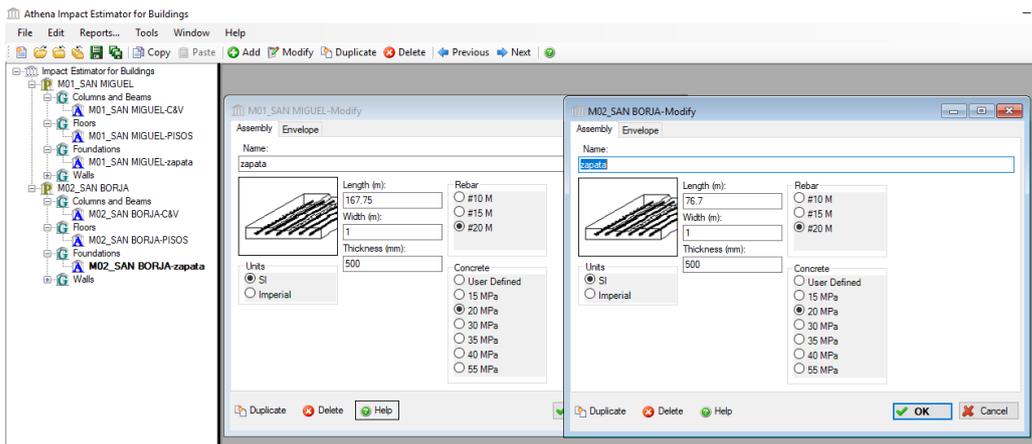


Ilustración 8: Modelamiento de zapatas.

Fuente: Elaboración propia según los análisis realizados en ATHENA

Para muros y pisos, además de sus dimensiones y características estructurales y arquitectónicas, es necesario mencionar el tipo de material que se utilizó para los acabados (puertas, ventanas y material de revestimiento) tanto para muros interiores y exteriores. Mediante la siguiente ruta: edit_add assembly_Walls

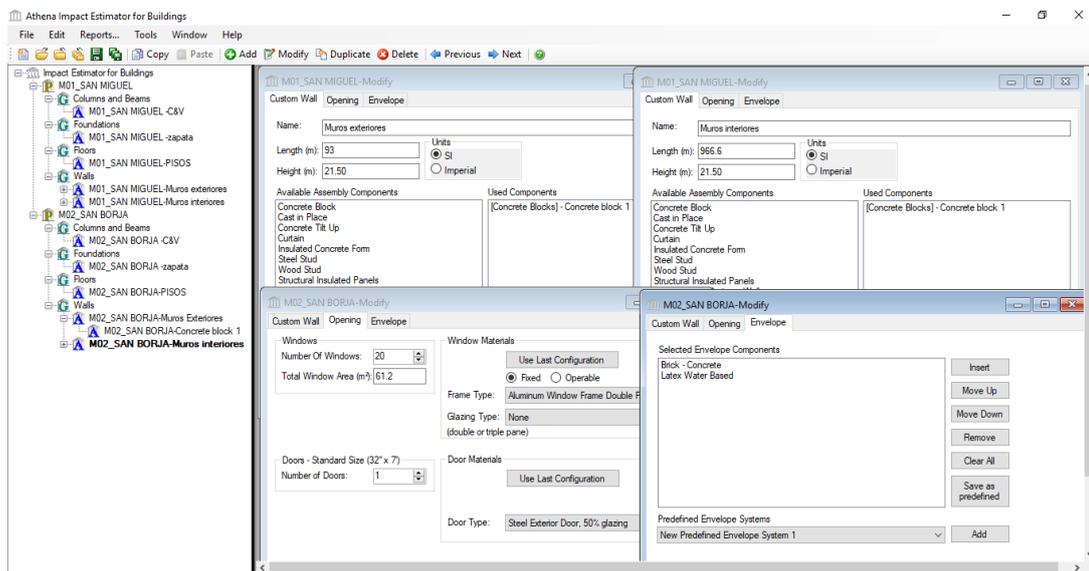


Ilustración 9 Segundo Proceso: Descripción de Muros y Pisos

Fuente: Elaboración propia según los análisis realizados en ATHENA

Una vez insertada toda la información, se obtiene los reportes o fichas técnicas. Gracias a la base de datos interna del estimador de impactos, se genera los resultados del análisis del ciclo de vida, a través de tablas y gráficos en función a los indicadores ambientales e inventario de materiales. Mediante el botón Reports.

The screenshot displays the Athena Impact Estimator for Buildings software interface. The main window is titled 'Detailed LCA Measure Table By Life Cycle Stages' and shows a table of environmental indicators for project M01_SAN MIGUEL. The table is divided into 'PRODUCT (A1 to A3)' and 'CONSTRUCTION Installation Process' columns. Below this, a 'Bill of Materials Report' is visible, showing a table of materials used in the project.

LCA Measures	Unit	PRODUCT (A1 to A3)		Total	CONSTRUCTION Installation Process
		Manufacturing	Transport		
Global Warming Potential	kg CO2 eq	5.96E+04	6.80E+01	5.97E+04	4.39E+0
Acidification Potential	kg SO2 eq	1.99E+02	8.16E-01	2.00E+02	2.59E+0
HH Particulate	kg PM2.5 eq	7.36E+01	3.44E-02	7.36E+01	2.44E+0
Eutrophication Potential	kg N eq	6.12E+01	5.05E-02	6.12E+01	3.95E+0
Ozone Depletion Potential	kg CFC-11 eq	1.30E-03	2.57E-09	1.30E-03	6.53E-0
Smog Potential	kg O3 eq	3.29E+03	2.63E+01	3.32E+03	6.59E+0

Material	Unit	Total Quantity	Columns & Beams
1/2" Regular Gypsum Board	m2	467.5000	0.0000

Ilustración 10: Tercer y cuarto proceso: Reporte o ficha técnica
Fuente: Elaboración propia según los análisis realizados en ATHENA

III. RESULTADOS

Luego de ejecutar el programa, se obtuvo los reportes de acuerdo a cada indicador de la metodología de análisis del ciclo de vida. Los indicadores ambientales analizados son: Consumo total de energía primaria, consumo de combustibles fósiles, potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, criterios de salud humana Air-mobile, potencial de eutrofización, potencial de formación de smog, energía no renovable, y potencial de agotamiento de ozono.

Modelo 01: San Miguel

Se describe a continuación el resultado general de la utilización de energía de cada indicador ambiental generado durante el ciclo de vida del Modelo 01: San Miguel:

a) Consumo de Energía primaria

El total de consumo de energía primaria durante el ciclo de vida del modelo 01 es de 7'280 000 MJ. En la primera etapa de Pre-Uso, se consideran dos totales, por un lado la manufactura de los materiales 3'440 000 MJ y por otra parte la construcción de la vivienda 528 000 MJ, sumando un total de 3'970 000 MJ. Asimismo, la segunda etapa acumuló un total de 3'120 000 MJ, resultante del mantenimiento 218 00 MJ y la energía operativa 3'100 000 MJ. Por último, el Fin de Vida de la vivienda consume 198 000 MJ.

Tabla 3:

Consumo de energía primaria durante, el ciclo de vida del M01

LCA Measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Total Primary Energy	MJ	5.38E+07	4.96E+07	2.93E+06	1.06E+08

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

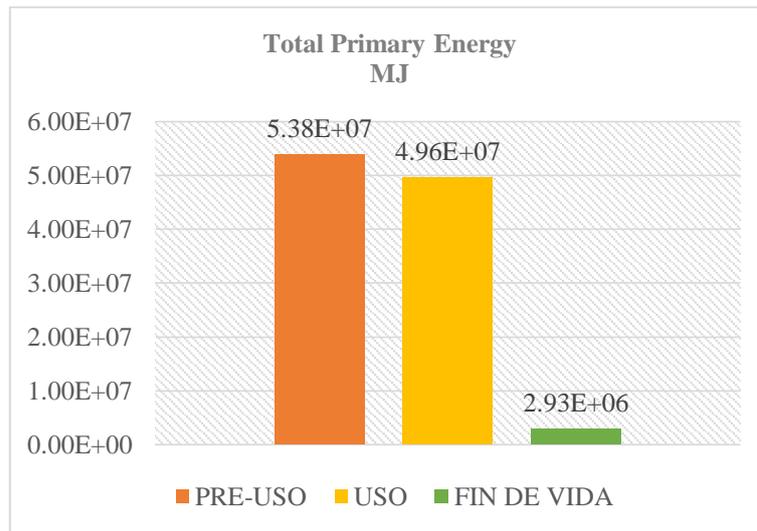


Grafico 1: Consumo de energía primaria según, el ciclo de vida del M01.

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del consumo de energía primaria en relación al tipo de estructura muestran que el consumo en vigas y columnas suman un total de 77 700 MJ, en pisos 342 000 MJ, en zapatas 270 000 MJ y por último, en muros 5´6 900 000 MJ.

Tabla 4:

Consumo de energía primaria en relación al tipo de estructura del M01

Assembly group	Unit	Total
Beams And Columns	MJ	7.77E+04
Floors	MJ	3.42E+05
Foundation	MJ	2.70E+05
Walls	MJ	5.69E+07
Total	MJ	5.75E+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

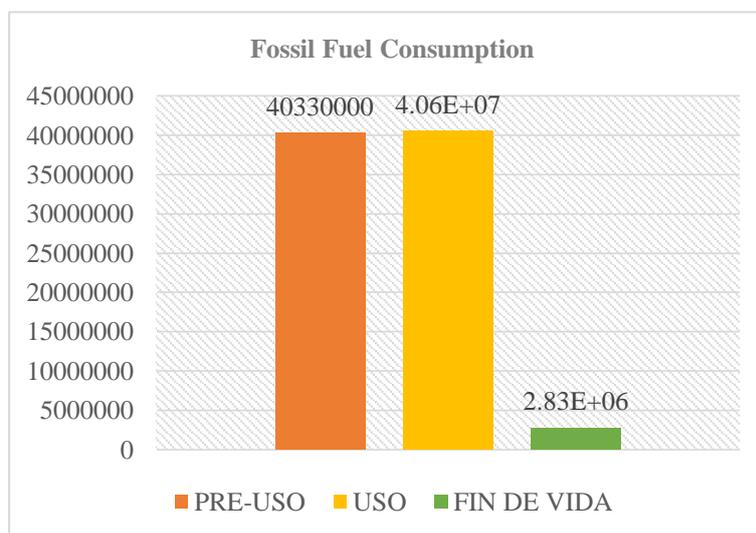
b) Consumo de combustibles fósiles

El total del consumo de combustibles fósiles es de 83´800 000 MJ durante el ciclo de vida de la vivienda. En la primera etapa se obtuvo 40´30 000 MJ resultante de la sumatoria de las sub etapas de manufactura de materiales 33600000 MJ y construcción 6730000 MJ. Asimismo, la segunda etapa consume 40´600 000 MJ, por el mantenimiento 720000 MJ y la energía operativa 39 900 000 MJ. Por último el Fin de Vida de la vivienda consume 2830000MJ.

Tabla 5:*Consumo de combustibles fósiles durante, el ciclo de vida del M01.*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Fossil fuel consumption	Mj	40330000	4.06e+07	2.83e+06	8.38e+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

**Grafico 2** Consumo de combustibles fósiles según, el ciclo de vida del M01

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del consumo de combustibles fósiles en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 5.49E+04 MJ, en pisos 2.90E+05MJ, en zapatas 2.37E+05 MJ y por último, en muros 4.33E+07MJ.

Tabla 6:*Consumo de combustibles fósiles en relación al tipo de estructura del M01.*

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Mj	5.49e+04
Floors	Mj	2.90e+05
Foundation	Mj	2.37e+05
Walls	Mj	4.33e+07
Total	Mj	4.39e+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

c) Potencial de calentamiento global

El consumo total del potencial de calentamiento global durante sus tres etapas es de 7'280 000 kg CO2 eq. La manufactura 3440000 kg CO2 eq y la construcción 528000 kg CO2 eq suman un total de 3970000 kg CO2 eq que corresponde a la etapa de Pre Uso. La siguiente etapa consume 3.12E+06 kg CO2 eq, por mantenimiento 21800 06 kg CO2 eq y energía operativa 3100000 06 kg CO2 eq. El fin de vida es de 1.98E+05 06 kg CO2 eq..

Tabla 7:

Potencial de calentamiento global durante, el ciclo de vida del M01.

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Global warming potential	Kg co2 eq	3970000	3.12e+06	1.98e+05	7.28e+06

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

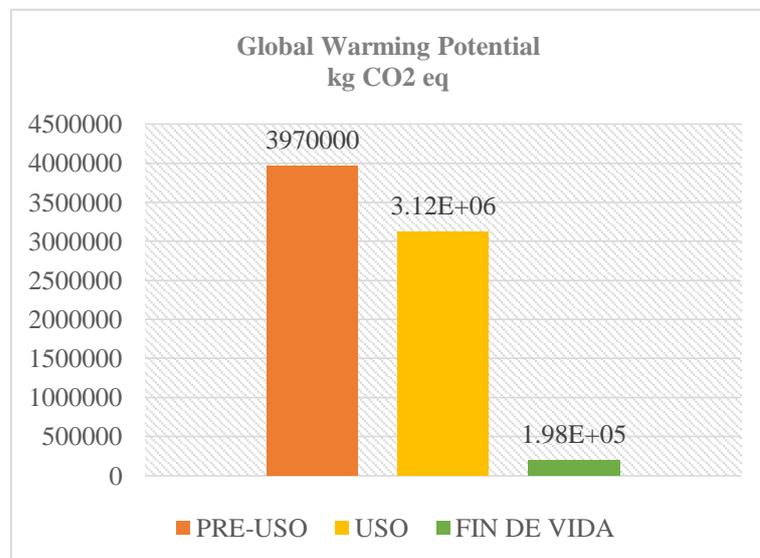


Grafico 3: *Potencial de calentamiento global según, el ciclo de vida del M01*

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de calentamiento global en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 6.53E+03 kg CO2 eq, en pisos 6.53E+03 kg CO2 eq, en zapatas 3.28E+04 kg CO2 eq y por último, en muros. 4.11E+06 kg CO2 eq

Tabla 8:*Potencial de calentamiento global en relación al tipo de estructura del M01*

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg co2 eq	6.53e+03
Floors	Kg co2 eq	6.53e+03
Foundation	Kg co2 eq	3.28e+04
Walls	Kg co2 eq	4.11e+06
Total	Kg co2 eq	4.18e+06

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

d) Potencial de acidificación

El consumo total del potencial de acidificación en la vivienda del M01 es de 48 200 kg CO2 eq. El Pre Uso es de 22100 kg CO2 eq por manufactura 17300 kg CO2 eq y construcción 4760 kg CO2 eq.. Para la segunda etapa el consumo de mantenimiento es de 144 kg CO2 eq y en construcción es de 24000 kg CO2 eq que suman 24 100 kg CO2 eq. El fin de vida es de 2010 kg CO2 eq.

Tabla 9:*Potencial de acidificación durante, el ciclo de vida del M01*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Acidification potential	Kg co2 eq	2.21e+04	2.41e+04	2.01e+03	4.82e+04

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

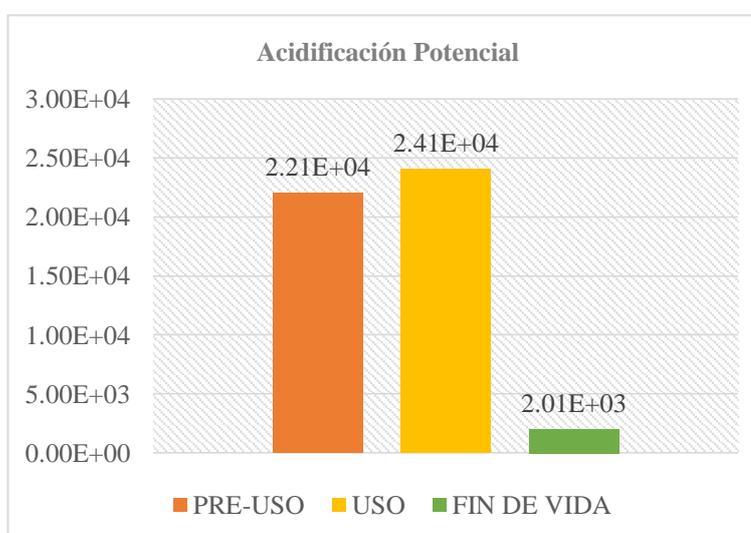


Grafico 4: *Potencial de acidificación según el ciclo de vida del M01*
Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de acidificación en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 2.91E+01kg SO2 eq, en pisos 1.60E+02kg SO2 eq, en zapatas 1.36E+02 kg SO2 eq y por último, en muros. 2.39E+04 kg SO2 eq

Tabla 10:

Potencial de acidificación en relación al tipo de estructura del M01

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg so2 eq	2.91e+01
Floors	Kg so2 eq	1.60e+02
Foundation	Kg so2 eq	1.36e+02
Walls	Kg so2 eq	2.39e+04
Total	Kg so2 eq	2.42e+04

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

e) Criterios de Salud Humana Air-Mobile,

El resultado de consumo de la primera etapa por criterios de salud humana es de 10800 kg PM2.5 eq, de la segunda etapa es de 3160 kg PM2.5 eq y la tercera es de 217 kg PM2.5 eq. Sumando un total de 14200 kg PM2.5 eq. Generados por las sub etapas de manufactura 10300 kg PM2.5 eq, construcción 503 kg PM2.5 eq, mantenimiento 4.22E+02 kg PM2.5 eq y energía operacional 2730 kg PM2.5 eq.

Tabla 11:

Criterios de salud humana durante, el ciclo de vida del M01

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Hh particulate	Kg pm2.5 eq	1.08e+04	3.16e+03	2.17e+02	1.42e+04

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

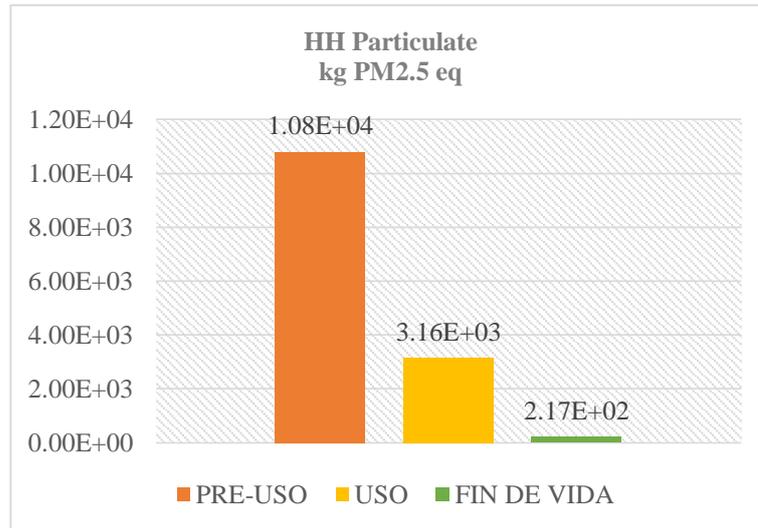


Grafico 5: Criterios de salud humana según, el Ciclo de vida del M01
Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados de los criterios de salud humana en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de $1.47E+01$ kg PM2.5 eq, en pisos $4.71E+01$ kg PM2.5 eq, en zapatas $2.71E+01$ kg PM2.5 eq y por último, en muros. $1.14E+04$ kg PM2.5 eq

Tabla 12:

Criterios de salud humana en relación al tipo de estructura del M01

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg pm2.5 eq	1.47e+01
Floors	Kg pm2.5 eq	4.71e+01
Foundation	Kg pm2.5 eq	2.71e+01
Walls	Kg pm2.5 eq	1.14e+04
Total	Kg pm2.5 eq	1.14e+04

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

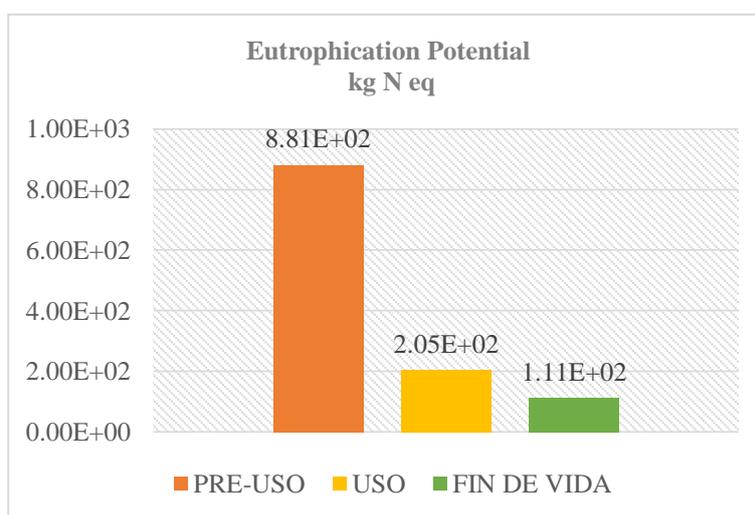
f) Potencial de Eutrofización

El potencial de eutrofización genera un consumo total de 1200 Kg N eq. Debido a que en la etapa de Pre-uso gasta 881 Kg N eq por Manufactura 607 kg N eq, y construcción 274 kg N eq,. Durante la etapa de Uso consume en mantenimiento 4.87 kg N eq, y en energía operativa 200 kg N eq, sumando 205 Kg N eq. Por último la tercera etapa genera 111 Kg N eq.

Tabla 13:*Potencial de eutrofización durante, el ciclo de vida del M01*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Eutrophication potential	Kg n eq	8.81e+02	2.05e+02	1.11e+02	1.20e+03

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

**Grafico 6:** *Potencial de eutrofización según, el Ciclo de vida del M01*

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de eutrofización en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 4.87E+00 kg N eq, en pisos 3.15E+01kg N eq, en zapatas 3.48E+01kg N eq y por último, en muros. 9.25E+02kg N eq

Tabla 14:*Potencial de eutrofización en relación al tipo de estructura del M01*

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg n eq	4.87e+00
Floors	Kg n eq	3.15e+01
Foundation	Kg n eq	3.48e+01
Walls	Kg n eq	9.25e+02
Total	Kg n eq	9.97e+02

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

g) Potencial de Formación de Smog

El consumo de potencial de formación de smog generado en la primera etapa del ciclo de vida de la vivienda es de 313000 Kg O₃ eq, que corresponde a la manufactura 177000 kgO₃ eq y construcción 136000 kgO₃ eq. Asimismo, durante la segunda etapa sumó 86700 kgO₃ eq, que corresponde a las sub etapas de mantenimiento 2100 kgO₃ eq y energía operativa 84600 kgO₃ eq. El fin de vida es de 57300 Kg O₃ eq.. Sumando un total de 457000 Kg O₃ eq.

Tabla 15:

Potencial de formación de Smog durante, el ciclo de vida del M01

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Smog potential	Kg o ₃ eq	3.13e+05	8.67e+04	5.73e+04	4.57e+05

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

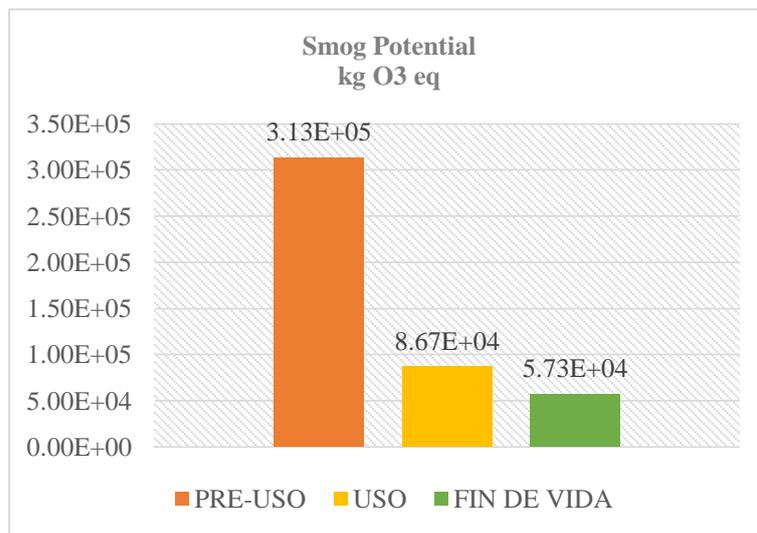


Grafico 7: *Potencial de formación de Smog según, el Ciclo de vida del M01*

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de formación de smog en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 5.57E+02kg O₃ eq, en pisos 3.51E+03kg O₃ eq, en zapatas 3.03E+03 kg O₃ eq y por último, en muros. 3.66E+05 kg O₃ eq

Tabla 16:*Potencial de formación de smog en relación al tipo de estructura del M01*

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg o3 eq	5.57e+02
Floors	Kg O3 eq	3.51E+03
Foundation	Kg O3 eq	3.03E+03
Walls	Kg O3 eq	3.66E+05
Total	Kg O3 eq	3.73E+05

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

h) Energía no Renovable

En la energía no renovable se evidenció que en la etapa de Pre Uso generó 53 500 000 MJ, que corresponde a la manufactura 46600000 MJ y construcción 6920000 MJ. Además el consumo en la etapa de Uso sumó 47 300 000 MJ resultante del mantenimiento 733000 MJ y energía operativa 46500000 MJ. Finalmente la última etapa muestra 2 900 000 MJ de consumo.

Tabla 17:*Energía no renovable durante, el ciclo de vida del M01*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Non-renewable energy	Mj	5.35e+07	4.73e+07	2.90e+06	1.04e+08

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

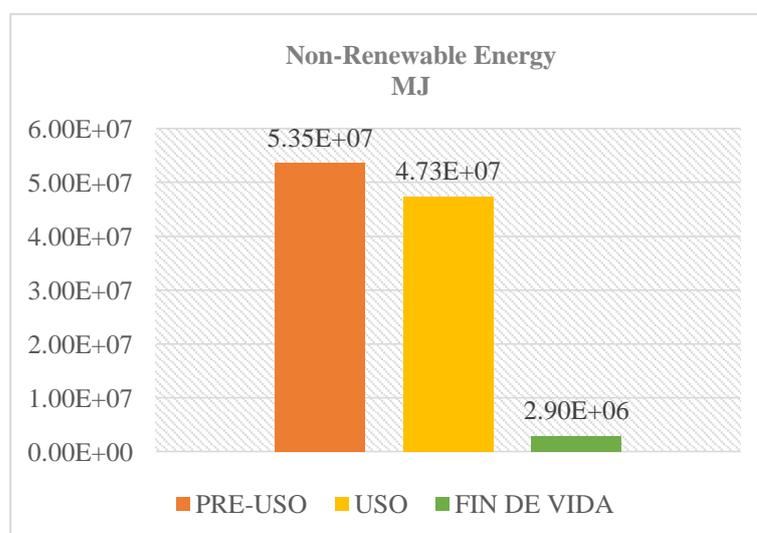


Grafico 8: Energía no renovable según, el ciclo de vida del M01

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados de la energía no renovable en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 7.67E+04MJ, en pisos 3.35E+05MJ, en zapatas 2.62E+05MJ y por último, en muros. 5.65E+07MJ

Tabla 18:

Energía no renovable en relación al tipo de estructura del M01

Assembly Group	Unit	Total
Beams And Columns	MJ	7.67E+04
Floors	MJ	3.35E+05
Foundation	MJ	2.62E+05
Walls	MJ	5.65E+07
Total	MJ	5.71E+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

i) Potencial de agotamiento de ozono

El potencial de agotamiento de ozono en el M01 genera un total de consumo de 17800 kg CFC-11 eq, resultante de la sumatoria de todas las etapas del ciclo de vida de la vivienda. En la etapa de Pre uso se evidencia 178 kg CFC-11 eq, en la segunda etapa 425000 kg CFC-11 eq y finalmente en la tercera 6.510000 kg CFC-11 eq. Asimismo, en las sub etapas de manufactura, construcción, mantenimiento y energía operativa se reporta 0.0166 kg CFC-11 eq, 0.00119 kg CFC-11 eq, 0.0000396 kg CFC-11 eq y 0.00000287 kg CFC-11 eq respectivamente.

Tabla 19:

Potencial de agotamiento de ozono durante, el ciclo de vida del M01

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Ozone Depletion Potential	Kg CFC-11 eq	1.78E-02	4.25E-05	6.51E-06	1.78E-02

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

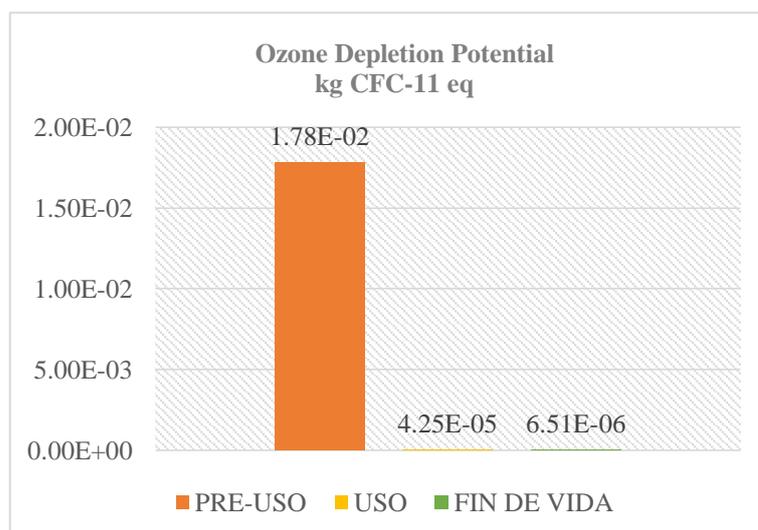


Grafico 9: Potencial de agotamiento de ozono, el ciclo de vida del M01
Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de agotamiento de ozono en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 8.99E-05kg CFC-11 eq, en pisos 5.85E-04kg CFC-11 eq, en zapatas 7.12E-04kg CFC-11 eq y por último, en muros 1.64E-02kg CFC-11 eq

Tabla 20:

Potencial de agotamiento de ozono en relación al tipo de estructura del M01

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg cfc-11 eq	8.99e-05
Floors	Kg CFC-11 eq	5.85E-04
Foundation	Kg CFC-11 eq	7.12E-04
Walls	Kg CFC-11 eq	1.64E-02
Total	Kg CFC-11 eq	1.78E-02

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Tabla 21:*Resumen General de Indicadores Ambientales durante el CV del M01*

Lca measures	Unit	Product	Construction	Use		End of life	Total	
		(A1 to A3) Total	process (a4 & a5) Total	Replacement total	(B2, B4 & B6) Operational energy use total	Total	(C1 to C4) Total	A to c
Global warming potential	Kg co2 eq	3.44e+06	5.28e+05	2.18e+04	3.10e+06	3.12e+06	1.98e+05	7.28e+06
Acidification potential	Kg so2 eq	1.73e+04	4.76e+03	1.44e+02	2.40e+04	2.41e+04	2.01e+03	4.82e+04
Hh particulate	Kg pm2.5 eq	1.03e+04	5.03e+02	4.22e+02	2.73e+03	3.16e+03	2.17e+02	1.42e+04
Eutrophication potential	Kg n eq	6.07e+02	2.74e+02	4.87e+00	2.00e+02	2.05e+02	1.11e+02	1.20e+03
Ozone depletion potential	Kg cfc-11 eq	1.66e-02	1.19e-03	3.96e-05	2.87e-06	4.25e-05	6.51e-06	1.78e-02
Smog potential	Kg o3 eq	1.77e+05	1.36e+05	2.10e+03	8.46e+04	8.67e+04	5.73e+04	4.57e+05
Total primary energy	Mj	4.69e+07	6.94e+06	7.52e+05	4.88e+07	4.96e+07	2.93e+06	1.06e+08
Non-renewable energy	Mj	4.66e+07	6.92e+06	7.33e+05	4.65e+07	4.73e+07	2.90e+06	1.04e+08
Fossil fuel consumption	Mj	3.36e+07	6.73e+06	7.20e+05	3.99e+07	4.06e+07	2.83e+06	8.38e+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

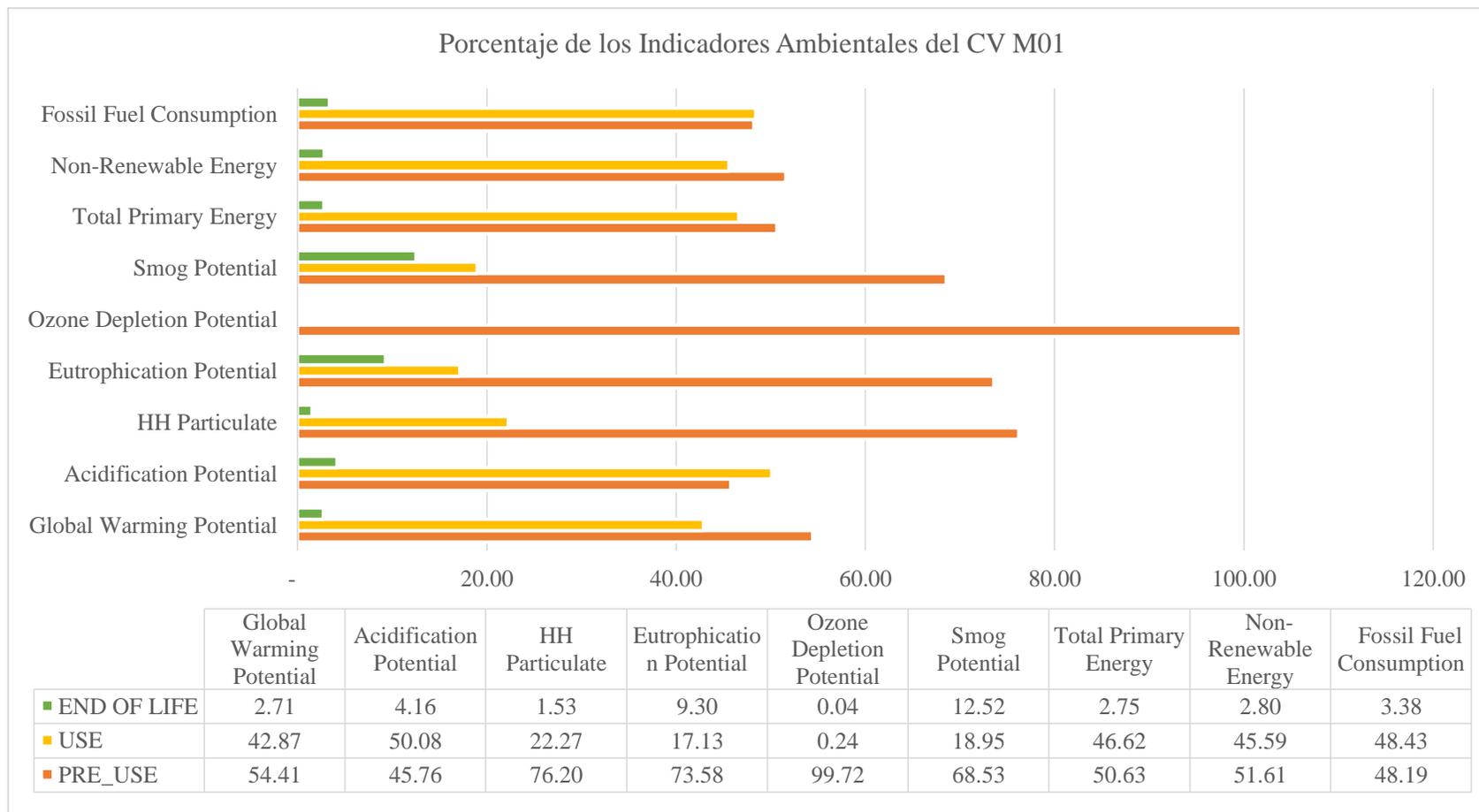


Grafico 10: Resumen General de indicadores Ambientales según el ciclo de vida del M01

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Modelo 02: San Borja

Teniendo como resultado para el Modelo 02 (M02): San Borja lo siguiente:

a) Consumo total de energía primaria

En el consumo total de energía primaria se evidenció que en la etapa de Pre Uso se generó 30 000 000 MJ, que corresponde a la manufactura 26 600 000 MJ y construcción 3 400 000 MJ. Además el consumo en la etapa de Uso sumó 65 800 000 MJ resultante del mantenimiento 5 70 000 MJ y energía operativa 65 200 000 MJ. Finalmente la última etapa muestra 1650000 MJ de consumo. El total de energía durante todas sus etapas del ciclo de vida generó 97 400 000 MJ

Tabla 22:

Consumo total de energía primaria durante, el ciclo de vida del M02

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Total Primary Energy	MJ	3.00E+07	6.58E+07	1.65E+06	9.74E+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

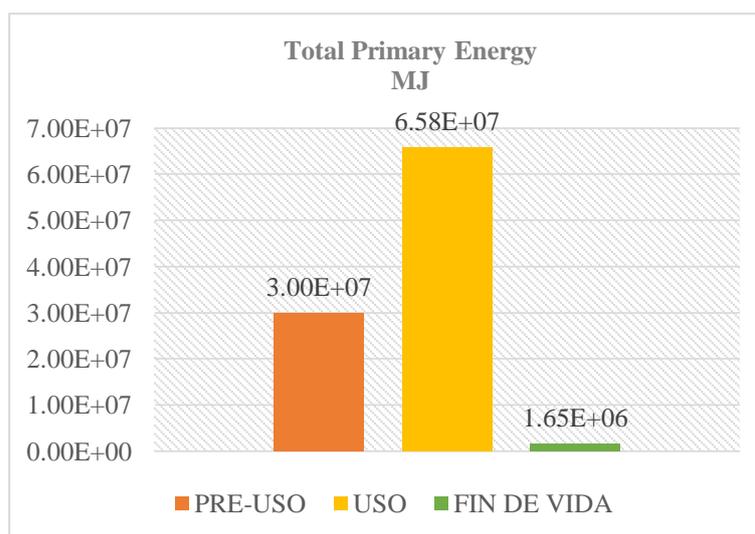


Grafico 11: Consumo total de energía primaria según, el ciclo de vida del M02

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del consumo total de energía primaria en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 2.33E+05 MJ, en pisos 4.06E+05 MJ, en zapatas 1.23E+05 MJ y por último, en muros 3.14E+07 MJ

Tabla 23:*Consumo total de energía primaria en relación al tipo de estructura del M02*

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Mj	2.33e+05
Floors	Mj	4.06e+05
Foundation	Mj	1.23e+05
Walls	Mj	3.14e+07
Total	Mj	3.22e+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

b) Consumo de Combustibles Fósiles

El total del consumo de combustibles fósiles es de 77 300 000 MJ durante el ciclo de vida de la vivienda. En la primera etapa se obtuvo 22 000 000 MJ resultante de la sumatoria de las sub etapas de manufactura de materiales 18700000 MJ y construcción 3 270 000 MJ. Asimismo, la segunda etapa consume 53 700 000 MJ, por el mantenimiento 544 000 MJ y la energía operativa 53 200 000 MJ. Por último el Fin de Vida de la vivienda consume 1 590 000 MJ.

Tabla 24:*Consumo de combustibles fósiles durante, el ciclo de vida del M02*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Fossil Fuel Consumption	MJ	2.20E+07	5.37E+07	1.59E+06	7.73E+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

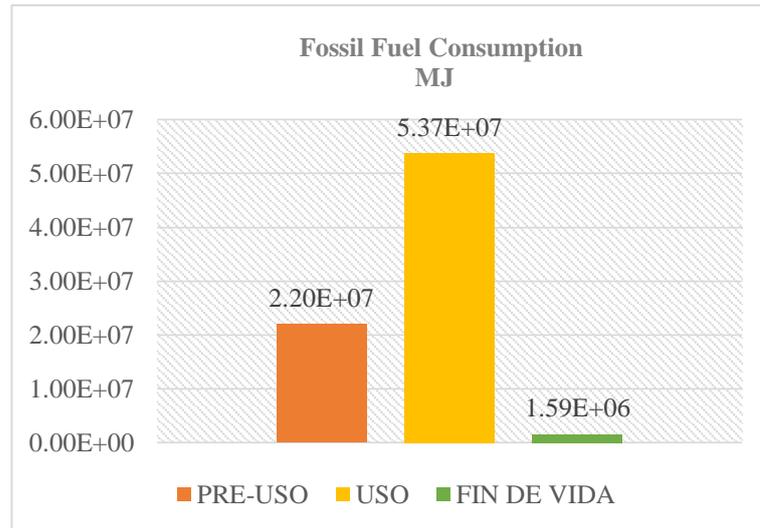


Gráfico 12: Consumo de combustibles fósiles según, el ciclo de vida del M02
Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del consumo de combustibles fósiles en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 1.68E+05 MJ, en pisos 3.44E+05 MJ, en zapatas 1.08E+05 MJ y por último, en muros 2.35E+07 MJ

Tabla 25:

Consumo de combustibles fósiles en relación al tipo de estructura del M02

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Mj	1.68e+05
Floors	Mj	3.44e+05
Foundation	Mj	1.08e+05
Walls	Mj	2.35e+07
Total	Mj	2.41e+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

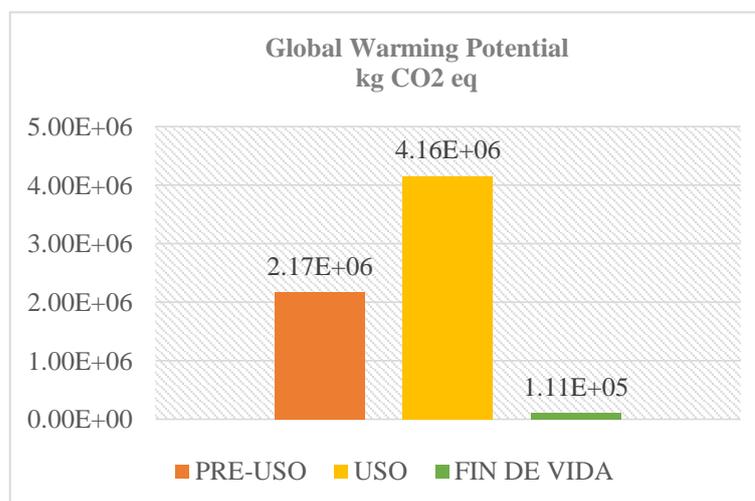
c) Potencial de Calentamiento Global,

El consumo total del potencial de calentamiento global durante sus tres etapas es de 6440000 kg CO₂ eq. La manufactura 1910000 kg CO₂ eq y la construcción 261000 kg CO₂ eq suman un total de 2170000 kg CO₂ eq que corresponde a la etapa de Pre Uso. La siguiente etapa consume 4 160 000 kg CO₂ eq, por mantenimiento 17300 kg CO₂ eq y energía operativa 4140000 kg CO₂ eq. El fin de vida es de 111000 kg CO₂ eq.

Tabla 26:*Potencial de calentamiento global durante, el ciclo de vida del M02*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Global Warming Potential	kg CO2 eq	2.17E+06	4.16E+06	1.11E+05	6.44E+06

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

**Grafico 13:** *Potencial de calentamiento global según, el ciclo de vida del M02*

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de calentamiento global en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de $2.04E+04$ kg CO2 eq, en pisos $4.02E+04$ kg CO2 eq, en zapatas $1.50E+04$ kg CO2 eq y por último, en muros $2.23E+06$ kg CO2 eq

Tabla 27:*Potencial de calentamiento global en relación al tipo de estructura del M02*

Assembly Group	Unit	Total
Beams And Columns	kg CO2 eq	2.04E+04
Floors	kg CO2 eq	4.02E+04
Foundation	kg CO2 eq	1.50E+04
Walls	kg CO2 eq	2.23E+06
Total	kg CO2 eq	2.30E+06

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

d) Potencial de Acidificación:

El consumo total del potencial de acidificación en la vivienda del M01 es de 45100kg CO2 eq. El Pre Uso es de 11800 kg CO2 eq por manufactura 9490 kg CO2 eq y construcción 2270 kg CO2 eq.. Para la segunda etapa el consumo de mantenimiento es de 116 kg CO2 eq y en energía operativa es de 32000 kg CO2 eq que suman 32100 kg CO2 eq. El fin de vida es de 45100 kg CO2 eq.

Tabla 28:

Potencial de acidificación durante, el ciclo de vida del M02

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Acidification Potential	Kg SO2 eq	1.18E+04	3.21E+04	1.16E+03	4.51E+04

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

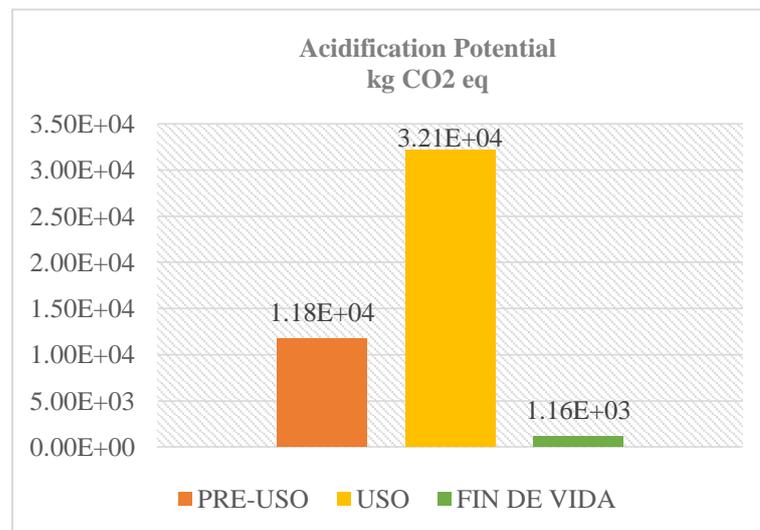


Grafico 14: *Potencial de acidificación según, el ciclo de vida del M02*

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de acidificación en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 9.01E+01 kg SO2 eq, en pisos 1.90E+02 kg SO2 eq, en zapatas 6.21E+01 kg SO2 eq y por último, en muros 1.27E+04 kg SO2 eq

Tabla 29:*Potencial de acidificación en relación al tipo de estructura del M02*

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg so2 eq	9.01e+01
Floors	Kg so2 eq	1.90e+02
Foundation	Kg so2 eq	6.21e+01
Walls	Kg so2 eq	1.27e+04
Total	Kg so2 eq	1.30e+04

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

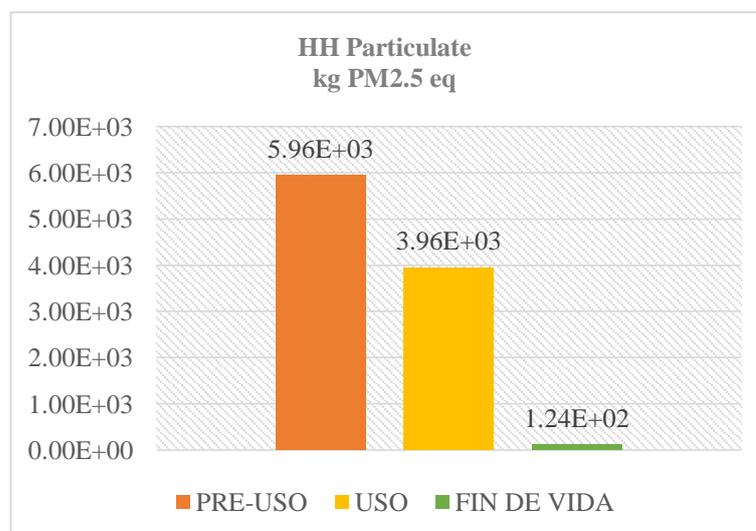
e) Criterios de Salud Humana Air-Mobile,

El resultado de consumo de la primera etapa por criterios de salud humana es 5960 de kg PM2.5 eq, de la segunda etapa es de 3960 kg PM2.5 eq y la tercera es de 124 kg PM2.5 eq. Sumando un total de 10000 kg PM2.5 eq. Generados por las sub etapas de manufactura 5710 kg PM2.5 eq, construcción 25300 kg PM2.5 eq, mantenimiento 310 kg PM2.5 eq y energía operacional 3650kg PM2.5 eq.

Tabla 30:*Criterios de salud humana durante, el ciclo de vida del M02*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
HH Particulate	Kg PM2.5 eq	5.96E+03	3.96E+03	1.24E+02	1.00E+04

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

**Grafico 15:** *Criterios de salud humana según, el ciclo de vida del M02*

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados de los criterios de salud humana en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 4.25E+01 kg PM2.5 eq, en pisos 5.59E+01kg PM2.5 eq, en zapatas 1.24E+01kg PM2.5 eq y por último, en muros 6.28E+03 kg PM2.5 eq

Tabla 31:

Criterios de salud humana en relación al tipo de estructura del M02

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg pm2.5 eq	4.25e+01
Floors	Kg pm2.5 eq	5.59e+01
Foundation	Kg pm2.5 eq	1.24e+01
Walls	Kg pm2.5 eq	6.28e+03
Total	Kg pm2.5 eq	6.40e+03

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

f) Potencial de Eutrofización,
El potencial de eutrofización genera un consumo total de 851Kg N eq. Debido a que en la etapa de Pre-uso gasta 516 Kg N eq por manufactura 384 kg N eq, y construcción 132 kg N eq,. Durante la etapa de Uso consume en mantenimiento 4,06 kg N eq, y en energía operativa 267 kg N eq, sumando 271 Kg N eq. Por último la tercera etapa genera 64,0 Kg N eq.

Tabla 32:

Potencial de eutrofización durante, el ciclo de vida del M02

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Eutrophication Potential	Kg N eq	5.16E+02	2.71E+02	6.40E+01	8.51E+02

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

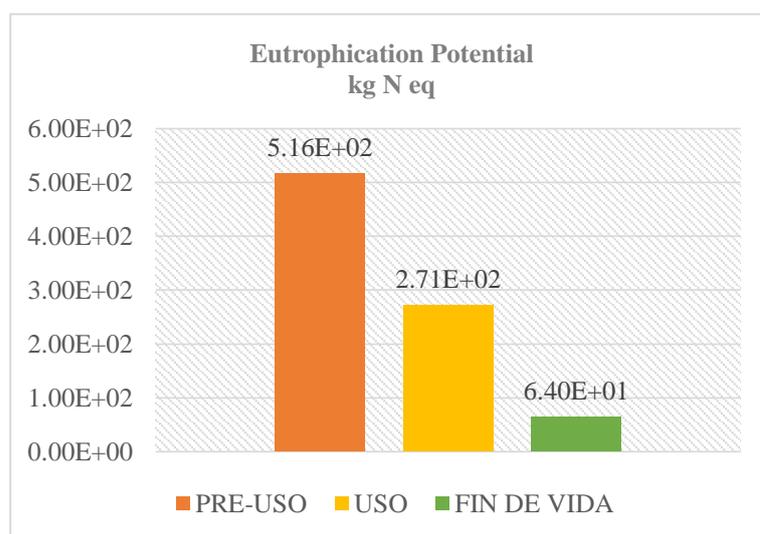


Grafico 16: Potencial de eutrofización según, el ciclo de vida del M02
 Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de eutrofización en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 1.61E+01 kg N eq, en pisos 3.74E+01 kg N eq, en zapatas 1.59E+01kg N eq y por último, en muros 5.15E+02 kg N eq

Tabla 33:

Potencial de eutrofización en relación al tipo de estructura del M02

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg n eq	1.61e+01
Floors	Kg n eq	3.74e+01
Foundation	Kg n eq	1.59e+01
Walls	Kg n eq	5.15e+02
Total	Kg n eq	5.84e+02

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

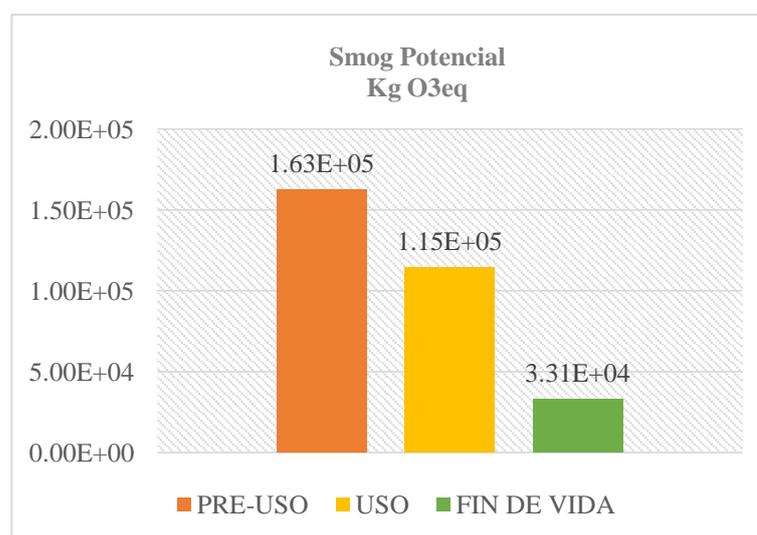
g) Potencial de Formación de Smog,

El consumo de potencial de formación de smog generado en la primera etapa del ciclo de vida de la vivienda es de 163000 Kg O3 eq, que corresponde a la manufactura 98900 kgO3 eq y construcción 63800 kgO3 eq. Asimismo, durante la segunda etapa sumó 115000 kgO3 eq, que corresponde a las sub etapas de mantenimiento 1760 kgO3 eq y energía operativa 113000 kgO3 eq . El fin de vida es de 33100 Kg O3 eq.. Sumando un total de 310000 Kg O3 eq.

Tabla 34:*Potencial de formación de smog durante, el ciclo de vida del M02*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Smog Potential	Kg O3 eq	1.63E+05	1.15E+05	3.31E+04	3.10E+05

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

**Grafico 17:** *Potencial de formación de Smog según, el ciclo de vida del M02*

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de formación de smog en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 1.76E+03kg O3 eq , en pisos 4.16E+03kg O3 eq, en zapatas 1.38E+03kg O3 eq y por último, en muros 1.90E+05kg O3 eq

Tabla 35:*Potencial de formación de Smog en relación al tipo de estructura del M02*

Assembly group	Unit	Total
Beams and columns	Kg o3 eq	1.76e+03
Floors	Kg o3 eq	4.16e+03
Foundation	Kg o3 eq	1.38e+03
Walls	Kg o3 eq	1.90e+05
Total	Kg o3 eq	1.98e+05

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

h) Energía No Renovable,
 En la energía no renovable se evidenció que en la etapa de Pre Uso generó 2 970 000 MJ, que corresponde a la manufactura 26 400 000 MJ y construcción 3 380 000 MJ. Además el consumo en la etapa de Uso sumó 62 600 000 MJ resultante del mantenimiento 554000 MJ y energía operativa 62100000 MJ. Finalmente la última etapa muestra 1640000 MJ de consumo.

Tabla 36:

Energía no renovable durante, el ciclo de vida del M02

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Non-Renewable Energy	MJ	2.97E+07	6.26E+07	1.64E+06	9.40E+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

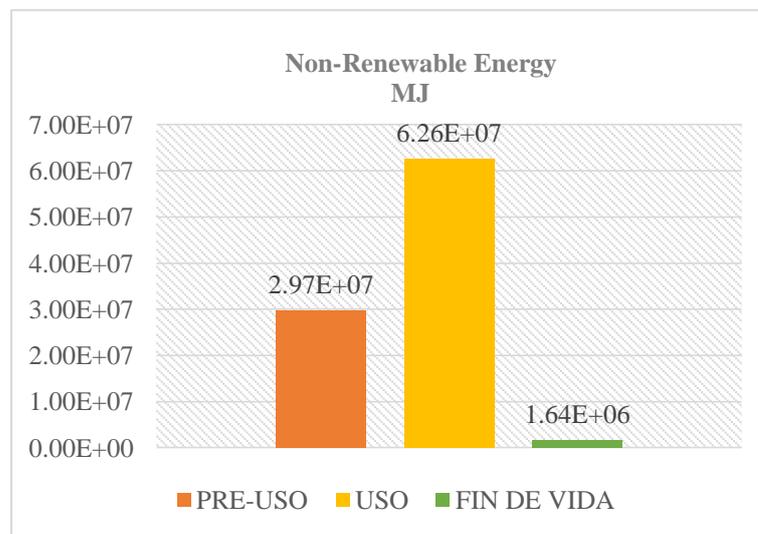


Grafico 18: *Energía no renovable según, el ciclo de vida del M02*

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de agotamiento de ozono en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de, en pisos, en zapatas y por último, en muros

Tabla 37:*Energía no renovable en relación al tipo de estructura del M02*

Assembly Group	Unit	Total
Beams And Columns	MJ	2.30E+05
Floors	MJ	3.98E+05
Foundation	MJ	1.20E+05
Walls	MJ	3.12E+07
Total	MJ	3.19E+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

i) Potencial de Agotamiento de Ozono

El potencial de agotamiento de ozono en el M02 genera un total de consumo de 1.13E-02 kg CFC-11 eq, resultante de la sumatoria de todas las etapas del ciclo de vida de la vivienda. En la etapa de Pre uso se evidencia 1.13E-02 kg CFC-11 eq, en la segunda etapa 3.29E-05 kg CFC-11 eq y finalmente en la tercera 3.72E-06 kg CFC-11 eq. Asimismo, en las sub etapas de manufactura, construcción, mantenimiento y energía operativa se reporta 1.06 E-02 kg CFC-11 eq, 7.27 E-04 kg CFC-11 eq, 2.91 E-05 kg CFC-11 eq y 3.82 E-06 kg CFC-11 eq respectivamente.

Tabla 38:*Potencial de agotamiento de ozono durante, el ciclo de vida del M02*

Lca measures	Unit	Pre-uso	Uso	Fin de vida	Total
Ozone Depletion Potential	kg CFC-11 eq	1.13E-02	3.29E-05	3.72E-06	1.13E-02

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

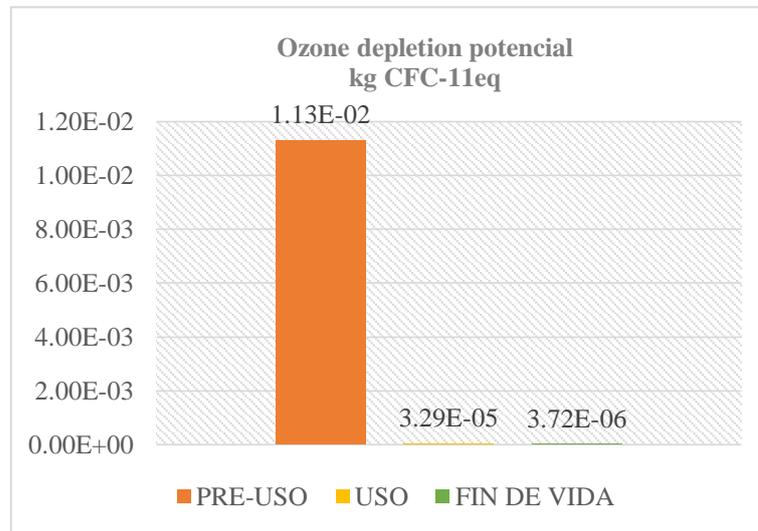


Grafico 19: Potencial de agotamiento de ozono según, el ciclo de vida del M02
Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Los resultados del potencial de agotamiento de ozono en relación al tipo de estructura son los siguientes: En vigas y columnas genera un total de 3.01E-04 kg CFC-11 eq , en pisos 6.94E-04 kg CFC-11 eq, en zapatas 3.25E-04kg CFC-11 eq y por último, en muros 1.00E-02kg CFC-11 eq

Tabla 39:

Potencial de agotamiento de Ozono en relación al tipo de estructura del M02

Assembly Group	Unit	Total
Beams And Columns	kg CFC-11 eq	3.01E-04
Floors	kg CFC-11 eq	6.94E-04
Foundation	kg CFC-11 eq	3.25E-04
Walls	kg CFC-11 eq	1.00E-02
Total	kg CFC-11 eq	1.13E-02

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

Tabla 40:
Resumen General de Indicadores Ambientales durante el CV del Modelo 02

LCA Measures	Unit	Product	Construction	Use			End of	Beyond	Total
		(A1 to A3)	process (A4 & A5)	Replacement Total	Operational Energy Use Total	Total	life (C1 to C4)	building life (D)	effects A to C
Global Warming Potential	Kg CO2 eq	1.91E+06	2.61E+05	1.73E+04	4.14E+06	4.16E+06	1.11E+05	4.18E+05	6.44E+06
Acidification Potential	Kg SO2 eq	9.49E+03	2.27E+03	1.16E+02	3.20E+04	3.21E+04	1.16E+03	9.21E+02	4.51E+04
HH Particulate	Kg PM2.5 eq	5.71E+03	2.53E+02	3.10E+02	3.65E+03	3.96E+03	1.24E+02	4.30E+02	1.00E+04
Eutrophication Potential	Kg N eq	3.84E+02	1.32E+02	4.06E+00	2.67E+02	2.71E+02	6.40E+01	5.00E+01	8.51E+02
Ozone Depletion Potential	Kg CFC-11 eq	1.06E-02	7.27E-04	2.91E-05	3.82E-06	3.29E-05	3.72E-06	-5.14E-07	1.13E-02
Smog Potential	Kg O3 eq	9.89E+04	6.38E+04	1.76E+03	1.13E+05	1.15E+05	3.31E+04	9.49E+03	3.10E+05
Total Primary Energy	MJ	2.66E+07	3.40E+06	5.70E+05	6.52E+07	6.58E+07	1.65E+06	1.89E+06	9.74E+07
Non-Renewable Energy	MJ	2.64E+07	3.38E+06	5.54E+05	6.21E+07	6.26E+07	1.64E+06	1.89E+06	9.40E+07
Fossil Fuel Consumption	MJ	1.87E+07	3.27E+06	5.44E+05	5.32E+07	5.37E+07	1.59E+06	3.90E+06	7.73E+07

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

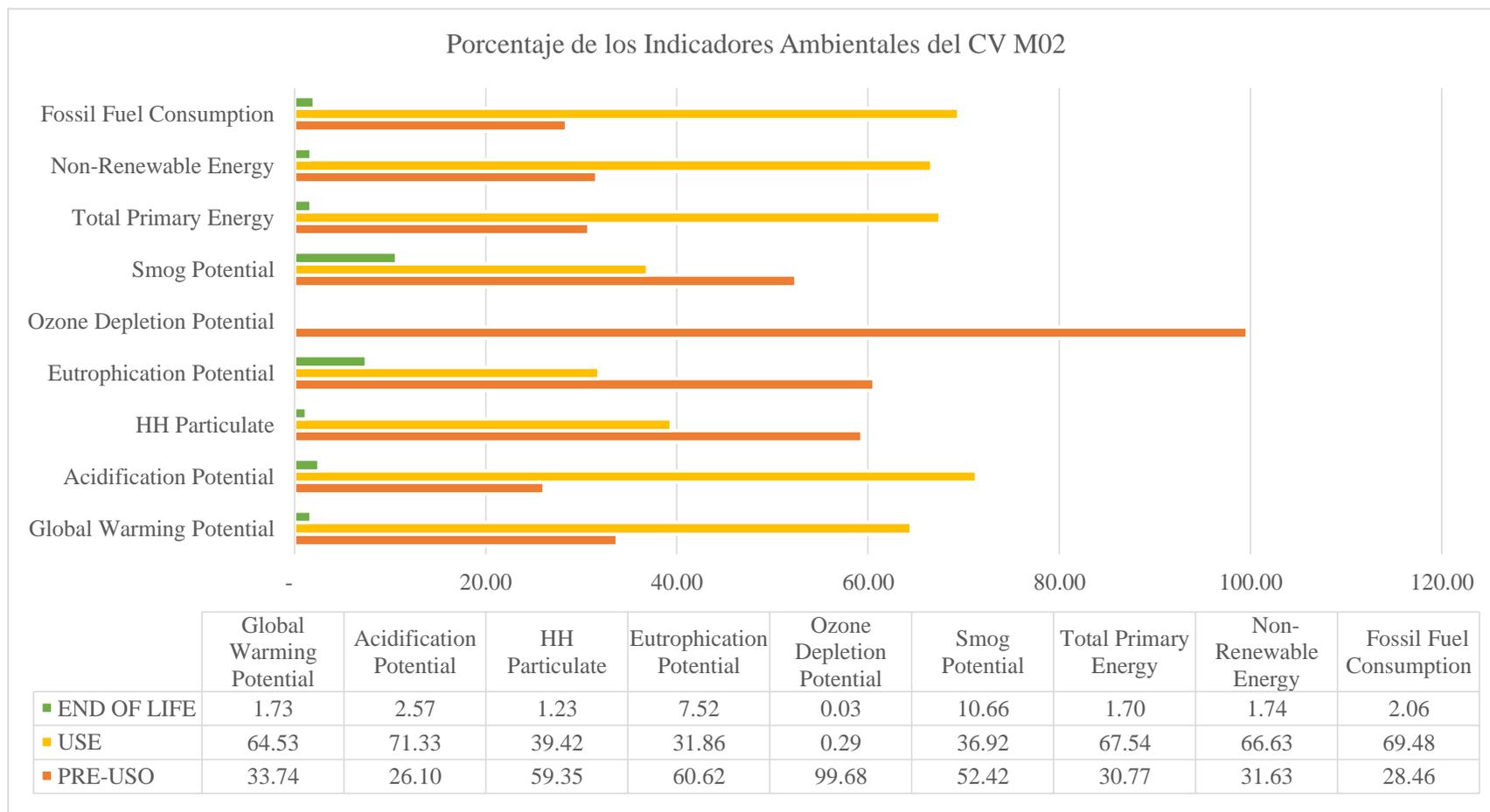


Grafico 20: Resumen General de Indicadores Ambientales según ciclo de vida del Modelo 02.

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este apartado se realiza la interpretación de los resultados en relación a cada indicador obtenido en tablas y gráficos. De manera simultánea, se hace el análisis comparativo entre el modelo 01, ubicado en el distrito de San Miguel y el modelo 02 ubicado en el distrito de San Borja.

Al realizar el análisis del gráfico 21: Porcentaje de generación de cargas ambientales, se puede verificar que, en la etapa de pre-uso el modelo M01 destaca en el resultado porcentual con 63.18% sobre el M02 con un 46.97%. Cabe señalar que en la etapa de pre-uso, se consideran dos fases: Manufactura de materiales y la construcción de la vivienda. El M01 requiere de mayor material constructivo por tener un área construida de 2914.34 m² para 28 departamentos distinto del M02 que tiene un área construida de 2338.96 m² para 15 departamentos.

A diferencia, del Pre-Usado, la segunda etapa predomina el M02 con 14.51% al M01. Se debe a que necesita una gran intervención de energía eléctrica de 710 kw/h para su funcionamiento y mantenimiento a comparación del M01 que requiere 285 Kw/h.

En la etapa final los porcentajes demuestran un mínimo consumo de carga ambiental a comparación con las otras dos etapas.

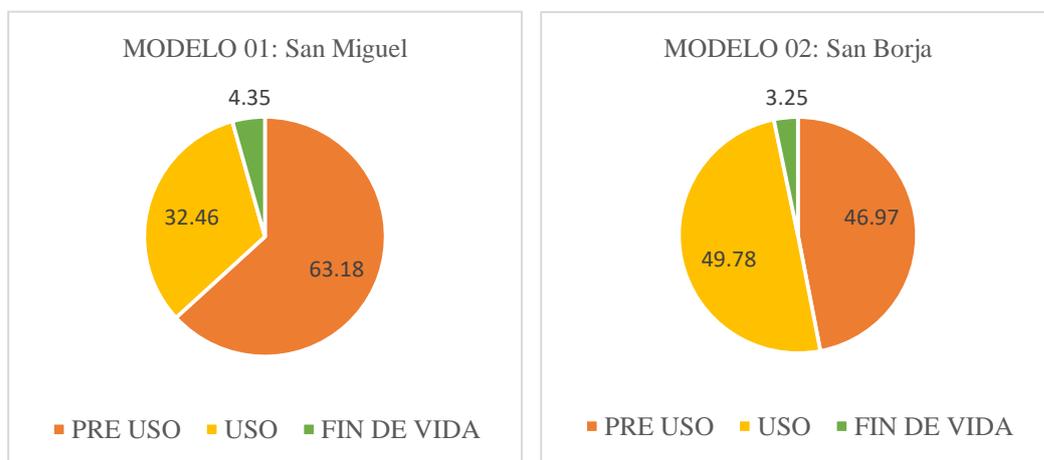


Grafico 21: Porcentaje de generación de cargas ambientales durante el CV de M01 y M02
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del ACV en Athena.

En el Grafico 22 de resumen comparativo general del ciclo de vida del M01 y M02 predominan los porcentajes de carga ambiental en la etapa de Uso, para los indicadores de consumo total de energía primaria, con 46.62% y 67.54% respectivamente; y en la energía no renovable en el M01: 45.59 % y en el M02: 66.63%. A consecuencia del alto índice del consumo energético por mantenimiento y energía operacional.

El consumo del potencial de combustibles fósiles es mayor en la etapa de uso para el M01 y el M02, con 48.43% y 69,48% respectivamente. Debido al consumo de la energía empleada para el uso del mantenimiento y la energía operacional, utilizados para el transporte, generación de electricidad, calefacción, y uso doméstico.

La generación de cargas ambientales para el indicador de potencial de calentamiento global indica que las dos primeras etapas son más significativas en ambos modelos. Se debe a que los factores causantes del calentamiento global son gases de efecto invernadero producidos por actividades como la combustión de combustibles fósiles, actividades que tienen mayor presencia en la etapa de pre- uso del ciclo de vida de la vivienda es por ello que, el M01 genera un 54.41% por la manufactura de materiales de construcción. Asimismo, otro factor causal es la producción de electricidad, predominante en el M02 con 64.53%, por el alto uso de energía operacional.

El porcentaje del potencial de acidificación, tiene mayor índice en la etapa de Uso con 50.08% en el M01 y 71.33% en el M02. Esto se debe por la generación de moléculas de óxido nítrico y dióxido de azufre en el mantenimiento y energía operacional, siendo los mayores contribuyentes a la lluvia acida.

En el indicador de criterios de salud humana, se puede percibir un alto índice en la etapa de pre- uso, en el M01 con un 76.20% y el M02 con 59.35% en comparación de las etapas de uso y fin de vida. Cabe señalar que los materiales que priman en la construcción son el acero y el concreto, que en su manufactura mediante procesos industriales y utilización en la construcción, emiten partículas en el aire perjudiciales para la salud humana.

Se puede observar que, las cargas ambientales en el indicador de potencial de eutrofización predomina la etapa del pre -uso en el M01 y M02, con 73.58% y 60.62%

respectivamente. Ya que, en la etapa de construcción se originan los mayores vertidos ricos en fosfatos y nitratos. Asimismo, en la sub etapa de manufactura genera emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y fósforo (P) en los procesos industriales.

El potencial de formación de smog en el modelo 01 y 02 es de 68.53% y 52.42% en la etapa de pre-uso, por la elaboración de materiales y la construcción de las edificaciones que generan emisiones continuas al aire, que permanecen atrapadas a nivel del suelo favorecidas por la luz solar, y las condiciones climática. Además, es importante señalar que en la etapa de fin de vida tiene el mayor índice porcentual en relación a los demás indicadores ambientales con 12.52% y 10.66% en el M01 y M02 respectivamente.

Las cargas ambientales del potencial de agotamiento de ozono superan el porcentaje con respecto a los demás indicadores ambientales con 99.72 % y 99.68 % en el modelo 01 y 02 respectivamente en la etapa de pre-uso. Por agotamiento de ozono se entiende, como la reducción de la capa protectora de ozono en la estratosfera, causada por emisiones de gases que son expulsados en la elaboración o manufactura de materiales de construcción, que contienen CFC que contribuyen en el deterioro del ozono.

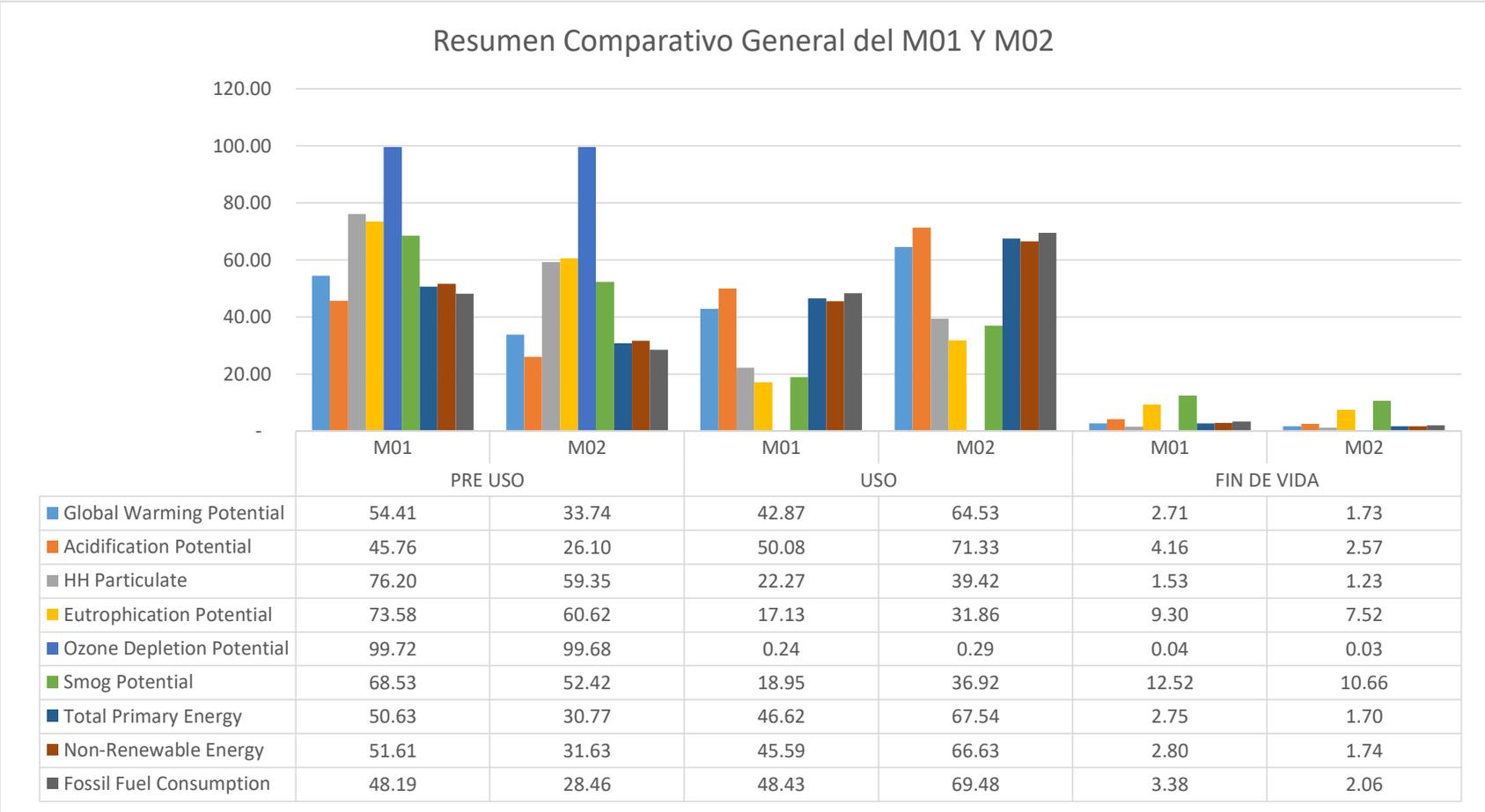


Grafico 22: Resumen comparativo general del ciclo de vida de M01 y M02 en relación a los indicadores Ambientales.

Fuente: Elaboración propia según resultados del ACV en Athena.

V. CONCLUSIONES

La evaluación del nivel de sostenibilidad en el ciclo de vida de dos edificaciones multifamiliares nos permite tener un panorama de la realidad en el sector de la construcción en la ciudad de Lima, las cuales tienen un impacto en los tres pilares: Social, económico y ambiental.

Se concluye que a nivel social, la responsabilidad en la construcción, es uno de los puntos fuertes en el que no sólo se vela por la vida de las personas frente a un sismo o desastre natural, sino también la calidad de vida que esto conlleva. Es decir, mejorar la comodidad y salud de los ocupantes y su entorno. En el proceso de análisis de resultados y comparación de edificaciones en el uso de los recursos, se obtuvo, según los indicadores de consumo lo siguiente: San Miguel (M01): Consumo de agua: 6.40 m³ al mes por departamento; consumo de electricidad 285 kw/h al mes por departamento. San Borja (M02): Consumo de agua: 7.60 m³ al mes por departamento; consumo de electricidad 710 kw/h al mes por departamento. En definitiva, el consumo de los servicios básicos del M02 supera el consumo del M01. Teniendo en cuenta que los recursos son limitados, afectando la calidad de vida de su entorno. Asimismo, se obtuvo una perspectiva general de la situación de la vivienda en el país. El M01 ocupa un área de terreno de 425 m² para 28 familias aproximadamente, mientras que el M02 ocupa un área de 504 m² para 15 familias aprox. Sabiendo que el déficit de vivienda contribuye al aumento y promoción de edificaciones ya sean de manera legal o ilegal (auto-construcción) en la ciudad o periferia, generando desigualdad social. A nivel económico, las edificaciones sostenibles certificadas cuestan menos para operar y aumentan la productividad, además del aumento de plusvalía, promoviendo mejores tasas de arrendamiento. Los edificios ahorran energía, agua, recursos, generan menos desperdicios y respaldan la salud humana, son espacios saludables, en general mejora la calidad de vida. (LEED, USGBC). Finalmente a nivel ambiental si bien es cierto que, gracias a la promoción del aumento de construcciones de viviendas, ya sean edificios o condominios, existe crecimiento económico y social para el país, sin embargo, también existen impactos ambientales que deben ser analizados sabiendo

que la construcción es una actividad que utiliza, en gran cantidad, los recursos naturales, la energía y materiales. Al aplicar software Athena se permite determinar el Análisis de Ciclo de Vida y verificar las etapas más importantes y los impactos que generan, que van acorde a la importancia de cada indicador ambiental. Se obtuvo como resultado del cálculo de cargas ambientales del ciclo de vida de las edificaciones que, el M01 tiene mayor relevancia en el pre- uso mientras que en el M02 existe una brecha mínima entre el pre uso y uso. Sin embargo, coinciden en la última etapa del ciclo de vida con una cifra no mayor del 5%.

VI. RECOMENDACIONES

Para realizar la caracterización de las edificaciones, se debe recopilar información, como los planos, el inventario de materiales, entre otros. Lo ideal es obtener el expediente técnico de la edificación.

En cuanto a la sistematización, es necesario un previo reconocimiento de la información recopilada, para luego, ingresar los datos que requiera el software, tomando en cuenta el modelamiento de la edificación.

Se recomienda verificar de manera prolija la información ingresada al software, para obtener una base de datos consistente, que asegure los resultados óptimos con estadísticas coherentes.

Para poder realizar la comparación de dos edificaciones se aconseja la elección de prototipos análogos, ya sea por sus dimensiones o características estructurales. Por otro lado, la interpretación estadística debe validarse, de tal manera que gracias a dichos resultados se puede rediseñar y reducir los impactos producidos.

Por último, se recomienda seguir la línea de estudio mediante el ACV comparativo de una edificación tradicional y una edificación “eco sostenible” que actualmente ya se encuentra en el mercado inmobiliario y en planes de asistencia social del país. Asimismo, en el Perú aún no existe investigación a profundidad acerca de impactos ambientales durante el ciclo de vida en la construcción de estructuras como puentes, carreteras, entre otros. Es por ello que, es necesario aplicar herramientas de gestión ambiental, como la metodología del ACV la cual se encuentra disponible en herramientas informáticas libres y normadas.

VII. AGRADECIMIENTOS

A mi familia.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Z., Juárez J., Vidal F. y Zarate A. (2016). Situación del uso de criterios de construcción sostenible en el sector vivienda en Lima Metropolitana. Perú: Catálogo de tesis - Universidad Pontificia Católica del Perú.
- Andrews E. (2009). Guidelines for social life cycle assessment of products.
- Cáceres K. (2016). Beneficios ambientales del control de pérdidas en un sistema convencional de tratamiento de agua potable. Perú: Catálogo de tesis- Universidad Pontificia Católica del Perú. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7093>
- García S. (2014). Evaluación ambiental durante el ciclo de vida de una vivienda unifamiliar. Perú: Catálogo de tesis- Universidad Pontificia Católica del Perú. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5313>
- Hernández J. (2014) Metodología basada en ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios. Universidad Politécnica de Cataluña.
- IHOBE, Sociedad pública de gestión ambiental (2010). Recuperado de: https://www.construction21.org/espana/community/action/file/download?file_guid=6788
- Ingeniería Sostenible - UNESCO Recuperado de: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/science-technology/engineering/sustainable-engineering/>
- International Standard Organization. (2006). ISO 14040 - Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework.
- Kahhat R., Crittenden J., Sharif F., Fonseca E., Li K., Sawhney A. Zhang P. (2009). Environmental Impacts over the Life Cycle of Residential Buildings Using Different Exterior Wall Systems.
- Kiberth, CJ. (1994), Establishing principles and a model for sustainable construction. First international conference on sustainable construction.
- Klopffer, W. (2008). Life cycle sustainability assessment of products. International Journal of Life Cycle Assessment.

- LEED: Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental. Recuperado de: <https://new.usgbc.org/leed>.
- Montoya E. (2014) Practicas sostenibles en la construcción de edificaciones. Perú: Catálogo de tesis- Universidad Pontificia Católica del Perú.
- Pérez P. (2010). Green Building Rating Systems: ¿Cómo evaluar la sostenibilidad en la edificación? IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
- Perú Green Building Council. Recuperado de: <http://www.perugbc.org.pe>
- Valdez E. (2011) Análisis de ciclo de vida y aspectos medioambientales en el diseño estructural. México: Investigación sobre vivienda en Iberoamérica. Recuperado de: [http://libros.infonavit.janium.net/libros/PDFi/2011/Analisis_de_ciclo_de_vida_\(i\).pdf](http://libros.infonavit.janium.net/libros/PDFi/2011/Analisis_de_ciclo_de_vida_(i).pdf)
- Vega R. (2015). Evaluación de la sostenibilidad de sistemas de construcción industrializados de fachada en edificios de vivienda colectiva. España: Catálogo de tesis- Universidad Politécnica de Madrid.
- Weidema B. (2006). The integration of economic and social aspects in life cycle impact assessment. International journal of life cycle Assessment.
- The ATHENA Institute (2014). Athena Guide to Whole-Building LCA in Green Building Programs.
- User Manual and Transparency Document Impact Estimator for Buildings v.5 (2016).

IX. APÉNDICES Y ANEXOS