

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**FACTORES CRÍTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE: CASO DE UNA
EDIFICACIÓN PARA UN HOTEL TRES ESTRELLAS EN EL DISTRITO DE
MIRAFLORES, LIMA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Lizbeth Diana Rodriguez Cerron

ASESOR:

Federico Alexis Dueñas Dávila

Lima, Junio, 2024

Informe de Similitud

Yo, Federico Alexis Duenas Davila, docente asociado de la Facultad de Ciencias e Ingenieria de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado “Factores críticos en la construcción sostenible: caso de una edificación para un hotel tres estrellas en el distrito de Miraflores, Lima” de la autora Lizbeth Diana Rodriguez Cerron, dejo constancia de lo siguiente:

El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 5%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* de fecha 29/06/2024. De otro lado, he revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio. Por ultimo, se deja constancia que las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: San Felipe, Jesus Maria, 29 de junio de 2024.

| | |
|--|--|
| Apellidos y nombres del asesor: <u>Dueñas Dávila Federico Alexis</u> | |
| DNI: 23860033 | Firma  |
| ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6149-3334 | |



RESUMEN

En la actualidad, la construcción sostenible es un argumento que se pretende incorporar en el Perú mediante diversos organismos y entidades. Del mismo modo, existe más de un sistema encargado de certificar el nivel de sostenibilidad en base a sus propios estándares, algunos de estos enfocados en determinados procesos y/o etapas por ser considerados de mayor relevancia o impacto. Sin embargo, hay una carencia de estudios acerca del nivel de sostenibilidad de edificaciones con certificaciones sostenibles que evidencien los desafíos y factores que atraviesa la construcción sostenible considerando el impacto en el medio en un aspecto integral.

El objetivo del presente trabajo de investigación es exponer los factores críticos que atraviesa la construcción sostenible a partir del estudio de una edificación particular. Para lo cual, se efectúa el análisis del nivel de sostenibilidad de un caso de estudio en los escenarios base (real) y optimizado (certificación EDGE), y el análisis de las percepciones de un panel de expertos y actores sociales sobre ambos escenarios.

Los resultados revelan que la etapa de uso de la edificación genera la mayor huella de carbono, principalmente debido al consumo de energía. Si bien la adopción de las medidas de eficiencia, propuestos por el sistema de certificación EDGE, garantiza la reducción en los consumos de energía y agua durante la etapa operativa de la edificación, no garantiza prácticas sostenibles en todo el ciclo de vida del proyecto. Además, se observa una inclinación tanto por parte de expertos como de actores sociales en la construcción de edificaciones sostenibles. Sin embargo, se destaca la necesidad de una mayor conciencia ambiental en la toma de decisiones que promueva la implementación integral de la sostenibilidad en la construcción.

ABSTRACT

Sustainable construction in Peru is an argument that is currently being sought to be incorporated through various organizations and entities. Likewise, there is more than one system responsible for certifying the level of sustainability based on their own standards, some of which focus on certain processes and/or stages because they are considered of greater relevance or impact. However, there is a lack of studies regarding the sustainability level of buildings with sustainable certifications that demonstrate the challenges and factors that sustainable construction faces considering the impact on the environment in an integral aspect.

The objective of this research is to expose the critical factors that sustainable construction faces based on the study of a particular building. For this purpose, the sustainability level analysis of a case study was carried out in both base (real) and optimized (EDGE certification) scenarios, as well as the analysis of perceptions from a panel of experts and social actors on both scenarios.

The results reveal that the building's usage stage generates the highest carbon footprint, mainly due to energy consumption. Although implementing EDGE system efficiency measures ensures a reduction in energy and water consumption during the operational stage of the building, it does not guarantee sustainable practices throughout the project's life cycle. Additionally, there is a tendency among both experts and social actors towards the construction of sustainable buildings. However, there is a highlighted need for greater environmental awareness in decision-making to promote the comprehensive implementation of sustainability in construction.



Agradecimientos

A Dios, por siempre guiarme y darme claridad en mis objetivos.

A mis padres, Lizardo Rodriguez y Rocio Cerron, por su amor infinito.

A mi asesor, Alexis Dueñas, por su tiempo y dedicación.

Dedicatoria

A mi familia, mi centro de apoyo.

Tabla de contenidos

| | |
|--|----|
| CAPITULO 1: Introducción | 1 |
| 1.1 Antecedentes | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.3 Objetivos | 4 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 4 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 4 |
| 1.4 Preguntas de investigación..... | 4 |
| 1.4.1 Principal..... | 4 |
| 1.4.2 Específico | 5 |
| 1.5 Delimitación de la investigación..... | 5 |
| 1.6 Limitaciones de la investigación..... | 5 |
| CAPÍTULO 2: Estado del arte | 7 |
| 2.1 Industria de la construcción..... | 7 |
| 2.1.1 Impacto ambiental durante el ciclo de vida de una edificación..... | 9 |
| 2.2 Edificaciones Sostenibles | 11 |
| 2.2.1 Concepto de edificación sostenible | 11 |
| 2.2.2 Criterios de sostenibilidad en edificaciones..... | 13 |
| 2.3 Tipos de Certificación ambiental en edificaciones | 14 |
| 2.3.1 LEED | 14 |
| 2.3.2 BREEAM..... | 16 |
| 2.3.3 EDGE..... | 19 |
| 2.4 Contexto actual en la construcción de edificaciones sostenibles..... | 20 |
| 2.4.1 Contexto actual de la construcción de edificaciones en Lima, Perú | 20 |
| 2.4.2 Contexto actual de la construcción de edificaciones sostenibles en Latinoamérica | 22 |
| 2.5 Críticas a los edificios verdes | 24 |
| 2.6 Gestión ambiental en la industria de la construcción..... | 26 |
| CAPÍTULO 3: Metodología | 28 |
| 3.1 Diseño de la investigación | 28 |
| 3.1.1 Técnicas de Instrumento de recolección de datos..... | 28 |
| 3.1.2 Procedimiento | 30 |
| 3.2 Análisis del Ciclo de Vida..... | 33 |
| 3.2.1 Objetivo y alcance | 34 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.2.2 | Análisis del inventario | 34 |
| 3.2.3 | Evaluación del impacto | 35 |
| 3.2.4 | Interpretación..... | 35 |
| 3.3 | Caso de estudio | 36 |
| 3.3.1 | Delimitación espacial y temporal..... | 38 |
| 3.3.2 | Recolección de datos..... | 39 |
| 3.4 | Escenarios de evaluación | 40 |
| 3.4.1 | Escenario línea base | 40 |
| 3.4.2 | Escenario línea optimizada | 41 |
| 3.5 | Modelo escenario base | 42 |
| 3.6 | Modelo escenario optimizado: EDGE | 52 |
| CAPITULO 4: Resultados de las operaciones unitarias a partir del proceso constructivo | | 63 |
| 4.1 | Resultados del modelamiento del caso base | 63 |
| 4.1.1. | Potencial de Calentamiento Global | 63 |
| 4.2 | Resultados del modelamiento del caso optimizado..... | 66 |
| 4.2.1. | Potencial de Calentamiento Global | 69 |
| 4.3 | Percepción social de la edificación | 70 |
| CAPÍTULO 5: Discusión de resultados..... | | 74 |
| CONCLUSIONES | | 81 |
| RECOMENDACIONES..... | | 84 |
| Bibliografía | | 85 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Producto Bruto Interno por Actividad construcción 2018_1-2021_1 | 8 |
| Figura 2. Porcentaje del estado de edificios construidos en Lima | 21 |
| Figura 3. Destino de construcción de edificios en el año 2017 | 22 |
| Figura 4. Proyectos LEED en Latinoamérica | 23 |
| Figura 5. Proyectos EDGE en Latinoamérica..... | 24 |
| Figura 6. Procedimiento de la ejecución del trabajo de investigación..... | 32 |
| Figura 7. Fases del Análisis del Ciclo de Vida | 33 |
| Figura 8. Elevación del Hotel 28 de Julio..... | 36 |
| Figura 9. Ubicación del Hotel 28 de Julio | 38 |
| Figura 10. Ubicación específica del Hotel 28 de Julio | 39 |
| Figura 11. Etapas durante el ciclo de vida de la edificación..... | 42 |
| Figura 12. Distribución de subetapas para las etapas Pre-Uso y Uso..... | 43 |
| Figura 13. Creación de proceso para el concreto con resistencia a compresión de 210 kg/cm ² | 44 |
| Figura 14. Creación de la etapa de acabados | 45 |
| Figura 15. Distribución del consumo de energía | 51 |
| Figura 16. Registro de las características de la edificación dentro de la pestaña Diseño | 53 |
| Figura 17. Impacto ambiental del edificio de estudio..... | 63 |
| Figura 18. Distribución de la huella de carbono en la etapa de uso como consecuencia de los 50 años de vida útil de la edificación..... | 65 |
| Figura 19. Impacto de las medidas de eficiencia en el consumo energético. | 67 |
| Figura 20. Impacto de las medidas de eficiencia en el consumo de agua..... | 68 |
| Figura 21. Impacto de las medidas de eficiencia en los materiales | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 22. Percepción del panel de expertos por especialidad de los escenarios base y optimizado..... | 71 |
| Figura 23. Percepción del panel de expertos por sector de los escenarios base y optimizado | 71 |
| Figura 24. Percepción de los efectos del hotel sobre el entorno de residentes, transeúntes y potenciales usuarios | 72 |
| Figura 25. Valoración de los efectos del hotel sobre el entorno de residentes, transeúntes y potenciales usuarios | 73 |



Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Criterios de evaluación del Sistema LEED..... | 15 |
| Tabla 2. Criterios de evaluación del Sistema BREEAM | 17 |
| Tabla 3. Conformación del panel de expertos para el grupo focal | 30 |
| Tabla 4. Implicancia de la recolección de datos | 39 |
| Tabla 5. Procesos y materiales considerados para aplicación de las medidas de eficiencia.... | 40 |
| Tabla 6. Modificaciones por las medidas de eficiencia adoptadas en los procesos del caso base | 41 |
| Tabla 7. Inventario del escenario base del edificio 28 de Julio | 46 |
| Tabla 8. Información requerida en la pestaña “Diseño..... | 53 |
| Tabla 9. Medidas de eficiencia energética aplicadas al edificio Hotel 28 de Julio | 56 |
| Tabla 10. Medidas de eficiencia en el consumo de agua aplicadas al edificio Hotel 28 de Julio | 57 |
| Tabla 11. Medidas de eficiencia de los materiales aplicadas al edificio Hotel 28 de Julio | 57 |
| Tabla 12. Inventario del escenario optimizado del edificio 28 de Julio | 58 |
| Tabla 13. Desagregado del impacto ambiental en la categoría GWP en la etapa de Pre-uso.. | 64 |
| Tabla 14. Huella de carbono por área construida | 70 |

CAPITULO 1: Introducción

1.1 Antecedentes

A lo largo de la historia, la humanidad ha desarrollado múltiples avances con el fin de satisfacer sus necesidades presentes, dando múltiples veces soluciones inmediatas que no son precisamente las mejores a largo plazo. Entonces, cuando en nombre del desarrollo social y económico se afecta de forma constante y negativa al medio en el que vivimos surge la interrogante de ¿qué se debe cambiar, qué se puede/debe eliminar o modificar y qué acciones se deben ejecutar? Ante esto, se han originado diversas propuestas planteadas por diversos organismos y entidades con la finalidad de aplacar los daños en el medioambiente.

Como respuesta, la Asamblea General de las Naciones Unidas tomo acción sobre la degradación del planeta en las diferentes dimensiones y adoptó la “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. En este se menciona y desarrolla los diecisiete objetivos relacionados a tres esferas. En primera instancia la esfera económica, segundo la esfera social y en tercero la esfera ambiental. Respecto a la esfera ambiental, en dicha Agenda se establece al planeta como uno de los elementos básicos y propone una mirada a los daños desmedidos realizados al planeta por las diferentes actividades de los seres humanos, debiendo controlar la extracción de los recursos naturales como su consumo con el fin de mitigar estos impactos y obtener un planeta más sostenible (UNESCO, 2017).

En cuanto a los expertos, San-José y Garrucho (2010), plantean que para conseguir la sostenibilidad se requiere de una transformación tecnológica específicamente en seis sectores: agricultura, deforestación, energía, transporte, construcción e industria; y hacen énfasis en el sector construcción, pues es responsable de la extracción de materias primas en un 60%, y a su vez genera emisiones de tal forma que es responsable de un 50% de estos.

Por otro lado, Bautista & Loaiza (2018) clasifican los impactos de la industria de la construcción en el medio ambiente en tres aspectos generales. En primera, la extracción de

recursos renovables y no renovables para la obtención y fabricación de materia prima para la industria. Segundo, los residuos, producto del ciclo de vida de la infraestructura y tercero, el cambio de la naturaleza que se genera en el espacio construido. Además, indican que por cada metro cuadrado de área de vivienda se requiere dos toneladas de materia prima, materia que involucra en su fabricación la energía que consume una familia en doce años y la generación de más de una tonelada de residuos al año por cada uno de sus integrantes.

Frente al marco de cambio climático, se han desarrollado múltiples sistemas de certificación ambiental en todo el mundo, los cuales establecen aspectos o categorías a considerar para obtener una edificación sostenible. En este sentido, en el Perú, se han desarrollado propuestas de mitigación por parte de diversas entidades, como es el caso del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).

El MVCS delegó un grupo de estudio con miras a reducir el impacto ambiental y tomar acción sobre los causantes del cambio climático tomando medidas y ofreciendo beneficios a los agentes de la construcción (Miranda et al., 2014). Un ejemplo de estas medidas es la creación de la Ordenanza N°510/MM y su posterior modificación, Ordenanza N°539/MM, que ofrecen incentivos a las construcciones según tres tipos de Certificado de Promoción de Edificaciones sostenibles (CEPRES) basados en requerimientos mínimos que deben presentar las edificaciones (Municipalidad de Miraflores, 2020). Sin embargo, hay carencia de información acerca de la efectividad y el impacto de esta y otras medidas sobre el sector construcción. Por tanto, es importante dar lugar a nuevos estudios que aporten al conocimiento del estado actual de la construcción de edificios sostenibles en el Perú, enfocándose en diversas líneas de investigación relacionados a este tipo de construcción, ya sea teniendo como objetivo sus beneficios, impactos, limitantes o barreras.

En este contexto, el presente trabajo pretende reconocer y analizar los factores críticos en la construcción sostenible y a su vez conocer la percepción de la construcción sostenible desde la perspectiva de los potenciales usuarios y de los expertos del sector construcción.

1.2 Planteamiento del problema

Con el pasar de los años, la tendencia a desarrollar proyectos sostenibles ha mostrado un crecimiento, en algunos casos con un ritmo más acelerado y en otros con un ritmo más básico (Flores, 2021), como es el caso de Perú. En nuestro país el papel de la construcción de edificios sostenibles se encuentra por debajo del promedio respecto a otros países del mundo y Latinoamérica, pues, en el Perú la cifra de edificaciones con certificados sostenibles no supera los 300 (Gestión, 2021).

Para evaluar y acreditar la sostenibilidad en una edificación se han establecido sistemas de certificación basados en la obtención de un puntaje total, el cual es obtenido a partir de determinadas categorías y aspectos. Estos sistemas direccionan a la industria de la construcción en el camino hacia la sostenibilidad y permite tener un mejor panorama al realizar un proyecto sostenible. Sin embargo, con la finalidad de alcanzar este puntaje, se modifican e implementan materiales que pueden cambiar la carga ambiental en la etapa de pre-uso en la medida que reduzca la huella de carbono en la etapa de uso. Entonces, se plantean interrogantes sobre el impacto que estas medidas pueden tener en la construcción de esta propuesta de edificación sostenible.

El presente trabajo de investigación pretende identificar factores críticos implícitos en la construcción de una edificación sostenible, contemplando también el aspecto social. Entendiéndose factores críticos como los elementos a lo largo del ciclo de vida del edificio que inciden de manera sustancial en el desempeño ambiental de la edificación. Considerando, desde un aspecto práctico y cualitativo, aquellos factores involucrados en la obtención de un mejor desempeño ambiental no solo enfocado en la etapa de uso, sino también en la etapa de pre-uso;

sin limitarlo únicamente a la obtención de una certificación sostenible. Y desde un aspecto más general, aquel o aquellos factores involucrados en la percepción social de una edificación sostenible, porque son los actores involucrados en la construcción (expertos, usuarios, vecinos y transeúntes) que ejercerán un juicio y dirigirán el éxito o fracaso sobre este tipo de construcciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

El objetivo del presente trabajo de investigación es identificar factores críticos involucrados en la construcción de una edificación sostenible considerando, además, las opiniones de potenciales usuarios y un panel de expertos respecto a este tipo de construcciones.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Comparar el nivel de sostenibilidad de una edificación con Certificado de Promoción de Edificaciones Sostenibles CEPRES— Tipo C frente al escenario de dicha edificación con certificado EDGE haciendo un análisis de ciclo de vida en las etapas de pre-uso y uso mediante el uso del software Simapro.
- Analizar y comparar las percepciones de potenciales usuarios y, por otro lado, de un panel de expertos acerca de la construcción sostenible frente a una construcción convencional.
- Reconocer y analizar los factores críticos en la construcción de una edificación sostenible.

1.4 Preguntas de investigación

1.4.1 Principal.

¿Qué factores críticos intervienen en la construcción de una edificación sostenible en el Perú?

1.4.2 Específico.

¿Qué factores condicionan el desempeño ambiental de una edificación sostenible?

¿Cuál es la percepción de un panel de expertos y actores sociales: potenciales usuarios, vecinos y transeúntes acerca de la construcción de una edificación sostenible en comparación con una edificación convencional?

1.5 Delimitación de la investigación

En las delimitaciones, se establecen las fronteras dentro del cual se realizó el estudio y las variables consideradas y/o excluidas. Este trabajo fue realizado en base a un caso de estudio específico, que cuenta con un Certificado de Promoción de Edificaciones Sostenibles otorgado por la Municipalidad de Miraflores. Este proyecto se caracteriza por ser un hotel tres estrellas ubicado en Lima, Perú. El edificio tiene una altura de 48 metros correspondiente a los 16 pisos proyectados sobre la superficie y 10 169,71 m² de área construida destinado a ofrecer 152 habitaciones para huéspedes. Por tal motivo, se debe de considerar el tipo de infraestructura estudiado al analizar los resultados en las etapas de pre-uso y uso.

1.6 Limitaciones de la investigación

En las limitaciones, se considera los elementos que afectan la precisión y generalización de los resultados, destacando que los resultados son específicos a este caso. En primer lugar, se resalta que, la disponibilidad de información en el inventario del Análisis del Ciclo de Vida está restringida. Los datos corresponden a materiales y metrados propuestos en el presupuesto, pero su utilización exacta no se puede afirmar porque estos suelen sufrir variaciones durante la etapa de construcción. Además, se modela de acuerdo con los procesos disponibles en el software SimaPro.

En segundo lugar, los resultados son aplicables a este edificio porque no se realizó un muestreo de varios edificios y si bien los procesos constructivos son estándares no se replican con exactitud en otros casos.

Finalmente, el escenario de línea mejorada se evalúa en el software SimaPro basándose en los resultados obtenidos del software EDGE, los cuales se rigen por normativas locales e internacionales; sin embargo, no se dispone de información exacta sobre los parámetros utilizados.



CAPÍTULO 2: Estado del arte

2.1 Industria de la construcción

Es innegable la marcada influencia de la industria de la construcción dentro de un país. Los beneficios e impactos de este sector repercuten en todos los ámbitos, no se limitan al desarrollo del ámbito económico y social sino también al desarrollo del ámbito ambiental, aunque, en ocasiones, el impacto de este último es omitido.

El sector construcción contribuye a la formación de capital en diversos países del mundo y consume una gran cantidad de insumos, tales como el hierro y el acero. Según los reportes de World Steel Association (2023), la producción de estos materiales alcanzó aproximadamente mil y dos mil millones de toneladas en 2022, respectivamente, correspondiendo este último en 52% consumido por el sector construcción.

Según la última Encuesta Permanente de Empleo Nacional realizada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022) la actividad de construcción genera una demanda de empleos del 7,2% con respecto al total de las actividades económicas, lo que equivale a 1,255 millones de puestos de trabajo.

En la Figura 1 se observa que el comportamiento de la economía en el sector construcción no variaba drásticamente desde el 2015 hasta inicios del 2020. En el año 2018, el país creció en el sector construcción 5,4 % seguido por un crecimiento del 1,6 % en 2019, cerrando el año con un incremento del PBI del 2,2% (INEI, 2019). En el año 2020, a consecuencia de la pandemia causada por el COVID-19, hubo un decrecimiento rotundo en la actividad de un 14,2% con respecto al 2019, con un decrecimiento del PBI del 11,1% (INEI, 2020). Esto como consecuencia de la paralización de obras por la Emergencia Sanitaria Nacional.

Sin embargo, en 2021, con la reintegración de las actividades económicas, el sector construcción recuperó su predominancia durante el primer trimestre del año, registrando un crecimiento del 41,9% con respecto al año anterior (INEI, 2021b).

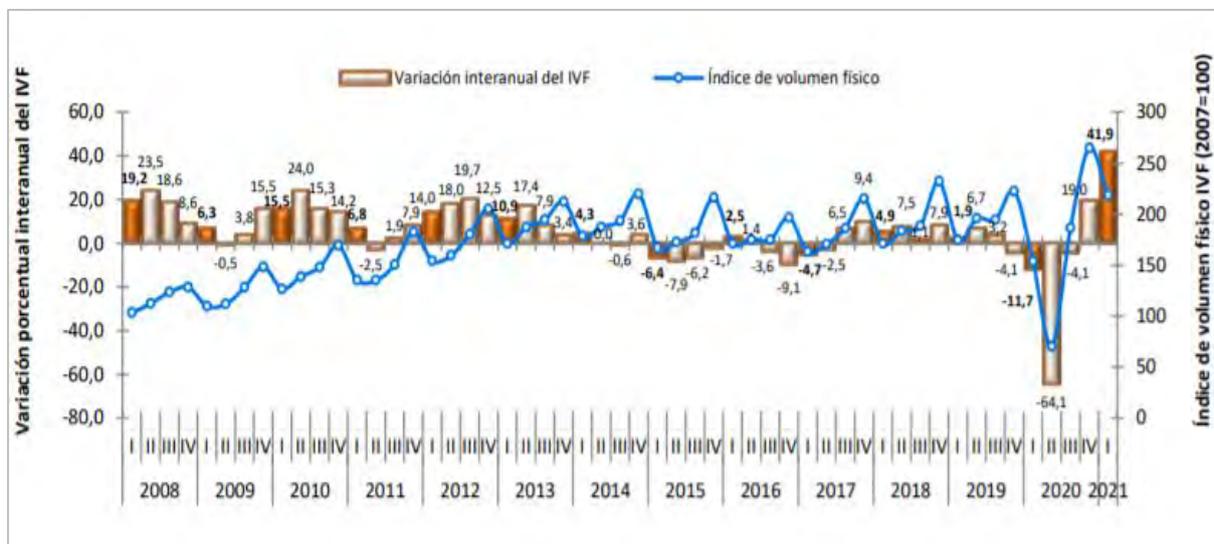


Figura 1. Producto Bruto Interno por Actividad construcción 2018_1-2021_1

Nota. Adaptado de *Comportamiento de la Economía Peruana en el Primer Trimestre de 2021* (p. 16), por Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2021b, Fuente. INEI, 2021b.

En cuanto al sector inmobiliario, la ASEI, por sus siglas Asociación de Empresas Inmobiliarias del Perú, expresó que, durante la primera mitad del año 2020, el valor del metro cuadrado en Lima se había reducido en aproximadamente 0,5% en tan solo cinco meses, desde enero hasta junio (Edificaciones Inmobiliarias, 2020). Esta disminución es una advertencia del impacto que puede tener la paralización del sector construcción a nivel del sector inmobiliario.

Con lo antedicho se destaca los beneficios e impactos favorables que puede brindar la actividad del sector construcción y la necesidad de esta para el desarrollo de una nación. No obstante, también es necesario reconocer los impactos negativos que genera la relación de este sector con el planeta en cualquiera de las tres etapas de una edificación (pre-uso, uso, fin de vida).

2.1.1 Impacto ambiental durante el ciclo de vida de una edificación.

García et al. (2020) examinaron la distribución de las emisiones generadas por un edificio a lo largo de las tres etapas de su ciclo de vida. En primer lugar, señalan que, en la etapa inicial de una edificación, etapa correspondiente al proceso constructivo, o etapa de pre-uso, se origina un impacto significativo debido a las subetapas de manufactura y construcción.

En la subetapa de manufactura se genera emisiones y transformación del medio ambiente debido a la extracción de los recursos, así como al proceso de transporte y fabricación de los materiales solicitados en la industria de la construcción (García et al., 2020). Esta fase suele ser significativa, después de la etapa de operación, tal como lo demuestran diversos Análisis de ciclos de vida (ACV) a edificios. Como ejemplo, un ACV de un edificio de oficinas en Finlandia, que considera las etapas de pre-uso, uso y demolición, indica que el 10% de CO₂ equivalente proviene del uso de materiales (Junnila y Horvarth, 2003). Otros ACV, realizados a edificios de hoteles en Perú, que consideran la etapa de pre-uso y la fase operacional, indican que los materiales pueden generar entre 24% (hotel económico) y 14% (hotel de lujo) de las emisiones de CO₂ equivalente (Filimonau et al., 2021).

En esta fase de manufactura de la edificación, se debería precisar una elección más minuciosa de los materiales de construcción, dado que algunos materiales proporcionan más emisiones que otros en todo su ciclo de vida. Ejemplo de esto son el cemento y la cerámica (Bautista & Loaiza, 2018), los cuales podrían reducir su impacto ambiental al optar por alternativas más respetuosas con el medio ambiente.

Análisis del ciclo de vida indican que la sustitución del cemento en 30% por cenizas volantes o 15% por escoria de alto horno puede disminuir entre 24% y 21%, respectivamente, las emisiones de dióxido de carbono con respecto al cemento Portland (Gettu et al., 2019) o entre 13% a 22%, respectivamente, con respecto a un concreto típico (Flower y Sanjayan).

En la subetapa de construcción, se considera el transporte de los materiales al lugar de la obra, así como las actividades de construcción en sí mismas incluyendo los equipos y maquinarias utilizados en estas actividades. Sin embargo, las actividades de construcción en obra no suelen generar un impacto significativo (Junnila y Horvarth, 2003; Osorio et al., 2022).

El ACV realizado al edificio de oficinas en Finlandia, atribuye a la fase de construcción, el 2% de las emisiones de CO₂eq (Junnila y Horvarth, 2003). Por otro lado, los ACV realizados a edificios de hoteles en Perú atribuyen a esta fase el 1% de las emisiones para un hotel de lujo y el 2% de las emisiones para un hotel económico (Filimonau et al., 2021).

Asimismo, dentro de la fase de construcción, las actividades de construcción, en sí mismas, suelen ser muy inferiores en comparación con los transportes de los materiales (García et al., 2020). Al respecto, García et al. (2020) también destacaron el caso de las emisiones generadas por la fase de construcción en Corea del Sur. En su artículo, señalan que las actividades de construcción en obra representan un 7,3% de las emisiones de esta fase, atribuyendo el 92,7% de las emisiones restantes al transporte de los materiales, en particular al transporte del concreto premezclado.

En segundo lugar, García et al. (2020), señalaron que, en la etapa de uso, la operación y el mantenimiento de la edificación implica el consumo de energía, agua, sistemas de transportes, y la reparación o reemplazo de materiales según el tipo de uso y ubicación del edificio. La variabilidad del uso de sistemas de transportes por parte de los usuarios debido a la locación del edificio no suele considerarse por la falta de estudios suficientes para establecer un estándar de este parámetro.

Además, mencionan que diversos resultados de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizados a viviendas residenciales de España y Colombia muestran que el elemento que más emisiones produce es el consumo de energía debido al uso de combustibles fósiles. El ACV realizado al edificio de oficinas en Finlandia confirma esta tendencia. Según este análisis, el

3% de las emisiones de CO₂_{eq} generadas durante el ciclo de vida de la edificación, se generan producto de la fase de mantenimiento de la edificación, mientras que el 83% proviene de la fase de operación del edificio y 63% de estas emisiones operacionales corresponden al servicio de energía (Junnila y Horvarth, 2003).

En cuanto a los ACV realizados a las edificaciones hoteleras en Perú, se encontró que, en el hotel económico, el 74% de las emisiones analizadas son producto de la fase operacional. Correspondiendo el 28% de estas emisiones a la energía operacional. En el caso de hotel de lujo, el 85% de las emisiones analizadas se atribuyen a la fase de operación de la edificación y de estas, el 66% corresponde a la energía operacional (Filimonau et al., 2021).

Por último, Garcia et al. (2020), hicieron referencia a que en la etapa de fin de vida de una edificación se genera contaminación debido a los residuos generados por la demolición del edificio. Adicionalmente, mencionan que, no existen numerosas investigaciones centradas en las emisiones de gases de efecto invernadero en esta etapa; sin embargo, los análisis que consideran la disposición de los materiales dieron como resultado que estas emisiones son considerablemente menores en comparación con las dos primeras etapas. Esto lo afirma el ACV de la edificación de oficina, en donde los resultados revelan que el 1% de las emisiones analizadas corresponden a la demolición del edificio (Junnila y Horvarth, 2003). Asimismo, Garcia et al. (2020) resaltan que los mayores generadores de GEI en esta etapa son por el uso de energía de las maquinarias utilizados en la demolición y el traslado de los residuos hacia el vertedero (García et al., 2020).

2.2 Edificaciones Sostenibles

2.2.1 Concepto de edificación sostenible.

El término “edificación sostenible” puede entenderse como la introducción del desarrollo sostenible dentro de la construcción y específicamente en una determinada edificación. Según la UNESCO (2017), se entiende el concepto “desarrollo sostenible” como

“aquel modelo de desarrollo que permite satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras a satisfacer las suyas propias” (p. 19). Sin embargo, resulta complejo definir el término “edificación sostenible” debido a la evolución del conocimiento sobre los problemas asociados con la sostenibilidad en el desarrollo de las construcciones (Miranda et al., 2014).

En principio, uno de los primeros organismos en establecer una definición de edificio sostenible fue el comité de Organización Internacional para la Normalización (ISO, 2023), el cual planteaba a este tipo de edificio como la estructura capaz de aportar beneficios a la sociedad, teniendo en cuenta los impactos que podría provocar en los ecosistemas durante sus diferentes etapas, y ejecutando las medidas necesarias para reducir dichos impactos. Esto revela un primer enfoque más fragmentado, que manifiesta la introducción de la esfera ambiental a las esferas de desarrollo económico y social, ya preestablecidas. Implica una especie de búsqueda de equilibrio entre estas tres dimensiones, permitiendo al ser humano aprovechar del ecosistema, pero sin generar impactos significativos entre dichas esferas (Miranda et al., 2014).

No obstante, con la búsqueda de la trascendencia de este concepto, se obtuvo un nuevo enfoque holístico, que plantea a la edificación dentro de una economía sostenible y como parte integral de las ciudades (Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles, 1994). Por tanto, con lo mencionado, no sería correcto definir edificio sostenible como un elemento independiente de la ciudad, sino como una parte integral de la urbanización y del desarrollo sostenible de sus habitantes.

Con lo escrito se advierte que no existe una definición unificada de “edificio sostenible”, sino que es posible la coexistencia de más de un concepto relacionado a las necesidades surgentes; sin embargo, se sabe que este está ligado al cambio climático y a la economía verde. En conclusión, adoptaremos un enfoque holístico y definiremos un edificio sostenible como aquel edificio que afirma en todas sus etapas la dignidad humana e impulsa la

equidad económica, no solo restaurando, sino también manteniendo en el tiempo la armonía entre el ecosistema y la edificación (Du Plessis, 2002).

2.2.2 Criterios de sostenibilidad en edificaciones.

Existen más de un sistema de clasificación basados en grupos de criterios que permiten clasificar como sostenible a una determinada edificación dependiendo del tipo de infraestructura construida. Estos son planteados con base en los objetivos que se desean obtener durante todo el proceso constructivo de la edificación.

Con el fin de mantener un lineamiento para la conducción de proyectos de edificación hacia la sostenibilidad, entidades u organizaciones ofrecen certificaciones según sus propias métricas de sostenibilidad. Debido a que el caso de estudio presenta parámetros de una edificación con certificación CEPRES tipo C, normado por los criterios establecidos por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Municipalidad de Miraflores, 2020). A continuación, se nombra las siete variables de indicadores de sostenibilidad propuestos por el MVCS (Miranda et al., 2014).

En primer lugar, en la variable material, se agrupan todos los indicadores referidos al empleo ecoeficiente de los materiales de construcción haciendo uso controlado de los recursos naturales disponibles, considerando su origen, distribución, mantenimiento y maximizando en lo posible su reutilización.

En segundo lugar, residuos sólidos de construcción y demolición, tiene en cuenta el correcto tratamiento de los residuos sólidos en las etapas de construcción de la edificación hasta el proceso de cierre de este, ya sea recuperándolos en su totalidad y/o reciclándolos.

En tercer lugar, calidad ambiental exterior refiere a criterios que generen el menor impacto posible en los recursos naturales como en la urbanización, aquí se limita la generación de contaminantes que pueda ocurrir producto de una mala gestión del proceso constructivo de dicha edificación.

Como cuarta variable, calidad ambiental interior, agrupa a los indicadores referidos a un adecuado servicio del espacio del edificio, empleando estrategias para evitar el uso de artefactos innecesariamente.

En cuanto a la quinta variable, energía, esta se refiere a los criterios que fomenta el ahorro de energía y su consumo racional a lo largo de su ciclo de vida; además, se considera también el uso de energías renovables y un sistema de seguimiento de su consumo.

Por su parte, la variable de recursos hídricos considera los criterios de ahorro y consumo eficiente de todas las masas de agua, tomando en cuenta también la emisión y el tratamiento de los desagües, así como la posible reutilización de las aguas tratadas.

Finalmente, relación con la movilidad refiere a los criterios que fomentan la disminución de contaminación derivadas por el transporte, tanto en la etapa de ejecución como en la de operación. En el primer caso, considerando recursos para la construcción que estén en un radio cercano al proyecto de edificación y en el segundo, fomentando el uso de transporte peatonal y el transporte no motorizado.

2.3 Tipos de Certificación ambiental en edificaciones

En el mundo existen sistemas enfocados en certificar la sostenibilidad en edificios, que han sido establecidos por distintas organizaciones. Estos sistemas han adoptado el concepto de sostenibilidad en edificaciones según sus propios estándares; sin embargo, todos estos se enfocan en el mismo propósito de desarrollar un edificio “más verde” que siga los criterios de sostenibilidad y que permita mitigar el impacto ambiental. En el Perú, se han otorgado más de 250 certificados de edificios sostenibles (Vega, 2021). Dentro de las certificaciones con más presencia en el país se puede nombrar a LEED, EDGE y BREEAM.

2.3.1 LEED.

El sistema de clasificación de edificios sostenibles Leadership in Energy & Environmental Design o también conocido por sus siglas en inglés como LEED fue

desarrollado en 1998 por la U.S. Green Building Council (USGBC) (USGBC, 2023). Actualmente, este sistema de certificación es una de las más utilizadas en el mundo con alrededor de cien mil proyectos certificados y la más empleada en el país, con más de 100 edificios nombrados en alguno de sus niveles. Su misión consiste en “transformar la forma en que se diseñan, construyen y operan los edificios y las comunidades, permitiendo un entorno ambiental y socialmente responsable, saludable y próspero que mejore la calidad de vida” (USGBC, 2023, p. 1).

Para clasificar un proyecto como sostenible, el sistema LEED ofrece la Guía de estudio LEED (USGBC, 2009), en el cual menciona los aspectos y procesos a seguir para la certificación. Esta guía menciona como prerrequisito, sin adición de puntaje, la aplicación de un proceso integrativo de la información y el trabajo colaborativo de los involucrados en el proyecto desde la etapa de diseño, que permita la mejora de los resultados. Adicionalmente, menciona nueve aspectos con puntuación indicados en la Tabla 1.

Tabla 1

Criterios de evaluación del Sistema LEED

| Aspecto | Enfoque |
|----------------------------|--|
| Locación y transporte | Protección y concientización del entorno y espacio utilizados. |
| Sitios sostenibles | Selección del proyecto según el transporte; selección, diseño y gestión de sitio; y gestión de aguas pluviales. |
| Eficiencia del agua | Eficiencia en el consumo del agua de interiores, agua de riego, y agua de los procesos de calefacción y/o refrigeración. |
| Energía y atmosfera | Reducción de impactos por el uso de energía basado en la demanda y eficiencia energética, la energía renovable, y el desempeño energético constante. |
| Materiales y recursos | Selección de materiales sustentables considerando su ciclo de vida desde la cuna hasta la tumba y en la gestión de los residuos. |
| Calidad ambiental interior | Calidad del servicio del proyecto al ocupante basado en la calidad del aire interior, el confort térmico, la iluminación y la acústica. |
| Innovación | Innovación en el diseño y desempeño ejemplar que no esté agrupado dentro de los otros aspectos. |

| Aspecto | Enfoque |
|--------------------|--|
| Prioridad regional | Selección de recursos que disminuya el impacto de la huella de carbono debido al transporte. |

Nota. Adaptado de *Guía de Estudio de LEED*. Fuente. USGBC, 2009.

Estos aspectos permiten clasificar a la edificación dentro de cuatro niveles de certificación LEED. En el nivel base se encuentra el nivel Certificado que consiste en lograr un puntaje mínimo de 40 puntos, en un segundo nivel, el certificado Plata que consiste en lograr un puntaje dentro de los 50 y 59 puntos, en el siguiente nivel, Oro, que consiste en un logro de puntaje entre los 60 y 79 puntos y en el nivel más alto se encuentra el certificado Platino para el cual se debe haber alcanzado un puntaje mínimo de 80 puntos (USGBC, 2009).

Actualmente, LEED presenta una nueva actualización de su sistema de calificación llamada LEED v4 la cual muestra ocho subgrupos para la categoría de Diseño y Construcción de Edificios (BD+C): el primero llamado Nueva construcción y gran Reforma, aplicable a edificios nuevos y renovaciones, el segundo grupo llamado Desarrollo de Núcleo y Envoltorio, aplicables cuando hay un control en el área de diseño, el tercero es el grupo Centro de Procesos de Datos para edificaciones aplicadas a servicios informáticos, el cuarto, Cuidado de la salud para hospitales que operan full time, el quinto, Hospedaje, subgrupo en el que se encuentran los hoteles, en sexto lugar el subgrupo *Retail* aplicable al comercio minorista, en séptimo lugar el subgrupo Escuelas aplicables a edificios que brindan educación y el último subgrupo llamado Almacenes y Centros de Distribución, en el cual se encuentran construcciones que operan como almacenes (USGBC, 2023).

2.3.2 BREEAM.

El sistema de certificación Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM) es el primer Sistema de Clasificación de Edificios Sostenibles creado en 1990 con presencia en más de 90 países, y al igual que el sistema LEED,

se destaca como uno de los sistemas de certificación más ampliamente adoptados a nivel global (BREEAM, 2022).

Como lo muestra la Tabla 2 el sistema de clasificación BREEAM está basado en la puntuación total de diez aspectos principales: gestión, salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales, residuos, uso ecológico del suelo, contaminación e innovación. El puntaje asignado a cada aspecto se multiplica por un factor de ponderación ambiental que dependerá de la categoría a la cual pertenece el proyecto y el puntaje total obtenido determina la clasificación del edificio en uno de los cinco niveles (BREEAM, 2022).

Tabla 2

Criterios de evaluación del Sistema BREEAM

| Criterios | Descripción |
|------------------------|---|
| Gestión | Gestión del proyecto |
| | Coste del ciclo de vida y planificación de la vida útil |
| | Prácticas de construcción responsable |
| | Puesta en servicios y entrega |
| | Seguimiento Post-ocupación |
| Salud y Bienestar | Confort Visual |
| | Calidad del aire interior |
| | Confort térmico |
| | Eficiencia acústica |
| | Accesibilidad |
| | Peligros naturales |
| | Espacio creativo |
| | Calidad del agua |
| | Tratamiento sostenible de agua en piscinas |
| | Seguridad |
| Viviendas inteligentes | |
| Residuos | Gestión de residuos de construcción y demolición |
| | Áridos reciclados |
| | Gestión de residuos domésticos |
| | Adaptación al cambio climático |
| Contaminación | Impacto de los refrigerantes |
| | Emisión de NOx locales |
| | Agua superficial de escorrentía |
| | Atenuación de residuos |

| Criterios | Descripción |
|-----------------------------|---|
| Innovación | Innovación |
| Transporte | Accesibilidad al transporte público Proximidad a los servicios Modos de transporte alternativo Plan de movilidad Oficina en casa |
| Agua | Consumo de agua Detección y prevención de fugas de agua Equipos eficientes de agua |
| Materiales | Impactos del ciclo de vida Aprovisionamiento responsable de productos de construcción Diseño orientado a la durabilidad y resiliencia Eficiencia de los materiales |
| Energía | Eficiencia energética Iluminación externa Diseño bajo en carbono Sistema de transporte energéticamente eficiente Equipos energéticamente eficientes Espacio de secado |
| Uso del suelo y la ecología | Selección del emplazamiento Valor ecológico del emplazamiento y protección de los elementos con valor ecológico Mejora de la ecología del emplazamiento Impacto a largo plazo sobre la biodiversidad Control de erosión |

Nota. La tabla muestra los requisitos solicitados en cada aspecto para los diferentes tipos de proyectos. Disponible desde: <https://breeam.es/internacional/>. Fuente. BREEAM, 2022. Elaboración propia.

El nivel de clasificación más bajo, el nivel llamado “correcto” requiere un puntaje mínimo de 30, seguido del nivel “bueno” con un puntaje mayor o igual a 45. El nivel “muy bueno” se otorga a proyectos con un puntaje mayor o igual a 55, mientras que el nivel “excelente” requiere un puntaje mayor o igual a 70. Finalmente, en el nivel más alto se encuentra el nivel “excepcional”, otorgado a proyectos con un puntaje mayor o igual a 85 (BREEAM, 2022).

2.3.3 EDGE.

El Sistema de Clasificación EDGE, nombrado así por las iniciales que lleva su nombre en su idioma original, Excellence in design for Greater Efficiencies, fue desarrollado gracias a el Internation Finance Corporation (IFC), uno de los miembros del Grupo del Banco Mundial (GBM). Este sistema está implementado en más de 170 países y en su página oficial afirman como objetivo el “responder a la necesidad de una solución medible y creíble que demuestre el caso de negocio para la construcción ecológica y desbloquear la inversión financiera” (EDGE, 2022,).

Este sistema fue elaborado como propuesta a la necesidad de impulsar la sostenibilidad de edificios nuevos o ya construidos de una forma más simple y eficiente en países en desarrollo. Esto se debe a que varios de los sistemas de certificación más ampliamente reconocidos internacionalmente no tienen en cuenta las realidades específicas de estos países.

El Sistema EDGE ofrece tres niveles de certificación. En el primer nivel se encuentra la Certificación EDGE, la cual requiere alcanzar un ahorro de energía, agua y energía incorporada en los materiales en un 20% o superior, en el nivel 2 la Certificación EDGE Advanced para el cual se requiere de la Certificación EDGE además de un ahorro del 40% o más en energía en el emplazamiento, y en el nivel 3, el certificado Zero Carbon, que exige de una Certificación EDGE Advanced y el 100% de energías renovables o el 100% de reducción de emisiones de carbono. (EDGE, 2022).

En la Guía del usuario de EDGE (IFC, 2021) se mencionan las medidas a tomar en las tres categorías con el fin de mejorar la eficiencia en cada una de ellas, esto dependiendo el destino de la edificación, así se mencionan medidas específicas según se trate de casas, hotelería, comercio, oficinas, hospitales o educación. Obteniendo en total 37 medidas de eficiencia energética, 18 medidas de eficiencia en el consumo de agua y 11 medidas de eficiencia en el uso de los materiales, con respecto a los edificios aplicados al sector de

hostelería, de los mencionados son aplicables 29 medidas en la categoría de eficiencia energética, y 15 y 11 medidas para las categorías de eficiencia en el consumo de agua y eficiencia del uso de materiales, respectivamente.

Además, esta guía del usuario menciona que, para la categoría de energía, esta se cuantificará en kilovoltios-hora/mes y su eficiencia estará determinada por parámetros como el uso de pinturas reflectivas, ventilación natural y una menor proporción de vidrio, entre otros. En cuanto a la eficiencia en el uso de los materiales, su cálculo se realizará en kilogramos de CO₂ equivalente por metro cuadrado del proyecto y este se logrará considerando parámetros como las losas de piso, construcción de cubierta, paredes externas, paredes internas, acabado de piso marcos de ventana y aislamiento. (Calero y Maguiña, 2020).

Para la categoría de agua, su consumo se cuantificará en kilolitros por mes y se basará en parámetros como el uso de cobertor de piscina, sistema de tratamiento y reciclaje de aguas grises y negras, aparatos sanitarios con uso eficiente de agua, duchas de bajo flujo, grifos de bajo flujo para lavabos, entre otros. Asimismo, la guía establece que las duchas y grifos de bajo flujo puede reducir el consumo de agua sin comprometer la operatividad, en el primer caso reduciendo el flujo de agua promedio para una misma presión de 13 litros por minuto a entre 8 y 9 litros por minutos y en el segundo caso logrando reducir el flujo a 2 litros por minuto (IFC,2021).

Un ejemplo de la eficiencia del agua se encuentra en el hospital Uns en Indonesia, donde se logró obtener un ahorro en el consumo del agua del 49.48% implementando los criterios del sistema EDGE. (Rijananto et al., 2017).

2.4 Contexto actual en la construcción de edificaciones sostenibles

2.4.1 Contexto actual de la construcción de edificaciones en Lima, Perú.

Según Valdivia (2018), en el año 2017 en Lima se registraron 4 903 438 m² de edificios construidos. Como lo muestra la Figura 2-a, el 28,9% de estos edificios se encontraban

vendidos, el 18,1% eran considerados como edificios no comercializables porque el propósito de este tipo de edificios son el de arriendo o uso propio y el 53,0% pertenecían al grupo de edificios ofertados.

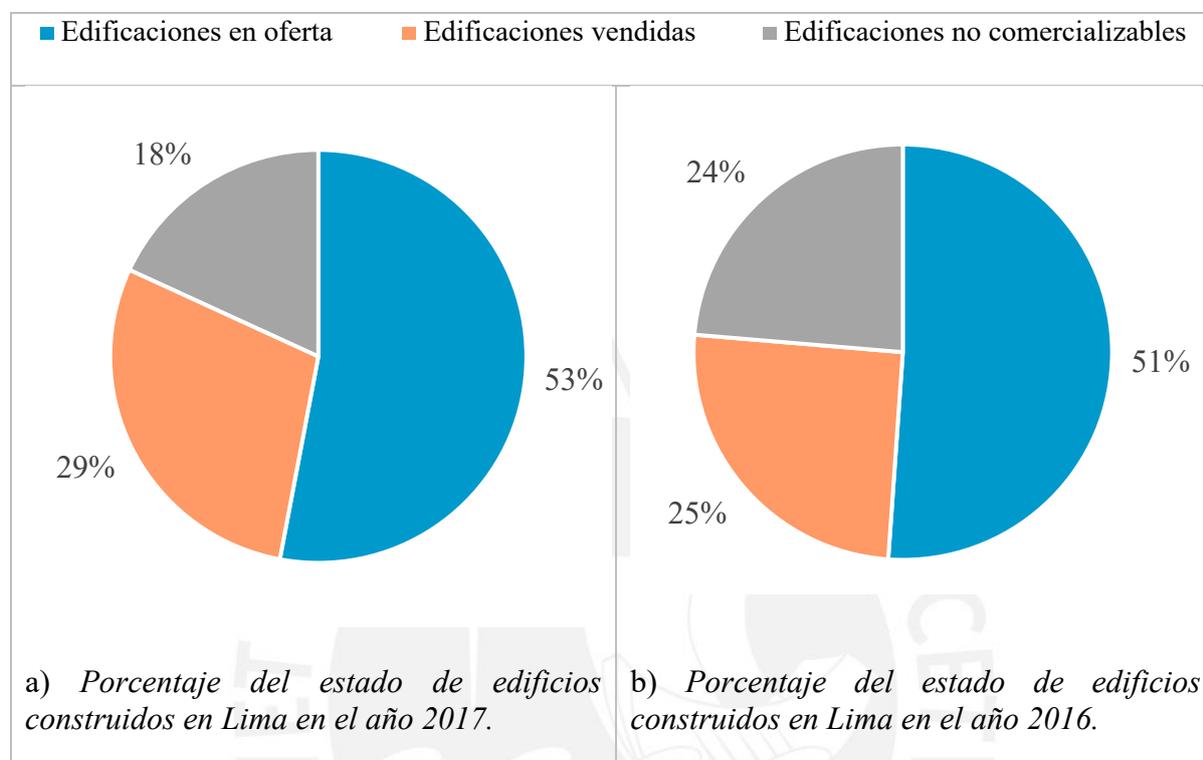


Figura 2. Porcentaje del estado de edificios construidos en Lima

Nota. Adaptado de *Actividad edificadora total en Lima Metropolitana (m²)*, de Valdivia, 2018. Disponible en <https://acortar.link/qFHwG0>. Fuente. Elaboración propia.

La misma tendencia presentada en el 2017 se observó en el año 2016 (Figura 2-b), que al igual que en el año 2017, más del 50% de las edificaciones construidas se encontraban en oferta y el número de edificaciones no comercializables y vendidas se mantenían dentro del rango promedio de 21% y 27%, respectivamente.

Como se observa en la Figura 3, del total de edificaciones construidas en el año 2017, la mayor parte de estas edificaciones estaban destinadas a viviendas con una participación del 69%, de los cuales, gran parte de estos eran departamentos. Un 20% pertenecía al destino “otros”, que hace referencia a hoteles, centros educativos, centros comerciales, entre otros; el 9% fueron destinados a oficinas y solo el 2% fueron destinados a locales comerciales (Valdivia, 2018).

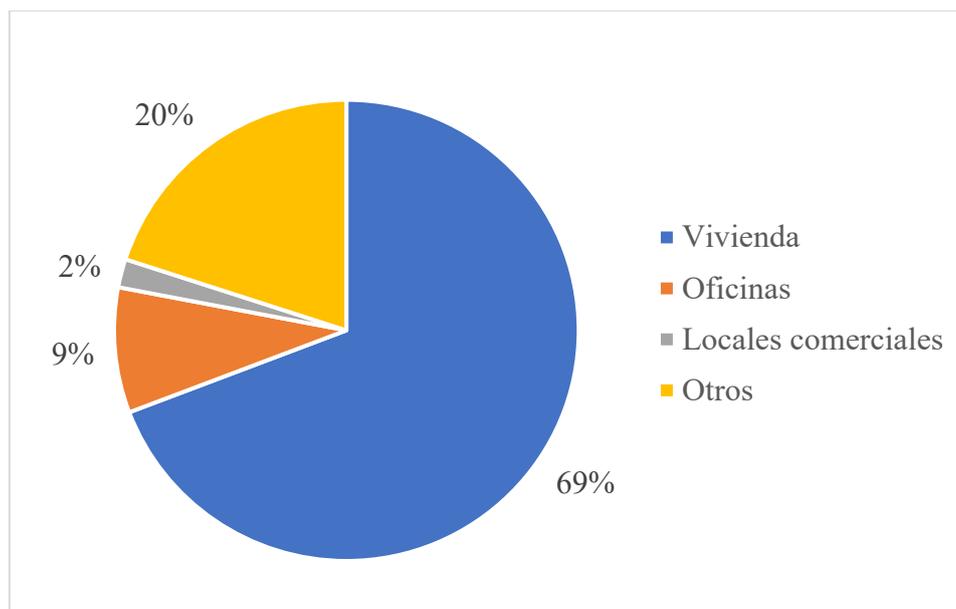


Figura 3. Destino de construcción de edificios en el año 2017

Nota. Adaptado de *Actividad edificadora total en Lima Metropolitana según destino (m²)*, de Valdivia, 2018. Disponible en <https://acortar.link/qFHwG0>. Fuente. Elaboración propia.

2.4.2 Contexto actual de la construcción de edificaciones sostenibles en Latinoamérica.

En específico con respecto a las edificaciones sostenibles, según la página oficial de U.S. Green Building Council (2023), organización que desarrolló uno de los sistemas de certificación más ampliamente utilizados a nivel global, el sistema LEED; Brasil y México son los países que presentan mayor número de edificios certificados bajo este sistema en América Latina (ver Figura 4), contando cada uno con más de 1500 proyectos registrados, estos refiriéndose a proyectos que aún se encuentran en el proceso de obtener un certificado y alrededor de 600 proyectos certificados. Seguidamente se encuentran los países de Chile y Colombia, que presentan aproximadamente 550 proyectos registrados y alrededor de 250 proyectos certificados. Detrás de estos países, con un menor número de edificaciones sostenibles se encuentran Argentina, Costa Rica y Perú con alrededor de 100 proyectos con certificación LEED. En el caso de este último, Perú, con una menor predominancia, presenta 124 proyectos certificados y 151 proyectos registrados LEED (U.S. Green Building Council, 2023).

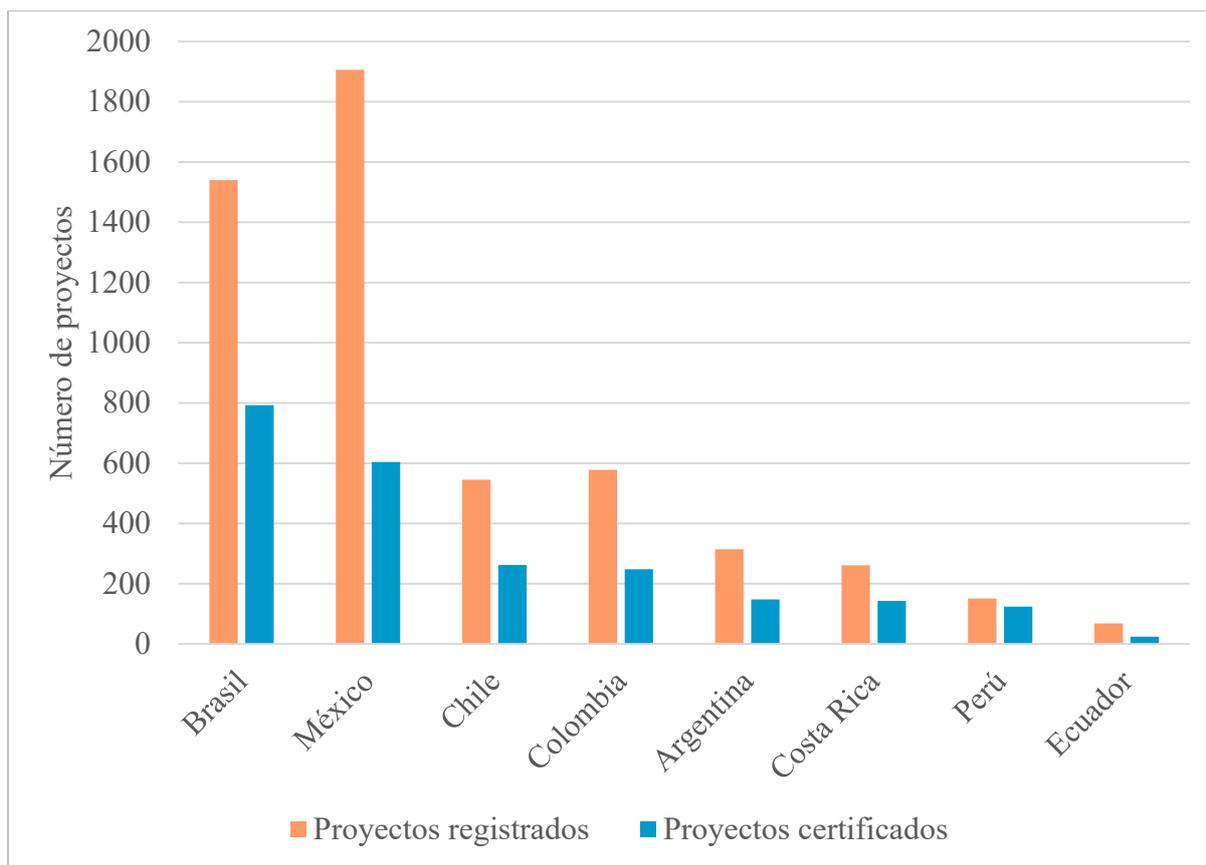


Figura 4. *Proyectos LEED en Latinoamérica*

Nota. El gráfico indica el número de proyectos registrados y certificados bajo el sistema LEED, actualizado al mes de marzo del 2023. Disponible en <https://www.usgbc.org/leed>. Fuente. Elaboración propia.

Si bien Brasil y México lideran con proyectos LEED en Latinoamérica, no destacan con la misma magnitud en cuanto a número de proyectos EDGE porque tal como lo muestra la Figura 5, Colombia lidera con un gran margen frente a los demás países de su región. Según la página oficial del sistema EDGE, Colombia registra 177 proyectos registrados bajo este sistema. En segunda posición, al igual que en el sistema LEED, se encuentra México con 75 proyectos registrados. Seguido por Perú y Ecuador con 55 y 50 proyectos registrados respectivamente y con menor predominancia Brasil y Argentina con menos de 50 proyectos registrados cada uno (GBCI, 2023).

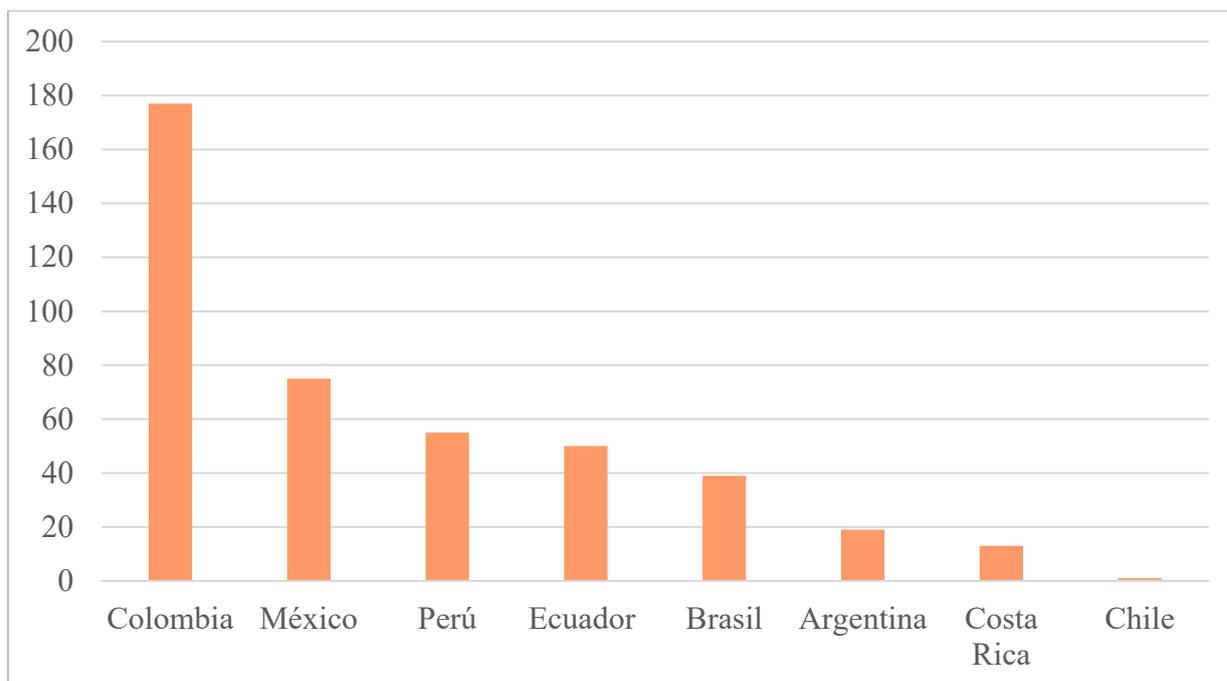


Figura 5. *Proyectos EDGE en Latinoamérica*

Nota. El gráfico indica el número de proyectos registrados bajo el sistema EDGE, actualizado al mes de marzo del 2023. Disponible en <https://www.usgbc.org/leed>. Fuente. Elaboración propia.

A pesar de que Perú no destaca por el número de edificaciones con certificación sostenible de alguno de los sistemas mencionados se empieza a observar una tendencia positiva en cuanto a este tipo de construcciones con una tasa de registro de 30 proyectos al año, siendo el 50% de estos proyectos del tipo de construcciones de edificios para oficinas (Villaseñor y EBP Chile, 2021). Asimismo, el país empieza a escalar frente al sistema EDGE porque se encuentra en tercer lugar con el número de proyectos construidos con este sistema.

2.5 Críticas a los edificios verdes

Se entiende que para que una edificación sea considerada como edificio verde, se requiere tomar decisiones y acciones que vayan acorde con el lineamiento de la sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida de la edificación. No obstante, al ingresar este concepto a un marco de construcción tradicional emergen nuevos factores que generan barreras en la promoción de la construcción de nuevos edificios sostenibles, de estas podemos mencionar cuatro:

La primera barrera es el incremento inicial de costos por las actividades, artefactos y/o procesos que se considera en las dos primeras etapas del proyecto, correspondientes al diseño y ejecución, mas no los costos de la etapa completa de operación (Alvarado et al., 2016). Esto debido a que los costos de un edificio verde pueden llegar a ser 35% más elevados que un edificio tradicional (Defilippi y Dueñas, 2021). Un ejemplo de este tipo de implementaciones que asisten en la sostenibilidad de los edificios se da con los techos verdes en los que, el desafío del alza de costos reduce en la etapa de los cálculos del presupuesto. Sin embargo, se ha comprobado que estos reducen al año aproximadamente el 66 % del consumo energético. (Zuleta, 2011)

Un segundo desafío, es la falta de conocimiento acerca de las edificaciones verdes. Actualmente, existe una gran falta de entendimiento en un gran sector de la construcción acerca de los beneficios, gestión y sistemas de certificación para edificaciones sostenibles. Adicionalmente, esta frontera involucra también a los potenciales usuarios de las edificaciones, porque una edificación verde puede reducir anualmente, una suma considerable en costos de mantenimiento (Alvarado et al., 2016).

Un tercer desafío por considerar es la falta de promoción de las construcciones sostenibles por parte del Estado Peruano. En el país hace falta impulsar una gestión que implemente medidas adecuadas y establezca incentivos para fomentar este tipo de construcciones. Es decir; se debe estudiar los diferentes escenarios y obtener medidas cuantitativas y cualitativas del aporte a la sostenibilidad y de la eficacia de las medidas dadas por parte del Estado (Alvarado et al., 2016).

Un cuarto desafío con el que se encuentran los edificios verdes es la introducción de nuevos agentes de la construcción a las etapas de construcción, lo cual implica un mayor alcance para las actividades de gestión (Piñeiro García y García-Pintos Escuder, 2009). Es

importante efectuar que los involucrados en los procesos de las edificaciones sigan con los objetivos de sostenibilidad establecidos del proyecto.

Adicionalmente a las barreras que encuentra el sector construcción en un marco general frente a la introducción de la sostenibilidad, existen ciertas variables que deben ser tomadas en cuenta en la ejecución de los proyectos que aspiran a obtener una certificación sostenible para que el impacto en el medio sea coherente con los objetivos de sostenibilidad planteados. Es decir, un edificio con certificación sostenible debe garantizar eficiencia entre las esferas económica, social y ambiental porque si un sistema de clasificación otorga más puntaje a un determinado aspecto de evaluación y los proyectos se enfocan más en el logro de la obtención del puntaje y no en el objetivo de una edificación que reduzca los impactos negativos en el medio, la idea de edificación sostenible se podría tergiversar.

2.6 Gestión ambiental en la industria de la construcción

A partir de la Revolución industrial, las empresas comenzaron a implementar metodologías para sistematizar la producción dentro del contexto y limitaciones propias de cada sector. En este sentido, con el surgimiento de la preocupación por la aplicación de la sostenibilidad, surge la necesidad de nuevas herramientas de gestión que orienten en la toma de decisiones en la dirección de los diferentes sectores, incluidas las actividades de construcción (World Bank, 2018).

La inclusión del concepto de sostenibilidad en el sector construcción implica un mayor número de involucrados, procesos y decisiones a considerar; por lo tanto, la gestión de este tipo de proyectos requiere de un sistema más específico que permita analizar, controlar y gestionar los procesos de una forma más integrada (Sánchez, 2014). Para abordar este vacío técnico, en 2015 la norma ISO 14001 plantea un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) para aquella organización que busque gestionar de forma eficiente la toma de decisiones enfocadas a la prevención de la contaminación y conservación del medioambiente. Así también, ayuda

prever riesgos y crea oportunidades relacionados al estado cambiante de las condiciones ambientales (ISO 14001, 2015). Esta norma adopta el método PHVA, que refiere a Planificar, Hacer, Verificar y Actuar la cual su nombre original proviene del idioma inglés como PDCA, con base en esto establece cinco requisitos (López, 2020).

El primero es el liderazgo, que declara la importancia de la dirección de la toma de decisiones y la delegación de responsabilidades para garantizar una correcta aplicación y el apego a los objetivos mencionados en el SGA. El segundo es la planificación, que refiere a la implementación de acciones y procesos con base en los riesgos y oportunidades, manteniendo siempre información documentada de estas, así como de sus obligaciones. El tercero es el soporte, que requiere que la organización proporcione medios necesarios para garantizar una correcta aplicación del Sistema de Gestión Ambiental incluyendo recursos, competencia, conciencia, comunicación e informática documentada. El cuarto requisito es la operación, que implica que la empresa u organización deba planificar y controlar todas las operaciones, así como prepararse y establecer procesos necesarios que respondan ante una situación de emergencia. Finalmente, con la evaluación del desempeño, las organizaciones requieren seguir, medir, analizar y evaluar la correcta performance con el medio ambiente, cumplimiento de sus obligaciones mediante auditorías internas y la revisión por la Dirección (López, 2020).

Especialmente el último requisito del método PHVA resalta la importancia de la información sobre el impacto en el entorno de las construcciones sostenibles, esto mediante el análisis cualitativo y cuantitativo del desempeño de las construcciones sostenibles, que permita establecer comparaciones y ratios para una mejor toma de decisiones (López, 2020).

CAPÍTULO 3: Metodología

3.1 Diseño de la investigación

La metodología del desarrollo de la investigación tiene enfoques cuantitativo y cualitativo. En primera instancia, se considera el enfoque cuantitativo al trabajar con técnicas documentales de recolección de datos que permite realizar mediciones y comparaciones numéricas y porcentuales para poder establecer conclusiones a partir de estas. En segunda instancia, se considera un enfoque cualitativo al utilizar encuestas representativas de un grupo de panel de expertos y potenciales usuarios de la edificación a analizar, que permitió obtener opiniones representativas de la percepción social de ambos grupos sobre el proyecto de estudio.

A fin de cumplir con los objetivos del presente trabajo de investigación mencionados en el Capítulo 1, se tuvo en cuenta las siguientes técnicas de recolección de datos, así como los respectivos instrumentos que ayudaron a ejecutarlos.

3.1.1 Técnicas de Instrumento de recolección de datos.

Técnicas. Para la recolección de datos se utilizó una técnica documental, la cual profundizó en tres secciones fundamentales. En primer lugar, se hizo uso de fuentes secundarias contenidas en el expediente técnico, como la memoria descriptiva, especificaciones técnicas, presupuesto y planilla de metrados de las áreas de arquitectura, estructuras, eléctricas, mecánicas, sanitarias, agua contra incendios y gas. De esta primera fase de recolección de datos se empleó principalmente el metrado de los materiales, así como los planos y datos de las condiciones y características particulares del caso base de estudio para conformar el inventario de la edificación.

En segundo lugar, se consideró los criterios de sostenibilidad y las medidas de eficiencias establecidas en la Guía del usuario de EDGE correspondiente al software EDGE versión 3.0, que permitió modelar el Hotel 28 de Julio en un escenario de línea mejorada de acuerdo con el sistema de certificación

En tercer lugar, se emplearon como referencia códigos y normas de la Ordenanza N°510/MM, el Código Técnico de Construcción Sostenible y la Norma Técnica A.030 “Hospedaje” del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE (en específico el Anexo 1), pues estos brindan requisitos y parámetros técnicos mínimos obligatorios para hoteles, los cuales se usaron en el diseño y en la elaboración del escenario mejorado del edificio para evaluar las medidas de eficiencia a considerar sin alterar los servicios y características de un hotel tres estrellas.

Instrumentos. Se utilizaron los resultados de los cuestionarios realizados a dos grupos de encuestados, bajo la dirección de la empresa responsable del proyecto, con la finalidad de obtener la percepción del Hotel 28 de Julio y del impacto generado en el entorno en un escenario base y en un caso del edificio mejorado.

Por un lado, se obtuvieron las opiniones de un grupo de muestreo no probabilístico conformado por 40 encuestados y seleccionado por cuotas, conformado por 15 residentes (vecinos), 10 transeúntes y 15 potenciales usuarios. A este primer grupo se realizaron 7 preguntas de tipo cerrada y escala tipo Likert sobre los efectos positivos y negativos en el entorno generados por la ejecución del proyecto. En esta encuesta se realizó una valoración en una escala del 0 al 5, donde 5 representa una percepción muy favorable y 0 indica nada favorable, con respecto a cómo percibe el encuestado los efectos del proyecto de construcción sobre determinados aspectos. De esta manera, se evalúa la percepción de los efectos positivos del proyecto en su entorno en los aspectos de servicios, relacionado a la funcionalidad del edificio, economía, en relación de la influencia del proyecto en la economía del país, paisaje, en relación a la percepción de la edificación dentro del entorno, infraestructura verde, en relación a la integración de un componente del paisaje en la infraestructura, infraestructura gris, en relación a la percepción de la integración del proyecto con el espacio natural . También se realizó, con base a la misma escala, preguntas sobre la percepción de existencia de los efectos

negativos del proyecto sobre el entorno en los aspectos de congestión vehicular, en relación con el tráfico que este generaría y contaminación, en relación con el impacto ambiental del proyecto sobre el medio ambiente.

Por otro lado, se obtuvo el grado de percepción favorable de un panel de expertos conformado por 12 encuestados (ver Tabla 3), en una escala del 0 al 5, donde 5 es muy favorable y 0 nada favorable, sobre la construcción de la edificación en los escenarios de línea base y optimizado mediante la técnica de grupo focal.

Tabla 3

Conformación del panel de expertos para el grupo focal

| Especialidad/Profesión | Sector | Cantidad |
|---|---------------|-----------------|
| Arquitecto | Académico | 1 |
| | Público | 1 |
| Ingeniero Civil | Académico | 1 |
| | Público | 1 |
| Agente municipal | Público | 2 |
| Agente privado (Gestor inmobiliario/Constructor) | Privado | 2 |
| Agente privado (constructor) | Privado | 2 |
| Experto ambiental | Académico | 2 |

3.1.2 Procedimiento.

Para poder ejecutar el estudio y lograr los objetivos de la presente tesis se establecieron cuatro fases generales mostrados en la Figura 6. Estos ayudaron a obtener un primer panorama de la secuencia del trabajo de tesis sin ser independientes entre sí; por el contrario, están interconectados por tener elementos pertenecientes a la herramienta de análisis de ciclo de vida. A continuación, se realizará un primer alcance de la secuencia de la metodología aplicada, para luego detallarla en los siguientes apartados.

En primer lugar, se realizó la revisión de la literatura para poder afianzar los conocimientos sobre los temas implicados, esta fase abarcó una visión general del sector construcción, para luego introducir el concepto de sostenibilidad dentro de la industria y con esto desarrollar temas relacionados como los sistemas y criterios de clasificación de edificaciones sostenibles; adicionalmente, se realizó la revisión de la literatura sobre temas de gestión con el objetivo de tener un mejor panorama sobre la dirección en la construcción de proyectos sostenibles.

En segundo lugar, a partir del expediente técnico se recopiló información del caso de estudio y se empleó técnicas documentales para la recolección de los datos disponibles de la edificación con la finalidad de organizar la información expuesta y posteriormente cuantificar el inventario del ciclo de vida (ICV) de los materiales utilizados a partir de la planilla de metrados en función a la base de datos Ecoinvent versión 3 disponible en el Software SimaPro. Seguidamente, se realizó el modelamiento del escenario optimizado en el software EDGE mediante modificaciones a la edificación de estudio de manera tal que esta se encuentre apta para obtener el primer nivel de certificación del sistema EDGE, “Certificación EDGE”.

En la tercera fase se procedió a evaluar el nivel de sostenibilidad de la edificación de forma cuantitativa mediante la evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV) de los escenarios base y optimizado. Inicialmente, se creó el proyecto del escenario base en el Software SimaPro y se ingresó el ICV obtenido en la segunda fase, en este software. Posteriormente se creó el proyecto del escenario optimizado en el mismo programa y se actualizó el inventario de acuerdo con los resultados del edificio optimizado obtenidos del software EDGE.

Por otro lado, durante esta fase, se trabajó en la organización y comparativa de los resultados de cuestionarios realizados a grupos representativos de potenciales usuarios y de profesionales expertos en el tema con la finalidad de obtener una perspectiva piloto, de manera cualitativa, de la percepción acerca de la edificación bajo los dos escenarios. Ambos análisis,

tanto cuantitativos como cualitativos, se realizaron con el propósito de identificar factores implícitos que influyen en el desempeño ambiental de la construcción de una edificación sostenible y el/los factor(es) relevantes en la percepción de los actores sociales sobre la construcción planteada.

Finalmente, en la cuarta fase de estudio, con los resultados obtenidos se procedió a realizar la interpretación y análisis de los resultados con el fin de establecer un panorama general acerca del impacto de las edificaciones sostenibles y la postura de los expertos y potenciales clientes frente a los escenarios planteados en este proyecto para finalmente sentar las conclusiones del presente trabajo de investigación.

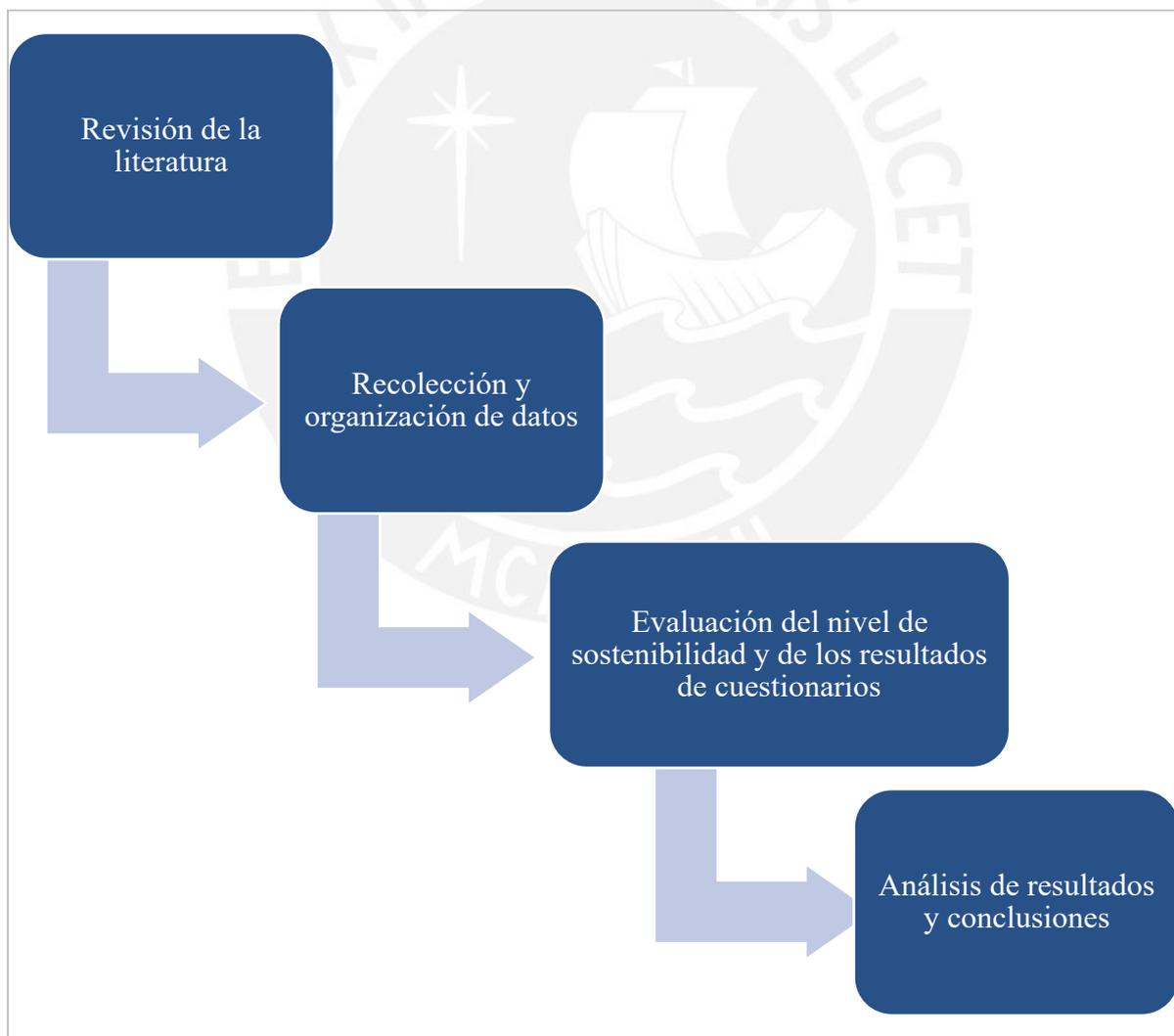


Figura 6. Procedimiento de la ejecución del trabajo de investigación

Nota. Fuente. Elaboración propia.

3.2 Análisis del Ciclo de Vida

Parte del trabajo de la presente tesis consiste en evaluar el desempeño ambiental de la edificación en los escenarios real y optimizado. Para esto se empleó la herramienta de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la misma, siguiendo las normativas ISO 14 040 y la ISO 14 044. La ISO 14 040 proporciona los principios y el marco necesarios para la realización de dicho análisis, mientras que la ISO 14 044 establece los requisitos y líneas directrices más específicas a seguir para llevarlo a cabo de manera efectiva (ISO, 2006).

El Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que permite evaluar los impactos ambientales asociados a un determinado producto o servicio a lo largo de las etapas de su ciclo de vida. Comprende desde la extracción de la materia prima, conocida como cuna, hasta su producción, uso y disposición final, conocida como tumba (Quispe, 2022). Asimismo, según la ISO 14 040 (2006), esta metodología consta de cuatro fases y, como se entiende de la Figura 7, la interpretación debe estar presente en todas las etapas para un reajuste de la información y una evaluación precisa.

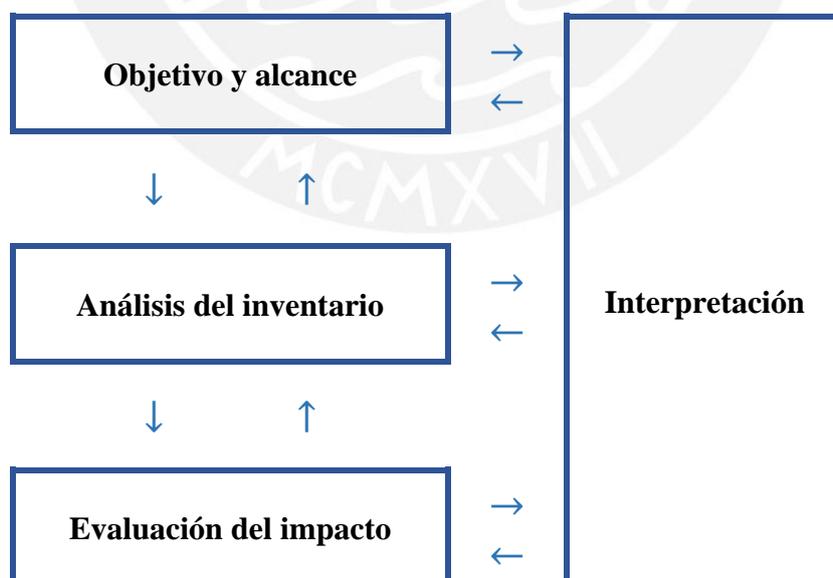


Figura 7. Fases del Análisis del Ciclo de Vida

Nota. La figura muestra el constante flujo de información entre las etapas de la metodología ACV. Fuente. ISO 14 040, 2006.

3.2.1 Objetivo y alcance.

El inicio para el Análisis del Ciclo de Vida es establecer los objetivos y el alcance del estudio. El propósito de la aplicación de la metodología ACV en la presente tesis fue comparar el desempeño ambiental de una edificación frente al escenario de la misma con certificación EDGE para identificar factores críticos involucrados en la construcción de una edificación sostenible.

Dentro del alcance del estudio se encuentra la especificación de los límites del sistema y la unidad funcional. Los límites del sistema determinan qué aspectos del ciclo de vida son considerados en el ACV. Para seguir el objetivo planteado, el presente estudio se enfocó en las etapas de pre-uso, y uso. Las subetapas de demolición y residuos, pertenecientes a la etapa de fin de vida, no se incluyeron en este análisis; por lo tanto, se realizó un análisis de la cuna a la puerta (cradle to gate).

La unidad funcional proporciona una referencia para medir las entradas y salidas asociadas a una medida de la función del sistema para que de esta manera se puedan establecer comparativas de los sistemas analizados (ISO, 2006). Para la comparativa de los sistemas de construcción, operación y mantenimiento de la edificación de estudio se estableció como unidad funcional una unidad de edificación, porque permite tener una referencia del impacto de una edificación en particular, lo que a su vez permite entender mejor el impacto en la industria de construcción.

3.2.2 Análisis del inventario.

En esta etapa, también conocida como inventario del ciclo de vida (ICV), se realiza la recopilación de entradas (input) conocidas desde la tecnosfera como materiales, combustibles y electricidad; y salidas (output) asociadas al proceso o servicio analizado, producto y coproductos. Para esto se realiza la preparación, recolección y validación de datos para luego

relacionarlos a los procesos unitarios y unidad funcional. Posteriormente se realiza el refinamiento de los límites del sistema (Quispe, 2022).

3.2.3 Evaluación del impacto.

En la Evaluación del Impacto Ambiental del Ciclo de Vida (LCIA), se obtienen resultados que cuantifican los impactos ambientales según la categoría de impacto y método utilizado (Quispe, 2022), por los 50 años de operatividad de la edificación.

En la selección de categoría de impactos, se considera que estos pueden evaluarse en diferentes niveles, estableciendo cadenas de causa-efecto y utilizando métodos de caracterización de punto medio o punto final. El método punto medio, también conocido como midpoint, utiliza indicadores específicos e intermedios del medio ambiente en la cadena causa-efecto. En contraste, el método punto final, también conocido como endpoint, emplea indicadores finales de impacto ambiental de la cadena de causalidad (Quispe, 2022).

En el presente trabajo de investigación se empleó una categoría de impacto basada en métodos de caracterización intermedia (midpoint). Se evaluó el impacto de “potencial de calentamiento global” (GWP por sus siglas en inglés) a cien años, utilizando la metodología de evaluación IPCC 2021 GWP100. Cabe precisar que esta metodología, calculó como se espera que las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyan al cambio climático en un periodo de 100 años como consecuencia de 50 años de vida útil del edificio.

3.2.4 Interpretación

En esta última fase del ACV se interpretan y debaten los resultados obtenidos con el fin de detectar áreas que puedan ser mejoradas y oportunidades de optimización (Quispe, 2022). En esta fase se comparó los escenarios establecidos para poder tomar decisiones informadas y establecer conclusiones y recomendaciones en base a los objetivos de estudio.

3.3 Caso de estudio

Para el análisis de sostenibilidad en el escenario base y en el escenario con certificación EDGE, y la determinación de los factores críticos considerados en la ejecución de una edificación sostenible se consideró como caso de estudio al proyecto del “Hotel 28 de Julio”. Según lo indica la memoria descriptiva del proyecto (SIGMA, 2020), este proyecto cuenta con un terreno de 768,55 m² y fue planificado para un Hotel tres estrellas de 48 metros de altura y 10 169,71 m² de área construida.

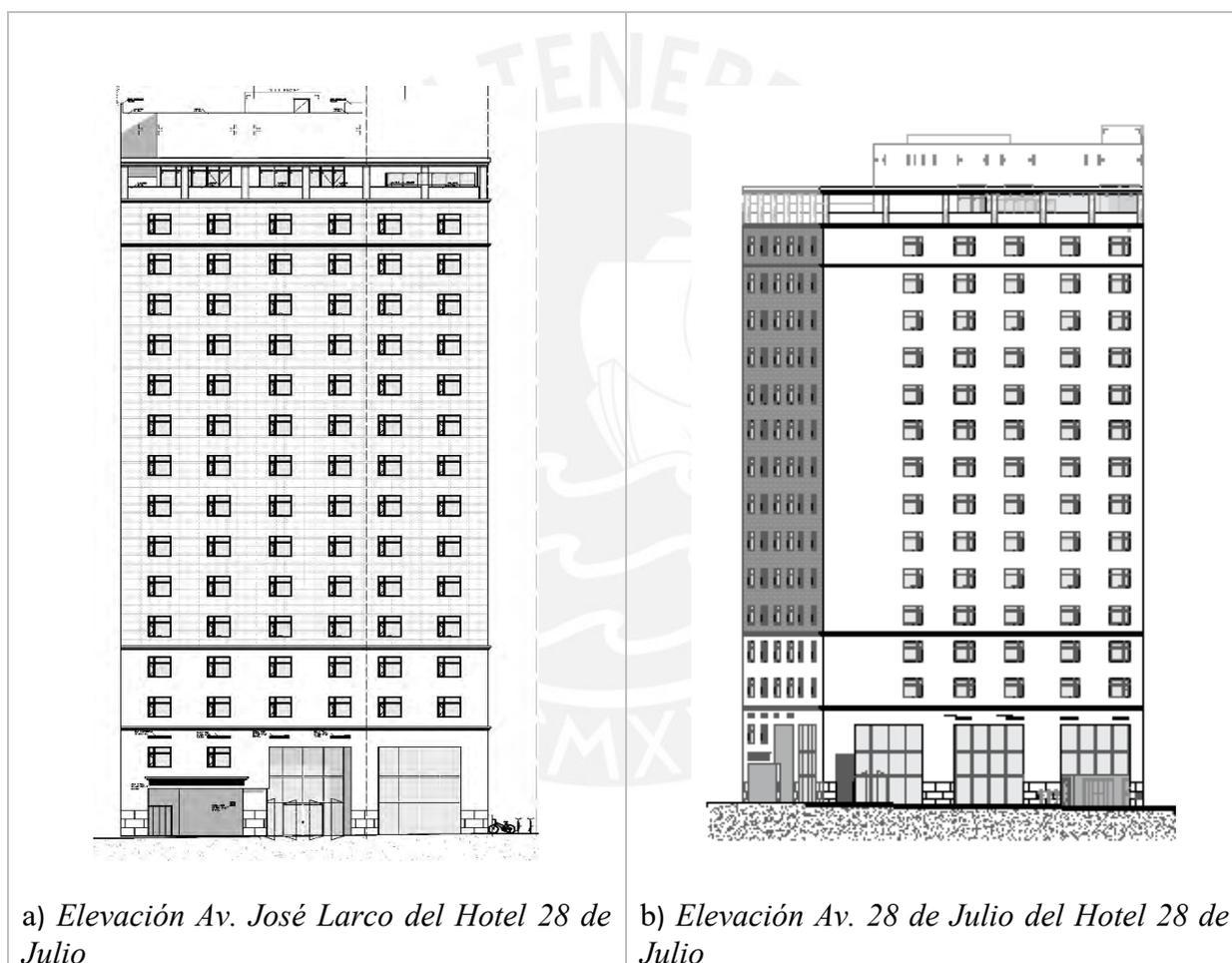


Figura 8. Elevación del Hotel 28 de Julio

Nota. Fuente. SIGMA. (2020).

Como se muestra en la Figura 8-a y 8-b, este hotel está integrado por 4 sótanos y 16 pisos sobre la superficie, de los cuales 15 pisos están destinados exclusivamente a la recepción y estadía de los huéspedes y contiene piscina, terraza, 62 m² de área verde, gimnasio y sauna;

1 piso de cisternas de agua, aguas grises y aguas tratadas, incluye PTAR y el cuarto de bombas; 3 sótanos, entre los cuales se encuentran distribuidos 35 estacionamientos, 2 montacargas de vehículos y cuartos de abastecimientos; 1 *mezzanine*, que contiene un segundo nivel del restaurante, el área de cocina y oficinas administrativas; y finalmente 1 azotea, que contiene la salida de los ductos de la edificación y el sobre recorrido de los ascensores.

En cuanto al sistema estructural, este presenta un sistema de pórticos, constituido por placas, columnas, vigas de concreto y vigas post-tensadas. En el área de instalaciones, utiliza un sistema de bombeo, tres ascensores, dos montavehículos, teléfono, intercomunicadores, circuito de seguridad interna, alarma y sistema contra incendios. Además, para la ventilación y climatización se instalará sistemas de aire acondicionado, sistemas de inyección de aire exterior, sistemas de extracción de aire y sistema de extracción de monóxido. Finalmente, para los acabados se hará uso de materiales de primera, así como aparatos sanitarios de bajo consumo, muros empastados y con papel vinil mural.

La Ordenanza 510/MM y su posterior modificación, la Ordenanza 539/MM, establecen incentivos de incremento de área techada por la aplicación de requerimientos de construcción sostenible. Para el incentivo CEPRES Tipo C los requerimientos mínimos son: aplicación de criterios técnicos de diseño y construcción sostenible, uso público del retiro frontal, sin cercos, segregación de residuos diferenciados, habilitación de retiros, estacionamiento para bicicletas y azotea verde (Municipalidad de Miraflores, 2020).

La aplicación de estos requerimientos otorga los siguientes beneficios: incremento del 10% del área techada total de la edificación sostenible, incremento de área techada por uso público equivalente al área de retiros frontales de 3 ml y 5 ml, reducción del 10% del área mínima por unidad de vivienda y reducción del 10% del número mínimo de estacionamientos, que serán reemplazados por igual número de estacionamientos para bicicletas (Municipalidad de Miraflores, 2020).

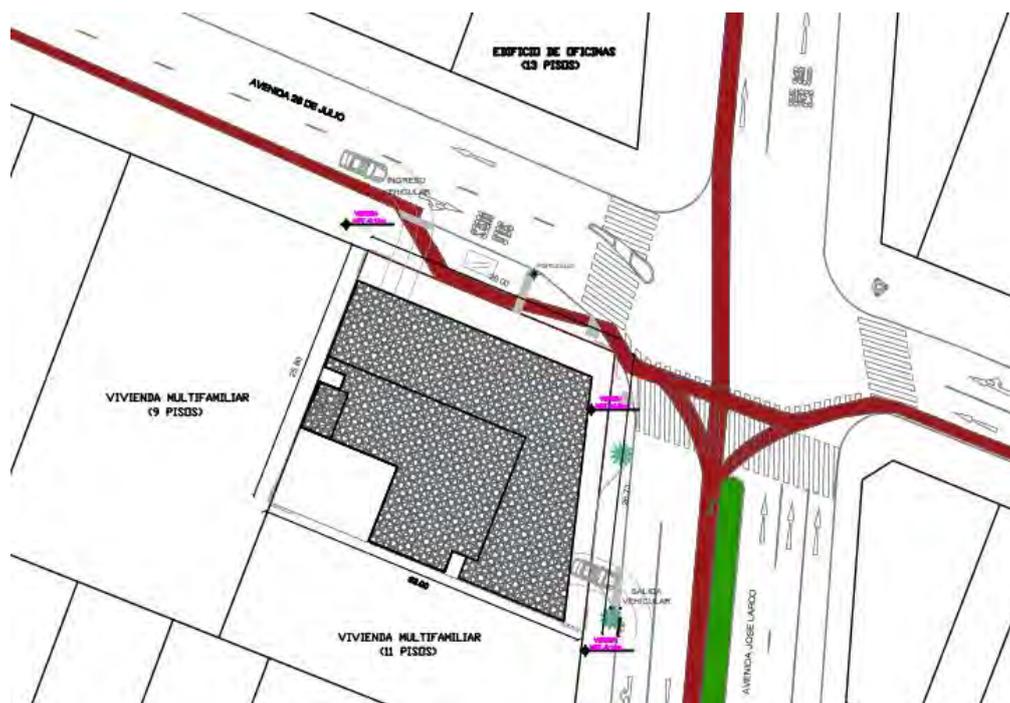


Figura 10. Ubicación específica del Hotel 28 de Julio

Nota. Adaptado de *Memoria descriptiva de estructuras hotel 3 estrellas*. Fuente. SIGMA. (2020)

3.3.2 Recolección de datos.

Para el análisis “cradle to gate” de la edificación se consideró los materiales y procesos involucrados en la ejecución de la construcción, los cuales fueron obtenidos de la planilla de metrados y de la memoria descriptiva del proyecto. Por otro lado, se empleó cuestionarios y fuentes secundarias para un análisis integrado del modelo ambiental y del impacto ambiental, así como, de la percepción social del caso de estudio. A continuación, en la Tabla 4 se muestra la participación de cada información.

Tabla 4

Implicancia de la recolección de datos

| Datos | Evaluación de desempeño ambiental | Opiniones y acuerdos | Identificación de factores críticos |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Documentaria (Fuentes primarias) | ✓ | | ✓ |

| Datos | Evaluación de desempeño ambiental | Opiniones y acuerdos | Identificación de factores críticos |
|--|--|-----------------------------|--|
| Cuestionario | | ✓ | ✓ |
| Entrevistas | | ✓ | ✓ |
| Fuentes secundarias (fichas técnicas) | ✓ | | ✓ |

3.4 Escenarios de evaluación

3.4.1 Escenario línea base.

Es el caso de estudio del presente trabajo de investigación, el Hotel 28 de Julio, planteado como medida estándar de acuerdo con la ubicación del edificio y las funciones que brinda. Este caso se utilizó para establecer un caso local como referente de comparación, el cual cuenta con entradas y procesos definidos y recolectados mediante técnicas de documentación. Con tal propósito se realizó el modelamiento de la edificación en el software SimaPro con las especificaciones y características establecidas en el expediente técnico del proyecto. A continuación, se muestran en la Tabla 5 procesos implementados en el caso de línea base considerados para la adopción de las medidas de eficiencia del Sistema EDGE.

Tabla 5

Procesos y materiales considerados para aplicación de las medidas de eficiencia

| Proceso | Descripción |
|------------------|--|
| Losas | Losa maciza |
| Acabado de piso | Piso de porcelanato |
| Paredes externas | Ladrillo rococho Sin aislamiento |
| Paredes internas | Tabique de ladrillo blanco |
| Techo | Azotea verde |
| Ventanas | Vidrio templado 8mm Marco de aluminio |
| PTAR | Sistema de tratamiento de aguas grises (piso 3 al 8) |
| Luminarias | Sin control de iluminación |

| Proceso | Descripción |
|-----------------|---|
| Piscina | Sin cobertor de piscina |
| Ventilación | Control de monóxido en estacionamientos |
| Ducha | 9 L/min |
| Grifos de baños | 5 L/min |
| Inodoro | 4.8 L/descarga promedio |

3.4.2 Escenario línea optimizada.

Es el escenario en el cual se toma como referencia al Hotel 28 de Julio y se implementa medidas de eficiencias (ver Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11) en los procesos en las categorías de agua, energía y materiales planteadas por el Sistema de Certificación EDGE con el fin de otorgar el Certificado de este sistema para lo cual la edificación deberá registrar ahorros mayores o igual al 20% en las tres categorías mencionadas.

Para alcanzar una edificación bajo las condiciones de este escenario se emplea como referencia al Sistema EDGE debido que, a diferencia de otros Sistemas de Certificación Sostenibles, EDGE mide de forma específica las categorías de impacto del consumo energético, consumo de agua y el consumo de energía incorporada en los materiales. A continuación, en la Tabla 6 se detalla las características del caso optimizado considerados para la adopción de las medidas de eficiencia.

Tabla 6

Modificaciones por las medidas de eficiencia adoptadas en los procesos del caso base

| Proceso | Descripción |
|------------------|---|
| Losas | Losas prefabricadas doble T |
| Acabado de piso | Azulejos de cerámica |
| Paredes externas | Pintado en tonos claros |
| | Bloques de concreto solidos de concreto denso |
| | Aislamiento de paredes exteriores |
| Paredes internas | Bloques de concretos huecos de peso medio |
| | Azotea Transitable Aislada con Pendiente (atap) |
| Techo | Azotea verde |
| Ventanas | Vidrio pirolítico 6mm |
| | Marco de madera |

| Proceso | Descripción |
|------------------|--|
| | Dispositivos de protección solar externos |
| PTAR | Sistema de tratamiento de aguas grises |
| Luminarias | Con control de iluminación |
| Piscina | Cobertor de piscina |
| Ventilación | Control de demanda mediante sensores de CO ₂ Eficiencia del sistema HVAC (VRF enfriado por aire) |
| | Sistema de preacondicionamiento de aire fresco |
| Agua caliente | 50% Energía solar, 50% bomba de calor |
| Ducha | 7.6 L/min |
| Grifos de baños | Grifos con aireadores 4 L/min |
| Inodoro | 4.5 L/descarga de bajo volumen |
| Grifos de cocina | 5L/min |
| Lavadoras | 8L/kg |

3.5 Modelo escenario base

Para el análisis del escenario base se consideró el inventario de las etapas de pre-uso y uso (ver Figura 11), mas no la etapa de fin de vida. Por lo cual, la investigación se considera con alcance de cuna a puerta. Por otro lado, se escogieron procesos de “mercado” para la selección de los procesos unitarios, el cual considera el consumo de un producto y el transporte hasta el consumidor en una geografía determinada. De esta forma se considera el material y su consumo en las etapas de pre-uso y uso.

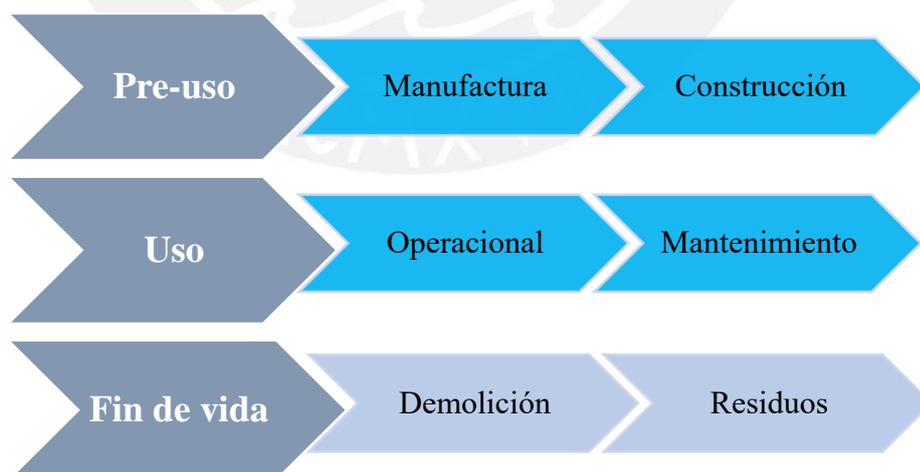


Figura 11. Etapas durante el ciclo de vida de la edificación

Nota. La figura presenta las etapas y subetapas presentes en el ciclo de vida de una edificación típica. De azul claro, las subetapas consideradas en el análisis del edificio.

La metodología en la fase de evaluación del nivel de sostenibilidad consideró el ingreso del inventario de los recursos utilizados en la construcción de la edificación en la versión 9.3 del software SimaPro, utilizando la base de datos predeterminada en el software, Ecoinvent versión 3. Esta base permite realizar el registro del inventario según las normas ISO 14 040 y 14 044, las cuales contemplan el reglamento para cuantificar el impacto ambiental de un producto realizando un Análisis en el Ciclo de Vida (ACV) de los materiales utilizados para su manufactura.

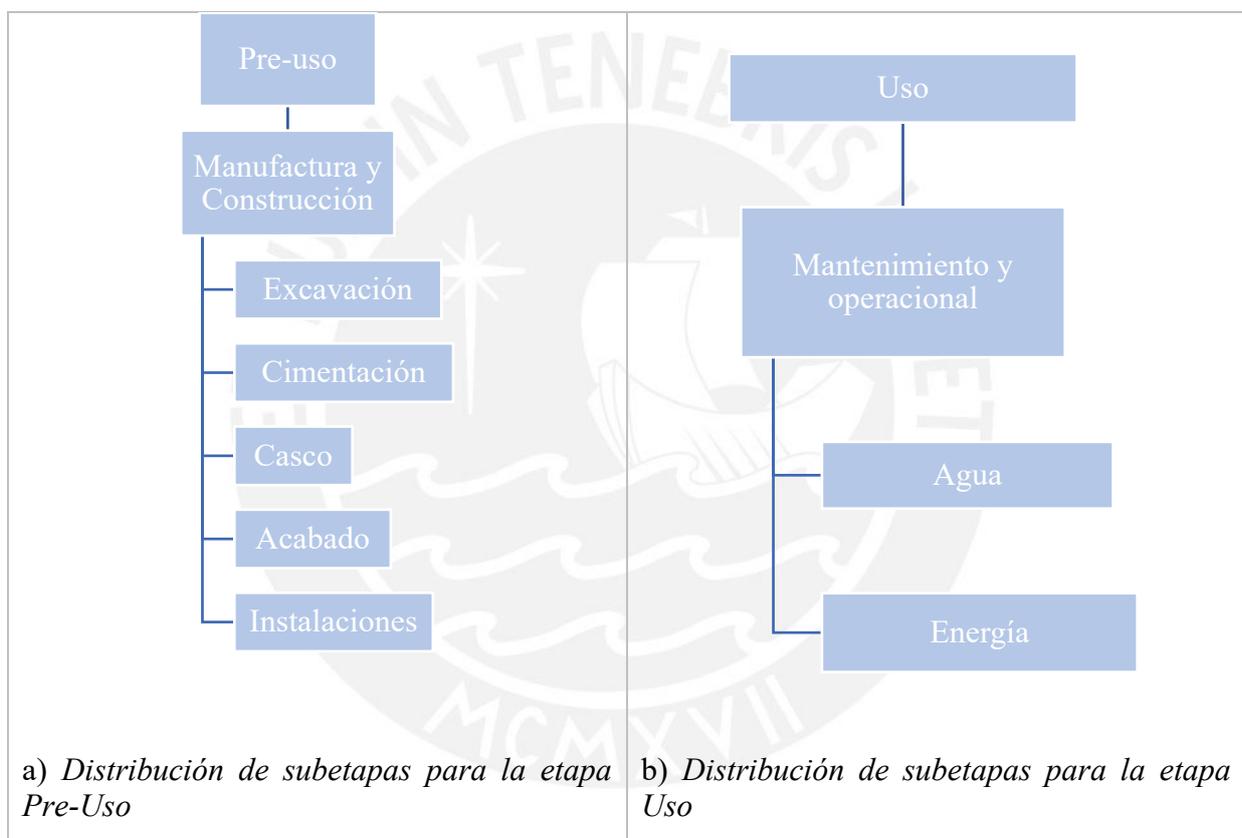


Figura 12. Distribución de subetapas para las etapas Pre-Usos y Usos

Para la elaboración del inventario se consideró tanto los materiales procedentes de la biosfera como de la tecnosfera, esto de acuerdo con la información recolectada de la planilla de metrados, la memoria descriptiva y las respectivas fichas técnicas. La distribución del inventario se realizó considerando los materiales de impacto representativo; es decir, se seleccionaron los materiales relevantes en cuanto al material predominante, según su ficha técnica y su impacto ambiental en cada proceso. Se incluyeron materiales, tales como:

concreto, metales, polímeros, pinturas, cerámica, yeso, fibrocemento, combustibles, etc. Así, estos datos de entrada fueron distribuidos dentro de las etapas de pre-uso y uso siguiendo la estructura de la Figura 12-a y 12-b.

| Productos | | | | | | |
|--|--|------------------|----------|--------------|--------------|-----------|
| Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos | | Cantidad | Ud. | Cantidad | Asignación | |
| Concreto premezclado f'c=210 kg/cm² | | 1 | m³ | Volume | 100 % | |
| (Insertar línea aquí) | | | | | | |
| Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados | | Cantidad | Ud. | Distribución | DS^2 or 2 | |
| (Insertar línea aquí) | | | | | | |
| Entradas | | | | | | |
| Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos) | | Subcompartimento | Cantidad | Ud. | Distribución | DS^2 or 2 |
| (Insertar línea aquí) | | | | | | |
| Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles) | | Cantidad | Ud. | Distribución | DS^2 or 2 | |
| Concrete, 20MPa {RoW} market for concrete, 20MPa APOS, U | | 1 | m³ | Indefinido | | |
| Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APC | | 0.0667 | hr | Indefinido | | |
| (Insertar línea aquí) | | | | | | |
| Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor) | | Cantidad | Ud. | Distribución | DS^2 or 2 | |
| (Insertar línea aquí) | | | | | | |
| Salidas | | | | | | |

Figura 13. Creación de proceso para el concreto con resistencia a compresión de 210 kg/cm²

Nota. Para 1m³ de Concreto premezclado f'c=210 kg/cm² se considera como recursos predominantes 1m³ de concreto de 20MPa y 0.0667 hr de uso de bomba de concreto. Fuente. Elaboración propia.

Para la creación de los procesos unitarios se registró para cada uno de ellos, las entradas conocidas desde la naturaleza (recursos) y la tecnósfera (materiales, combustibles, electricidad y calor), así como la cantidad requerida, de acuerdo con la base de datos brindada en el software SimaPro, Ecoinvent versión 3. Como ejemplo, para la consideración del inventario del concreto con resistencia a compresión de 210 kg/cm² se realizó la creación del proceso “Concreto premezclado f'c=210 kg/cm²” como producto de salida a la tecnósfera, en una cantidad de 1 m³, como se observa en la Figura 13. Este proceso considera como entradas conocidas desde la tecnósfera, en términos de materiales para la cantidad indicada, 1 m³ de concreto de 20MPa (Concrete, 20MPa {RoW} market for concrete) y 0.0667 hr de uso de bomba de concreto (Machine operation, diesel, >18.64 kW and <74.57 kW, steady-state {GLO} market for).

Siguiendo el mismo procedimiento se crearon los procesos unitarios involucrados en las fases excavación, cimentación, casco, acabados, instalaciones, agua y energía del Hotel 28 de Julio utilizando el software SimaPro y las entradas disponibles en la base de datos Ecoinvent versión 3.

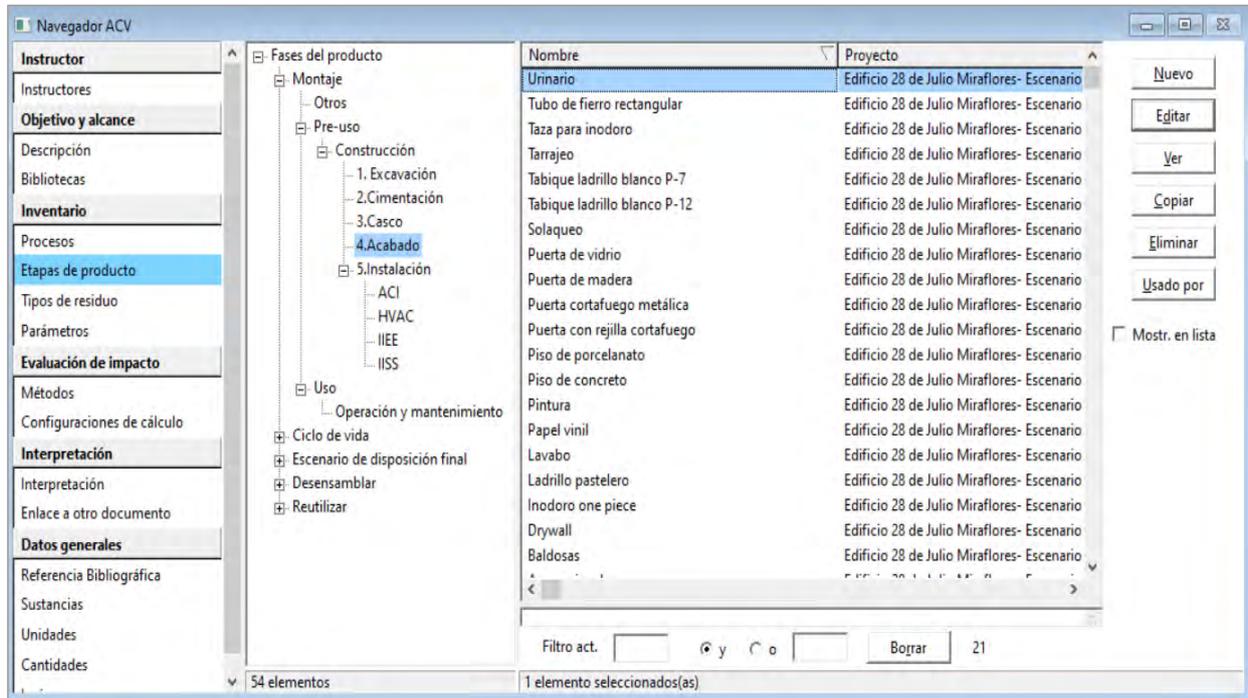


Figura 14. Creación de la etapa de acabados

Nota. Dentro de instalación se crearon los montajes de ACI (Sistema de agua contra incendio), HVAC (Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado), IIEE (Instalaciones eléctricas) e IISS (Instalaciones sanitarias). Fuente. Elaboración propia.

Luego de la creación de los procesos unitarios, según lo indica la Figura 14, se crearon las etapas (montajes) de Pre- uso y Uso. En la etapa de pre-uso se crearon las fases excavación, cimentación, casco, acabados e instalación, conforme a la distribución mostrada en la Figura 12-a y en la etapa de uso, se crearon las fases correspondientes al consumo de agua y energía conforme a la distribución mostrada en la Figura 12-b.

Con los montajes creados se procedió a distribuir y registrar los procesos unitarios creados previamente en la fase correspondiente con sus respectivas cantidades. A continuación,

se muestra en la Tabla 7 la lista de inventario de los procesos unitarios utilizados, así como la cantidad correspondiente.

Tabla 7

Inventario del escenario base del edificio 28 de Julio

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|---|--|-----------------|-------------|
| PRE-USO | | | |
| EXCAVACIÓN | | | |
| EXCAVACIÓN | Excavation, hydraulic digger {GLO} market for APOS, U | 13 607,30 | m3 |
| ELIMINACIÓN DE DESMONTE | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {BR} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 APOS, U | 168 690,70 | tkm |
| CIMENTACIÓN | | | |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 KG/CM2 | Reinforcing steel {GLO} market for APOS, U | 35 968,47 | kg |
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 350 KG/CM2 | Concrete, 35MPa {RoW} market for concrete, 35MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 511,22 | m3 |
| ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 35 480,58 | kg |
| CASCO | | | |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 KG/CM2 | Reinforcing steel {GLO} market for APOS, U | 580 380,12 | kg |
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 210 KG/CM2 | Concrete, 20MPa {RoW} market for concrete, 20MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 1 637,02 | m3 |

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|---|---|-----------------|-------------|
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 280 KG/CM2 | Concrete, 30-32MPa {RoW} market for concrete, 30-32MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 1 390,39 | m3 |
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 350 KG/CM2 | Concrete, 35MPa {RoW} market for concrete, 35MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 1 617,23 | m3 |
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 420 KG/CM2 | Concrete, 40MPa {PE} market for concrete, 40MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 602,11 | m3 |
| ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 136 2730,47 | kg |
| ACABADOS | | | |
| ACCESORIOS DE ACERO | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 192,32 | kg |
| BALDOSAS | Glass fibre {GLO} market for APOS, U | 49,61 | kg |
| INODORO ONE PIECE | Sanitary ceramics {GLO} market for APOS, U | 3 825,00 | kg |
| LADRILLO PASTELERO | Clay brick {GLO} market for APOS, U | 20 613,89 | kg |
| LAVABO | Sanitary ceramics {GLO} market for APOS, U | 1 426,80 | kg |
| PAPEL VINIL | Polyester-complexed starch biopolymer {GLO} market for APOS, U | 1 993,36 | kg |
| PINTURA | Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW} market for acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state APOS, U | 4 342,68 | kg |
| PISO DE CONCRETO | Cement mortar {RoW} market for cement mortar APOS, U | 9 980,10 | kg |

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|-------------------------------|---|-----------------|----------------|
| PISO DE PORCELANATO | Ceramic tile {GLO} market for APOS, U | 39 442,89 | kg |
| PUERTA CON REJILLA CORTAFUEGO | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 2 559,60 | kg |
| PUERTA CORTAFUEGO METALICA | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 29 560,14 | kg |
| PUERTA DE MADERA | Door, inner, wood {GLO} market for APOS, U | 94,82 | m ² |
| PUERTA DE VIDRIO | Flat glass, coated {RoW} market for flat glass, coated APOS, U | 19,91 | kg |
| SOLAQUEO | Cement mortar {RoW} market for cement mortar APOS, U | 288,31 | kg |
| TABIQUE DE DRYWALL | Gypsum plasterboard {GLO} market for APOS, U | 41 934,91 | kg |
| TABIQUE LADRILLO BLANCO P-7 | Sand-lime brick {GLO} market for APOS, U | 29 329,95 | kg |
| TABIQUE LADRILLO BLANCO P-12 | Sand-lime brick {GLO} market for APOS, U | 2 064 985,92 | kg |
| TARRAJEO | Cement mortar {RoW} market for cement mortar APOS, U | 110,11 | kg |
| TAZA PARA INODORO | Sanitary ceramics {GLO} market for APOS, U | 420,00 | kg |
| TUBO DE FIERRO RECTANGULAR | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 380,17 | kg |
| URINARIO | Sanitary ceramics {GLO} market for APOS, U | 140,00 | kg |

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

| | | | |
|---------------------|---|-----------|----|
| ALIMENTADORES | Copper-rich materials {GLO} market for copper-rich materials APOS, U | 2 930,04 | kg |
| TABLERO ELÉCTRICO | Transformer, low voltage use {GLO} market for APOS, U | 3 527,68 | kg |
| BANDEJAS ELECTRICAS | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 21 314,40 | kg |
| CABLE ELÉCTRICO | Cable, unspecified {GLO} market for APOS, U | 80,45 | kg |
| INTERRUPTOR | Switch, toggle type {GLO} market for APOS, U | 76,16 | kg |
| TOMACORRIENTE | Plug, inlet and outlet, for printer cable {GLO} market for APOS, U | 416,00 | p |

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|---------------------------------------|--|-----------------|------------------|
| TUBERÍAS ELECTRICAS DE ACERO | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 1 218,15 | kg |
| TUBERÍAS ELECTRICAS DE PVC | Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U | 568,11 | kg |
| SALIDAS AUXILIARES | Plug, inlet and outlet, for network cable {GLO} market for APOS, U | 190,00 | p |
| INSTALACIONES SANITARIAS | | | |
| ACCESORIOS DE BRONCE | Bronze {GLO} market for APOS, U | 82,50 | kg |
| AISLANTE TERMICO | Stone wool {GLO} market for stone wool APOS, U | 803,85 | kg |
| TUBERÍA DE DESAGUE | Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U | 5 374,11 | kg |
| TUBERÍA DE DISTRIBUCION DE AGUA | Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U | 2 381,94 | kg |
| SALIDA DE AGUA FRIA Y CALIENTE | Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U | 131,52 | kg |
| VALVULAS SANITARIAS | Brass {RoW} market for brass APOS, U | 234,14 | kg |
| ACI | | | |
| ROCIADORES | Bronze {GLO} market for APOS, U | 544,35 | kg |
| TUBERÍA SCH-40 | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 22 944,36 | kg |
| VALVULAS PARA ROCIADORES | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 14 322,00 | kg |
| HVAC | | | |
| INYECTOR CENTRIFUGO | Ventilation of dwellings, decentralized, 6 x 120 m ³ /h {GLO} market for APOS, U | 768,55 | m ² a |
| VENTILACIÓN | Machine operation, diesel, < 18.64 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 72 000,00 | p |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | | | |
| AGUA | Tap water {PE} market for tap water APOS, U | 903 179 070,00 | kg |

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|-------------------|---|-----------------|-------------|
| ENERGIA | Electricity, medium voltage {PE} market for APOS, U | 53 635 050,50 | kWh |

En la creación del proceso unitario correspondiente a la eliminación de desmonte realizado en la fase de excavación se consideró una distancia de 6,7 km y una densidad del material de 1,8 ton/m³. Asimismo, para los procesos correspondiente al encofrado y desencofrado utilizados en las fases de cimentación y casco se consideró 51 2 kg/m² por encofrado de acero. Aunque los encofrados suelen ser reutilizados como parte de la construcción en otros proyectos, no se puede confirmar con certeza su reutilización ni la cantidad de veces que podrían ser reutilizados, porque en caso de ser reutilizados en una obra de mayor envergadura y duración, solo podrían reutilizarse una vez más, por lo que es muy variable. Por lo tanto, aunque el uso de estos materiales podría resultar en una sobreestimación de los resultados, se aclara esta sobreestimación puntual.

Por otro lado, para la creación de los procesos unitarios de la fase de acabados, se consideró los componentes fundamentales de cada material de acuerdo con el inventario disponible en Ecoinvent versión 3. Por ejemplo, en la construcción del edificio se utilizaron baldosas, cuyo componente principal es fibra de vidrio por lo que se consideró Glass fibre {GLO}| market for | APOS, U.

En la etapa de uso del proyecto se consideraron procesos unitarios correspondientes al consumo total del agua y energía involucrados en las fases de operación y mantenimiento, porque las cantidades utilizadas consideraron al Código Técnico de Construcción Sostenible, en este se establece referencias del consumo de agua y energía consumidos en toda la etapa de uso. Además, es coherente con el propósito de comparar los resultados del escenario real con los resultados del escenario optimizado obtenidos del software EDGE, porque este software analiza para la etapa de uso, la energía y agua total consumida sin realizar un desglose por fases de operación y mantenimiento.

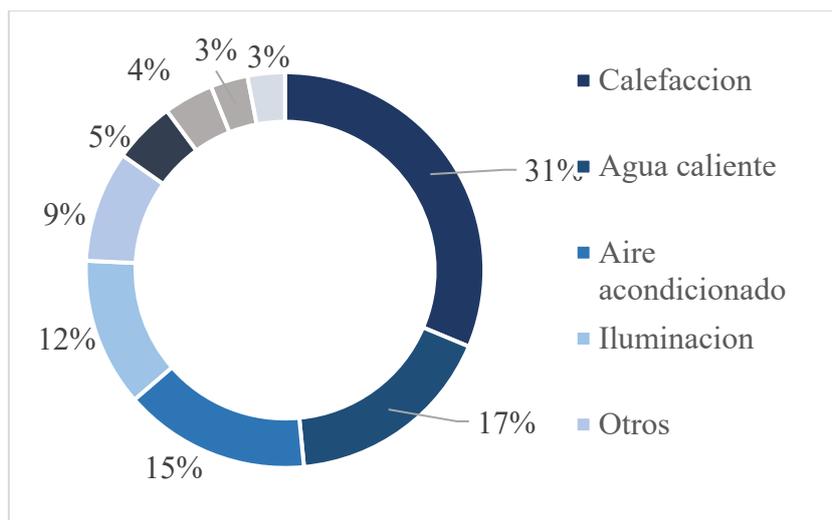


Figura 15. Distribución del consumo de energía

Nota. Adaptado de la Figura 7.1 de Best Environmental Management Practice in the tourism sector (Comisión Europea, 2013)

Como un indicador aproximado del consumo energético de un hotel, la Comisión Europea (2013) indica que el gasto total de energía de un hotel de 100 habitaciones es de 3,036.36 kWh/año y este consumo se distribuye dentro de los aspectos de calefacción, agua caliente, aire acondicionado, iluminación, refrigeración, cocinas, equipamiento de oficinas, ventilación y otros. En la Figura 15, se puede observar que el principal gasto de energía es a causa de la climatización; sin embargo, cabe recalcar que para el presente estudio de la Edificación Hotel 28 de Julio no se incluyó un sistema de calefacción.

Al ingresar las características reales de la edificación en el software EDGE, el sistema indica que una edificación con las características del caso de estudio debería consumir 1446 kWh/m²/año, considerando 10 169,71 m² de área construida y una proyección de 50 años de vida útil de la edificación. Sin embargo, la edificación presenta certificación CEPRES tipo C, por lo cual, se tomó en cuenta las características de eficiencia energética que presenta un proyecto con este tipo de certificación de acuerdo con el Código Técnico de Construcción Sostenible. Por tanto, se consideró un consumo de energía de 105,48 kWh/m²/año.

Respecto al consumo de agua, de acuerdo con un estudio realizado en Austria y Alemania por la Comisión Europea (2013), el consumo de agua promedio de un hotel típico es

de 312 L/habitante-noche; dicho valor se encuentra influenciado por el nivel de lujo del hotel y por la presencia o no de piscina en el hotel, que aumenta en promedio el consumo de agua de 60L por noche de estancia.

Al ingresar las características de la edificación en el software EDGE, el sistema indica que una edificación con características del caso de estudio consume 52,17 m³/día. Sin embargo, considerando las características de eficiencia hídrica que presenta un proyecto con certificación CEPRES tipo C de acuerdo con el Código Técnico de Construcción Sostenible se consideró 49,49 m³/día en el consumo del agua.

Finalmente, con todos los datos registrados en el software SimaPro, se realizó la evaluación del impacto ambiental dentro de la categoría midpoint, para dicha caracterización se consideró adecuado el uso de la metodología IPCC 2021 GWP100 que lleva las siglas de su organización Intergovernmental Panel on Climate Change, creada en 1998 por la OMM la PNUMA y el método ReCiPe 2016 Midpoint (H).

3.6 Modelo escenario optimizado: EDGE

La evaluación del impacto ambiental dentro del Software EDGE empezó con el modelamiento del proyecto de estudio dentro de la pestaña de “Diseño”. En esta pestaña, el Software considera la información original del proyecto ingresada agrupada dentro de diez grupos: tipo de edificio, datos de ubicación, detalles del proyecto, detalles del subproyecto, datos del edificio, desglose de superficies y cargas, dimensiones del edificio, sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado del edificio, consumo de combustible y datos climáticos.

Para calcular los porcentajes de ahorro en el escenario optimizado, el software EDGE utiliza un referente creando sus propias métricas de un edificio estándar. Como se muestra en la Figura 16, el programa brinda la opción de trabajar con datos por defecto o actualizarla con información específica. Cabe resaltar, que este edificio de referencia es utilizado por EDGE

únicamente para evaluar los porcentajes de ahorro de energía, agua y materiales, y no es el caso de línea base sobre el cual se enfoca la presente tesis ni del cual se realizan conclusiones

| Datos del edificio | | Detalles operativos | |
|---------------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| Por defecto | Entrada de usuario | Por defecto | Entrada de usuario |
| Número total de habitacio... 200 | Número total de habitacio... 152 | Días hábiles (Días/semana) 7.00 | Días hábiles (Días/semana) 7 |
| Cant. de pisos en altura 5 | Cant. de pisos en altura 16 | Horas de funcionamiento (...) 14.00 | Horas de funcionamiento (...) 24 |
| Cant. de pisos subterráneos 2 | Cant. de pisos subterráneos 4 | Ocupación de la habitació... 2 | Ocupación de la habitació... 1.717 |
| Altura entre piso y piso (m... 3.0 | Altura entre piso y piso (m... 2.85 | Tasa promedio de ocupació... 70.0 | Tasa promedio de ocupació... |
| Aggregate Roof Area (m²) 338 | Aggregate Roof Area (m²) 224.94 | Costos de construcción | |

Figura 16. Registro de las características de la edificación dentro de la pestaña Diseño

Nota. La Figura muestra los datos preestablecidos que ofrece el programa considerando un edificio típico, los cuales son tachados al registrar una información real del edificio.

Para trabajar con información más precisa en el software, se ingresaron datos reales disponibles en el expediente técnico, como se detalla en la Tabla 8. Con estos datos reales, los códigos correspondientes a la ubicación del servicio y considerando los patrones constructivos de los tres años anteriores de acuerdo con el tipo de edificio, el Software crea un caso estándar del caso de estudio, que utilizará como medida de referencia para comparar y obtener los porcentajes de ahorro en las categorías de consumo energético, consumo de agua y energía incorporada en los materiales del nuevo edificio optimizado (IFC, 2021).

Tabla 8.

Información requerida en la pestaña “Diseño”

| 1 Tipo de edificio | |
|-----------------------------|-------------------|
| Tipo de edificio principal | Hotel |
| Subtipo | Hotel 3 estrellas |
| 2 Datos de ubicación | |
| País | Perú |

| | |
|---|---------------------------------------|
| Ciudad | Lima |
| 3 Detalles del proyecto | |
| Nombre del proyecto | Evaluación Hotel 28 de julio |
| Nombre titular del proyecto | Hotel 28 de julio |
| Ciudad | Lima |
| País | Perú |
| 4 Detalles del subproyecto | |
| Nombre del subproyecto | Evaluación Hotel 28 de julio |
| Nombre del edificio | Hotel 28 de julio |
| Tipo de subproyecto | Edificio nuevo |
| Dirección | Av. Jose Larco Lote 23 Manzana 14 |
| 5 Datos del edificio | |
| Número total de habitaciones | 152 |
| Cantidad de pisos en altura | 16 |
| Cantidad de pisos subterráneos | 4 |
| Altura entre piso y piso (metros) | 2,85 |
| Área total del techo (m2) | 224,94 |
| <i>Detalles operativos</i> | |
| Días hábiles (días/semana) | 7 |
| Horas de funcionamiento (horas/día) | 24 |
| Ocupación de la habitación (personas/habitación) | 1,717 |
| 6 Desglose de superficies y cargas (m2) | |
| Area interna bruta | |
| Habitaciones | 5 144,65 |
| Restaurante y cafetería | 162,69 |
| Bares | 119,63 |
| Casilleros | 30,81 |
| Recepción | 44,29 |
| Vestíbulo | 0 |
| Oficina administrativa | 87,71 |
| Lavandería | 39,5 |
| Spa | 99,25 |
| Cocina | 73,7 |
| Área con iluminación exterior | 128,39 |
| Área de estacionamiento externa | 0 |
| Área de estacionamiento cubierto | 405,8 |
| <i>Agua y usos</i> | |
| Area irrigada (m2) | 0 |
| Tipo de piscina | Piscina al aire libre sin calefacción |
| Piscina (m2) | 282,32 |
| Lavado de autos | No |
| Lavanderia | Si |
| Lavavajillas | Si |

| | |
|---|-------------|
| Válvula de pulverización previa a enjuague | Si |
| 7 Dimensiones del edificio | |
| Norte (metros) | 24,59 |
| Este (metros) | 26,75 |
| Sur (metros) | 30,74 |
| Oeste (metros) | 22,65 |
| 8 Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado del edificio | |
| ¿El diseño del edificio incluye sistema de A/A? | Si |
| ¿El diseño del edificio incluye sistema de calefacción de espacios? | No |
| ¿El diseño del edificio incluye suministro de refrigeración con agua fría y calefacción adquirido (refrigeración o calefacción urbana)? | Ninguno |
| 9 Consumo de combustible | |
| Agua caliente | Gas natural |
| Generador | Diésel |
| <i>Factor de costo</i> | |
| Gas natural (PEN/kg) | 2,077 |
| Diésel (PEN/Lt) | 3,53 |
| 10 Datos climático | |
| Elevación (metros) | 79 |
| Precipitaciones (mm/año) | 14 |
| Latitud | 12 |
| Zona climática de ASHRAE | 2B |

Nota. La tabla muestra la información solicitada en la pestaña

Luego de ingresar la información de la edificación en la pestaña “Diseño” se empezó a modelar las características del nuevo edificio optimizado en las pestañas de “Energía”, “Agua” y “Materiales” siguiendo las indicaciones de la Guía del usuario de EDGE v.3.0.a. Se ingresó información en las medidas de eficiencias aplicables según tipología y características del proyecto dentro de las tres categorías del sistema, de manera tal que la nueva propuesta de edificio sea aplicable para obtener la Certificación EDGE.

Para un proyecto de hotel nuevo el sistema EDGE propone veintinueve medidas de eficiencia energética, de las cuales se aplicaron catorce (ver Tabla 9), quince medidas de eficiencia en el consumo del agua, de las cuales se aplicaron seis (ver Tabla 10) y once medidas

de eficiencia en la energía incorporada de los materiales, de los cuales se aplicaron ocho (ver Tabla 11). Adicionalmente, EDGE proporciona datos de impacto ambiental en términos de gases de efecto invernadero y costos y beneficios económicos en caso de optar por la propuesta de edificación optimizada.

Tabla 9

Medidas de eficiencia energética aplicadas al edificio Hotel 28 de Julio

| CÓDIGO | MEDIDA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA | APLICACIÓN |
|--------|--|------------|
| EEM01* | Proporción de vidrio respecto a la pared | Si |
| EEM02 | Techo reflectante | No |
| EEM03 | Paredes exteriores reflectantes | Si |
| EEM04 | Dispositivos de protección solar externos | Si |
| EEM05* | Aislamiento del techo | No |
| EEM06* | Aislamiento del suelo/losa de piso y entrepiso elevada | No |
| EEM07 | Techo verde | Si |
| EEM08* | Aislamiento de paredes exteriores | Si |
| EEM09* | Eficiencia del vidrio | Si |
| EEM10 | Infiltración de aire de la envolvente del edificio | Si |
| EEM11 | Ventilación natural | Si |
| EEM12 | Ventiladores de techo | No |
| EEM13* | Eficiencia del sistema de refrigeración | Si |
| EEM14 | Unidades de velocidad variable | No |
| EEM15 | Sistema de preacondicionamiento de aire fresco | Si |
| EEM18* | Sistema de agua caliente sanitaria (ACS) | Si |
| EEM19 | Sistema de precalentamiento de agua caliente sanitaria | No |
| EEM20 | Economizadores | No |
| EEM21 | Ventilación con control de demanda mediante sensores de CO ₂ | Si |
| EEM22 | Iluminación eficiente para áreas internas | Si |
| EEM23 | Iluminación eficiente para áreas externas | No |
| EEM24 | Controles de iluminación | No |
| EEM25 | Claraboyas | No |
| EEM26 | Ventilación con control de demanda para estacionamiento mediante sensores de CO ₂ | Si |
| EEM30 | Submedidores para sistemas de calefacción/refrigeración | No |
| EEM31 | Medidores inteligentes de energía | No |
| EEM32 | Correcciones del factor de potencia | No |
| EEM33 | Energía renovable en el emplazamiento: 25% del Consumo anual de energía | No |
| EEM34 | Otras medidas de ahorro de energía | No |

Nota. Las medidas con el símbolo de asterisco (*) adjunto indica el ingreso obligatorio de valores reales de ser el caso, la aplicación de esta no significa necesariamente un ahorro de energía.

Tabla 10*Medidas de eficiencia en el consumo de agua aplicadas al edificio Hotel 28 de Julio*

| CÓDIGO | MEDIDA DE EFICIENCIA EN EL CONSUMO DEL AGUA | APLICACIÓN |
|--------|---|------------|
| WEM01* | Cabezales de ducha que ahorran agua | Si |
| WEM02* | Grifos eficientes que ahorran agua para todos los baños | Si |
| WEM04* | Inodoros eficientes que ahorran agua para todos los baños | Si |
| WEM06 | Bidé eficiente que ahorra agua | No |
| WEM07 | Orinales eficientes que ahorran agua | No |
| WEM08* | Grifos de cocina que ahorran agua | Si |
| WEM09 | Lavavajillas que ahorran agua | No |
| WEM10 | Válvulas de preenjuague de cocina que ahorran agua | No |
| WEM11 | Lavadoras que ahorran agua | No |
| WEM12 | Cobertores de piscina | Si |
| WEM13 | Sistema de riego de jardines que ahorra agua | No |
| WEM14 | Sistema de recolección de agua de lluvia | No |
| WEM15 | Sistema de tratamiento y reciclaje de aguas residuales | Si |
| WEM16 | Recuperación del agua de condensación | No |
| WEM17 | Medidores inteligentes de agua | No |

Nota. Las medidas con el símbolo de asterisco (*) adjunto indica el ingreso obligatorio de valores reales de ser el caso, la aplicación de esta no significa necesariamente un ahorro en el consumo del agua.

Tabla 11*Medidas de eficiencia de los materiales aplicadas al edificio Hotel 28 de Julio*

| CÓDIGO | MEDIDA DE EFICIENCIA DE LOS MATERIALES | APLICACIÓN |
|--------|--|------------|
| MEM01* | Construcción de planta baja | Si |
| MEM02* | Construcción del entrepiso | Si |
| MEM03* | Acabado de piso | Si |
| MEM04* | Construcción del techo | Si |
| MEM05* | Paredes externas | Si |
| MEM06* | Paredes internas | Si |
| MEM07* | Marcos de ventana | Si |
| MEM08* | Vidrios de ventana | Si |
| MEM09* | Aislamiento de techo | No |
| MEM10* | Aislamiento de paredes | No |
| MEM11* | Aislamiento de piso | No |

Nota. Las medidas con el símbolo de asterisco (*) adjunto indica el ingreso obligatorio de valores reales de ser el caso, la aplicación de esta no significa necesariamente un ahorro de energía incorporada.

Con base en las medidas de eficiencia aplicadas en el escenario optimizado se consideró la modificación e implementación de materiales según el tipo y funciones de la edificación para lograr la obtención del Certificado EDGE (ver Tabla 6). Con esta nueva propuesta de edificio optimizado, el software EDGE proporciona el consumo energético e hídrico de este nuevo caso en kWh/m²/año y m³/día, respectivamente; así como la energía incorporada de los materiales en KgCO_{2e} en base a una nueva área construida.

Para calcular la energía incorporada de materiales, el programa considera “la suma de impacto de todos los materiales fundamentales” (p. 238). Sin embargo, “los elementos estructurales no están incluidos” (p. 236) para no alterar los aspectos de seguridad e ingeniería (IFC, 2021). Esto quiere decir, como lo evidencia la interfaz del programa, EDGE analiza en esta categoría, la energía incorporada de materiales correspondientes a la fase de acabados, mas no a los demás procesos constructivos.

Con los resultados del modelo optimizado calculados por EDGE y considerando también, la construcción del casco estructural, se genera un nuevo inventario que luego es analizado en el software SimaPro para evaluar los mismos impactos ambientales analizados en el escenario de línea base. A continuación, en la Tabla 12 se presenta el inventario considerado en el escenario optimizado.

Tabla 12

Inventario del escenario optimizado del edificio 28 de Julio

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|-------------------|---|-----------------|-------------|
| PRE-USO | | | |
| EXCAVACIÓN | | | |
| EXCAVACIÓN | Excavation, hydraulic digger {GLO} market for APOS, U | 13 607,30 | m3 |

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|---|--|-----------------|-------------|
| ELIMINACIÓN DE DESMONTE | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {BR} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 APOS, U | 168 690,70 | tkm |
| CIMENTACIÓN | | | |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 KG/CM2 | Reinforcing steel {GLO} market for APOS, U | 35 968,47 | kg |
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 350 KG/CM2 | Concrete, 35MPa {RoW} market for concrete, 35MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 511,22 | m3 |
| ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 35 480,58 | kg |
| CASCO | | | |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 KG/CM2 | Reinforcing steel {GLO} market for APOS, U | 442 660,74 | kg |
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 210 KG/CM2 | Concrete, 20MPa {RoW} market for concrete, 20MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 979,62 | m3 |
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 280 KG/CM2 | Concrete, 30-32MPa {RoW} market for concrete, 30-32MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 479,94 | m3 |
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 350 KG/CM2 | Concrete, 35MPa {RoW} market for concrete, 35MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 1 617,23 | m3 |

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|---|--|-----------------|-------------|
| CONCRETO PREMEZCLADO F'C = 420 KG/CM2 | Concrete, 40MPa {PE} market for concrete, 40MPa APOS, U; Machine operation, diesel, >= 18.64 kW and < 74.57 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 602,11 | m3 |
| ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 26 615,00 | kg |
| PISOS INTERMEDIOS | CALCULADORA EDGE | 1 202 768,39 | KgCo2e |
| PLANTA BAJA | CALCULADORA EDGE | 56 992,20 | KgCo2e |
| TECHO: ATAP | CALCULADORA EDGE | 42 867,74 | KgCo2e |
| ACABADOS | | | |
| ACABADO DE PISO | CALCULADORA EDGE | 55 226,64 | KgCo2e |
| AISLAMIENTO PAREDES | Polystyrene, expandable {GLO} market for APOS, U | 1 702,34 | kg |
| PAREDES EXTERNAS | CALCULADORA EDGE | 83 263,69 | KgCo2e |
| PAREDES INTERNAS | CALCULADORA EDGE | 112 995,68 | KgCo2e |
| PINTURA | Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW} market for acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state APOS, U | 4 555,98 | kg |
| TARRAJEO | Cement mortar {RoW} market for cement mortar APOS, U | 95,89 | kg |
| INSTALACIONES ELÉCTRICAS | | | |
| ALIMENTADORES | Copper-rich materials {GLO} market for copper-rich materials APOS, U | 2 930,04 | kg |
| TABLERO ELÉCTRICO | Transformer, low voltage use {GLO} market for APOS, U | 3 527,68 | kg |
| BANDEJAS ELECTRICAS | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 21 314,40 | kg |
| CABLE ELÉCTRICO | Cable, unspecified {GLO} market for APOS, U | 80,45 | kg |
| INTERRUPTOR | Switch, toggle type {GLO} market for APOS, U | 76,16 | kg |
| TOMACORRIENTE | Plug, inlet and outlet, for printer cable {GLO} market for APOS, U | 416,00 | p |

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|---------------------------------------|--|-----------------|------------------|
| TUBERÍAS ELECTRICAS DE ACERO | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 1 218,15 | kg |
| TUBERÍAS ELECTRICAS DE PVC | Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U | 568,11 | kg |
| SALIDAS AUXILIARES | Plug, inlet and outlet, for network cable {GLO} market for APOS, U | 190,00 | p |
| INSTALACIONES SANITARIAS | | | |
| ACCESORIOS DE BRONCE | Bronze {GLO} market for APOS, U | 82,50 | kg |
| AISLANTE TERMICO | Stone wool {GLO} market for stone wool APOS, U | 803,85 | kg |
| TUBERÍA DE DESAGUE | Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U | 5 374,11 | kg |
| TUBERÍA DE DISTRIBUCION DE AGUA | Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U | 2 381,94 | kg |
| SALIDA DE AGUA FRIA Y CALIENTE | Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U | 131,52 | kg |
| VALVULAS SANITARIAS | Brass {RoW} market for brass APOS, U | 234,14 | kg |
| ACI | | | |
| ROCIADORES | Bronze {GLO} market for APOS, U | 544,35 | kg |
| TUBERÍA SCH-40 | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 22 944,36 | kg |
| VALVULAS PARA ROCIADORES | Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U | 14 322,00 | kg |
| HVAC | | | |
| INYECTOR CENTRIFUGO | Ventilation of dwellings, decentralized, 6 x 120 m ³ /h {GLO} market for APOS, U | 768,55 | m ² a |
| VENTILACIÓN | Machine operation, diesel, < 18.64 kW, steady-state {GLO} market for APOS, U | 72 000,00 | p |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | | | |
| AGUA | Tap water {PE} market for tap water APOS, U | 619 770 000,00 | kg |

| MATERIALES | PROCESO UNITARIO | CANTIDAD | UND. |
|-------------------|---|-----------------|-------------|
| ENERGIA | Electricity, medium voltage {PE} market for APOS, U | 35 462 987,95 | kWh |



CAPITULO 4: Resultados de las operaciones unitarias a partir del proceso constructivo

4.1 Resultados del modelamiento del caso base

4.1.1. Potencial de Calentamiento Global.

La categoría “Potencial de Calentamiento Global”, como su nombre lo indica, evalúa el potencial de los gases de efecto invernadero de contribuir al calentamiento global con respecto al dióxido de carbono durante un periodo específico (IPCC, 2019).

Según la metodología IPCC 2021, específicamente en la categoría Potencial de Calentamiento Global a 100 años (GWP100), el Hotel 28 de Julio emite un total de $1,80\text{E}+07$ kg CO_{2eq} durante sus 50 años de operación. Este resultado refleja el impacto ambiental generado por la vida útil del edificio en un plazo de 100 años.

Como se observa en la Figura 17, la etapa de mayor impacto ambiental es la etapa de uso, durante la cual se generan $1,10\text{E}+07$ kg CO_{2eq}, lo cual representa el 61,05% del total de emisiones analizadas, mientras que la etapa de pre-uso es responsable de $7,03\text{E}+06$ kg CO_{2eq}.

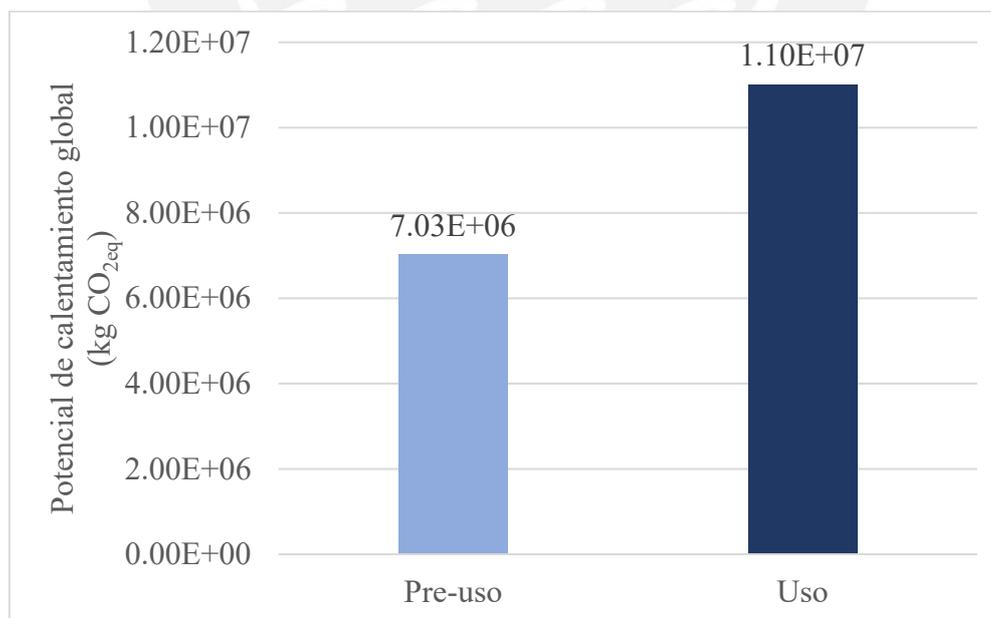


Figura 17. Impacto ambiental del edificio de estudio

Al realizar un desagregado dentro de la etapa de pre-uso (ver Tabla 13), se identifica que la fase que genera mayor cantidad de emisiones es la fase involucrada en la construcción del casco estructural con 5,61E+06 kg CO_{2eq}, representando el 79,84% de las emisiones generadas por esta etapa y el 31,10% del total de emisiones generadas por las etapas analizadas.

Realizando un análisis de los procesos involucrados dentro de la fase de casco, se observa que la mayor parte de las emisiones de CO_{2eq} provienen del proceso de encofrado y desencofrado normal (54,91%) y en menor medida del concreto premezclado (24,05%) y acero corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ (21,04%).

Tabla 13

Desagregado del impacto ambiental en la categoría GWP en etapa de Pre-uso

| Etapas | Potencial de Calentamiento Global (kg CO₂ eq) | Porcentaje |
|---------------------------|---|-------------------|
| Total | 1,80E+07 | 100,00% |
| Pre-uso | 7,03E+06 | 38,95% |
| Excavación | 2,77E+04 | 0,15% |
| Cimentación | 3,00E+05 | 1,66% |
| Casco | 5,61E+06 | 31,10% |
| Acabados | 6,54E+05 | 3,62% |
| Instalaciones | 4,35E+05 | 2,41% |
| <i>IIEE</i> | <i>8,78E+04</i> | <i>0,49%</i> |
| <i>IISS</i> | <i>2,24E+04</i> | <i>0,12%</i> |
| <i>ACI</i> | <i>5,47E+03</i> | <i>0,03%</i> |
| <i>HVAC</i> | <i>3,19E+05</i> | <i>1,77%</i> |
| Uso | 1,10E+07 | 61,05% |
| Operación y mantenimiento | 1,10E+07 | 61,05% |

En segundo lugar, se encuentra la fase de acabados con 6,54E+05 kg CO_{2eq}, lo cual representa el 9,30% de las emisiones generadas en la etapa de pre-uso y 3,62% de las emisiones

de las etapas analizadas. Esto debido principalmente a las unidades de ladrillo blanco P-12, puerta cortafuego metálica y el ladrillo pastelero utilizado.

En menor medida de impacto ambiental en la categoría GWP se presenta las fases de instalaciones y cimentación con porcentajes respecto a la etapa de pre-uso menos predominantes de 6,19% y 4,27%, respectivamente. Adicionalmente se observa que la fase menos representativa es excavación con 0,39% de emisiones.

Considerando los procesos involucrados en el consumo de agua y energía en la etapa de uso de la edificación, esta etapa representa un impacto significativo del 61,05% de las emisiones generadas por las etapas de pre-uso y uso. Sin embargo, la huella de carbono generada se debe principalmente al consumo energético, pues es causante del 96,28% de las emisiones generadas en la etapa de uso y 58,77% de las emisiones totales de las etapas analizadas (ver Figura 18).

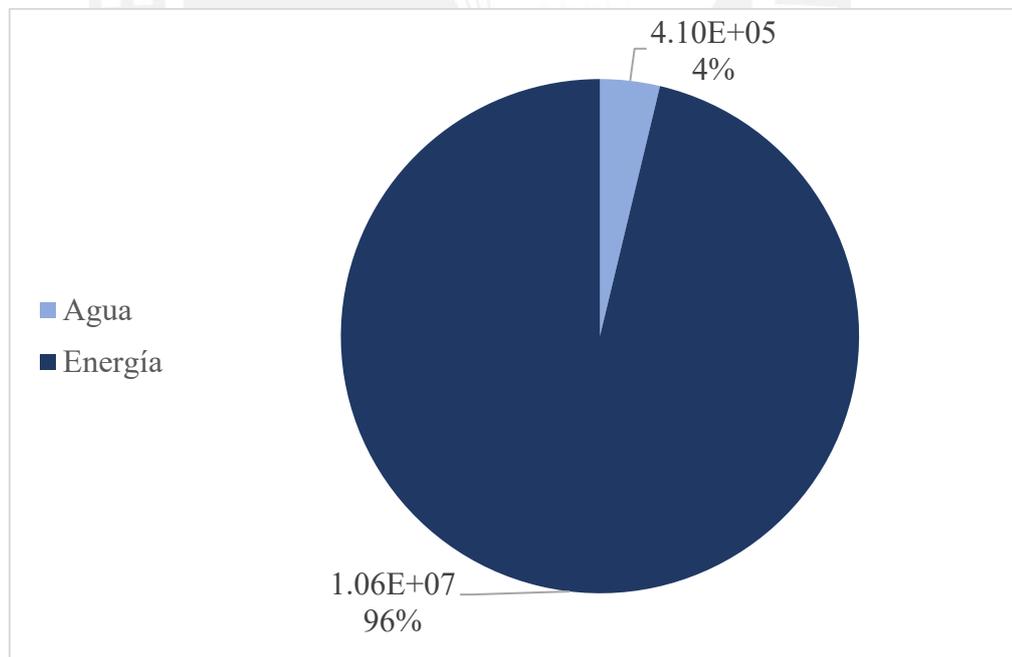


Figura 18. Distribución de la huella de carbono en la etapa de uso como consecuencia de los 50 años de vida útil de la edificación

En cuanto al consumo del agua, su porcentaje de participación con respecto a la generación de huella de carbono no es tan relevante como el caso anterior porque dentro de la etapa de uso solo es responsable $4,10E+05$ kg CO₂eq (3,72%) y en un panorama más general, considerando las dos etapas analizadas, pre-uso y uso, es causante de 2,27% de las emisiones emitidas.

4.2 Resultados del modelamiento del caso optimizado

A partir del caso base modelado en el programa EDGE, se aplicaron medidas de eficiencia en aspectos de energía (ver Tabla 7), agua (ver Tabla 8) y materiales (ver Tabla 9) de manera que cumpla con un ahorro de 20% o más en los tres aspectos mencionados (con respecto a edificaciones estándar establecidos como parámetros en el programa EDGE) y sea calificable para la obtención de la Certificación EDGE.

Tras la selección del tipo de edificio, el ingreso de los datos de diseño y la aplicación de las medidas de eficiencia, el software EDGE propone una edificación optimizada de 7 062,23 m² de área techada y ahorros de 32,52% en la categoría de energía, 34,90% en la categoría de agua y 35,00% en la categoría de energía incorporada en los materiales, estos porcentajes son calculados por el software en base a parámetros de edificaciones convencionales y locales.

En el consumo de energía, se promedió un consumo de 100,43 kWh/m²/año para el caso de línea mejorada, logrando un ahorro de energía con respecto al caso base de 33,88%, que en 50 años significaría el ahorro de $3,60E+06$ kg de dióxido de carbono equivalente (33,96%). De la Figura 19, se observa que el principal ahorro en el consumo de energía se da al implementar medidas de eficiencia en el sistema de agua caliente tras la implementación del panel solar seguida de los ahorros en el área de refrigeración (ventilación) e iluminación.

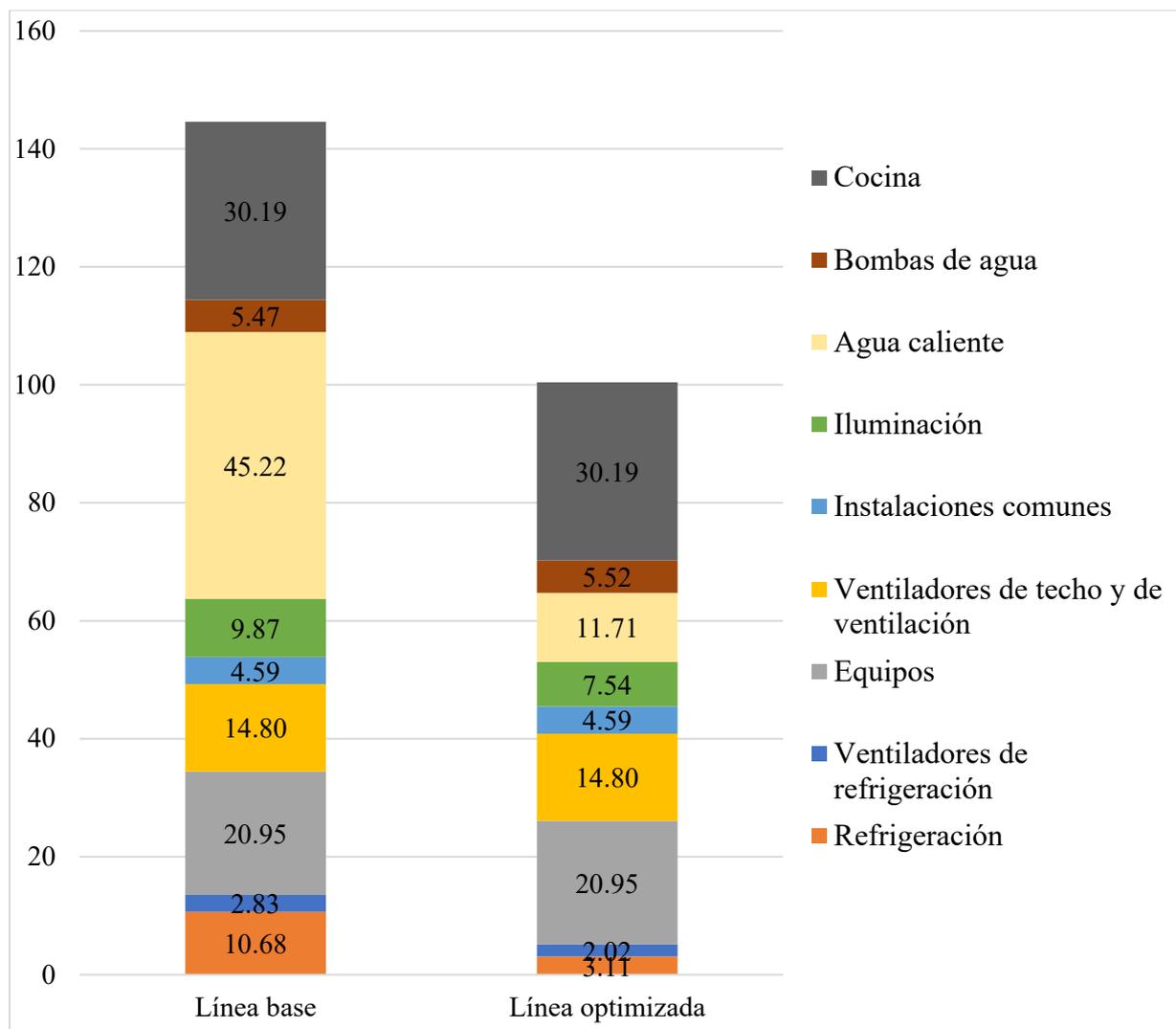


Figura 19. Impacto de las medidas de eficiencia en el consumo energético.

En el caso optimizado modelado en el programa EDGE se obtuvo un consumo de agua 33,96 m³/día, logrando un ahorro de 31,38% en el consumo del agua y un ahorro en emisiones de dióxido de carbono equivalente de 1,29E+05 kg (31,46%), con respecto al caso base,. El ahorro se distribuye en las diferentes áreas que intervienen en el consumo del agua; sin embargo, como se visualiza en la Figura 20, resalta el ahorro de agua al tomar medidas de eficiencia en el uso de la ducha, inodoros y piscina al utilizar artículos de menor consumo hídrico y cobertor para la reducción de evaporación del agua en la piscina.

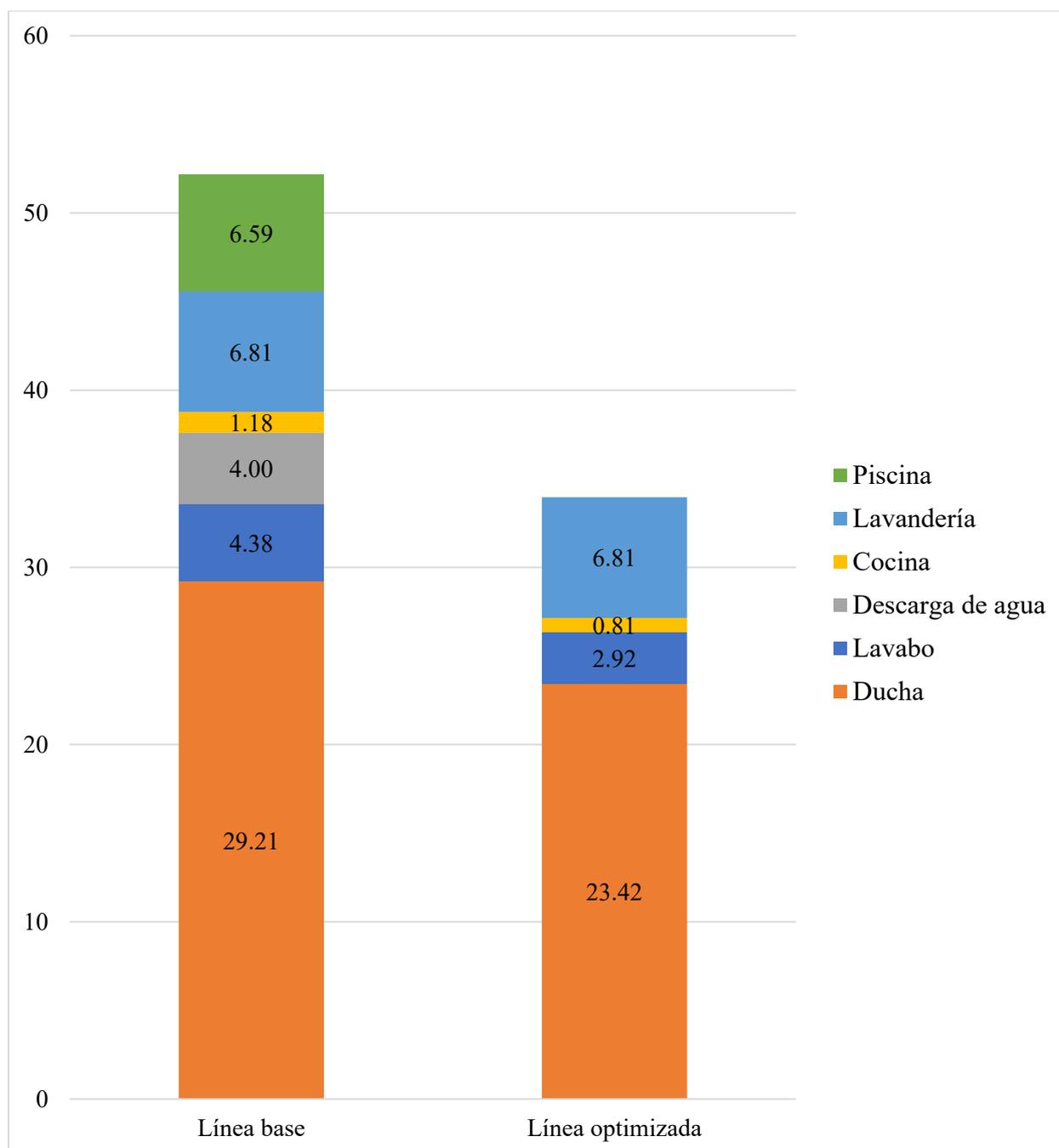


Figura 20. Impacto de las medidas de eficiencia en el consumo de agua

Finalmente, según el análisis realizado en el software EDGE en la categoría de energía incorporada, se obtuvo 220,06 kg CO₂eq/m² al implementar medidas de eficiencia en los materiales en la fase correspondiente a los acabados. De la Figura 21, se observa que la medida principal utilizada para la reducción de emisiones son los cambios realizados en los entrepisos al utilizar losas prefabricadas doble T en lugar de losas macizas.

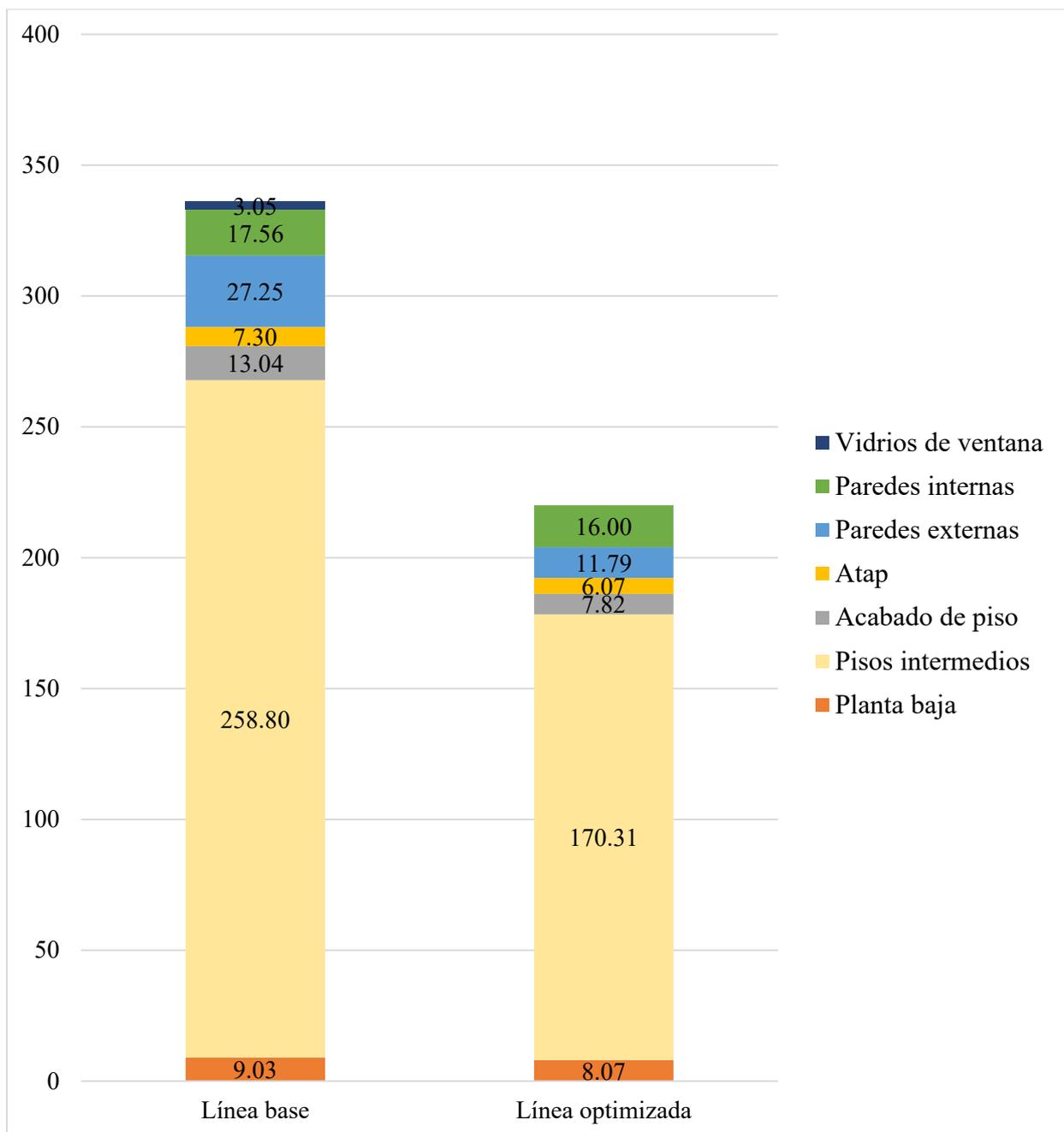


Figura 21. Impacto de las medidas de eficiencia en los materiales

4.2.1. Potencial de Calentamiento Global.

Llevando los resultados del edificio analizado bajo un escenario optimizado, realizado en el software EDGE, al software SimaPro, se obtuvo que el escenario optimizado genera $1,80E+05$ kg CO₂eq (2,56%) adicionales durante la etapa de Pre-uso debido a la implementación de materiales para la adopción de las medidas de eficiencia en los aspectos de energía y agua, especialmente en la fase de acabados. Así mismo, tal como se muestra en la

Tabla 14, la huella de carbono de 1 m² de área construida del escenario optimizado aumenta un 47,69% en la etapa de Pre-uso y disminuye un 4,70% en la etapa de Uso con respecto al escenario base. Sin embargo, en un análisis general entre las etapas de Pre-uso y Uso existe un ahorro de emisiones de 3,55E+06 kg CO₂ (19,66%) debido a las emisiones evitadas en la etapa de uso (3,73E+06 kg CO₂).

Tabla 14

Huella de carbono por área construida

| Descripción | Escenario base | | | Escenario optimizado | | |
|---|----------------|-----------|-----------|----------------------|----------|----------|
| | Etapa | | Total | Etapa | | Total |
| | Pre-uso | Uso | | Pre-uso | Uso | |
| Área construida (m ²) | 10 169,71 | 10 169,71 | 10 169,71 | 7 062,23 | 7 062,23 | 7 062,23 |
| Huella de carbono (kg CO ₂ eq) | 7,03E+06 | 1,10E+07 | 1,80E+07 | 7,21E+06 | 7,28E+06 | 1,45E+07 |
| Huella de carbono/ Área construida (kgCO ₂ eq/m ²) | 691,27 | 1 081,64 | 1 769,96 | 1 020,92 | 1 030,84 | 2 053,18 |

4.3 Percepción social de la edificación

Los resultados del cuestionario realizado al panel de expertos mostrados en la Figura 22 revelan una percepción más favorable de la edificación construida en el escenario optimizado a excepción de los ingenieros civiles, quienes califican el escenario de línea base ligeramente más favorable que el escenario optimizado y de los arquitectos, que puntúan a ambos escenarios en igual magnitud. Este último, junto a los agentes privados (gestor inmobiliario y constructor) y los expertos ambientales dan puntuaciones favorables con puntuaciones de 3 a 4 para el escenario optimizado. Por otro lado, los agentes municipales y los ingenieros civiles perciben a este escenario con valores menores o iguales a 2.5.

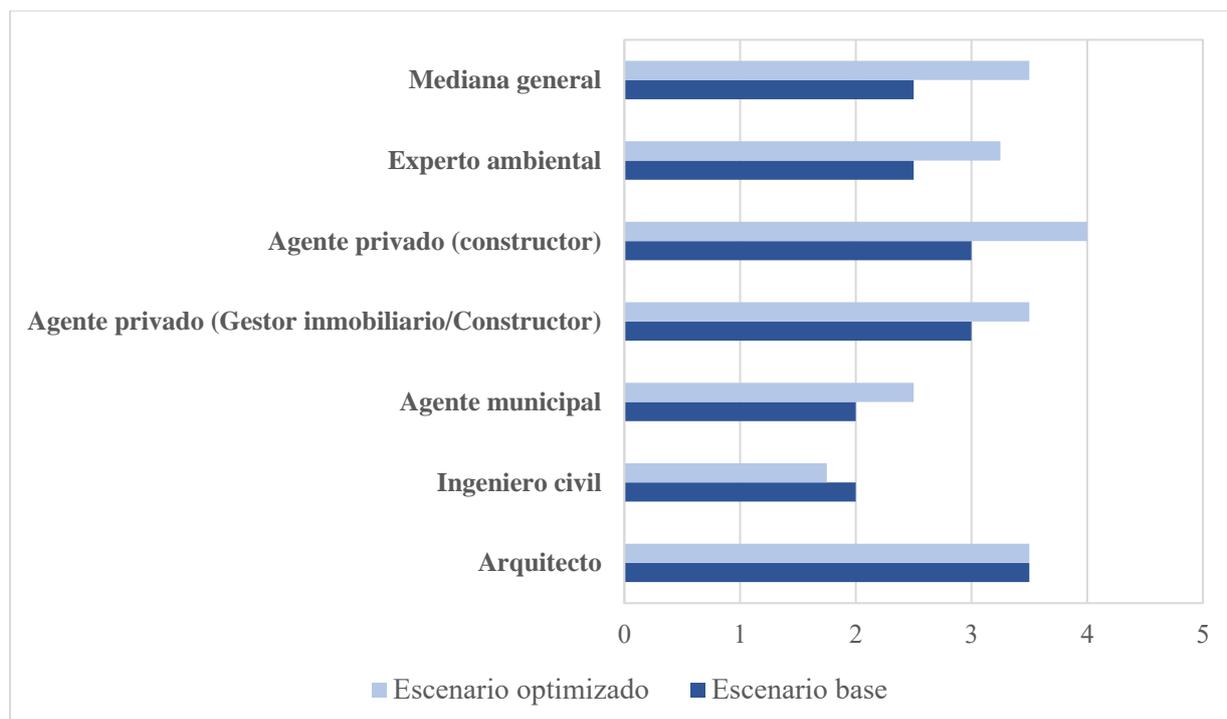


Figura 22. *Percepción del panel de expertos por especialidad de los escenarios base y optimizado*

Los actores privados brindan en ambos escenarios puntajes más favorables por encima de los encuestados restantes y de la media general y perciben, en términos de puntuación, mayor apreciación por el escenario de la edificación certificada bajo el sistema EDGE al igual que los académicos. En el caso de los actores públicos, estos tienen la misma postura en cuanto al puntaje para ambos escenarios.

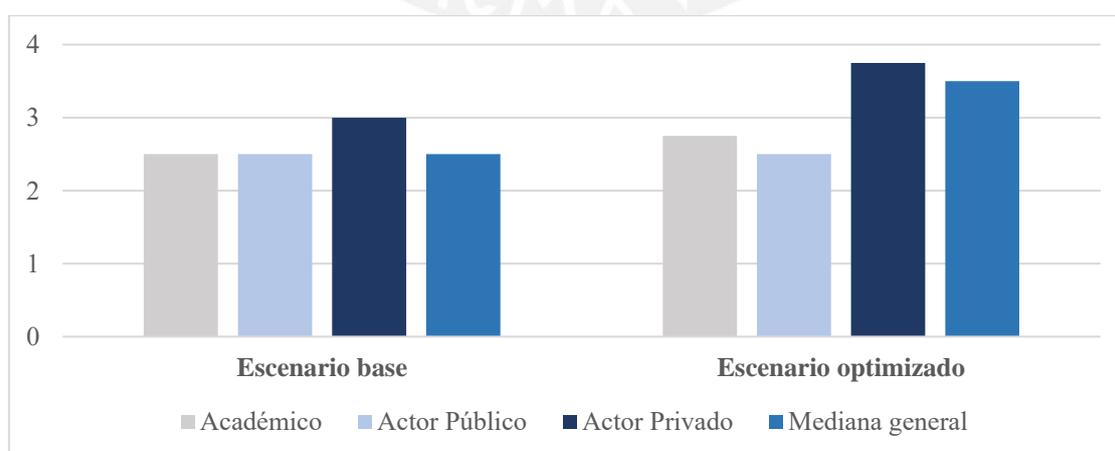


Figura 23. *Percepción del panel de expertos por sector de los escenarios base y optimizado*

Los resultados mostrados en la Figura 24 indican que los residentes (vecinos) consideran que son mayores los efectos negativos que los positivos en el entorno producto de la construcción del hotel 28 de Julio. Los transeúntes y los potenciales usuarios consideran mayores los efectos positivos en el entorno que los efectos negativos y son los potenciales usuarios quienes presentan una posición más favorable de la construcción del proyecto (caso real o base).

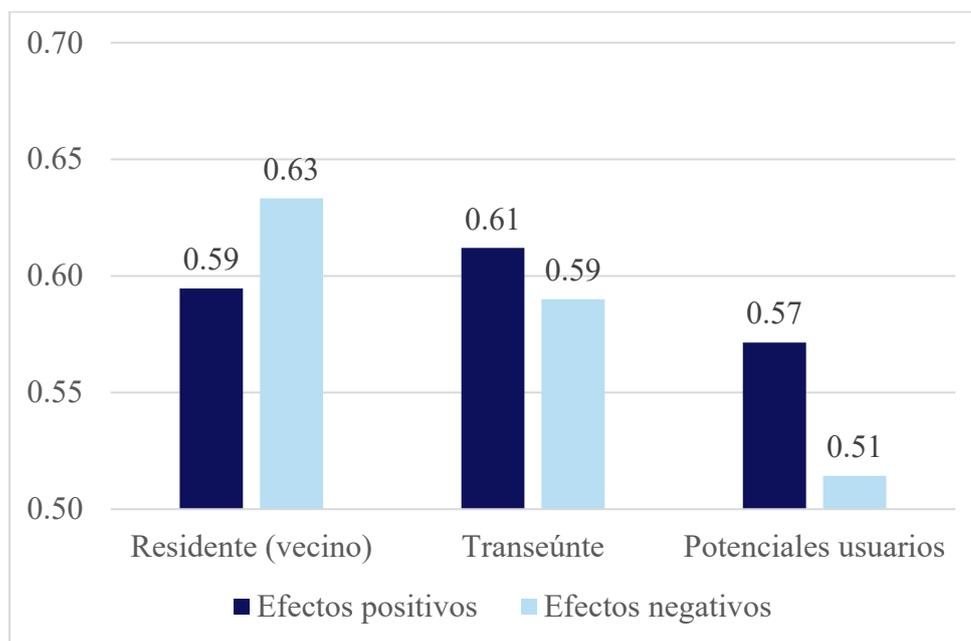


Figura 24. *Percepción de los efectos del hotel sobre el entorno de residentes, transeúntes y potenciales usuarios*

Los residentes consideran una percepción neutra (en un rango de 2 a 3) acerca de los efectos positivos del hotel sobre su entorno tales como servicios, economía, paisaje, infraestructura verde e infraestructura gris y atribuyen que la construcción de este proyecto generaría una responsabilidad con un puntaje 3 de los efectos negativos de congestión vehicular y contaminación. Por otro lado, la percepción de los transeúntes de la locación del proyecto es más favorable en los efectos de servicios, paisaje e infraestructura verde (puntuación 3-4) y no tan favorable para los aspectos de economía e infraestructura verde (puntuación 2-3). En cuanto a los efectos negativos, congestión vehicular y contaminación, los transeúntes consideran una

existencia de esta debido al proyecto en un grado de 2 a 3. Finalmente, los potenciales usuarios presentan una percepción neutra (entre 2 a 3) para los efectos positivos, siendo su mayor valoración para los efectos de servicios y economía. En cuanto a los efectos negativos consideran un nivel 3 en contaminación y 2 en congestión vehicular.

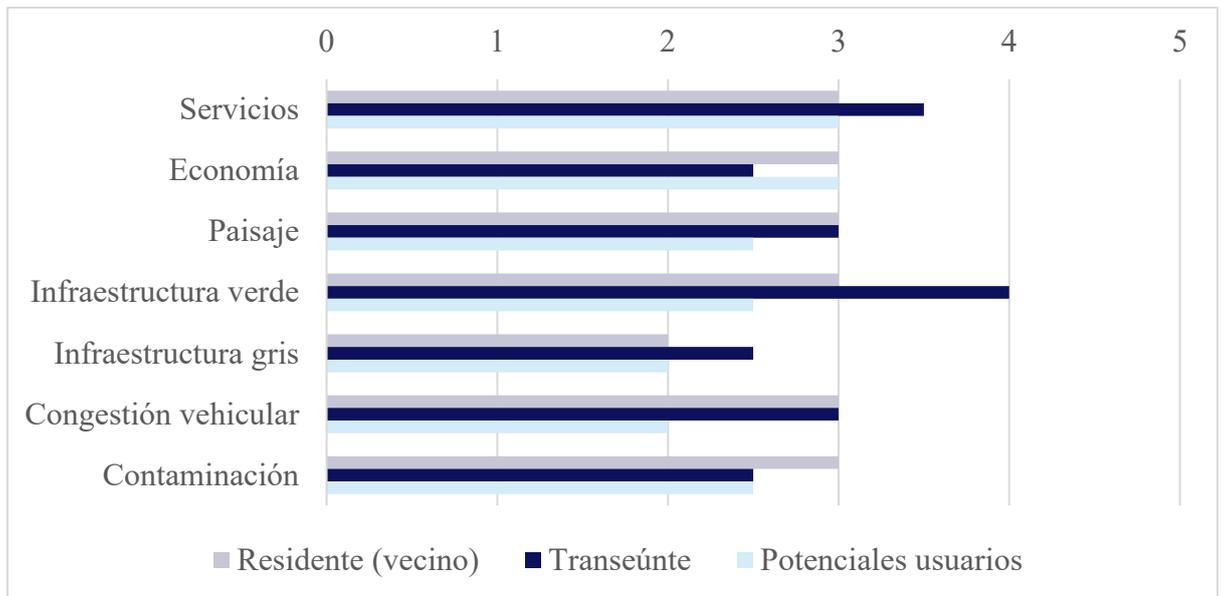


Figura 25. Valoración de los efectos del hotel sobre el entorno de residentes, transeúntes y potenciales usuarios

CAPÍTULO 5: Discusión de resultados

Los resultados de modelamiento de impacto ambiental muestran que, ya se trate de la construcción del proyecto del caso base o de la construcción del proyecto siguiendo criterios de construcción sostenible del sistema EDGE, la etapa con mayor huella de carbono es la etapa de uso, responsable del 61,05% de emisiones generadas por las etapas analizadas, pre-uso y uso, como consecuencia del consumo de energía en los 50 años de operación de la edificación.

Análisis del Ciclo de vida de otras edificaciones hoteleras en Perú revelan que estas emisiones pueden ser aún mayores. Los resultados hallados por Filimonau et al., (2021) asignaron el 74% de las emisiones analizadas (etapa de pre-uso y fase operacional) de un hotel económico, a la fase de operación del edificio, y en el caso de un hotel de lujo, atribuyeron el 85% de las emisiones analizadas a esta fase.

Diversos estudios de evaluación de impacto ambiental muestran que esta predominancia de impacto de la etapa de uso en la categoría de potencial de calentamiento global, no solo se limita a edificaciones hoteleras. Tal es el caso encontrado en un edificio de oficinas ubicado en Lima, planteado en la tesis de titulación de Calle (2019), en el cual según un ACV modelado en el software SimaPro, la fase de operación y mantenimiento (etapa de uso) origina el 73% del impacto de potencial de calentamiento global, y esto debido en más del 70%, al consumo de energía en la etapa operativa. Otro caso, se observa en un prototipo de vivienda ecosostenible planteada en la tesis de titulación de Soto (2022) en el cual la etapa de uso representa un 70% de las emisiones generadas en las etapas de pre-uso y uso.

Casos más alarmantes se observan en los resultados del ACV realizado a edificios de oficinas en Finlandia. Estos resultados mostraron que el 86% de las emisiones generadas por la edificación a lo largo de su ciclo de vida (considerando las etapas pre-uso, uso y demolición) se debe a la etapa de operación del edificio, correspondiendo el 60% de estas emisiones al

servicio de energía, y en un panorama general (involucrando todas las etapas de la edificación) el servicio de energía es responsable de más de la mitad (52%) de la huella de carbono generada por el edificio (Junnila y Horvarth, 2003), al igual que en el caso de estudio (58,77%).

Los análisis descritos, estudios revelan el papel del consumo de energía en el impacto al medioambiente y explican parte del enfoque de sistemas de certificación ambiental en edificaciones y de diversos estudios por disminuir la contaminación ambiental en la etapa operativa de la edificación (Bravo-Hidalgo & Baez-Hernandez, 2019).

Por otro lado, el 38,95% de las emisiones restantes obtenidas en los resultados de la categoría GWP se debe a la etapa constructiva de la edificación (Pre-uso). De estas emisiones 79,84% se deben a la fase de casco, 9,30% a la fase de acabados y 10,86% debido a las fases de instalaciones, cimentación y excavación.

Las altas emisiones en la fase de casco son debido a las actividades de encofrado, concreto, acero de refuerzo y unidades de ladrillo blanco P-12. Se presentan con significativamente menos responsabilidad de impacto ambiental la fase de instalaciones, como consecuencia principalmente del uso de tablero eléctrico, tuberías eléctricas de acero y el uso de cobre en los conductores eléctricos. Resultados similares muestran el ACV realizado a edificios de oficina en Finlandia, este atribuye las emisiones de CO₂ equivalente de la etapa de pre-uso, al uso de materiales de acero de hierro fundido (30%) y al uso de concreto (23%) utilizados en la etapa constructiva de la edificación (Junnila y Horvarth, 2003).

Estos resultados no solo son recurrentes en los procesos de edificaciones sino en estructuras con funcionalidades más diversas, como es el caso de un centro educativo en la ciudad de Iquitos planteado en la tesis de titulación de Ordoñez (2022), en el cual el 40% de la energía primaria consumida se debe a la fase de casco principalmente por el uso del cemento y el acero de refuerzo, 29% debido al transporte de materiales (ambas fases de analizaron de

manera separada debido a que se realizó un ACV desde la cuna hasta la tumba) y 12% debido a los accesorios y acabados. De similar manera, estudios revelan tendencia en las emisiones de contaminantes al medio ambiente en el orden casco y acabados dentro de la fase de construcción (Calle, 2019).

Análisis del Ciclo de vida realizados a edificaciones hotelera en Perú, revelan valores de 26% y 15% correspondiente a la etapa constructiva del edificio (pre-uso), dependiendo del nivel de lujo del hotel. Sin embargo, el mismo artículo muestran que en el ACV de edificaciones hoteleras en Brasil, estos valores podrían ser mayores, oscilando entre el 26% y el 69% (Filimonau, 2021), números más representativos con lo hallado en la presente tesis.

En cuanto al modelamiento de la edificación bajo escenario con Certificado EDGE (escenario optimizado), los resultados muestran una reducción en los consumos de agua y energéticos en la etapa de uso tras las modificaciones e implementaciones de materiales ahorradores de consumo. La implementación de sensores de control de luminaria y monóxido, aparatos con eficiencia energética e hídrica, y los aisladores de paredes externas, entre otros, permiten reducir el consumo energético en 34% y el consumo de agua en 31% con respecto al escenario base, aun al tratarse de un proyecto con medidas de eficiencia energética e hídrica previamente aplicadas por el sistema de Certificación CEPRES Tipo C.

Los resultados obtenidos debido a la adopción de las medidas de eficiencia del sistema EDGE van de acuerdo con diversos trabajos de investigaciones disponibles y los beneficios de estas medidas amplían su aplicación no solo a edificaciones convencionales sino es capaz de adaptarse a otros tipos de necesidades y contextos. Como ejemplo el Complejo Industrial Genomma Lab's, en donde en tres de sus plantas certificadas bajo el sistema EDGE se logró ahorros de energía entre 26% - 45%, ahorros en consumo de agua entre 37% - 54% y entre 38% - 41% menos energía incorporada en los materiales gracias a la introducción de

tecnologías como el sistema CHP y el tratamiento del 100% del agua residual (PR Newswire, 2022) y el edificio de oficinas pionero de la ciudad Eko Atlantic, Alfa 1, donde se prevé un ahorro de 28% en energía, 29% ahorro de agua y 23% menos energía incorporada en los materiales tomando medidas como el aislamiento de techo, vidrios de mayor rendimiento térmico, sistemas VRV, sensores de control de iluminación y aparatos de bajo consumo de agua y energía, entre otros (Nation, 2020).

La literatura sobre los beneficios de la certificación bajo este sistema a largo plazo es extensa, especialmente en la etapa de uso. Sin embargo, el mayor rendimiento en términos de desempeño ambiental se da específicamente en la etapa operativa de la edificación, mediante la adopción de medidas de eficiencia en la etapa previa al uso, sobre todo en la fase de acabados. Esta introducción de nuevos materiales genera en ocasiones, como se observa en la presente tesis, un incremento en la huella de carbono en la etapa de pre-uso, que muchas veces no es considerado.

Como se mencionó en la metodología, el sistema EDGE realiza una comparativa de la línea mejorada respecto a un caso estándar típico establecido por el sistema, de acuerdo con la tipología y ubicación del proyecto (IFC, 2021). Este nuevo escenario mejorado es propuesto por EDGE bajo criterios sostenibles establecidos por el sistema. El escenario optimizado planteado por el programa resultó 7 062,23 m², disminuyendo en 30% respecto a los 10 169,71 m² de área construida inicial. Para mejorar la orientación del programa al usuario, sería beneficioso detallar los criterios y restricciones utilizados para construir este nuevo escenario, incluyendo las especificaciones de dónde se aplica la reducción del área construida, pues esta no se detalla de forma extensiva en la Guía de usuario del programa.

Por otro lado, el programa EDGE resulta eficiente para calcular los ahorros en energía y agua, según las medidas de eficiencia aplicadas. Sin embargo, en cuanto al cálculo de la

energía incorporada de materiales, no considera todos los procesos desarrollados durante el proceso constructivo, porque considera el impacto de los materiales fundamentales, pero no de los elementos estructurales, (IFC, 2021) si no que se centra en la fase de acabados, tal como lo confirma la interfaz del programa, por lo que resulta eficiente analizar esta etapa en el software SimaPro para obtener un panorama general.

Al incorporar nuevos materiales al proyecto de línea base con la finalidad de obtener un “edificio verde” se obtiene un incremento del 2,56% en el CO₂ equivalente generado durante la etapa de pre-uso, incrementando la huella de carbono por m² de área construida en 47,69% en esta etapa. Si bien es cierto, este aumento de CO_{2eq} durante la etapa constructiva del proyecto (pre-uso) es compensado por las emisiones evitadas durante la etapa de uso, dando como resultado una reducción en las emisiones totales, existe el riesgo que, nos limitemos a evaluar el desempeño ambiental en reducciones cuantitativas de impacto ambiental y olvidar el aspecto social de la sostenibilidad (Stander y Walter, 2019). Por tanto, de no haber una conciencia ambiental y un eficiente control del impacto ambiental desde la concepción integral del proyecto, las emisiones contaminantes durante la construcción puedan ser similar o mayor durante la etapa constructiva pues al final se adoptarán prácticas sostenibles motivadas por un sentido financiero, de marketing y ventajas sociales (Directivos Construcción, 2009).

Los resultados demuestran un enfoque de reducción de impacto ambiental en la etapa operacional mas no en la etapa de pre-uso, porque no considera en todas sus etapas el concepto de sostenibilidad y se “centra más en la energía y la reducción de las emisiones” para obtener una reducción del impacto ambiental (Business Mirror, 2016, p. 1). Entonces al hablar de una edificación con certificado ambiental se puede afirmar un mejor desempeño ambiental de la edificación bajo un escenario optimizado, con respecto a una edificación convencional, mas no que se trate de una edificación verde; entendiéndose este último, como aquella edificación que siga los lineamientos de sostenibilidad en cada una de sus etapas de su ciclo de vida.

Pese a que existe una clara reducción del consumo energético e hídrico al construir un proyecto de línea mejorada, lo que se traduce en un menor costo en los recibos de estos servicios, la realización de esta implica mayores costos en la ejecución del proyecto (Defilippi y Dueñas, 2021). Aunque los montos tienden a ser percibidos más altos de lo que realmente son (Directivos Construcción, 2009). Construir un edificio que alcance una de las certificaciones sostenibles más básicas puede implicar entre un 2% a 3% más de los costos de una edificación convencional y adicionalmente, entre un 5% a 7,5% más de plantear alcanzar una de las certificaciones con mayor nivel de sostenibilidad (Directivos Construcción, 2009). Esto afirma la existencia de uno de los principales factores críticos en la construcción de un proyecto sostenible, los mayores costos en la fase de construcción (Miranda, 2011). Aun así, frente a la decisión de construir una edificación convencional (escenario de línea base) o una edificación sostenible (el escenario optimizado), la última opción gana mayor ventaja al saber que el aporte monetario por adoptar una edificación sostenible en lugar de una convencional asciende a más de 5 millones USD en valor de mercado (Directivos Construcción, 2009).

Las ventajas de optar por una construcción sostenible no se reducen al ahorro en los consumos de energía y agua, sino que existe una percepción favorable por parte de los expertos y actores sociales sobre la construcción de la edificación bajo el escenario optimizado (escenario con certificación EDGE), a excepción de los actores públicos.

Según los resultados, hay una preferencia por parte de académicos y en especial de actores privados por la construcción de un edificio con EDGE Certificado con respecto a un edificio convencional. Esta percepción parece extenderse a nivel de América Latina, según un estudio realizado a 20 expertos de la World Trade Centers Association (WTCA), todos los usuarios están dispuestos a pagar más por el alquiler o venta de un edificio sostenible; sin embargo, el interés de los clientes más que depender de los precios, depende de una conciencia ambiental en las nuevas generaciones (Latin Trade, 2022)

Respecto a los actores sociales existe una percepción desfavorable del proyecto base por parte de los residentes puesto que consideran la realización de esta, genera mayores efectos negativos que positivos en el entorno porque son los más afectados por la contaminación y la congestión vehicular. Contrariamente, la percepción de potenciales usuarios y transeúntes es positiva frente a la construcción del proyecto del caso de estudio, en particular, porque consideran que son mayores los efectos positivos que negativos del proyecto debido a los aportes positivos que genera tales como los servicios, economía, paisaje e infraestructura verde.

La literatura indica que los edificios sostenibles obtienen 6% más alquileres por pie cuadrado que un edificio convencional y pueden obtener un incremento desde 9% hasta 30% en los precios de venta (Directivos Construcción, 2009), como se mencionó en el párrafo anterior un factor determinante en la intención de alquiler o compra de una vivienda verde es la conciencia y capacidad de conocimiento sobre estos, por lo cual prestar importancia al aspecto cognitivo y afectivo de los consumidores (Pangaribuan et al., 2023)

CONCLUSIONES

La huella de carbono producida durante las etapas de pre-uso y uso en el escenario de línea base es $1,80E+07$ kg CO₂eq, 61% debido a la etapa operativa del edificio por el consumo de energía (58,77%) y agua (2,27%). Con las medidas de eficiencia implementadas en las categorías de energía, agua y materiales en el escenario optimizado, el consumo energético registrado en la línea base disminuye un 33,88% y el consumo de agua en un 31,38% dando como resultado la reducción total de huella de carbono en 19,66%.

Durante la etapa constructiva del proyecto se genera 691,27 kg CO₂eq/m², la fase de casco produce el 79,84% de las emisiones, seguida por la fase de acabados (9,30%) e instalaciones (6,19%). Las fases de cimentación y excavación cobran menos relevancia por las bajas emisiones producidas durante su ejecución. Así mismo, al considerar en nuevo escenario optimizado propuesto por el software EDGE y añadir nuevos procesos durante la construcción implementados por las medidas de eficiencia, las emisiones se incrementan en esta etapa en 2,56% y la huella de carbono por área construida asciende a 1 081,64 kg CO₂eq/m². Este aumento de emisiones es amortizado por las emisiones evitadas durante la etapa de uso logrando, en suma, una reducción del impacto ambiental de todo el proyecto.

Las medidas de eficiencias aplicadas por el Sistema de Certificación de Edificación Sostenible EDGE garantizan un mejor desempeño ambiental y menores costos en los recibos de luz y agua en la etapa operativa de la edificación, lo que resulta interesante para los inversionistas. Sin embargo, no asegura la aplicación de prácticas sostenibles durante el ciclo de vida del proyecto, pues no garantizan la sostenibilidad de cada una de las etapas que la componen, como el caso de la etapa de pre-uso del presente estudio. Pese a que esta etapa no es igual de significativa (en términos de emisiones de huella de carbono), como lo es la etapa de uso, se debería enfatizar la sostenibilidad en cada una de las etapas. Por lo mencionado, la

obtención de un certificado de sostenibilidad en un edificio no es necesariamente sinónimo de edificio sostenible.

Existe una percepción favorable sobre la construcción de una edificación sostenible en relación con una edificación convencional por parte de académicos y actores privados; y de manera similar, los transeúntes y potenciales usuarios perciben mayores efectos positivos que negativos del proyecto estudiado (escenario base). En general, se distingue una inclinación favorable de aceptación hacia el proyecto, a excepción de los residentes (vecinos); sin embargo, hace falta la promoción de una conciencia ambiental en la toma de decisiones que afiance el concepto y la implementación de la sostenibilidad en la construcción. Si bien es cierto el factor económico siempre será parte de los factores a considerar en la toma de decisiones al optar por una construcción sostenible, la responsabilidad con el medio ambiente debe ser considerada de manera que exista un balance entre las esferas económica, social y ambiental.

Por lo expuesto, se identifican varios factores críticos que influyen en la sostenibilidad del proyecto. En primer lugar, se destaca a la etapa de uso de la edificación, específicamente el consumo de energía, como el principal factor crítico debido a las altas emisiones de carbono equivalente asociadas. Estas altas emisiones explican el énfasis por adoptar medidas para reducir el impacto ambiental durante esta etapa.

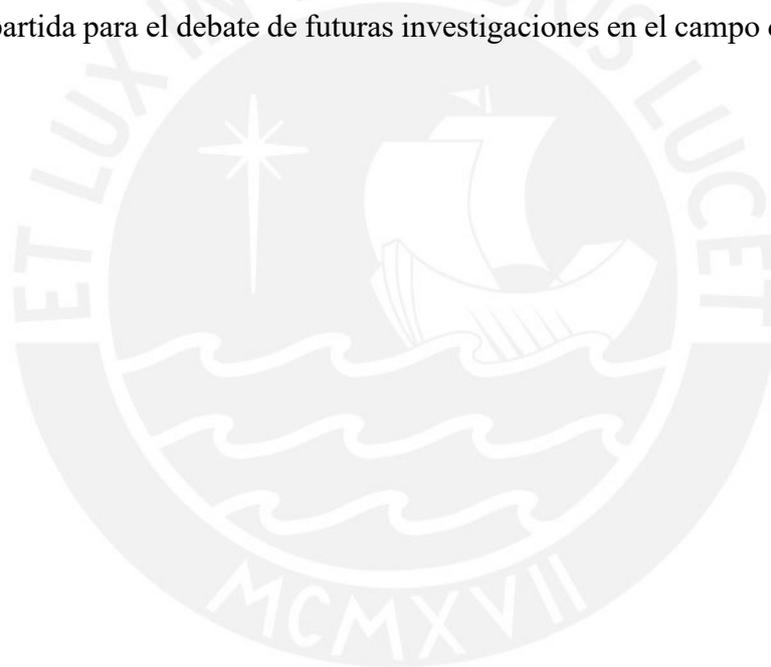
Como segundo factor crítico, se evidencia la importancia de prestar atención a las modificaciones o implementaciones de nuevos procesos involucrados en la etapa constructiva del proyecto, producto de las mejoras realizadas en la etapa de uso. Estas modificaciones deben ser consideradas de manera integral a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio.

Como tercer factor crítico se nombra a la constante mejora de los sistemas de certificación ambiental de edificaciones. Es fundamental que estos sistemas evolucionen y

consideren de manera integral cada una de las fases del ciclo de vida de un proyecto, promoviendo prácticas sostenibles en cada una de las etapas.

Finalmente, como cuarto factor crítico, se establece la consideración de las percepciones favorables o desfavorables del proyecto en los diferentes escenarios, porque son estos quienes influyen en el éxito o fracaso de la construcción, ya sea convencional y sostenible.

Los factores mencionados destacan aspectos claves a considerar en la planificación y ejecución de proyecto. Estos criterios, muchas veces pasados por alto, no solo son claves para el éxito de la construcción sostenible de una edificación, sino que también ofrecen una postura como punto de partida para el debate de futuras investigaciones en el campo de la construcción sostenible.



RECOMENDACIONES

El impacto ambiental dentro del software EDGE se enfoca dentro de la categoría de materiales en la fase de acabados, pues la estructura no debería ser alterada para garantizar un correcto funcionamiento. Sin embargo, presenta carencias en cuanto a considerar de forma integral la implicancia de las medidas de eficiencia, pues los nuevos materiales de las medidas de eficiencia no son considerados, por lo que se recomienda utilizar el programa SimaPro para este análisis.

Los sistemas de certificación ambiental de edificaciones se encuentran actualizando sus versiones con la finalidad de mejora, por lo que los requisitos pueden ir modificándose con el tiempo. Aun así, se recomienda que el objetivo de ejecutar una construcción sostenible no debe verse reducido a cumplir puntajes en determinadas áreas, sino que debe ser producto de una verificación integral del proyecto desde la etapa de concepción que permita aplicar la sostenibilidad en cada una de sus fases.

Bibliografía

- Bautista, J. (2018). *Análisis costo-beneficio entre la construcción de viviendas sostenibles y viviendas tradicionales con base a la sostenibilidad ambiental en el municipio de Soacha, Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas
- Bautista, J. & Loaiza, N. (2018). Impactos de la construcción sostenible y tradicional a nivel ambiental. *Boletín Semillas Ambientales*, 12(1). 16 – 25.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/13613/13959>
- BBVA Research (2019) “Mercado de viviendas nuevas y oficinas prime en Lima Metropolitana”. Recuperado de: https://www.bbva.com/wp-content/uploads/2019/03/MercadoViviendasNuevas_OficinasPrime_Lima.pdf
- BBVA. Castillo, C. (23 de junio 2020). El sector inmobiliario se adapta a la era pos-COVID-19. BBVA. <https://www.bbva.com/es/pe/el-sector-inmobiliario-peruano-se-adapta-a-la-era-pos-covid19/>
- BBVA Research (s/f). “¿Cuánta agua consume y puede ahorrar un hotel?”. Recuperado de: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/cuanta-agua-consume-y-puede-ahorrar-un-hotel/>
- BBVA Research (s/f). “¿Cuánta energía eléctrica consume y puede ahorrar un hotel?”. Recuperado de: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/cuanta-energia-electrica-consume-y-puede-ahorrar-un-hotel/>
- Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology [BREEAM]. (2022). BREEAM Internacional. <https://breeam.es/internacional/>
- Calero, A y Maguiña L. (2020). Análisis de los niveles de sostenibilidad en edificaciones con certificación LEED

- Calle, V. (2019). *Análisis del ciclo de vida de un edificio de oficinas en Lima* (Perú). [Tesis de licenciatura]. Pontificia universidad Católica del Perú.
- Conferencia Europea Sobre Ciudades Sostenibles. (1994). *Carta de las ciudades europeas hacia la sostenibilidad*. Dinamarca. 1994. Recuperado de <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0667128.pdf>
- Comisión Europea (2013). Best Environmental Management Practice in the tourism sector. Recuperado de: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/inline-files/TourismBEMP_0.pdf#page=267&zoom=100,148,76
- Defilippi, M. y Dueñas A. (2021). Environmental Certifications in buildings. How sustainable are green buildings? *A new life for landscape, architecture and design*. Volume 6. 96-109. <https://doi.org/doi.org/10.19229/978-88-5509-291-3/662021>
- Directivos Construcción. (2009). ¿Quién paga la sostenibilidad? *Directivos Construcción* (225). pp.70-75.
- Du Plessis, C. (2002). *Agenda 21 for Building and Construction Technology*. Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries. Pretoria: CSIR. Recuperado de: shorturl.at/ovAOW
- Economist Intelligence Unit*. (2010). *Índice de ciudades verdes de América Latina*. Munich: Siemens AG.
- EDGE Methodology Report, version 2.0. (2018). Recuperado de: <https://www.edgebuildings.com/wp-content/uploads/2018/10/181018-EDGE-Methodology-Version-2.pdf>
- EDGE. (2020). Alfa 1 – Eko Atlantic City. <https://edgebuildings.com/project-studies/alpha-1-eko-atlantic-city/>
- EDGE. (2022). ¿Qué es EDGE? <https://edgebuildings.com/about/about-edge/?lang=es>

Edificaciones inmobiliarias (30 de noviembre de 2020) Precios de vivienda en Peri: el impacto de la crisis en el sector inmobiliario. <https://ei.com.pe/noticia/precios-de-vivienda-en-peru-como-impacto-la-crisis-sanitaria-en-el-sector-inmobiliario/>

Edificios verdes: La clave para ahorrar agua y luz. (11 de septiembre del 2019). *El comercio*. Recuperada de: <https://elcomercio.pe/especial/perusostenible/pactos/edificios-verdes-clave-ahorrar-agua-y-luz-noticia-1994602>.

Flores, P.(2021). La construcción sostenible en Latinoamérica. Limaq (007), pp.161-173.

Filimonau V., Santa Rosa M., Santana L., Cánovas A., Mattos G., Molnarova J., Geldres R., Valsasina L. y Safaei A. (2021). Environmental and carbon footprint of tourist accommodation: A comparative study of popular hotel categories in Brazil and Peru. *Journal of Cleaner Production* 328. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129561>

Flower D., y Sanjayan G. (2007). Green House Gas Emissions due to Concrete Manufacture. *Int J LCA* 12 (5), pp. 282-288.

Garcia J., Quito J. y Perdomo J. (2020). Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente. Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Ingeniería Civil. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12494/16031>

Gettu R., Patel A., Rathi V., Prakasan S., Basavaraj A., Palaniappan S. y Maity S. (2019). Influence of supplementary cementitious materials on the sustainability parameters of cements and concretes in the Indian context. *Materials and Structures*.52:10. Recuperado de: <https://doi.org/10.1617/s11527-019-1321-5>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (febrero, 2019) Comportamiento de la Economía Peruana en el Cuarto Trimestre de 2018 (Informe técnico N° 01 - Febrero 2019). Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/pbit_2019-i_final.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (febrero, 2020) Comportamiento de la Economía Peruana en el Cuarto Trimestre de 2019 (Informe técnico N° 01 - Febrero 2020). Recuperado de:

<https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/pbitrinmestral.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (febrero, 2021a) Comportamiento de la Economía Peruana en el Cuarto Trimestre de 2020 (Informe técnico N° 01 - Febrero 2021). Recuperado de: <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/01-informe-tecnico-pbi-iv-trim-2020.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (mayo, 2021b) Comportamiento de la Economía Peruana en el Primer Trimestre de 2021 (Informe técnico N° 02 - Mayo 2021). Recuperado de: <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/02-informe-tecnico-pbi-i-trim-2021.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2022) Presentación de Resultados de la Encuesta Permanente de Empleo Nacional EPEN 2022 (Informe técnico N° 01 - Enero 2023). Recuperado de: <https://m.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/01-informe-tecnico-mercado-laboral-oct-nov-dic-2022.pdf>

International Financial Corporation [IFC]. (2021). Guía del usuario de EDGE. Versión 3.0.a
Recuperado de : <https://bit.ly/3DHvJ1f>

Ministerio de Energía y Minas. (2014). Balance Nacional de Energía 2014. Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1875611/Balance%20Nacional%20de%20Energ%C3%ADa%202014.pdf>

Miranda L., Neira E., Torres R. y Valdivia R (2014). Perú hacia la construcción sostenible en escenarios de cambio climático. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Municipalidad de Miraflores. (2020). Ordenanza N° 539/MM. Ordenanza que modifica la Ordenanza N° 510/MM, que establece, regula y promueve condiciones para edificaciones sostenibles en el distrito de Miraflores.

MOAVENZADEH, F. (1994): *Global construction and the environment: strategies and opportunities*, Wiley, New York.

Ortega Burgos K., Sarmiento V., y, Villegas A. M. (2016). *La construcción alrededor del mundo: ¿Qué ha pasado y que podemos esperar?* Bogotá.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] (2017) *El derecho humano al medio ambiente en la Agenda 2030*.
<https://www.unescoetxea.org/dokumentuak/dossierDDHHamb.pdf>

Organización Internacional de Normalización. (2015). ISO 14001: Environmental management systems. Geneva, Switzerland: ISO.

Organización Internacional de Normalización. (2006). ISO 14040: Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. Geneva, Switzerland: ISO.

Organización Internacional de Normalización. (2006). ISO 14044: Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland: ISO.

Organización Internacional de Normalización. (2023). ISO 20887: Sustainable building. Geneva, Switzerland: ISO.

Quispe, I. (2022). *Análisis Ambiental del Ciclo de Vida del Producto*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ramirez, A. (2002). *La construcción sostenible. Física y sociedad*, No. 13, pp. 30-33

Rijananto, A., Adi, T., Supri, E. y Farkhan, A. (2017). *Implementación del Edificio Verde de Conservación de Agua del Hospital Uns Basado en el Sistema de Certificación Edge*. II Seminario Nacional de Formación Profesional.,2017, 512-522.

- Sachs, J. (2009). *Globalization in the era of environmental crisis*. Lecture, Suiza. Recuperado de: https://unctad.org/system/files/official-document/prebisch14th_sachs_en.pdf
- San-José J. y Garrucho I. (2010). A system approach to the environmental analysis of industrial buildings [Un enfoque sistémico para el análisis medioambiental de edificios industriales]. *Building and Environment*, 45(3), 673-683.
- Sánchez, E. (2014). *Caso de estudio: Gerencia de proyectos de construcción sostenible en NAOS: campus empresarial-NQS-101*. Recuperada de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/16309/u686406.pdf?sequence=1>
- SIGMA. (2020). Memoria descriptiva de estructuras hotel 3 estrellas.
- Stander M. y Walter A. (2019). The role of social sustainability in building assessment. *Building Research and information*. V 47 (5). Pp. 598-610.
- U.S. Green Building Council [USGBC]. (2009). *Guía de Estudio de LEED Green Associate del USGBC*.
- U.S. Green Building Council [USGBC]. (14 de noviembre de 2022). *Construcción ecológica para todos en una generación*. <https://www.usgbc.org/about/mission-vision>
- U.S. Green Building Council [USGBC]. (2023). *Cómo funciona LEED*. <https://www.usgbc.org/leed>
- Valdivia, G. (2018). *Mercados de edificaciones urbanas en Lima Metropolitana*. [Diapositiva de PowerPoint]. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://acortar.link/qFHwG0>
- Vega, E. (14 de febrero de 2021). Edificios sostenibles, una tendencia que gana terreno en el Perú. *Gestión*. <https://gestion.pe/economia/edificios-sostenibles-una-tendencia-que-gana-terreno-en-el-peru-ncze-noticia/>

Villaseñor, M. y EBP Chile. (2021). *Breve Informe estado de certificaciones de sustentabilidad en la construcción países CEELA*. Recuperado de: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08a07e5274a31e00003aa/131106_ENV_TheGreEco_BRIEF1.pdf

World Steel Association. (2023). 2023 World Steel in Figures. World Steel Association (5).

Yudelson, J. (2009). *Green Building through integrated design*. United States Of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Zuleta, G. (02 de febrero de 2011). *En Detalle: Techos Verdes*. Archdaily. <https://www.archdaily.pe/pe/02-72263/en-detalle-techos-verdes#:~:text=Se%20ha%20comprobado%20que%20el,dejar%20de%20aportar%20beneficios%20t%C3%A9rmicos.>

