



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Aplicación de un modelo de análisis de ciclo de vida para evaluación de paneles prefabricados.

Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniera Ambiental

Autor:

Molina Muñoz, Edna Soledad

Tutor:

Mgs. Marco Marcel Paredes Herrera.

Riobamba, Ecuador 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Edna Soledad Molina Muñoz, con cédula de ciudadanía 0302656228, autora del trabajo de investigación titulado: Aplicación de un modelo de análisis de ciclo de vida para evaluación de paneles prefabricados, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autora de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 6 de noviembre de 2025.



Edna Soledad Molina Muñoz

C.I: 0302656228

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Marco Marcel Paredes Herrera catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería

por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: "APLICACIÓN DE UN MODELO DE ANALISIS DE CICLO DE VIDA PARA EVALUACION DE PANELES PREFABRICADOS", bajo la autoría de Edna Soledad Molina Muñoz; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 20 del mes de Octubre de 2025



Mgs. Marco Marcel Paredes Herrera

C.I: 0603783184

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Aplicación de un modelo de análisis de ciclo de vida para evaluación de paneles prefabricados, presentado por Molina Muñoz Edna Soledad, con cédula de identidad número 0302656228, bajo la tutoría de Mg. Marco Marcel Paredes Herrera; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 6 de noviembre de 2025.

Anita Ríos, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Lenin Orozco, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Patricio Santillán, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **MOLINA MUÑOZ EDNA SOLEDAD** con CC: **0302656228**, estudiante de la Carrera **INGENIERIA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“APLICACIÓN DE UN MODELO DE ANALISIS DE CICLO DE VIDA PARA EVALUACION DE PANELES PREFABRICADOS”**, cumple con el **7%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 27 de Octubre de 2025



Verificado digitalmente por:
MARCO MARCEL
PAREDES HERRERA

Ph.D. Marcel Paredes
TUTOR

DEDICATORIA

A mi hijo Diego Enrique, quien ha sido mi mayor inspiración y motor de perseverancia. Tu amor incondicional y sonrisa han iluminado mi camino en los momentos más oscuros. Esta tesis está dedicada a ti, mi querido hijo, como un tributo a nuestro vínculo indestructible y como un ejemplo de que los sueños se puede alcanzar con determinación y amor.

A mi madre, María Soledad, cuyo sacrificio y dedicación han sido el fundamento de mi educación y valores. Tu fuerza y apoyo inquebrantables han sido mi roca en los momentos de adversidad. Esta tesis es un humilde homenaje a ti, mamá, por ser mi guía y ejemplo a seguir.

A mis hermanos, Mateo y Nia, por ser mi refugio y mi alegría en cada etapa de la vida. Gracias por su constante aliento, por acompañarme con amor, risas y complicidad en cada travesía. A pesar de la distancia, siempre los he sentido cerca, presentes en cada paso y en cada logro. Su apoyo incondicional ha sido un faro de esperanza y un abrazo al alma que me impulsó a alcanzar este sueño.

A usted, mi Juanito por ser mi apoyo incondicional en cada etapa de este camino. Aun cuando la vida nos ha puesto pruebas y diferencias, siempre estuviste ahí, brindándome fuerza, ánimo y compañía antes y después de la llegada de nuestro hijo. Gracias por creer en mí, por acompañarme incluso en la distancia, y por seguir siendo una parte especial de mi corazón.

A mis queridos tíos, tías, y primos, cuyo amor y respaldo han sido un pilar fundamental en mi trayectoria. Sus palabras de aliento y sus gestos de afecto y amor han fortalecido mi determinación en cada paso de este largo camino. Esta tesis es también un reconocimiento a su contribución en mi crecimiento personal y académico.

A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento y dedicación. Este logro es también suyo, pues han sido parte integral de mi viaje hacia la culminación de esta etapa.

Con todo mi amor y cariño.

Edna Molina.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profunda gratitud a todas las personas que han contribuido de manera significativa en la realización de este trabajo, el cual marca la culminación de una etapa importante en mi vida académica.

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, María Soledad, por su inquebrantable apoyo, amor y sacrificio. Su constante aliento y ejemplo de perseverancia han sido mi mayor motivación para alcanzar mis metas. Su amor incondicional han sido mi roca en los momentos de dificultad y su fe en mí me ha impulsado a seguir adelante incluso cuando las circunstancias parecían adversas. Gracias, mamá, por ser mi luz en el camino hacia el éxito.

Así mismo, deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Marcel Paredes, mi tutor y guía durante este arduo proceso. Su expertise, orientación y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Su paciencia y sabiduría han sido invaluable en cada paso del camino.

Gracias por compartir generosamente su conocimiento y por brindarme su constante apoyo.

También quiero extender mi gratitud a todos mis profesores a lo largo de mi carrera universitaria. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi formación académica, profesional y personal. Sus enseñanzas, consejos y mentorías han sido fundamentales en mi desarrollo integral como estudiante y como persona. Agradezco profundamente su dedicación y compromiso con la educación, así como el impacto positivo que han tenido en mi vida.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos Cami y Max, a mis tíos por su constante apoyo y comprensión a lo largo de este viaje. Sus palabras de aliento y su presencia han sido un bálsamo en los momentos difíciles y han multiplicado las alegrías en los momentos de éxito.

¡Gracias!

Edna Molina

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.2. Antecedentes	16
1.3. Problema.....	17
1.4. Justificación	18
1.5. Objetivos.....	19
1.5.1. Objetivo General.....	19
1.5.2. Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	20
2.1. Análisis Del Ciclo De Vida	20
2.2. Modelos De Evaluación De Impactos.	24
2.3. Bases de datos ambientales.....	25
2.4. Paneles Prefabricados.....	25
2.4.1. Tipos De Paneles	26
2.4.2. Beneficios	26
2.5. Evaluación de Paneles Prefabricados.	26
2.6. Métodos y Herramientas.....	28
2.6.1. Normativas Técnicas	28
2.6.2. Normativas de Seguridad y Salud Ocupacional.....	29
2.6.3. Normativas Ambientales y Sostenibilidad	29
2.6.4. Certificaciones y Etiquetados	30

2.6.5.	Normativas de Planificación y Construcción.....	30
2.6.6.	Importancia de Cumplir con Normativas	30
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.		33
3.1.	Diseño de la Investigación.....	33
3.1.1.	Tipo de Investigación.....	33
3.1.2.	Métodos de Recolección de Datos	33
3.1.3.	Población.....	33
3.1.4.	Muestra.....	33
3.2.	Alcance de la Investigación	33
3.3.	Enfoque de la Investigación.....	34
3.4.	Instrumentos de Recolección de Información.....	34
3.5.	Metodología de Análisis de Ciclo de Vida	34
3.5.1.	Límite del Sistema	34
3.5.2.	Sistema del Producto.....	34
3.5.3.	Unidad Funcional.....	34
3.5.4.	Flujo de Referencia	34
3.5.5.	Etapas de la Evaluación del Ciclo de Vida.....	35
3.6.	Diseño de Investigación	38
3.6.1.	Definición del Objetivo y Alcance.....	38
3.6.2.	Revisión de Literatura	38
3.6.3.	Inventario del Ciclo de Vida (ICV).....	38
3.6.4.	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (LCIA).....	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		43
4.1.	Información General de la Cantera	60
4.2.	Procesos de Extracción de Materiales	61
4.2.1.	Explotación y perforación	61
4.2.2.	Voladura controlada.....	61
4.2.3.	Carga y transporte	61
4.3.	Maquinaria utilizada en la Cantera.....	61

4.4. Realizar la evaluación de impactos ambientales del ciclo de vida para paneles prefabricados.....	66
4.5. Estrategias de Mejora Basadas en el Modelo ACV	66
4.6. Categorías Ambientales	67
4.7. Definición del Objetivo y Alcance.....	70
4.8. Inventario del Ciclo de Vida.....	70
4.9. Evaluación de Impactos Ambientales	70
4.10. Interpretación de Resultados.....	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorías de impacto ambiental consideradas por la SETAC (Sociedad de Toxicología y Química Ambiental).	36
Tabla 2 Modelo de entradas, procesos y salidas (EPS) de la producción de 1 m ² de panel prefabricado.	43
Tabla 3 Proceso de fabricación de paneles prefabricados.	43
Tabla 4 Descripción del proceso del cemento.	44
Tabla 5 Modelo de análisis del ciclo de vida para evaluación de paneles prefabricados. ..	44
Tabla 6 Categorías de impacto del Transporte del Yeso.	45
Tabla 7 Categorías de impacto de la Deshidratación del Yeso.	46
Tabla 8 Categorías de impacto de la Extracción del Yeso.	47
Tabla 9 Categorías de impacto del Transporte de Arcilla.	48
Tabla 10 Categorías de impacto de la Extracción de Arcilla.	49
Tabla 11 Categorías de impacto del proceso de Molienda de grava.	50
Tabla 12 Categorías de impacto del Transporte de grava.	51
Tabla 13 Categorías de impacto de la Extracción de la grava.	52
Tabla 14 Categorías de impacto del Acero.	53
Tabla 15 Categorías de impacto del Hormigón.	54
Tabla 16 Categorías de impacto del Enfriador.	55
Tabla 17 Categorías de impacto del Horno.	56
Tabla 18 Categorías de impacto de la Molienda.	57
Tabla 19 Categorías de impacto de la Trituración de Caliza.	58
Tabla 20 Categorías de impacto del Transporte de Caliza.	59
Tabla 21 Categorías de impacto de la Extracción de Caliza.	60
Tabla 22 Energía.	64
Tabla 23 Salidas de producto, residuos y emisiones.	64
Tabla 24 Categorías de impacto ambiental y estimaciones asociadas a los paneles prefabricados.	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Análisis del ciclo de vida.....	21
Ilustración 2 Etapas del ciclo de vida del proyecto.	24
Ilustración 3: Pasos para realizar el inventario del ciclo de vida del proyecto.	35
Ilustración 4 Matriz	62
Ilustración 5 Diagrama de flujo del proceso	69

RESUMEN

La evaluación de los paneles prefabricados mediante un modelo de análisis de ciclo de vida (ACV) es una metodología integral que permite comprender y mejorar su impacto ambiental desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. El ACV se convirtió en una herramienta esencial en la construcción sostenible, ya que proporciona una visión holística de los aspectos ambientales asociados a la producción y uso de materiales de construcción. El objetivo general del estudio es aplicar un modelo de análisis de ciclo de vida para la evaluación de paneles prefabricados. Los paneles prefabricados se utilizan ampliamente en la construcción debido a sus beneficios en términos de velocidad de construcción, calidad controlada y reducción de desperdicios en obra. Estos paneles pueden estar hechos de diversos materiales, como hormigón, madera y compuestos plásticos. La prefabricación permite producir componentes estandarizados en un entorno controlado, lo que reduce la variabilidad y mejora la precisión en la instalación. Es así, que el análisis de ciclo de vida es una herramienta valiosa para evaluar el desempeño ambiental de los paneles prefabricados y orientar decisiones hacia prácticas más sostenibles en la industria de la construcción. Mediante el ACV, es posible identificar las etapas más críticas en términos de impacto ambiental y desarrollar estrategias para mejorar la sostenibilidad de estos productos, por medio de las evaluaciones de los impactos ambientales determinados por los paneles durante su ciclo de vida, la metodología basada en el análisis es empleada por la Norma ISO 1404:2006.

Palabras claves: Ciclo de vida, Paneles prefabricados, Impacto ambiental, Sostenibilidad.

ABSTRACT

The evaluation of prefabricated panels using a Life Cycle Assessment (LCA) model is a comprehensive approach that helps understand and improve their environmental impact—from the extraction of raw materials to final disposal. LCA has become an essential tool in sustainable construction, offering a holistic view of the environmental impacts associated with the production and use of building materials. The main objective of this study is to apply a life cycle assessment model to evaluate prefabricated panels. These panels are widely used in construction due to their advantages, including faster construction, controlled quality, and reduced on-site waste. Prefabricated panels can be made from various materials, including concrete, wood, and plastic composites. The prefabrication process enables the production of standardized components in a controlled environment, reducing variability and enhancing installation accuracy. Therefore, life cycle analysis is a valuable tool for assessing the environmental performance of prefabricated panels and guiding decisions toward more sustainable practices in the construction industry. Through LCA, we can identify the most critical stages with respect to environmental impact and develop strategies to enhance the sustainability of these products based on the evaluated impacts throughout their life cycles. This analysis methodology adheres to ISO 14044:2006 standards.

Keywords: Life cycle, Prefabricated panels, Environmental impact, Sustainability.

Reviewed by:



Lic. Raquel Verónica Abarca Sánchez. Msc.

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0606183804

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción sostenible, la evaluación del ciclo de vida (ACV, por sus siglas en inglés) se convirtió en una herramienta fundamental para comprender y mejorar el rendimiento ambiental de los materiales y sistemas constructivos. En este contexto, la aplicación de un modelo de análisis de ciclo de vida para la evaluación de paneles prefabricados representa un enfoque crucial para avanzar hacia prácticas más responsables y eficientes en la industria de la construcción.

Los paneles prefabricados son elementos estructurales y de cerramiento que se fabrican fuera del sitio de construcción principal y luego se ensamblan en el lugar de destino (Hurtado, 2021). Esta técnica ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia de construcción, reducción de residuos y control de calidad. Sin embargo, la adopción de paneles prefabricados también conlleva implicaciones ambientales a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

El análisis de ciclo de vida permite evaluar de manera integral las cargas ambientales asociadas con estos sistemas constructivos, considerando aspectos como el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, el agotamiento de recursos y la generación de residuos (Jerez, 2020). Este enfoque permite identificar oportunidades para optimizar el diseño, la fabricación y el uso de paneles prefabricados con el objetivo de minimizar su impacto ambiental y maximizar su eficiencia a lo largo de su vida útil.

En esta investigación se explorará la importancia y el proceso del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicado a paneles prefabricados, destacando su papel fundamental en el impulso de la construcción sostenible. El ACV permite evaluar los impactos ambientales asociados a todas las etapas del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. En el contexto de la industria de la construcción, este enfoque se convierte en una herramienta clave para identificar oportunidades de mejora ambiental y optimizar el uso de recursos. A nivel nacional, varios países latinoamericanos han comenzado a incorporar criterios de sostenibilidad en sus normativas y políticas públicas, promoviendo el uso de tecnologías constructivas más eficientes y sostenibles, como los sistemas prefabricados. A nivel regional, América Latina enfrenta desafíos significativos relacionados con la urbanización acelerada, el cambio climático y la necesidad de reducir la huella ambiental del sector construcción. En este marco, la aplicación del ACV

en soluciones como los paneles prefabricados no solo permite tomar decisiones más informadas, sino que también contribuye a la transición hacia una economía baja en carbono, fomentando prácticas constructivas más responsables y alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible.

1.2. Antecedentes

El análisis de ciclo de vida surgió como una metodología esencial para evaluar el impacto ambiental de productos y sistemas a lo largo de su vida útil. Su aplicación en el sector de la construcción se identificó debido a la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles y reducir la huella ambiental de las edificaciones.

En el contexto específico de los paneles prefabricados, varios estudios determinaron el desempeño ambiental mediante análisis de ciclo de vida. Estos antecedentes relevaron la importancia de considerar todos los aspectos del ciclo de vida de los paneles, desde la extracción de materias primas y la fabricación hasta el transporte, la instalación, el uso en la edificación y, finalmente, la disposición al final de su vida útil.

El ACV permite comparar diferentes tipos de materiales utilizados en paneles prefabricados (por ejemplo, concreto, acero, madera), analizando sus impactos ambientales específicos en términos de consumo de recursos, emisiones y residuos generados durante su producción y uso.

Los estudios demuestran cómo el diseño de los paneles prefabricados puede influir significativamente en su desempeño ambiental (Kella, 2020). Factores como la eficiencia estructural, la durabilidad, la modularidad y la capacidad de reciclaje fueron objeto de análisis para mejorar la ecoeficiencia de estos sistemas. Se identificó impactos ambientales críticos a lo largo del ciclo de vida de los paneles prefabricados, como las emisiones asociadas con la producción de cemento (en el caso de paneles de concreto) o el consumo energético durante la fabricación y transporte.

El lugar de fabricación y uso de los paneles prefabricados también influye en su desempeño ambiental. Estudios regionales destacaron la importancia de considerar las condiciones locales (como la matriz energética) al evaluar la sostenibilidad de estos sistemas constructivos (Torres, 2020).

Los de análisis de ciclo de vida permite evaluar y mejorar continuamente los paneles prefabricados desde una perspectiva ambiental. La integración de este tipo de evaluación en el proceso de toma de decisiones en la industria de la construcción es fundamental para avanzar hacia prácticas más responsables y sostenibles.

1.3. Problema

La construcción sostenible se convirtió en una prioridad global debido a la creciente preocupación por los impactos ambientales asociados con la industria de la construcción (Herrera, 2019). En este contexto, los paneles prefabricados representan una alternativa prometedora para mejorar la eficiencia y reducir los residuos en los proyectos de edificación. Sin embargo, su adopción plantea desafíos significativos en términos de evaluación y optimización ambiental a lo largo de su ciclo de vida.

Los paneles prefabricados ofrecen beneficios sustanciales en términos de eficiencia constructiva y reducción de costos, pero su impacto ambiental integral fue suficientemente evaluado y optimizado en el contexto de la construcción sostenible. La falta de datos detallados y análisis comparativos exhaustivos limita la capacidad de tomar decisiones informadas sobre la selección y aplicación de paneles prefabricados con criterios ambientales sólidos. Además, la complejidad del ciclo de vida de estos sistemas constructivos plantea desafíos logísticos y de diseño que requieren una atención más amplia para maximizar su contribución a la sostenibilidad en la industria de la construcción. Por ello, involucra múltiples etapas que inicia desde la extracción de materias primas hasta la disposición final. Cada etapa tiene implicaciones ambientales únicas que deben ser evaluadas y comparadas en términos de consumo de recursos, emisiones y residuos generados.

También, la elección de materiales y procesos de fabricación para los paneles prefabricados influye directamente en su desempeño ambiental, debido a que sin los criterios ambientales sólidos se dificulta la selección de opciones óptimas que logren minimizar la huella ecológica. Asimismo, el transporte de paneles prefabricados puede representar una parte significativa de su impacto ambiental total, causado por el consumo de combustibles fósiles y las emisiones asociadas, donde la optimización de la logística y transporte se vuelve esencial para reducir este impacto.

Por otro lado, la disponibilidad limitada de datos detallados sobre el ciclo de vida de los paneles prefabricados dificulta la realización de análisis comparativos exhaustivos entre diferentes sistemas constructivos. Esto impide identificar las opciones más sostenibles en diversos contextos geográficos y climáticos.

Este estudio es crucial para avanzar en el campo de la construcción sostenible, al proporcionar un marco sólido para evaluar y mejorar el desempeño ambiental de distintos tipos de paneles prefabricados utilizados en edificaciones. En particular, se abordará el análisis de ciclo de vida (ACV) aplicado a paneles de concreto prefabricado, paneles de madera estructural y paneles compuestos con materiales reciclados o de bajo impacto ambiental. La aplicación de un modelo de ACV permitirá identificar las etapas del ciclo desde la extracción de materias primas, la fabricación en planta, el transporte, la instalación en obra, hasta el fin de vida útil que generan mayores impactos, y desarrollar estrategias específicas para reducir emisiones, consumo energético y generación de residuos. Este enfoque facilitará la integración de consideraciones ambientales desde la fase de diseño, promoviendo sistemas constructivos más eficientes y sostenibles. Los resultados de esta investigación contribuirán significativamente a la toma de decisiones informadas por parte de diseñadores, fabricantes y responsables de políticas públicas, impulsando prácticas constructivas más responsables y alineadas con los objetivos de sostenibilidad en la industria de la construcción, tanto a nivel nacional como regional.

1.4. Justificación

La industria de la construcción es una de las principales fuentes de consumo de recursos naturales y generación de residuos a nivel mundial. La adopción de paneles prefabricados representa una oportunidad para reducir este impacto, pero es fundamental evaluar y optimizar su desempeño ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida (Manuel Gomez, 2020).

A pesar de la creciente popularidad de los paneles prefabricados, existen limitaciones significativas en la cantidad y calidad de evaluaciones ambientales detalladas sobre estos sistemas constructivos. Este estudio abordará esta brecha proporcionando una evaluación exhaustiva del ciclo de vida de los paneles prefabricados.

Los resultados de este estudio permitirán a los profesionales de la construcción tomar decisiones informadas basadas en evidencia sólida sobre la selección, diseño y uso de paneles prefabricados en proyectos de edificación. Esto contribuirá a mejorar la

sostenibilidad global de la industria de la construcción y el conocimiento general en el campo de la construcción sostenible al proporcionar un enfoque metodológico y resultados aplicables para evaluar y mejorar la sostenibilidad ambiental de sistemas constructivos específicos como los paneles prefabricados, que influyen en el desarrollo de políticas y normativas relacionadas con la construcción sostenible, lo que promueve la adopción de prácticas más responsables desde el punto de vista ambiental en la industria.

La implementación de prácticas constructivas más sostenibles no solo beneficia al ambiente, sino que también puede generar ahorros económicos a largo plazo y mejorar la calidad de vida de las comunidades donde se desarrollan los proyectos de construcción.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Aplicar un modelo de análisis de ciclo de vida para evaluación de paneles prefabricados.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Definir el objetivo y alcance del análisis del ciclo de vida para paneles prefabricados.
- Realizar el inventario de ciclo de vida para paneles prefabricados.
- Realizar la evaluación de impactos ambientales del ciclo de vida para paneles prefabricados.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Análisis Del Ciclo De Vida

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta indispensable en ingeniería ambiental para evaluar el impacto ambiental de productos o sistemas a lo largo de su ciclo de vida completo, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final para aplicar un ACV a paneles prefabricados. Dicho análisis sigue las siguientes etapas:

- Definición del objetivo y alcance: Define claramente qué se quiere lograr con el análisis y los límites del sistema en evaluación (Ortiz, 2020).
- Inventario del ciclo de vida: Recopila datos sobre todas las entradas y salidas de recursos y emisiones asociadas con el ciclo de vida del producto. Esto incluye la extracción de materias primas, el transporte, la fabricación, la instalación, el uso y el eventual desmantelamiento o disposición final.
- Evaluación de impacto del ciclo de vida: Utiliza modelos y bases de datos para evaluar el impacto ambiental de los flujos de entrada y salida identificados en el inventario. Esto puede incluir el consumo de recursos naturales, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación del aire, del agua y del suelo, entre otros impactos.
- Interpretación de resultados: Analiza y presenta los resultados de manera clara y comprensible. Identifica las principales fuentes de impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del producto y cualquier punto caliente que requiera atención.
- Mejora del ciclo de vida: Utiliza los resultados del ACV para identificar oportunidades de mejora en el diseño, la fabricación, el transporte, el uso y la disposición de los paneles prefabricados. Esto puede incluir la selección de materiales más sostenibles, la optimización de procesos de fabricación, la reducción de emisiones de transporte, etc.

Algunos puntos específicos por considerar al aplicar un ACV a paneles prefabricados se detallan a continuación:

- Selección de materiales: Evalúa los impactos ambientales asociados con la extracción, procesamiento y transporte de los materiales utilizados en los paneles prefabricados.
- Procesos de fabricación: Examina los procesos de fabricación de los paneles prefabricados para identificar oportunidades de reducción de energía, agua y otros recursos, así como para minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes (Jacome, 2019).
- Transporte y logística: Considera los impactos ambientales del transporte de los paneles prefabricados desde la fábrica hasta el lugar de instalación, incluyendo las emisiones de los vehículos y los recursos utilizados en envasado y embalaje.
- Durabilidad y mantenimiento: Evalúa cómo la durabilidad y el mantenimiento de los paneles prefabricados afectan su impacto ambiental total a lo largo del tiempo.
- Fin de vida útil: Examina las opciones de disposición final al final de la vida útil de los paneles prefabricados, como la reutilización, el reciclaje o la eliminación, y sus implicaciones ambientales.

El ACV es una herramienta compleja que requiere experiencia y acceso a datos precisos. Puede ser útil trabajar con especialistas en ACV o utilizar software especializado para realizar un análisis completo y preciso.



Ilustración 1 *Análisis del ciclo de vida.*

Fuente: (Abad vega, 2022)

Este análisis abarcará todas las etapas clave del ciclo de vida de los paneles prefabricados, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final, que incluye:

- Extracción y procesamiento de materias primas: Se evaluarán los impactos ambientales asociados con la extracción de materiales como el cemento, el acero, la madera u otros materiales utilizados en la fabricación de los paneles prefabricados.
- Fabricación y transporte: Se examinarán los procesos de fabricación de los paneles prefabricados, incluyendo el consumo de energía, agua y otros recursos, así como las emisiones asociadas. También se evaluarán los impactos ambientales del transporte de los materiales y los paneles prefabricados desde las instalaciones de producción hasta los sitios de construcción.
- Instalación y uso: Se considerarán los impactos ambientales asociados con la instalación de los paneles prefabricados en los sitios de construcción, así como su uso a lo largo de su vida útil, incluyendo el consumo de energía y mantenimiento requerido.
- Fin de vida útil: Se evaluarán las opciones de disposición final al final de la vida útil de los paneles prefabricados, como la reutilización, el reciclaje o la eliminación, y sus implicaciones ambientales.
- Exclusiones: Este análisis del ciclo de vida no incluirá los impactos sociales o económicos asociados con la producción y uso de los paneles prefabricados, ya que el enfoque principal será en los aspectos ambientales. (Washter, 2019)

Del mismo modo, algunas funciones que presentan son:

- Aislamiento térmico: Si el panel prefabricado está diseñado principalmente para proporcionar aislamiento térmico a una estructura, su función principal sería minimizar la transferencia de calor entre el interior y el exterior del edificio. En este caso, se evaluaría la eficiencia energética del panel y su capacidad para reducir el consumo de energía relacionado con la calefacción y refrigeración del edificio.
- Estructura de soporte: Si el panel prefabricado se utiliza como parte de la estructura de soporte de un edificio, su función principal sería proporcionar resistencia estructural y estabilidad al edificio. En este caso, se evaluaría la resistencia del panel y su capacidad para soportar cargas verticales y horizontales, así como su durabilidad a lo largo del tiempo.

- Protección contra el clima: Los paneles prefabricados también pueden tener la función de proporcionar protección contra las inclemencias del clima, como la lluvia, el viento, la nieve, etc. En este caso, se evaluaría la capacidad del panel para resistir la entrada de agua y aire, su resistencia a la corrosión y la degradación causada por la exposición a los elementos.
- Combinación de funciones: En muchos casos, los paneles prefabricados pueden cumplir múltiples funciones simultáneamente, como proporcionar aislamiento térmico y servir como estructura de soporte, o proporcionar protección contra el clima y mejorar la estética del edificio. En estos casos, se deben considerar todas las funciones relevantes en el análisis de ciclo de vida.

Al evaluar los impactos ambientales de los paneles prefabricados a través de un análisis de ciclo de vida, es importante considerar una variedad de impactos ambientales potenciales como son:

- Agotamiento de recursos naturales: Este impacto se refiere a la reducción de la disponibilidad de recursos naturales no renovables, como minerales, metales y combustibles fósiles, debido a la extracción y el consumo asociados con la producción de los paneles prefabricados.
- Acidificación: Se refiere al aumento de la acidez del suelo, el agua y la atmósfera debido a la emisión de gases y sustancias ácidas durante la extracción de materias primas, la fabricación, el transporte y el uso de los paneles prefabricados. (Camas, 2020).
- Calentamiento global: Este impacto se relaciona con la emisión de gases de efecto invernadero, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x), que contribuyen al cambio climático y al calentamiento global. Las emisiones pueden originarse desde la extracción de materias primas, la producción de materiales, la energía utilizada durante la fabricación y transporte, entre otros procesos.
- Eutrofización: Este impacto se refiere al enriquecimiento excesivo de nutrientes en cuerpos de agua, como ríos, lagos y océanos, que puede causar un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, agotando el oxígeno disponible y causando la muerte de la vida acuática. La eutrofización puede estar asociada con la liberación

de nutrientes durante la fabricación, el uso y la disposición de los paneles prefabricados.

En la etapa de evaluación de impactos del ciclo de vida (EICV), se utilizan modelos y bases de datos para cuantificar los impactos ambientales asociados con los flujos de entrada y salida (Ilustración 2).

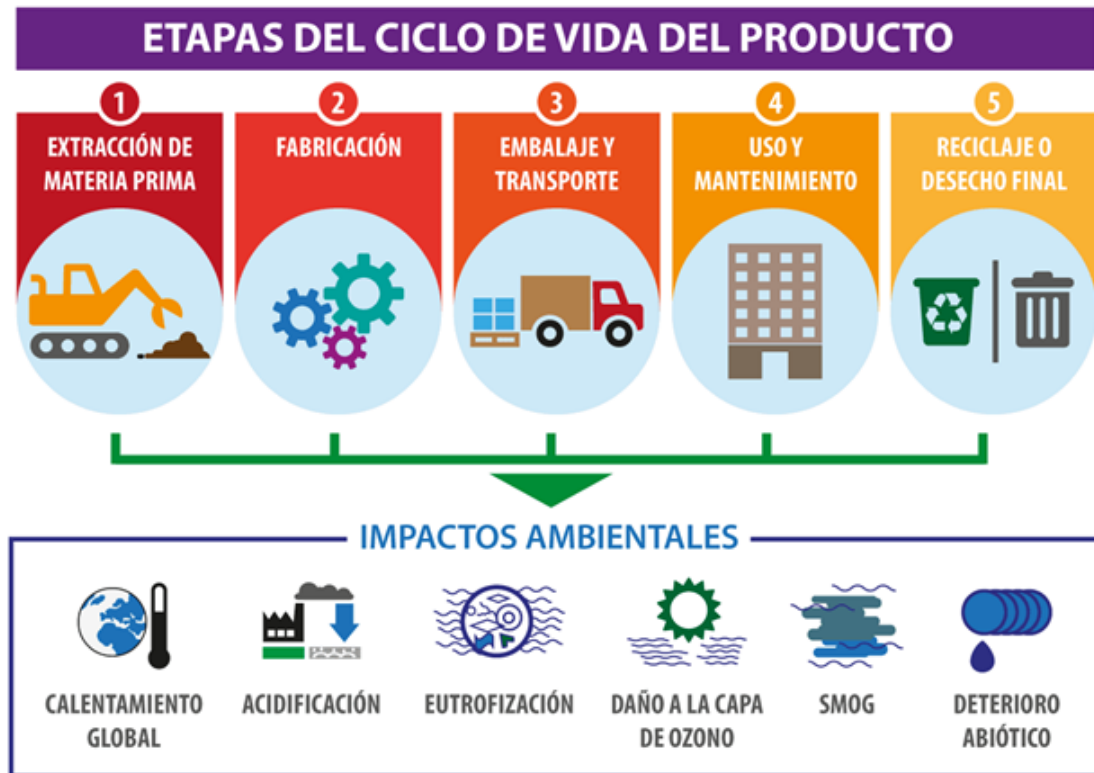


Ilustración 2 Etapas del ciclo de vida del proyecto.

Fuente (KNAUF INDUSTRIES, 2023)

2.2. Modelos De Evaluación De Impactos.

Los modelos para evaluación de impactos son herramientas computacionales que se utilizan para estimar los impactos ambientales de un producto o sistema en diferentes categorías. Cada modelo se basa en principios científicos y datos empíricos para calcular los efectos ambientales de los flujos de materiales y energía. Algunos de los modelos de evaluación de impacto más comunes incluyen el Modelo de Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (IMPACT), ReCiPe (Recommended Cumulative impact indicators for Product Environmental footprints), y el Método de Puntos de Daño de EcoInvent.

2.3. Bases de datos ambientales

Estas bases de datos contienen información sobre los factores de emisión, factores de consumo de recursos y otros datos relevantes necesarios para realizar el cálculo de los impactos ambientales. Algunas bases de datos ampliamente utilizadas en el análisis de ciclo de vida son EcoInvent, GaBi, y el Inventario de Ciclo de Vida de la Unión Europea (ELCD) (Nicanor Calle, 2021).

Asimismo, una vez que se ha identificado el inventario del ciclo de vida de los paneles prefabricados, se utilizan los modelos y datos de las bases de datos para cuantificar los impactos ambientales en las diferentes categorías de impacto, como el agotamiento de recursos naturales, la acidificación, el calentamiento global, la eutrofización, entre otros. Esto implica asignar valores numéricos a los flujos de entrada y salida, y luego aplicar los factores de impacto de los modelos de evaluación de impacto para calcular los impactos ambientales totales.

Además, es importante tener en cuenta que los resultados del análisis de ciclo de vida pueden estar sujetos a incertidumbre y variabilidad debido a la disponibilidad y calidad de los datos, así como a las suposiciones y simplificaciones realizadas en el modelo. Por lo tanto, es importante realizar análisis de sensibilidad para evaluar la robustez de los resultados frente a diferentes escenarios y fuentes de incertidumbre (Trinidad Angamarca, 2023).

2.4. Paneles Prefabricados

Los paneles prefabricados son elementos estructurales de construcción que se fabrican de manera industrializada fuera del sitio de construcción principal. Estos paneles son diseñados y producidos en fábricas o talleres especializados, utilizando materiales como hormigón, acero, madera o materiales compuestos, entre otros. Estos presentan algunas características como es la Fabricación fuera del sitio, la cual se producen en condiciones controladas, lo que permite un mayor control de calidad y tiempos de construcción más rápidos en comparación con métodos de construcción tradicionales; y la variedad de materiales, donde pueden estar elaborados de diversos materiales según los requisitos de diseño y las características estructurales necesarias (Abad vega, 2022).

2.4.1. Tipos De Paneles

- Paneles de pared: Utilizados para la construcción de muros exteriores e interiores.
- Paneles de techo: Elementos prefabricados que forman la cubierta superior de los edificios.
- Paneles de piso: Utilizados para formar las superficies de piso entre niveles de un edificio.

2.4.2. Beneficios

- Reducción de tiempos de construcción: La fabricación en fábrica reduce significativamente los tiempos de construcción en el sitio.
- Control de calidad: Al estar fabricados en condiciones controladas, se minimizan los errores y se asegura una mayor uniformidad y calidad.
- Menor desperdicio de materiales: La producción precisa y medida en fábrica reduce el desperdicio de materiales en comparación con los métodos de construcción tradicionales.
- Mayor eficiencia energética: Algunos tipos de paneles prefabricados están diseñados para mejorar la eficiencia energética del edificio.
- Aplicaciones comunes:
 - Edificación residencial y comercial.
 - Edificación industrial y de infraestructura.
 - Rehabilitación y remodelación de edificios existentes.

2.5. Evaluación de Paneles Prefabricados.

La evaluación de paneles prefabricados puede realizarse desde diferentes perspectivas dependiendo de los criterios específicos que se deseen analizar. Algunos enfoques comunes para evaluar paneles prefabricados:

Evaluación Técnica y Estructural

- Resistencia y durabilidad: Se evalúa la capacidad del panel prefabricado para soportar cargas estructurales según las normativas y estándares aplicables.

- Aislamiento térmico y acústico: Se miden las propiedades de aislamiento para determinar la eficiencia energética y confort acústico del edificio.
- Compatibilidad con otros sistemas constructivos: Evaluación de cómo los paneles prefabricados se integran con otros elementos estructurales y sistemas de construcción (Novas, 2020).

Evaluación Económica

- Costos de fabricación y transporte: Comparación de los costos de producción en fábrica y los costos asociados con el transporte e instalación en el sitio.
- Reducción de tiempos de construcción: Análisis de los ahorros potenciales en mano de obra y costos indirectos debido a la rapidez de instalación.

Evaluación Ambiental (Análisis de Ciclo de Vida - ACV)

- Impacto ambiental: Utilización de un ACV para evaluar los impactos ambientales desde la extracción de materias primas, fabricación, transporte, uso y disposición final de los paneles prefabricados.
- Comparación con métodos tradicionales: Comparación del perfil ambiental de los paneles prefabricados frente a métodos de construcción tradicionales para determinar las ventajas ambientales.

Evaluación de Seguridad y Salud Ocupacional

- Seguridad durante la fabricación y manipulación: Evaluación de los riesgos y medidas de seguridad asociadas con la fabricación, transporte e instalación de paneles prefabricados.
- Impacto en la salud de los trabajadores: Evaluación de los riesgos para la salud asociados con la exposición a materiales y procesos utilizados en la fabricación de los paneles.

Evaluación Estética y Diseño

- **Flexibilidad de diseño:** Evaluación de la capacidad de los paneles prefabricados para adaptarse a diferentes diseños arquitectónicos y estilos.
- **Calidad estética:** Evaluación de la calidad superficial y acabado de los paneles prefabricados para asegurar la satisfacción estética del proyecto (Vascones, 2022).

2.6. Métodos y Herramientas

- **Normativas y estándares:** Utilización de normativas y estándares técnicos y de calidad específicos para asegurar que los paneles prefabricados cumplen con los requisitos exigidos.
- **Software de modelado y simulación:** Uso de software de diseño y modelado para simular el comportamiento estructural y evaluar el rendimiento de los paneles en diferentes escenarios.

Las normativas relacionadas con paneles prefabricados pueden variar dependiendo del país y región, pero generalmente se centran en aspectos técnicos, de calidad, seguridad y sostenibilidad.

2.6.1. Normativas Técnicas

Estas normativas establecen los requisitos técnicos mínimos que deben cumplir los paneles prefabricados en términos de diseño, materiales, fabricación, instalación y rendimiento estructural. Algunos ejemplos incluyen:

- **Normas de materiales:** Especificaciones sobre los materiales que pueden utilizarse en la fabricación de paneles prefabricados (por ejemplo, normas de hormigón, acero, madera, etc.).

- Normas de diseño y dimensionamiento: Criterios para el diseño estructural y dimensionamiento de los paneles prefabricados según las cargas y condiciones de servicio esperadas.
- Normas de fabricación y calidad: Procedimientos y controles de calidad durante la fabricación para garantizar la uniformidad y resistencia de los paneles (Manuel Enrique Pasaca Mora, 2021).

2.6.2. Normativas de Seguridad y Salud Ocupacional

Estas normativas están diseñadas para proteger la seguridad y salud de los trabajadores durante la fabricación, transporte e instalación de los paneles prefabricados.

Pueden incluir:

- Normativas de manipulación y transporte: Directrices sobre cómo manejar y transportar los paneles de manera segura para evitar accidentes y lesiones.
- Normativas de seguridad en la construcción: Reglamentos para garantizar la seguridad durante la instalación de los paneles prefabricados en el sitio de construcción.

2.6.3. Normativas Ambientales y Sostenibilidad

Estas normativas se enfocan en minimizar el impacto ambiental de los paneles prefabricados a lo largo de su ciclo de vida. Pueden incluir:

- Requisitos de eficiencia energética: Normativas que promueven el uso de paneles prefabricados con buen rendimiento en aislamiento térmico para reducir el consumo energético del edificio.
- Normas de gestión de residuos: Directrices sobre cómo gestionar los residuos generados durante la fabricación, transporte, instalación y eventual demolición de los paneles.

2.6.4. Certificaciones y Etiquetados

Además de las normativas obligatorias, existen certificaciones voluntarias y etiquetados que pueden ayudar a los fabricantes a demostrar el cumplimiento con estándares de calidad, sostenibilidad y seguridad reconocidos. Algunas certificaciones comunes incluyen:

- **Certificación de producto:** Sello que garantiza que los paneles prefabricados cumplen con ciertos estándares de calidad y rendimiento.
- **Certificación ambiental:** Reconocimiento de que los paneles prefabricados han sido evaluados y cumplen con criterios específicos de sostenibilidad ambiental (Tania Patricia Alaña Castillo, 2019).

2.6.5. Normativas de Planificación y Construcción

Estas normativas son establecidas por autoridades locales o nacionales y regulan el uso y la aplicación de los paneles prefabricados en proyectos de construcción. Pueden incluir:

- **Normativas de zonificación y uso de suelo:** Regulaciones sobre cómo y dónde pueden utilizarse los paneles prefabricados en diferentes tipos de edificaciones.
- **Normativas de permisos de construcción:** Requisitos para obtener permisos y autorizaciones antes de utilizar paneles prefabricados en proyectos de construcción.

2.6.6. Importancia de Cumplir con Normativas

Cumplir con estas normativas es crucial para asegurar la calidad, seguridad, sostenibilidad y viabilidad legal de los paneles prefabricados en proyectos de construcción. Los fabricantes y profesionales del sector deben mantenerse actualizados con respecto a las normativas aplicables en sus áreas geográficas y asegurarse de que todos los paneles

prefabricados cumplen con los estándares requeridos antes de su uso en proyectos constructivos. Los estándares requeridos para paneles prefabricados pueden variar según el país, región o incluso el tipo específico de panel prefabricado.

2.6.6.1. Normas Internacionales.

ISO 9001: Sistemas de gestión de calidad. Aunque no específicamente para paneles prefabricados, muchas empresas fabricantes de estos paneles están certificadas bajo esta norma para garantizar procesos de fabricación controlados y consistentes.

ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental. Importante para empresas que buscan gestionar sus impactos ambientales y demostrar su compromiso con la sostenibilidad.

ISO 14040 y 14044: Principios y marco para la evaluación del ciclo de vida (ACV). Esencial si se realiza un análisis de ciclo de vida de los paneles prefabricados para evaluar su impacto ambiental.

ISO 23993: Determinación de la huella de carbono. Útil para empresas que desean cuantificar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción y uso de paneles prefabricados.

2.6.6.2. Normas Europeas (EN)

EN 13369: Paneles prefabricados para estructuras de edificación. Especificaciones y métodos de ensayo.

EN 15804: Productos de construcción y evaluación del comportamiento ambiental mediante el ACV. Importante para evaluar el impacto ambiental de los paneles prefabricados de acuerdo con estándares europeos.

2.6.6.3. Normas Americanas (ASTM)

ASTM C1364: Norma para paneles prefabricados de hormigón armado.

ASTM E2395: Práctica estándar para el examen de la vida útil de los materiales y componentes de construcción mediante la evaluación del ciclo de vida (María del carmen Velasco, 2021).

2.6.6.4. Normativas Nacionales y Regionales

Código Técnico de la Edificación (CTE) en España: Incluye requisitos técnicos y funcionales para los edificios en España, que pueden afectar a los paneles prefabricados utilizados en la construcción.

Building Codes (por ejemplo, IBC en Estados Unidos): Normativas específicas de cada país o estado que regulan la construcción y que pueden incluir requisitos para paneles prefabricados en términos de seguridad estructural, resistencia al fuego, aislamiento, etc.

2.6.6.5. Cumplimiento y Certificación

Es importante que los fabricantes de paneles prefabricados demuestren que sus productos cumplen con los estándares aplicables mediante certificaciones y pruebas adecuadas. Las certificaciones y etiquetados proporcionan confianza a los clientes y a los reguladores de que los paneles prefabricados cumplen con los requisitos necesarios para su uso en proyectos de construcción.

Los estándares requeridos varían según el tipo de panel prefabricado y la región geográfica, pero seguir normativas reconocidas internacionalmente y cumplir con requisitos locales es fundamental para garantizar la calidad, seguridad y sostenibilidad de los paneles prefabricados utilizados en la construcción (Eduardo Herrerias Aristi, 2023).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1. Diseño de la Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

Se realizó una investigación documental, empleando investigación cualitativa mediante la cual se recopiló y seleccionó información relevante sobre análisis del ciclo de vida de paneles prefabricados.

3.1.2. Métodos de Recolección de Datos

La recolección de datos se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica de diferentes estudios publicados en fuentes confiables: Scielo, Medline, Redalyc y Scopus.

3.1.3. Población

La población del estudio comprende todos los estudios y trabajos de titulación referentes al análisis del ciclo de vida de paneles prefabricados publicados desde el año 2019 hasta la fecha presente.

3.1.4. Muestra

De los estudios encontrados referentes al análisis del ciclo de vida de paneles prefabricados se seleccionaron 15 estudios para el presente análisis.

3.2. Alcance de la Investigación

El alcance de la presente investigación es de carácter descriptivo, se describe la información recopilada de fuentes primarias respecto al análisis del ciclo de vida, detalles técnicos del producto, así como procedimientos detallados y las razones para realizar el análisis de ciclo de vida. Así también, se detalla la información encontrada en los diferentes estudios respecto a entradas y salidas al aire, suelo y agua de energía consumida, la difusión de emisiones y la generación de residuos. Con base en la información recopilada, se establece un análisis del impacto ambiental generado del ciclo de vida de los paneles prefabricados.

3.3. Enfoque de la Investigación

La presente investigación se enfoca en el análisis del ciclo de vida de los paneles prefabricados para la construcción de viviendas, lo que permitirá evaluar los impactos ambientales que generan estos paneles durante su ciclo de vida.

3.4. Instrumentos de Recolección de Información

Mediante el uso del software Excel se realizaron matrices que permitieron registrar la información recopilada de fuentes primarias y secundarias y realizar el análisis de esta.

3.5. Metodología de Análisis de Ciclo de Vida

Se empleó la metodología estandarizada del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), con base en lo establecido en la Norma ISO 14040:2006 Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia (International Organization for Standardization, 2006) y la Norma ISO 14044:2006 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices (International Organization for Standardization, 2006).

3.5.1. Límite del Sistema

Se describen las actividades, procesos, materiales y flujos energéticos dentro del ciclo de vida de los paneles prefabricados.

3.5.2. Sistema del Producto

Lo comprenden el total de actividades del límite del sistema asociados a la unidad funcional.

3.5.3. Unidad Funcional

Refiere a la unidad en función de la cual se realizan todas las evaluaciones. Se ha definido como unidad funcional una unidad de panel prefabricado.

3.5.4. Flujo de Referencia

Se describe la cantidad de materia prima y flujo energético para la obtención de la unidad funcional (panel prefabricado)

3.5.5. Etapas de la Evaluación del Ciclo de Vida

3.5.5.1. Definición del Objetivo y Alcance

El objetivo de la investigación es evaluar los impactos ambientales que conlleva el ciclo de vida de los paneles prefabricados. El alcance implica desde el proceso de fabricación de los paneles hasta su implementación en la construcción de viviendas.

3.5.5.2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida

El análisis del inventario del ciclo de vida de los paneles prefabricados se llevó a cabo mediante el análisis de criterios de inclusión en la que se registró las materias primas, recursos, energía, así como las emisiones y desechos generados. Además, se elaboró un diagrama de flujo para un mejor análisis del proceso.

El inventario del ciclo de vida se llevó a cabo con base en los siguientes pasos:

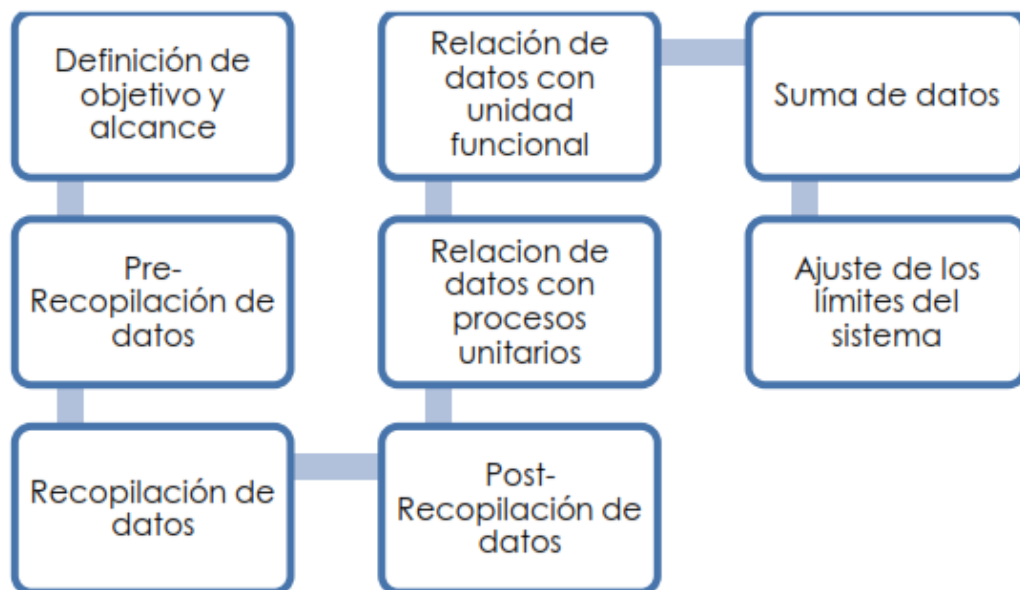


Ilustración 3: Pasos para realizar el inventario del ciclo de vida del proyecto.

Fuente: (International Organization for Standardization, 2006).

3.5.5.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

Para la evaluación del impacto del ciclo de vida se tomó en cuenta tres aspectos de importancia:

3.5.5.4. Categorías de impacto

Mediante estas categorías se agrupan los impactos ambientales que son de interés para la obtención de resultados. La SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) describe las principales categorías de impacto ambiental, mismas que se detallan a continuación:

Tabla 1 *Categorías de impacto ambiental consideradas por la SETAC (Sociedad de Toxicología y Química Ambiental).*

Categoría de impacto ambiental		Unidad de referencia-Ecoindicador	Factor de caracterización
Calentamiento global	Aumento en promedio de la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas	Kg.Eq CO ₂ (CO ₂ eq)	Potencial de Calentamiento Global (PCG)
Consumo de recursos energéticos	Energía consumida para obtener las materias primas, la fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento en análisis.	MJ	Cantidad de energía consumida
Reducción de capa de ozono	Efectos negativos sobre la capacidad de protección e la capa de ozono ante los rayos ultravioleta.	Kg.Eq.CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)
Eutrofización	Crecimiento excesivo de la población de algas a causa del enriquecimiento artificial de las	Kg. Eq. NO ₂	Potencial de eutrofización (PE)

	aguas de ríos y embalses por empleo masivo de fertilizantes y detergentes.		
Acidificación	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, a causa del retorno de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera, a la superficie de la tierra, en forma de ácidos	Kg. Eq SO ₂	Potencial de acidificación (PA)
Consumo de materia primas	Consumo de materiales obtenidos de la naturaleza	TM	Cantidad consumida
Formación de oxidantes fotoquímicos	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica.	Kg. Eq. C ₂ H ₂	Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos (PFOF)

Fuente: (Orellana Albán & Coronel Sacoto, 2021)

3.5.5.5. Indicador de categoría o Ecoindicador

Se refiere a la medida cuantitativa o unidad de referencia que ha sido definida para cada categoría de impacto ambiental a la que representa.

3.5.5.6. El modelo de caracterización

Hace referencia a la metodología utilizada para convertir los datos del ICV en indicadores de categoría.

3.5.5.7. Interpretación de los Resultados

Una vez llevados a cabo los pasos anteriores, con base en la información obtenida se llevó a cabo un análisis que permitió identificar las oportunidades para reducir los efectos negativos para el medioambiente del ciclo de vida de los paneles prefabricados.

3.6. Diseño de Investigación

3.6.1. Definición del Objetivo y Alcance

3.6.1.1. Objetivo

Evaluar el impacto ambiental de los paneles prefabricados a lo largo de su ciclo de vida para identificar las fases críticas y proponer mejoras sostenibles.

3.6.1.2. Alcance

- **Sistema del producto:** Paneles prefabricados utilizados en la construcción de edificios.
- **Fronteras del sistema:** Desde la extracción de materias primas hasta la disposición final de los paneles.
- **Unidad funcional:** Un metro cuadrado (m²) de panel prefabricado.

3.6.2. Revisión de Literatura

3.6.2.1. Propósito

Obtener un entendimiento profundo de estudios previos, metodologías aplicadas y datos relevantes sobre paneles prefabricados y análisis de ciclo de vida.

3.6.2.2. Fuentes

- Artículos científicos
- Normativas y estándares (ISO, ASTM, EN)
- Informes técnicos
- Bases de datos de ACV

3.6.3. Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

3.6.3.1. Recolección de Datos

- **Materias primas:** Cantidades y tipos de materiales utilizados (por ejemplo, hormigón, acero, madera).
- **Procesos de fabricación:** Consumo de energía, emisiones, residuos generados.

- Transporte: Distancias y modos de transporte desde la fábrica hasta el sitio de construcción.
- Instalación: Consumo de recursos y generación de residuos durante la instalación.
- Uso y mantenimiento: Durabilidad y mantenimiento requerido durante la vida útil.
- Fin de vida: Opciones de disposición final, reciclaje o reutilización.

3.6.3.2. Herramientas

- Encuestas y entrevistas con fabricantes y constructores.
- Inspección y medición directa en fábricas y sitios de construcción.
- Bases de datos de inventario de ciclo de vida (por ejemplo, Ecoinvent).

3.6.4. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (LCIA)

3.6.4.1. Metodología

En la selección de categorías de impacto comprende el cambio climático, acidificación, agotamiento de recursos, ecotoxicidad, etc. Entre los métodos de evaluación están: ReCiPe (Ingeniería de software o modelado de procesos), CML (caracterización de impactos en el análisis del ciclo de vida), TRACI (Agencia de protección ambiental). Además, El uso de software especializado (SimaPro (software de análisis del ciclo de vida, GaBi (análisis del ciclo de vida), OpenLCA (permite analizar los impactos ambientales) para calcular los impactos ambientales en cada fase del ciclo de vida. Y como última etapa, la comparación de resultados entre diferentes tipos de paneles prefabricados y métodos de construcción tradicionales.

3.6.4.2. Técnicas de recolección de Datos.

- **Entrevistas**

Propósito:

Obtener información detallada de fabricantes, proveedores, constructores y otros actores clave involucrados en el ciclo de vida de los paneles prefabricados.

Métodos:

- Encuestas estructuradas: Preguntas cerradas y opciones múltiples para obtener datos cuantitativos específicos.
- Entrevistas semiestructuradas: Preguntas abiertas que permiten profundizar en aspectos cualitativos y detalles específicos.

- **Observación directa**

Propósito:

Recolectar datos sobre los procesos de fabricación, transporte, instalación y uso de los paneles prefabricados.

Métodos:

- Visitas a fábricas y sitios de construcción: Observación de los procesos en tiempo real.
- Fotografías y videos: Documentación visual de las etapas del ciclo de vida.

Instrumentos:

- Listas de verificación de observación.
- Cámaras fotográficas y de video.

- **Revisión de documentos y registros**

Propósito:

Recolectar datos existentes y verificados de registros históricos, informes de producción y documentos técnicos.

Métodos:

- Análisis de registros de producción: Revisión de documentos de producción y control de calidad.
- Informes técnicos y estudios previos: Consulta de literatura técnica y científica relevante.

Instrumentos:

- Acceso a bases de datos de la empresa.
- Revisión de publicaciones científicas y técnicas.

3.6.4.3. Población de estudio y tamaño de muestra

Para un estudio de evaluación de paneles prefabricados mediante un análisis de ciclo de vida (ACV), es crucial definir claramente la población de estudio y el tamaño de muestra. La población de estudio incluye a todos los actores y componentes relevantes en el ciclo de vida de los paneles prefabricados. Esta puede abarcar: Fabricantes de paneles prefabricados

(Empresas que producen los paneles), proveedores de las materias primas (materiales como hormigón, acero, madera, etc.), constructores e instaladores (Empresas y trabajadores que instalan los paneles en los proyectos de construcción), proyectos de construcción (Edificios y estructuras donde se utilizan los paneles prefabricados), usuarios finales (Personas o entidades que utilizan los edificios donde se han instalado los paneles prefabricados), y gestores de residuos y reciclaje (Empresas que manejan la disposición final y el reciclaje de los paneles).

3.6.4.4. Métodos de análisis, y procesamiento de datos.

Para analizar y procesar los datos obtenidos en la evaluación de paneles prefabricados mediante un análisis de ciclo de vida (ACV), se deben emplear métodos rigurosos y sistemáticos. Se describen los métodos de análisis y procesamiento de datos más adecuados:

- **Recolección de Datos**
 - Encuestas y Entrevistas: Digitalización de las respuestas y almacenamiento en una base de datos.
 - Observación Directa y Medición: Registro de datos en hojas de cálculo o software especializado.
 - Revisión de Documentos y Registros: Digitalización y organización en bases de datos.
 - Bases de Datos de ICV: Integración de datos relevantes de bases de datos como Ecoinvent.
- **Organización de Datos**
 - Bases de Datos Relacionales: Uso de software como Microsoft Access o MySQL para organizar y gestionar grandes volúmenes de datos.
 - Hojas de Cálculo: Utilización de Excel o Google Sheets para organizar y preprocesar datos.
- **Análisis de Datos**
 - Estadísticas Descriptivas: Cálculo de medias, medianas, desviaciones estándar y distribuciones para resumir los datos recolectados.
 - Visualización de Datos: Creación de gráficos y tablas para visualizar patrones y tendencias en los datos (usando herramientas como Excel, Tableau o R).

- **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

- Software de ACV: Uso de herramientas como SimaPro, GaBi, o OpenLCA para modelar el ciclo de vida de los paneles prefabricados y calcular los impactos ambientales.
- Metodologías de Evaluación: Aplicación de métodos de LCIA (Life Cycle Impact Assessment) como ReCiPe (Centro de ciencias ambientales, Leiden), CML (Centrum Voor Milieujunde Leiden), o TRACI (Tool for the reduction and Assessment of Chemmical and other environmental impacts) para evaluar los impactos en diferentes categorías (cambio climático, acidificación, eutrofización, etc.).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Resultados

Tabla 2 *Modelo de entradas, procesos y salidas (EPS) de la producción de 1 m² de panel prefabricado.*

Recursos Naturales	Entradas	Procesos	Salidas
	Agua	Extracción y transporte de recursos naturales desde sus fuentes de origen.	Paneles prefabricados 1m ²
	Arena	Transporte de almacenamiento de arena.	Paneles prefabricados 1m ²
	Grava	Transporte de almacenamiento de grava.	Paneles prefabricados 1m ²

Fuente: *Autor*

Tabla 3 *Proceso de fabricación de paneles prefabricados.*

Proceso de fabricación	Descripción
1. Trituración	Reducción de tamaño de las materias primas en trituradoras.
2. Prehomogenización	Almacenamiento y homogenización del material triturado para uniformar la composición.
3. Molienda de cruda	Reducción de tamaño y ajuste de finura de material para el Clinker.
4. Silos de homogenización	Homogenización del polvo crudo mediante aire comprimido y transporte al horno.
5. Clinkerización y enfriamiento	Transformación química y enfriamiento del material en el horno rotativo.
6. Molienda de acabado	Molienda final del Clinker y dosificación de aditivos para el cemento final.
7. Empaque y despacho	Almacenamiento empaque en sacos y despacho del cemento.

Fuente: *Autor.*

Tabla 4 Descripción del proceso del cemento.

Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3
Explotación y transporte de materias primas hacia el sitio de trituración.	Obtención del cemento preparado para la mezcla.	Transporte del cemento hasta el área de fabricación.

Fuente: (Guapán, 2022)**Tabla 5** Modelo de análisis del ciclo de vida para evaluación de paneles prefabricados.

TEMA	ÁREA	PUNTUACIÓN	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE RIESGO	CONSIDERACIONES	ASPECTOS.
APLICACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA PARA EVALUACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS	PROYECTOS DE MODELO	TOTAL	RUIDO (IMPACTO INTERMITENTE Y CONTÍNUO)	Bajo	MEJORAR SI ES POSIBLE SERÍA CONVENIENTE JUSTIFICAR LA INTERVENCION Y SU RENTABILIDAD	ACEPTABLE, MEJORAR CONTROLES.
		1	RADIACIONES	Bajo	MEJORAR SI ES POSIBLE SERÍA CONVENIENTE JUSTIFICAR	ACEPTABLE, MEJORAR CONTROLES.
		1	POLVOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS	Bajo	MEJORAR SI ES POSIBLE SERÍA CONVENIENTE JUSTIFICAR	ACEPTABLE, MEJORAR CONTROLES.
		1	PISO IRREGULAR, RESBALADIZO	Bajo	MEJORAR SI ES POSIBLE SERÍA CONVENIENTE JUSTIFICAR	ACEPTABLE, MEJORAR CONTROLES.
		1	OSBTÁCULOS DE PISO	Bajo	MEJORAR SI ES POSIBLE SERÍA CONVENIENTE JUSTIFICAR	ACEPTABLE, MEJORAR CONTROLES.
		1	CIRCULACIÓN DE MAQUINARIA Y DE VEHÍCULOS PARA ÁREAS DE TRABAJOS.	Bajo	MEJORAR SI ES POSIBLE SERÍA CONVENIENTE JUSTIFICAR	ACEPTABLE, MEJORAR CONTROLES.
		1	POSTURA (PROLONGADA PARA MANTENER)	Bajo	MEJORAR SI ES POSIBLE SERÍA CONVENIENTE JUSTIFICAR	ACEPTABLE, MEJORAR CONTROLES.

Fuente: Autor.

Tabla 6 *Categorías de impacto del Transporte del Yeso.*

Transporte del Yeso				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Lorry, 16 metric ton {RoW} production Cut-off, U	Limestone quarry infrastructure {RoW} limestone quarry construction Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	0,323612545	0,021159337	0,302453208
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,000976547	6,38568E-05	0,00091269
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	2,66735E-08	1,74403E-09	2,49295E-08
Stratospheric ozone depletion	DALY	8,47723E-05	4,44433E-06	8,0328E-05
Ozone formation, Human health	DALY	0,001198533	6,03859E-05	0,001138147
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,000174688	9,05787E-06	0,00016563
Terrestrial acidification	species.yr	0,000719671	2,09435E-05	0,000698727
Freshwater eutrophication	species.yr	0,000242104	8,68927E-06	0,000233415
Marine eutrophication	species.yr	5,07049E-08	2,18355E-09	4,85214E-08
Land use	species.yr	0,00092276	4,89674E-06	0,000917863
Mineral resource scarcity	USD2013	4953,65654	204,5169233	4749,139617
Fossil resource scarcity	USD2013	22406,01319	1562,903925	20843,10927
Water consumption, Human health	DALY	0,004090967	0,000229458	0,003861509
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	2,61387E-05	1,55897E-06	2,45797E-05
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	2,43664E-09	1,96466E-10	2,24017E-09

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 7 Categorías de impacto de la Deshidratación del Yeso.

Deshidratación del Yeso			
Categoría de impacto	Unidad	Total	Limestone quarry infrastructure {RoW} limestone quarry construction Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	0,302453209	0,302453209
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,00091269	0,00091269
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	2,49295E-08	2,49295E-08
Stratospheric ozone depletion	DALY	8,0328E-05	8,0328E-05
Ozone formation, Human health	DALY	0,001138147	0,001138147
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,00016563	0,00016563
Terrestrial acidification	species.yr	0,000698727	0,000698727
Freshwater eutrophication	species.yr	0,000233415	0,000233415
Marine eutrophication	species.yr	4,85214E-08	4,85214E-08
Land use	species.yr	0,000917863	0,000917863
Mineral resource scarcity	USD2013	4749,139639	4749,139639
Fossil resource scarcity	USD2013	20843,10933	20843,10933
Water consumption, Human health	DALY	0,003861509	0,003861509
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	2,45797E-05	2,45797E-05
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	2,24017E-09	2,24017E-09

Fuente: Marcel Paredes & Autor.

Tabla 8 Categorías de impacto de la Extracción del Yeso.

Extracción de Yeso				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Hydraulic digger {RoW} production Cut-off, U	Limestone quarry infrastructure {RoW} limestone quarry construction Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	0,34533671	0,042883503	0,302453207
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,001042108	0,000129418	0,00091269
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	2,84641E-08	3,53464E-09	2,49295E-08
Stratospheric ozone depletion	DALY	8,78569E-05	7,52896E-06	8,0328E-05
Ozone formation, Human health	DALY	0,001239441	0,000101294	0,001138147
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,00018078	1,51501E-05	0,00016563
Terrestrial acidification	species.yr	0,00072827	2,9543E-05	0,000698727
Freshwater eutrophication	species.yr	0,000248387	1,4972E-05	0,000233415
Marine eutrophication	species.yr	5,1608E-08	3,08662E-09	4,85214E-08
Land use	species.yr	0,000924149	6,28533E-06	0,000917863
Mineral resource scarcity	USD2013	5060,337598	311,198013	4749,139585
Fossil resource scarcity	USD2013	23407,37619	2564,267008	20843,10918
Water consumption, Human health	DALY	0,004254073	0,000392564	0,003861509
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	2,75335E-05	2,95384E-06	2,45797E-05
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	2,6922E-09	4,52027E-10	2,24017E-09

Fuente: Marcel Paredes & Autor.

Tabla 9 *Categorías de impacto del Transporte de Arcilla.*

Transporte de Arcilla				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Lorry, 16 metric ton {RoW} production Cut-off, U	Clay pit infrastructure {RoW} clay pit construction Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	16,43821668	0,021159337	16,41705734
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,049606569	6,38568E-05	0,049542713
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	1,35493E-06	1,74403E-09	1,35318E-06
Stratospheric ozone depletion	DALY	0,003615985	4,44433E-06	0,003611541
Ozone formation, Human health	DALY	0,053992254	6,03859E-05	0,053931868
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,007966719	9,05787E-06	0,007957661
Terrestrial acidification	species.yr	0,026238639	2,09435E-05	0,026217696
Freshwater eutrophication	species.yr	0,009915319	8,68927E-06	0,009906629
Marine eutrophication	species.yr	1,46094E-06	2,18355E-09	1,45876E-06
Land use	species.yr	0,020803576	4,89674E-06	0,020798679
Mineral resource scarcity	USD2013	244934,6296	204,5169228	244730,1126
Fossil resource scarcity	USD2013	1046313,426	1562,903928	1044750,522
Water consumption, Human health	DALY	0,2504963	0,000229458	0,250266841
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	0,001734799	1,55897E-06	0,00173324
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	1,83865E-07	1,96466E-10	1,83668E-07

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 10 *Categorías de impacto de la Extracción de Arcilla.*

Extracción de Arcilla				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Hydraulic digger {RoW} production Cut-off, U	Clay pit infrastructure {RoW} clay pit construction Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	16,45994077	0,042883503	16,41705726
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,049672131	0,000129418	0,049542712
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	1,35672E-06	3,53464E-09	1,35318E-06
Stratospheric ozone depletion	DALY	0,00361907	7,52896E-06	0,003611541
Ozone formation, Human health	DALY	0,054033162	0,000101294	0,053931867
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,007972811	1,51501E-05	0,007957661
Terrestrial acidification	species.yr	0,026247239	2,9543E-05	0,026217696
Freshwater eutrophication	species.yr	0,009921601	1,4972E-05	0,009906629
Marine eutrophication	species.yr	1,46185E-06	3,08662E-09	1,45876E-06
Land use	species.yr	0,020804964	6,28533E-06	0,020798679
Mineral resource scarcity	USD2013	245041,3083	311,1980086	244730,1103
Fossil resource scarcity	USD2013	1047314,785	2564,266986	1044750,518
Water consumption, Human health	DALY	0,250659404	0,000392564	0,25026684
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	0,001736194	2,95384E-06	0,00173324
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	1,8412E-07	4,52027E-10	1,83668E-07

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 11 *Categorías de impacto del proceso de Molienda de Grava.*

Molienda de Grava				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Industrial machine, heavy, unspecified {RER} production Cut-off, U	Gravel/sand quarry infrastructure {RoW} gravel/sand quarry construction Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	2,600810251	1,93444E-06	2,600808317
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,007848486	5,83784E-09	0,00784848
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	2,14372E-07	1,59445E-13	2,14372E-07
Stratospheric ozone depletion	DALY	0,00065715	4,49055E-10	0,00065715
Ozone formation, Human health	DALY	0,009229597	5,73762E-09	0,009229592
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,001351051	8,59021E-10	0,00135105
Terrestrial acidification	species.yr	0,005339533	2,66588E-09	0,005339531
Freshwater eutrophication	species.yr	0,002025511	1,50624E-09	0,002025509
Marine eutrophication	species.yr	2,46484E-07	2,36587E-13	2,46484E-07
Land use	species.yr	0,022209557	4,57335E-10	0,022209557
Mineral resource scarcity	USD2013	38419,47241	0,02604813	38419,44636
Fossil resource scarcity	USD2013	169410,4315	0,103541083	169410,328
Water consumption, Human health	DALY	0,036238944	3,61863E-08	0,036238908
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	0,000242683	2,63314E-10	0,000242683
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	2,45981E-08	3,01368E-14	2,4598E-08

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 12 *Categorías de impacto del Transporte de grava.*

Transporte de Grava				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Lorry, 16 metric ton {RER} production Cut-off, U	Gravel/sand quarry infrastructure {RoW} gravel/sand quarry construction Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	2,620619906	0,019811601	2,600808305
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,007908269	5,97884E-05	0,00784848
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	2,16005E-07	1,63296E-09	2,14372E-07
Stratospheric ozone depletion	DALY	0,000661438	4,28804E-06	0,00065715
Ozone formation, Human health	DALY	0,009285163	5,55717E-05	0,009229592
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,00135942	8,36948E-06	0,00135105
Terrestrial acidification	species.yr	0,005359434	1,99035E-05	0,005339531
Freshwater eutrophication	species.yr	0,002034389	8,88021E-06	0,002025509
Marine eutrophication	species.yr	2,48712E-07	2,22811E-09	2,46484E-07
Land use	species.yr	0,022214735	5,17856E-06	0,022209556
Mineral resource scarcity	USD2013	38622,52241	203,0763716	38419,44604
Fossil resource scarcity	USD2013	170970,8573	1560,53079	169410,3265
Water consumption, Human health	DALY	0,036491955	0,000253048	0,036238907
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	0,000244302	1,61937E-06	0,000242683
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	2,4756E-08	1,57975E-10	2,4598E-08

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 13 *Categorías de impacto de la Extracción de la grava.*

Extracción de Grava				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Hydraulic digger {RoW} production Cut-off, U	Gravel/sand quarry infrastructure {RoW} gravel/sand quarry construction Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	2,643691803	0,042883503	2,6008083
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,007977899	0,000129418	0,00784848
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	2,17906E-07	3,53464E-09	2,14372E-07
Stratospheric ozone depletion	DALY	0,000664679	7,52896E-06	0,00065715
Ozone formation, Human health	DALY	0,009330886	0,000101294	0,009229592
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	0,0013662	1,51501E-05	0,00135105
Terrestrial acidification	species.yr	0,005369074	2,9543E-05	0,005339531
Freshwater eutrophication	species.yr	0,002040481	1,4972E-05	0,002025509
Marine eutrophication	species.yr	2,4957E-07	3,08662E-09	2,46484E-07
Land use	species.yr	0,022215842	6,28533E-06	0,022209556
Mineral resource scarcity	USD2013	38730,64403	311,1980106	38419,44602
Fossil resource scarcity	USD2013	171974,5933	2564,267009	169410,3263
Water consumption, Human health	DALY	0,036631471	0,000392564	0,036238907
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	0,000245636	2,95384E-06	0,000242683
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	2,50501E-08	4,52027E-10	2,4598E-08

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 14 *Categorías de impacto del Acero.*

Acero			
Categoría de impacto	Unidad	Total	Steel, chromium steel 18/8 {RoW} steel production, converter, chromium steel 18/8 Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	4,24856E-06	4,24856E-06
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	1,28215E-08	1,28215E-08
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	3,50186E-13	3,50186E-13
Stratospheric ozone depletion	DALY	7,24629E-10	7,24629E-10
Ozone formation, Human health	DALY	1,17461E-08	1,17461E-08
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	1,71386E-09	1,71386E-09
Terrestrial acidification	species.yr	4,17326E-09	4,17326E-09
Freshwater eutrophication	species.yr	1,20818E-09	1,20818E-09
Marine eutrophication	species.yr	2,32092E-13	2,32092E-13
Land use	species.yr	1,35099E-09	1,35099E-09
Mineral resource scarcity	USD2013	0,117865049	0,117865049
Fossil resource scarcity	USD2013	0,213102703	0,213102703
Water consumption, Human health	DALY	1,74153E-08	1,74153E-08
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	1,25314E-10	1,25314E-10
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	2,40725E-14	2,40725E-14

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 15 *Categorías de impacto del Hormigón.*

Hormigón			
Categoría de impacto	Unidad	Total	Concrete block {RoW} production Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	1,34922E-07	1,34922E-07
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	4,0711E-10	4,0711E-10
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	1,11219E-14	1,11219E-14
Stratospheric ozone depletion	DALY	1,71441E-11	1,71441E-11
Ozone formation, Human health	DALY	3,86394E-10	3,86394E-10
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	5,56825E-11	5,56825E-11
Terrestrial acidification	species.yr	7,66469E-11	7,66469E-11
Freshwater eutrophication	species.yr	1,98168E-11	1,98168E-11
Marine eutrophication	species.yr	4,82983E-15	4,82983E-15
Land use	species.yr	7,04193E-11	7,04193E-11
Mineral resource scarcity	USD2013	0,000381603	0,000381603
Fossil resource scarcity	USD2013	0,007354555	0,007354555
Water consumption, Human health	DALY	2,03867E-09	2,03867E-09
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	1,33277E-11	1,33277E-11
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	1,29346E-15	1,29346E-15

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 16 *Categorías de impacto del Enfriador.*

Enfriador				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Air compressor, screw-type compressor, 4kW {RER} production Cut-off, U	Concrete, 20MPa {PE} concrete production, 20MPa, ready- mix, with cement, limestone 21- 35% Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	0,000963526	0,00068123	0,000282296
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	2,90762E-06	2,05583E-06	8,51795E-07
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	7,94187E-11	5,61482E-11	2,32704E-11
Stratospheric ozone depletion	DALY	2,98023E-07	2,75528E-07	2,24956E-08
Ozone formation, Human health	DALY	3,34275E-06	2,67375E-06	6,68999E-07
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	4,84911E-07	3,88635E-07	9,62759E-08
Terrestrial acidification	species.yr	2,45371E-06	2,3272E-06	1,26511E-07
Freshwater eutrophication	species.yr	1,1813E-06	1,14518E-06	3,61198E-08
Marine eutrophication	species.yr	9,74692E-11	9,163E-11	5,83912E-12
Land use	species.yr	2,53085E-07	1,95951E-07	5,71345E-08
Mineral resource scarcity	USD2013	10,99289426	10,60444243	0,388451822
Fossil resource scarcity	USD2013	53,81150278	41,44656632	12,36493646
Water consumption, Human health	DALY	1,37955E-05	1,06302E-05	3,16534E-06
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	9,54209E-08	6,85633E-08	2,68576E-08
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	1,64029E-11	6,68427E-12	9,7186E-12

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 17 *Categorías de impacto del Horno.*

Horno				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U	Concrete, 20MPa {PE} concrete production, 20MPa, ready-mix, with cement, limestone 21-35% Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	0,000282381	8,44838E-08	0,000282296
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	8,5205E-07	2,54913E-10	8,51795E-07
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	2,32774E-11	6,96418E-15	2,32704E-11
Stratospheric ozone depletion	DALY	2,25243E-08	2,87011E-11	2,24956E-08
Ozone formation, Human health	DALY	6,70014E-07	1,01516E-09	6,68999E-07
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	9,64222E-08	1,4624E-10	9,62759E-08
Terrestrial acidification	species.yr	1,26619E-07	1,07758E-10	1,26511E-07
Freshwater eutrophication	species.yr	3,6122E-08	2,2035E-12	3,61198E-08
Marine eutrophication	species.yr	5,83956E-12	4,39463E-16	5,83912E-12
Land use	species.yr	5,71364E-08	1,94637E-12	5,71345E-08
Mineral resource scarcity	USD2013	0,38848714	3,53213E-05	0,388451819
Fossil resource scarcity	USD2013	12,37771533	0,012778968	12,36493636
Water consumption, Human health	DALY	3,16539E-06	4,4173E-11	3,16534E-06
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	2,6858E-08	4,23775E-13	2,68576E-08
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	9,71869E-12	9,09397E-17	9,7186E-12

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 18 *Categorías de impacto de la Molienda.*

Molienda				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Sand {BR} sand quarry operation, open pit mine Cut-off, U	Industrial machine, heavy, unspecified {RER} production Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	1,94087E-06	6,43494E-09	1,93444E-06
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	5,85726E-09	1,94162E-11	5,83784E-09
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	1,59975E-13	5,30444E-16	1,59445E-13
Stratospheric ozone depletion	DALY	4,51258E-10	2,20289E-12	4,49055E-10
Ozone formation, Human health	DALY	5,81383E-09	7,62068E-11	5,73762E-09
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	8,7E-10	1,09791E-11	8,59021E-10
Terrestrial acidification	species.yr	2,67406E-09	8,17723E-12	2,66588E-09
Freshwater eutrophication	species.yr	1,50643E-09	1,92358E-13	1,50624E-09
Marine eutrophication	species.yr	2,36635E-13	4,79426E-17	2,36587E-13
Land use	species.yr	4,83385E-10	2,60497E-11	4,57335E-10
Mineral resource scarcity	USD2013	0,026051931	3,80068E-06	0,02604813
Fossil resource scarcity	USD2013	0,104505914	0,000964831	0,103541083
Water consumption, Human health	DALY	3,61984E-08	1,21123E-11	3,61863E-08
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	2,63777E-10	4,6263E-13	2,63314E-10
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	3,06324E-14	4,95543E-16	3,01368E-14

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 19 *Categorías de impacto de la Trituración de Caliza.*

Trituración de Caliza				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Limestone, crushed, for mill {RoW} production Cut-off, U	Industrial machine, heavy, unspecified {RER} production Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	1,93702E-06	2,5769E-09	1,93444E-06
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	5,84562E-09	7,77454E-12	5,83784E-09
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	1,59657E-13	2,12395E-16	1,59445E-13
Stratospheric ozone depletion	DALY	4,53134E-10	4,07946E-12	4,49055E-10
Ozone formation, Human health	DALY	5,78492E-09	4,72946E-11	5,73762E-09
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	8,65845E-10	6,82431E-12	8,59021E-10
Terrestrial acidification	species.yr	2,67277E-09	6,88614E-12	2,66588E-09
Freshwater eutrophication	species.yr	1,5065E-09	2,58302E-13	1,50624E-09
Marine eutrophication	species.yr	2,36646E-13	5,87219E-17	2,36587E-13
Land use	species.yr	4,58109E-10	7,73816E-13	4,57335E-10
Mineral resource scarcity	USD2013	0,026050354	2,22383E-06	0,02604813
Fossil resource scarcity	USD2013	0,103853384	0,000312302	0,103541082
Water consumption, Human health	DALY	3,63639E-08	1,7761E-10	3,61863E-08
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	2,64402E-10	1,08729E-12	2,63314E-10
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	3,01903E-14	5,34669E-17	3,01368E-14

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 20 *Categorías de impacto del Transporte de Caliza.*

Transporte de Caliza				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Limestone, crushed, for mill {RoW} production Cut- off, U	Lorry, 16 metric ton {RER} production Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	0,019811604	2,5769E-09	0,019811601
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	5,97884E-05	7,77454E-12	5,97884E-05
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	1,63296E-09	2,12395E-16	1,63296E-09
Stratospheric ozone depletion	DALY	4,28805E-06	4,07946E-12	4,28804E-06
Ozone formation, Human health	DALY	5,55718E-05	4,72946E-11	5,55717E-05
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	8,36949E-06	6,82431E-12	8,36948E-06
Terrestrial acidification	species.yr	1,99035E-05	6,88614E-12	1,99035E-05
Freshwater eutrophication	species.yr	8,88021E-06	2,58302E-13	8,88021E-06
Marine eutrophication	species.yr	2,22811E-09	5,87219E-17	2,22811E-09
Land use	species.yr	5,17856E-06	7,73816E-13	5,17856E-06
Mineral resource scarcity	USD2013	203,0763726	2,22383E-06	203,0763704
Fossil resource scarcity	USD2013	1560,531097	0,000312302	1560,530785
Water consumption, Human health	DALY	0,000253048	1,7761E-10	0,000253048
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	1,61937E-06	1,08729E-12	1,61937E-06
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	1,57975E-10	5,34669E-17	1,57975E-10

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

Tabla 21 *Categorías de impacto de la Extracción de Caliza.*

Extracción de Caliza				
Categoría de impacto	Unidad	Total	Limestone, crushed, for mill {RoW} production Cut-off, U	Excavation, hydraulic digger {RoW} processing Cut-off, U
Global warming, Human health	DALY	4,94904E-07	2,5769E-09	4,92327E-07
Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	1,49329E-09	7,77454E-12	1,48551E-09
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	4,07957E-14	2,12395E-16	4,05833E-14
Stratospheric ozone depletion	DALY	1,68421E-10	4,07946E-12	1,64342E-10
Ionizing radiation	DALY	6,04627E-11	6,22558E-13	5,98402E-11
Ozone formation, Human health	DALY	5,77235E-09	4,72946E-11	5,72506E-09
Fine particulate matter formation	DALY	9,43562E-07	1,2626E-08	9,30936E-07
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	8,31704E-10	6,82431E-12	8,2488E-10
Terrestrial acidification	species.yr	6,23564E-10	6,88614E-12	6,16678E-10
Freshwater eutrophication	species.yr	2,00324E-11	2,58302E-13	1,97741E-11
Marine eutrophication	species.yr	4,06373E-15	5,87219E-17	4,00501E-15
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	8,17633E-12	6,3691E-14	8,11264E-12
Freshwater ecotoxicity	species.yr	3,68928E-12	5,28248E-14	3,63645E-12
Marine ecotoxicity	species.yr	7,73392E-13	1,05139E-14	7,62878E-13
Human carcinogenic toxicity	DALY	5,62194E-08	3,56211E-10	5,58631E-08
Human non-carcinogenic toxicity	DALY	2,17827E-08	3,03081E-10	2,14797E-08
Land use	species.yr	1,48077E-11	7,73816E-13	1,40339E-11
Mineral resource scarcity	USD2013	0,000354625	2,22383E-06	0,000352402
Fossil resource scarcity	USD2013	0,072952776	0,000312302	0,072640474
Water consumption, Human health	DALY	6,19312E-10	1,7761E-10	4,41702E-10
Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	4,98813E-12	1,08729E-12	3,90085E-12
Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	8,08309E-16	5,34669E-17	7,54842E-16

Fuente: *Marcel Paredes & Autor.*

4.1. Información General de la Cantera

Ubicación: La cantera principal para la extracción de materia prima se encuentra en Méndez, Provincia de Morona Santiago, conocida como Minera Greta Piedad.

Materiales extraídos: Los recursos naturales obtenidos incluyen piedra caliza, puzolana y arcilla, que son esenciales en la producción de cemento.

4.2. Procesos de Extracción de Materiales

La extracción en la cantera sigue un proceso estructurado para obtener y preparar las materias primas que posteriormente serán trituradas y procesadas.

4.2.1. Explotación y perforación

Se realiza una perforación de las zonas de la cantera donde se encuentran los depósitos de piedra caliza, puzolana o arcilla. Esta etapa incluye el uso de explosivos para fragmentar grandes bloques de roca en partes manejables.

4.2.2. Voladura controlada

La voladura controlada permite fragmentar grandes volúmenes de roca sin afectar áreas circundantes, asegurando un tamaño de piedra adecuado para las fases posteriores de trituración y molienda.

4.2.3. Carga y transporte

La roca fragmentada es cargada en de alta capacidad y transportada hasta el área de trituración primaria. Esta etapa se realiza con maquinaria especializada y equipos de carga de gran volumen para optimizar la eficiencia (Naula, 2024).

4.3. Maquinaria utilizada en la Cantera

El proceso de extracción y transporte de materiales en la cantera utiliza maquinaria pesada y equipos específicos:

- Perforadoras de superficie

Equipos como las perforadoras hidráulicas permiten realizar perforaciones profundas en la roca para la colocación de explosivos. Estos dispositivos son esenciales para el trabajo de voladura controlada.

- Cargadores Frontales y Excavadoras

Estos equipos de carga son esenciales para recoger y cargar el material extraído. Permiten transportar grandes cantidades de piedra caliza y otros minerales desde el sitio de extracción hacia los camiones.

- Camiones de Volteo de Gran Capacidad

Los camiones de volteo transportan el material extraído hasta las áreas de procesamiento. Se emplean modelos de camiones de alta capacidad, diseñados para transportar toneladas de piedra caliza de manera eficiente.

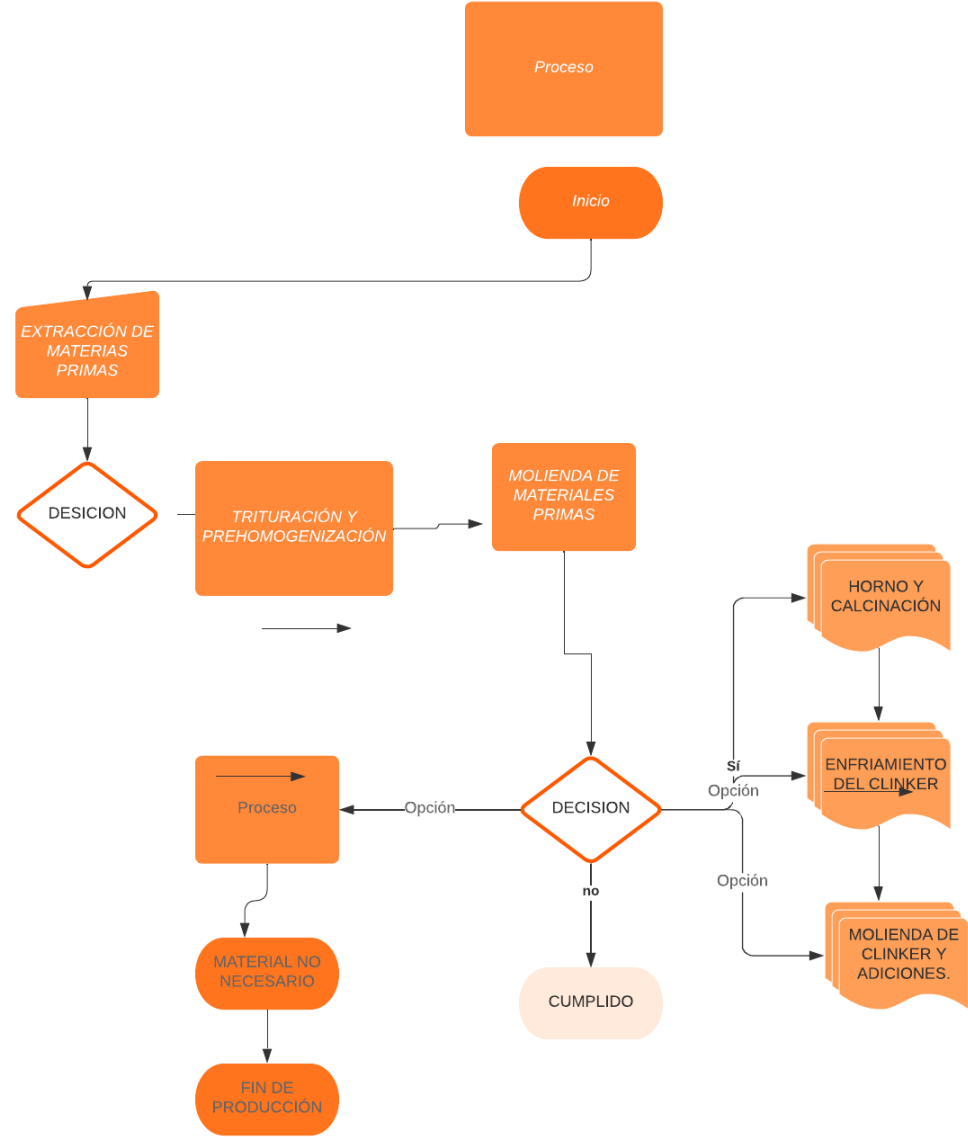
- Trituradora Primaria (Equipo B4)

Una vez en el sitio de procesamiento, el material pasa a una trituradora primaria. Este equipo reduce el tamaño de las rocas para preparar el material para la molienda y homogeneización posterior.

- Bandas transportadoras

Las bandas transportadoras mueven el material desde la primaria hacia las etapas de pre-homogenización y molienda, asegurando una operación continua en la planta (Granda, 2024).

Ilustración 4 Matriz



Fuente: Autor.

Descripción de la Ilustración 4

- Inicio del Proceso

El flujo comienza con un bloque de "Inicio" seguido de "Proceso", que da paso al primer paso operativo.

- Extracción de Materias Primas

Se extraen los materiales básicos necesarios (como caliza, arcilla, etc.) y procede a validar si la materia prima cumple con los requisitos.

- Trituración y Prehomogenización

Las materias primas son trituradas y mezcladas para obtener una composición uniforme.

- Molienda de Materiales Primas

Las materias primas homogenizadas se muelen hasta obtener un polvo fino.

- Segunda Decisión

Se verifica si el producto cumple con los parámetros deseados:

Si no cumple → el proceso finaliza en el bloque "Cumplido".

Si cumple → se continúa hacia el horno.

- Horno y Calcinación

El material se introduce en un horno rotatorio donde se produce la calcinación, formándose el Clinker.

- Enfriamiento del Clinker

El Clinker caliente se enfría rápidamente para estabilizar su estructura.

- Molienda de Clinker y Adiciones

El Clinker enfriado se muele junto con aditivos (como yeso) para obtener el producto final: cemento.

- Opciones Alternativas

Si en algún momento el proceso no cumple los requisitos, el material se clasifica como "material no necesario", y se indica el fin de producción.

- Fin del Proceso

El flujo termina cuando se obtiene el cemento o cuando se determina que el material no es útil.

Tabla 22 *Energía.*

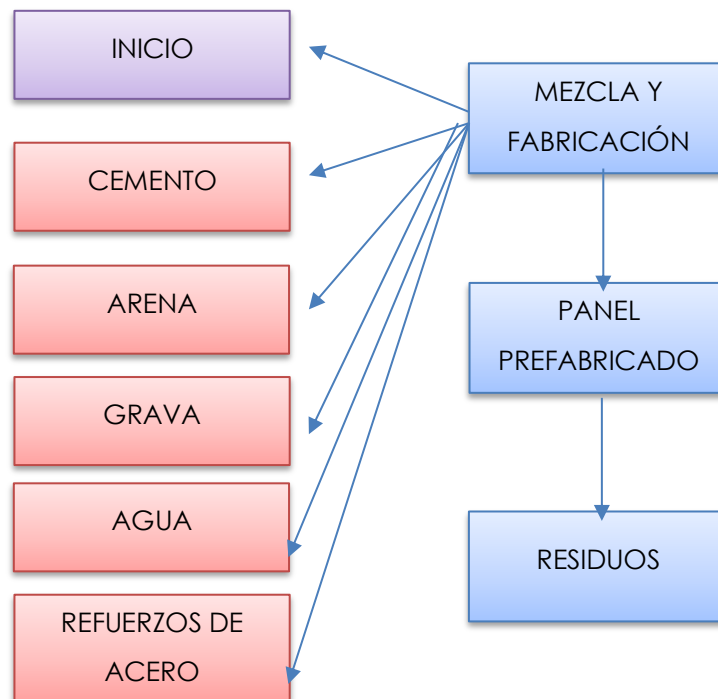
Descripción	Detalle
Electricidad	Utilizada para la mezcla de los materiales, el corte de los paneles y otros procesos de fabricación. Maquinaria para mezcla, moldeado y corte de 1-kWh
Combustible	Uso de maquinaria.

Fuente: Autor**Tabla 23** *Salidas de producto, residuos y emisiones.*

Descripción	Detalle
Producto final	1 metro cuadrado de panel prefabricado, con el espesor adecuado según los diseños de 10-15 cm de espesor.
Residuos	Residuo sólido: Mezcla de concreto, recortes de acero o de material aislante. Agua residual: Se emplea el proceso de limpieza de equipo o maquinaria. Polvo: Se maneja los materiales secos como cemento, arena, grava.
Emisiones	Co2 es uno de los principales aspectos de producción de cemento, para la construcción. Compuestos orgánicos volátiles (COV) se encarga de la producción de los paneles. Ruido: Generado por la maquinaria y procesos industriales.

Fuente: Autor

Figura 1: Procesos.



Fuente: Autor.

Descripción de la Figura 1

- Inicio

El proceso comienza con el bloque "INICIO", que da lugar a la etapa de mezcla.

- Materiales Principales

Cinco insumos son fundamentales para la fabricación del panel prefabricado: cemento, arena, grava, agua y refuerzos de acero. Cada uno de estos materiales es enviado al siguiente paso del proceso.

- Mezcla y Fabricación

Aquí se integran todos los materiales anteriores para producir el panel prefabricado. Este paso implica tanto el mezclado de los componentes como el moldeado del producto.

- Panel Prefabricado

Resultado del proceso de mezcla. El panel es el producto principal que se obtiene.

- Residuos

Parte del material puede no ser utilizado o generar residuos, los cuales se registran como subproducto del proceso.

4.4. Realizar la evaluación de impactos ambientales del ciclo de vida para paneles prefabricados

Impacto sobre el cambio climático (Emisiones de GEI): La principal fuente de emisiones es la producción de cemento, que genera entre 10 y 12 kg de CO₂ por metro cuadrado de panel fabricado. El transporte e instalación también contribuyen, pero en menor medida.

Consumo de recursos naturales: La producción de cemento, arena y grava es intensiva en la extracción de recursos naturales no renovables. El uso de materiales reciclados o aditivos más sostenibles puede reducir este impacto.

Consumo de energía primaria: La energía utilizada en la fabricación de los paneles proviene principalmente de fuentes no renovables, lo que aumenta el impacto ambiental. La adopción de energía renovable en las fábricas podría reducir significativamente este consumo.

Generación de residuos sólidos: Residuos de concreto y acero, así como restos de materiales aislantes. La correcta gestión y reciclaje de estos residuos puede minimizar el impacto ambiental.

Potencial de acidificación y eutrofización: Las emisiones de NO_x y SO_x durante la producción y transporte contribuyen a la acidificación del suelo y agua, además de afectar la calidad del aire.

Uso de agua: La producción de paneles consume grandes cantidades de agua para la mezcla y limpieza de equipos. La reutilización del agua o el uso de sistemas de captación de agua de lluvia puede mitigar este impacto.

Toxicidad humana y ecotoxicidad: Algunos aditivos y productos químicos utilizados en la fabricación de concreto pueden liberar compuestos que son nocivos para la salud humana y los ecosistemas. El manejo adecuado de estos productos es clave para reducir su impacto.

4.5. Estrategias de Mejora Basadas en el Modelo ACV

Uso de cemento con menor huella de carbono: Cementos alternativos con menores emisiones de CO₂, como el cemento de bajo carbono o el uso de sustitutos como las cenizas volantes o la escoria de alto horno.

Optimización del transporte: Uso de transporte de bajo impacto, como vehículos eléctricos o híbridos, y reducción de distancias mediante la ubicación estratégica de plantas de prefabricación cerca de los sitios de construcción.

Reciclaje de materiales: Fomentar el reciclaje del concreto y del acero para reducir la demanda de recursos vírgenes y disminuir los residuos sólidos.

Eficiencia energética: Implementar tecnologías de bajo consumo energético en las plantas de fabricación de paneles y aumentar el uso de energías renovables para reducir el consumo de combustibles fósiles.

Incorporación de materiales sostenibles: Utilizar materiales aislantes con menor impacto ambiental y preferir productos reciclados o renovables.

Tabla 24 *Categorías de impacto ambiental y estimaciones asociadas a los paneles prefabricados.*

Categoría de impacto	Cantidad estimada
Emisiones del CO2 (totales)	14-20 kg de CO2 por panel
Consumo de energía	20-30 kWh en producción
Consumo de agua	5-7 litros por panel
Residuos	0.5-2 kg de desperdicio sólido
Potencial de reciclaje	-80% concreto y 100% acero

Fuente: Autor.

4.6. Categorías Ambientales

Según su Naturaleza

- Positivos: Mejoran el entorno ambiental, como la reforestación o la mejora de la calidad del aire.
- Negativos: Dañan el medio ambiente, como la contaminación del agua o la deforestación.

Según su Magnitud

- Directos: Resultan de manera inmediata de una acción, como la emisión de gases por una fábrica.
- Indirectos: Se producen como consecuencia secundaria de una acción, por ejemplo, el aumento de tráfico debido a una nueva carretera.
- Cumulativos: Son el resultado acumulativo de múltiples acciones a lo largo del tiempo, como el cambio climático debido a emisiones prolongadas de CO₂. Se determina de acuerdo

al impacto como es la emisión del CO₂ los productos en este caso por panel está dentro del rango de 14-20kg que sería el soporte.

- Sinérgicos: Resultan de la interacción entre varios impactos, donde el efecto combinado es mayor que la suma de los efectos individuales.

Según su Duración

- Permanentes: No se pueden revertir, como la pérdida de un ecosistema debido a la urbanización.

- Temporales: Duran un tiempo limitado, por ejemplo, el ruido de una construcción que cesa al finalizar el proyecto.

- Reversibles: Pueden mitigarse o recuperarse, como la restauración de un área contaminada.

- Irreversibles: No pueden ser restaurados, como la extinción de una especie.

Según su Extensión Geográfica

- Locales: Afectan un área pequeña, como un río o un bosque específico.

- Regional: Impactan una región más amplia, como un estado o una provincia.

- Globales: Afectan el planeta entero, como el cambio climático o la capa de ozono.

Según su Afectación

- Biológicos: Impactan la flora y fauna, como la pérdida de biodiversidad.

- Físicos: Afectan el suelo, el aire, el agua o el clima. (Segovia, 2020)

- Socioeconómicos: Repercuten en las comunidades humanas, como el desplazamiento de poblaciones o el aumento del desempleo.

Según su Frecuencia

- Puntuales: Ocurren una sola vez, como un derrame químico accidental.

- Recurrentes: Se repiten periódicamente, como las emisiones de una planta industrial.

- Continuos: Persisten de manera constante, como la contaminación de un río por una descarga permanente.

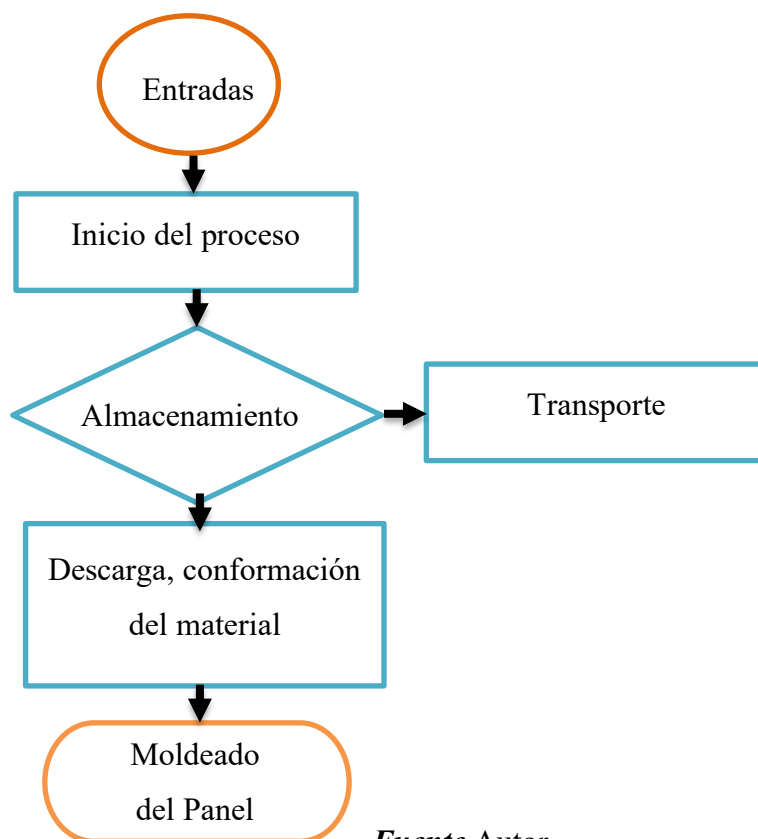
Según su Intensidad

- Leves: Impactan de manera mínima y son fácilmente manejables.
- Moderados: Tienen un impacto significativo pero manejable con esfuerzos razonables.
- Severos: Tienen efectos graves y requieren intervenciones importantes para mitigarlo

En el caso del consumo de la energía los kW deben ser considerados de 20-30 para la producción es decir que permita utilizar la energía, al ser de más kW puede ocasionar problemas energéticos. En cada panel se le estima que debe ser mínimo de 5 a 7 litros, ya que al ser de menor o mayor cantidad esto ocasionaría averías emergentes.

Los residuos considerados deben ser mínimos, por lo que comprenden 0.5-2kg y en el caso de los potenciales de reciclaje deben ser menos el 80% del concreto y si una base sólida del 100% de acero esto permitirá que los paneles sean de calidad.

Ilustración 5 Diagrama de flujo del proceso



Fuente Autor.

4.7. Definición del Objetivo y Alcance

El objetivo fue aplicar un modelo de ACV para evaluar el impacto ambiental de los paneles prefabricados, incluyendo todas las etapas desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto. Se excluyeron los impactos sociales y económicos, centrándose únicamente en los aspectos ambientales.

4.8. Inventario del Ciclo de Vida

Se recopiló información detallada sobre los recursos, energía, emisiones y residuos generados en cada etapa del ciclo de vida de los paneles prefabricados. Este inventario incluyó:

- **Extracción y procesamiento de materias primas:** Impactos asociados con la obtención de cemento, acero, madera y otros materiales.
- **Fabricación y transporte:** Consumo de energía y recursos, así como emisiones durante la fabricación y transporte de los paneles.
- **Instalación y uso:** Impactos ambientales durante la instalación en sitios de construcción y uso durante su vida útil.
- **Fin de vida útil:** Opciones de disposición final como reutilización, reciclaje o eliminación.

4.9. Evaluación de Impactos Ambientales

Los impactos ambientales se agruparon en categorías clave según la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC):

- **Calentamiento global:** Emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Consumo de recursos energéticos:** Energía utilizada en todas las etapas.
- **Reducción de capa de ozono:** Emisiones de sustancias que agotan la capa de ozono.
- **Eutrofización:** Contaminación de cuerpos de agua por nutrientes excesivos.
- **Acidificación:** Emisiones que causan acidez en suelos y cuerpos de agua.
- **Consumo de materias primas:** Cantidad de materiales utilizados.
- **Formación de oxidantes fotoquímicos:** Emisiones que contribuyen a la contaminación fotoquímica.

4.10. Interpretación de Resultados

Se identificaron varias oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de los paneles prefabricados:

- **Selección de materiales:** Utilización de materiales más sostenibles y reciclables.
- **Procesos de fabricación:** Optimización de procesos para reducir el consumo de energía y recursos.
- **Transporte y logística:** Minimización de emisiones mediante la optimización de rutas y modos de transporte.
- **Durabilidad y mantenimiento:** Mejora en la durabilidad de los paneles para reducir la necesidad de reemplazos y mantenimiento frecuente.
- **Fin de vida útil:** Promoción de estrategias de reutilización y reciclaje.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

El análisis de ACV revela que la mayor parte de los impactos ambientales se concentra en las etapas iniciales del ciclo de vida, específicamente en la producción de cemento, que es responsable de las mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente de dióxido de carbono (CO₂). La producción de cemento es un proceso intensivo en energía, y cada kilogramo de cemento produce aproximadamente 0.9 kg de CO₂. Debido a que el cemento constituye un componente clave en los paneles prefabricados, este sector es particularmente relevante en términos de huella de carbono. Además, la extracción de agregados (arena y grava) consume grandes cantidades de recursos naturales, lo que también genera impactos asociados a la degradación de suelos y afectación de ecosistemas locales.

Por otro lado, el uso de refuerzos de acero en los paneles también genera un impacto ambiental significativo. Aunque el acero es un material reciclable en un 100%, su producción inicial es muy intensiva en energía y está asociada con emisiones de GEI, particularmente en la minería y la fabricación del metal.

El transporte de materias primas y paneles genera impactos adicionales, aunque menores en comparación con la producción de cemento. Las emisiones generadas por el transporte dependen de la distancia entre la planta de fabricación y el lugar de instalación, así como del tipo de combustible utilizado por los vehículos, siendo los camiones diésel los más comunes en esta industria. La adopción de estrategias de transporte más eficientes podría reducir las emisiones de CO₂ y mejorar el perfil ambiental del ciclo de vida.

Durante la fase de uso del panel, los impactos ambientales tienden a ser bajos, especialmente si los paneles se diseñan para maximizar la eficiencia energética de los edificios. Los paneles prefabricados que incluyen aislamiento térmico o materiales innovadores pueden reducir significativamente el consumo energético de las edificaciones en las que se instalan, lo que resulta en una disminución de la huella de carbono operativa del edificio a lo largo de su vida útil. Esto es particularmente relevante en climas extremos, donde el aislamiento eficiente puede reducir la necesidad de calefacción o refrigeración, disminuyendo el consumo de combustibles fósiles y las emisiones asociadas.

Además, los paneles prefabricados suelen tener una vida útil prolongada, con una durabilidad que puede extenderse hasta 50 años o más. Esto implica que, una vez instalados, los paneles requieren poco mantenimiento, lo que minimiza la necesidad de recursos adicionales y la generación de residuos a lo largo del tiempo.

Al final de su ciclo de vida, los paneles prefabricados presentan un potencial significativo de reciclaje, particularmente en lo que respecta al concreto y al acero. El concreto, una vez triturado, puede reutilizarse como agregado reciclado en nuevas construcciones, lo que reduce la demanda de materiales vírgenes. Esto tiene un impacto positivo en la sostenibilidad del ciclo de vida, ya que disminuye la presión sobre los recursos naturales y reduce la cantidad de residuos enviados a vertederos. Sin embargo, uno de los desafíos en esta etapa es garantizar la eficiencia y disponibilidad de procesos de reciclaje adecuados, ya que en muchos casos los materiales terminan en vertederos, lo que genera impactos negativos adicionales, como el aumento del volumen de residuos sólidos y las emisiones relacionadas con el transporte de los mismos.

El reciclaje del acero es otro punto clave en la mitigación de los impactos ambientales de los paneles prefabricados, ya que es un material que puede ser recuperado y reutilizado prácticamente sin perder sus propiedades. Esto no solo reduce la demanda de nuevos materiales, sino que también contribuye a disminuir las emisiones y el consumo de energía asociados a la producción de acero nuevo.

Oportunidades de mejora

La implementación de mejoras a lo largo del ciclo de vida de los paneles prefabricados puede generar importantes beneficios ambientales. Una de las estrategias más efectivas es la optimización de la composición del concreto, utilizando cementos de bajo carbono o sustitutos del cemento, como cenizas volantes o escoria de alto horno, que pueden reducir significativamente las emisiones de CO₂ sin comprometer las propiedades del material.

Otra medida clave es la adopción de energías renovables en las fábricas de prefabricación, lo que permitiría reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir la huella de carbono del proceso de producción. Las tecnologías de eficiencia energética en las plantas también pueden contribuir a minimizar el consumo de energía durante la fabricación de los paneles.

En cuanto al transporte, la optimización de las rutas logísticas y la incorporación de vehículos más eficientes o incluso eléctricos, cuando sea posible, puede ayudar a mitigar las emisiones de GEI asociadas al traslado de los paneles desde la fábrica hasta el sitio de construcción. Asimismo, la instalación de plantas de prefabricación cercanas a las áreas de construcción reduciría el impacto ambiental relacionado con la logística.

Es decir, la evaluación de impactos ambientales del ciclo de vida para los paneles prefabricados muestra que los principales impactos están relacionados con la producción de cemento, el consumo de energía durante la fabricación y el transporte, así como la disposición de residuos al final de su vida útil. Sin embargo, existen numerosas oportunidades de mejora que pueden ser implementadas para reducir estos impactos, como el uso de materiales más sostenibles, la adopción de tecnologías energéticamente eficientes, y el fomento del reciclaje al final de la vida útil de los paneles. Al adoptar estas medidas, la industria de la construcción puede avanzar hacia un enfoque más sostenible, alineado con los objetivos globales de reducción de emisiones y preservación de los recursos naturales.

- **Recomendaciones**

- ✓ Implementar tecnologías y prácticas avanzadas en la fabricación de paneles prefabricados para reducir el consumo de energía y las emisiones durante esta fase.
- ✓ Incentivar el uso de materiales reciclados en la fabricación de paneles prefabricados para reducir los impactos ambientales y fomentar la economía circular en la industria de la construcción.
- ✓ Optimizar las rutas y modos de transporte para reducir las emisiones asociadas al traslado de paneles prefabricados desde la fábrica hasta el sitio de construcción.
- ✓ Ofrecer programas de capacitación para constructores y trabajadores en el manejo e instalación de paneles prefabricados, garantizando la eficiencia y la reducción de desperdicios en el sitio de construcción.
- ✓ Desarrollar y adoptar políticas y normativas que promuevan el uso de paneles prefabricados y otras tecnologías sostenibles en la construcción, facilitando su adopción.
- ✓ La fabricación de los paneles prefabricados involucra un consumo considerable de energía, especialmente durante la mezcla, curado y moldeo del concreto. Para reducir el impacto en esta etapa, se sugiere:
- ✓ Uso de energías renovables: Instalar paneles solares, turbinas eólicas o acceder a fuentes de energía limpia en las plantas de producción puede reducir la huella de carbono del proceso de fabricación. De esta manera, se minimiza la dependencia de combustibles fósiles y se promueve una transición hacia una energía más sostenible.
- ✓ Implementación de tecnologías de eficiencia energética: Es recomendable modernizar las instalaciones de producción con equipos más eficientes y sistemas de control automatizados para optimizar el uso de energía. Por ejemplo, el uso de

mezcladoras más eficientes y hornos de curado con menor consumo energético puede hacer una diferencia significativa en la reducción de la demanda de electricidad o combustibles.

- ✓ Mejoras en el curado del concreto: La introducción de métodos de curado acelerado mediante cámaras de vapor a baja presión o el uso de membranas de curado que reduzcan la evaporación del agua puede disminuir el tiempo y la energía requeridos para el endurecimiento del concreto, sin comprometer su calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad vega, L. M. (2022). Diseño de paneles prefabricados en tierra. *Ucuenca*, 12.
- Camas, R. (2020). Agotamiento de recursos naturales Ecuador. *Redalyc*, 16.
- Eduardo Herreras Aristi, H. B. (2023). Evaluación nacional e internacional del medioambiente por expertos. *Scielo*, 18.
- Granda, J. A. (2024). informe de cumplimiento del programa y presupuesto ambiental 2020 de la concesión minera. *San ignacio*, 17.
- Guapán, P. i. (2022). PROCESO DE PRODUCCION DE CEMENTO. *UCEM*, 15.
- Herrera, A. (2019). Los impactos ambientales como medio de protección. *Scielo*, 20.
- Hurtado, J. M. (2021). Los paneles en la Industria. *Redalyc*, 15.
- International Organization for Standardization. (2006). *International Organization for Standardization*. Obtenido de International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- International Organization for Standardization. (2006). *International Organization for Standardization*. Obtenido de International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>
- Jacome, M. (2019). El análisis de ciclo de vida (ACV), fundamental para el medio ambiente. *Redalyc*, 27.
- Jerez, J. S. (2020). Análisis de los ciclos de vida según el área ambiental considerando sistemas constructivos. *Scielo*, 13.
- Kella, R. J. (2020). Los panales prefabricados; Un caso . *Scielo*, 47.
- KNAUF INDUSTRIES. (14 de Febrero de 2023). Obtenido de KNAUF INDUSTRIES : <https://knauf-industries.es/analisis-ciclo-vida-acv/>
- Manuel Enrique Pasaca Mora, D. M. (2021). PROYECTO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE PANELES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE LOJA. *Unl*, 15.

- Manuel Gomez, J. S. (2020). Fundamentos ambientales . *La Rioja*, 17.
- María del carmen Velasco, M. A. (2021). Legislación Ambiental en Ecuador. *Dialnet*, 18.
- Naula, I. E. (2024). Concesión minera de san ignacio. 34.
- Nicanor Calle, M. Q. (2021). El medio ambiente y sus factores. *Medline*, 14.
- Novas, J. A. (2020). Sistemas prefabricados aplicables a la construcción ambiental. *Upm*, 62.
- Orellana Albán, S. T., & Coronel Sacoto, D. F. (2021). Análisis del ciclo de vida aplicado para la evaluación ambiental en la reutilización del pavimento rígido. Caso de estudio vía Cuenca-Girón-Santa Isabel. *Conciencia Digital*, 4(4.1), 131-151. doi:<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i4.1.1930>
- Ortiz, J. (2020). El análisis de ciclo de vida (ACV). *Scielo*, 15.
- Segovia, J. (2020). Categorías Ambientales . *Ambiental*, 15.
- Tania Patricia Alaña Castillo, L. B. (2019). DESARROLLO SOSTENIBLE Y EVOLUCIÓN DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL EN LAS MIPYMES DEL ECUADOR. *Scielo*, 19.
- Torres, L. (2020). Condiciones ambientales; en la sierra. *Redalyc*, 45.
- Trinidad Angamarca, J. P. (2023). El analisis del ciclo de sensibilidad y precision . *Redalyc*, 16.
- Vascones, A. M. (2022). Panles prefabricados ambiental. *Dialnet*, 8.
- Washter, S. D. (2019). Impactos solares, uso de los paneles prefabricados. *Scielo*, 74.

ANEXOS

Nivel de Probabilidad	Valor de NP	Significado
Muy alto (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continua. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alto (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces durante la vida laboral.
Medio (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
Bajo (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica, o situación sin anomalía destacable con cualquier nivel de exposición. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

Nivel de riesgo NR = NP x NC	Nivel de probabilidad (NP)					Nivel de riesgo	Valor del NR	Significado	Explicación
	40 - 24	20 - 10	8 - 6	4 - 2					
Nivel de consecuencias (NC)	100	I 4000 - 2400	I 2000 - 1000	I 800 - 600	III 400 - 200	I	4000 - 600	NO ACCEPTABLE	situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo este bajo control. intervención urgente.
	60	I 2400 - 1440	I 1200 - 600	II 480 - 360	II 240 III 120	II	500 - 150	NO ACCEPTABLE O ACCEPTABLE CON CONTROL ESPECÍFICO	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
	25	I 1000 - 600	II 500 - 250	II 200 - 150	III 100 - 50	III	120 - 40	MEJORABLE	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
	10	II 200	II 200	III 80	III 40	IV	20	ACCEPTABLE	Mantener las medidas de

		400 - 240	III 100	- 60	IV 20				control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo es aún aceptable.
--	--	-----------------	------------	---------	----------	--	--	--	--

Nivel de consecuencia	NC	Significado	
		Daños personales	
Mortal o catastrófico (M)	100	Muerte(s).	
Muy grave (MG)	60	Lesiones o enfermedades graves irreparables (incapacidad permanente, parcial o invalidez).	
Grave (G)	25	Lesiones o enfermedades con incapacidad laboral temporal (ILT).	
Leve (L)	10	Lesiones o enfermedades que no requieren incapacidad.	
Categoría del daño	Daño leve		Daño extremo
Salud	Molestias e irritación (ejemplo: dolor de cabeza); enfermedad		Enfermedades agudas o crónicas que generan enfermedad

	temporal que produce malestar (ejemplo: diarrea).	la audición; dermatitis; asma; desórdenes de las extremidades superiores.	permanente parcial, invalidez o muerte.
Seguridad	Lesiones superficiales; heridas de poca profundidad; contusiones; irritaciones de ojo por material particulado.	Laceraciones; heridas profundas; quemaduras de primer grado; contusiones graves; fractura de huesos cortos.	Lesiones que generan amputaciones; fracturas de huesos largos; trauma craneoencefálico; quemaduras de segundo y tercer grado; alteraciones graves de mano, columna vertebral, compromiso de órganos, oculares que comprometan el campo visual; disminuyen la capacidad auditiva.

Nivel de deficiencia	Valor de ND	Significado
Muy alto (MA)	10	Se ha(n) detectado peligro(s) que determinan(n) como posible la generación de incidentes, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula, no existe, o ambos.
Alto (A)	6	Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que puede(n) dar lugar a consecuencias significativas(s) o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es baja, o ambos.
Medio (M)	2	Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativas(s) o de menor importancia, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada, o ambos.
Bajo (B)	0	No se ha destacado anomalía destacable alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta, o ambos. El riesgo está controlado.

Niveles de probabilidad		Nivel de exposición			
Nivel de deficiencia (ND)	€ 10,00	MA - 40	MA - 30	A - 20	A - 10
	€ 6,00	MA - 24	A - 18	A - 12	M - 6
	€ 2,00	M - 8	M - 6	B - 4	B - 2