

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



Análisis del ciclo de vida de una vivienda unifamiliar de bambú

Tesis para obtener el título profesional de INGENIERA CIVIL

AUTORA

Guerra Jesús, Betsy Norma

ASESOR

Dr. Ramzy Francis Kahhat Abedrabbo

Lima, Octubre, 2021

RESUMEN

El 2015 se lleva a cabo un acuerdo internacional importante relacionado a las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero. En dicho acuerdo, el de París, se establecieron objetivos para fortalecer la respuesta mundial al inminente cambio climático. En respuesta a estos, países en vías de desarrollo como Perú vienen reformulando sus políticas medioambientales que incluyen la promoción de materiales sostenibles de bajo impacto ambiental, como el bambú. Si bien este material es usado en algunas partes del mundo, en el país existe investigación en curso para ser considerado un material de construcción de bajo impacto ambiental. Por ello, la presente investigación lleva a cabo el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la vivienda unifamiliar de bambú que propone el Instituto de Vivienda, Urbanismo y Construcción con la finalidad de medir los impactos ambientales que genere la vivienda en todo su ciclo de vida. El estudio, considera las etapas de pre-uso, uso y fin de vida en dos escenarios de vida útil: 25 y 50 años y, además, en caso del pre-uso, se incluye las siguientes fases: extracción de materias primas, manufactura y construcción. El desarrollo del ACV contempla las siguientes metodologías de evaluación de impacto ambiental: IPCC 2013, Cumulative Energy Demand y ReCiPe. Los resultados muestran que las etapas más importantes son el pre-uso y uso. Siendo que el pre-uso emite 123 kg CO₂ eq/m² o 16 ton CO₂ eq y tiene un consumo de energía de 3,250 MJ/m² o 430 GJ. De los cuales el bambú, dentro de la especialidad de estructuras, tiene una emisión de CO₂ eq del 7% y un consumo de energía del 5% de la especialidad. Finalmente, los resultados de la vivienda de bambú en comparación con resultados de la literatura, viviendas de bambú y viviendas de material convencional, presenta los menores impactos en las categorías de evaluación. Por ello, se recomienda el uso del bambú como material estructural de bajo impacto ambiental.

ABSTRACT

In 2015, an important international agreement related to the mitigation of anthropogenic greenhouse gas emissions was carried out. In this Paris agreement, objectives were established to strengthen the global response to climate change. In response to these, developing countries such as Peru have been rethinking their environmental policies that include promotion of sustainable materials with low environmental impact, such as bamboo. Although this material is used in some parts of the world, in Peru there is ongoing research to be considered as a construction material with low environmental impact. For this reason, this research carries out the Life Cycle Assessment (LCA) of the bamboo single-family house proposed by the Institute of Housing, Urbanism and Construction to measure the environmental impacts generated by the dwelling throughout its entire life cycle. The study considers the pre-use, use and end-of-life stages in two useful life scenarios: 25 and 50 years. In addition, in the case of the pre-use phase, the following stages are included: extraction of raw materials, manufacturing and construction. The development of the LCA includes the following environmental impact assessment methodologies: IPCC 2013, Cumulative Energy Demand and ReCiPe. The results show that the most important phases are pre-use and use. The pre-use phase emits 123 kg CO₂ eq / m² or 16 ton CO₂ eq and has an energy consumption of 3,250 MJ / m² or 430 GJ. Of which bamboo, within the structure's classification, has a CO₂ eq emission of 7% and an energy consumption of 5%. Finally, comparing the results from this study with results from the literature (i.e., bamboo houses and conventional material houses), bamboo houses present the lowest impacts in the assessed impact categories. For this reason, the use of bamboo is recommended as a structural material due to its low environmental impact.

Esta tesis la dedico a mis padres Joel Guerra y Norma Jesus, mis tíos Lourdes y Pedro, mis primos y mi familia que en todo momento me brindaron su apoyo.

A mi asesor, Ramzy Kahhat, por todo su apoyo, palabras de aliento y comprensión durante estos años de asesoría, a mis co-asesores Faouzi Jabrane y Yann Barnet por todo el apoyo y la comprensión brindados.

A mis mejores amigos Jorge, Diana, Alberto, Nayla y Anthony por su compañía y hacer de los momentos universitarios, recuerdos inolvidables. A Carlos Anthony Quispe, por su aporte en esta tesis.

Por último, a mi alma mater la Pontificia Universidad Católica del Perú, a mis profesores que contribuyeron en mi formación profesional y a las personas y organizaciones como el IVUC y Progreso, que colaboraron con el desarrollo de la tesis.

Muchas gracias

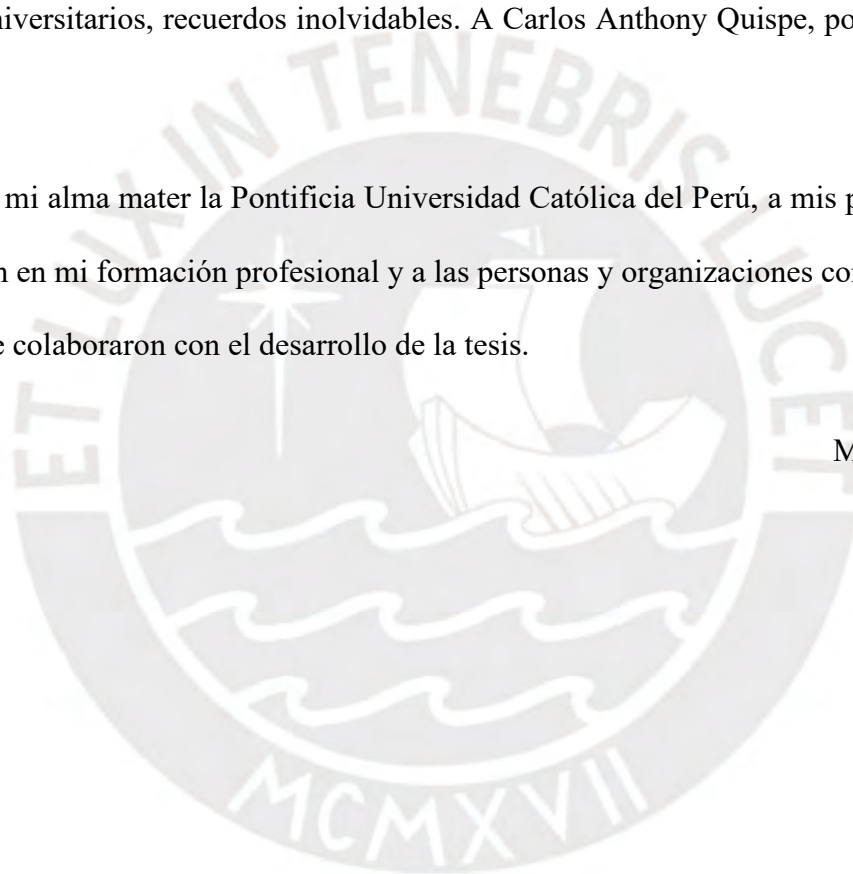


TABLA DE CONTENIDO

1.	CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Justificación.....	4
1.3.	Objetivos	4
1.3.1.	Objetivo general.....	4
1.3.2.	Objetivos específicos	4
2.	CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1.	Ámbito Internacional.....	5
2.1.1.	ACV del bambú como material de construcción	5
2.1.2.	ACV de los productos de bambú	7
2.1.3.	ACV de un prototipo de edificio con estructura de bambú	8
2.1.4.	Inventario del ciclo de vida del proceso de producción de bambú.....	10
2.1.5.	¿Construcción con bambú industrial o tradicional?.....	12
2.2.	Ámbito local.....	13
3.	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	15
3.1.	Análisis del ciclo de vida	15
3.1.1.	Objetivo y alcance	16
3.1.1.1.	Unidad funcional.....	16
3.1.1.2.	Sistema del producto y límite del sistema	17
3.1.2.	Inventario del ciclo de vida.....	20

3.1.2.1.	Adquisición de datos.....	22
3.1.2.2.	Modelado de la materia prima	22
3.1.2.2.1.	Cadena productiva del bambú.....	22
a)	Plantación y manejo	23
b)	Cosecha y transporte	24
c)	Perforación, preservación y secado.....	25
d)	Intervención de la mano de obra en todas las fases	27
3.1.2.3.	Construcción de la vivienda.....	30
3.1.2.3.1.	Cimentación y losas	30
3.1.2.3.2.	Habilitación y ensamblaje de piezas que conforman la estructura de la vivienda	32
3.1.2.3.3.	Cerramiento, acabados y carpintería	35
3.1.2.3.4.	Residuos de la construcción	36
3.1.2.4.	Uso de la vivienda.....	37
3.1.2.4.1.	Mantenimiento y reparación	38
3.1.2.5.	Fin de vida	39
3.1.3.	Análisis del impacto del ciclo de vida	40
3.1.3.1.	Calentamiento global	40
3.1.3.2.	Agotamiento de ozono estratosférico	41
3.1.3.3.	Acidificación.....	41
3.1.3.4.	Eutrofización.....	41

3.1.3.5.	Agotamiento de recursos	42
3.1.4.	Validación e interpretación de resultados	43
3.2.	Elección del software y base de datos a utilizar.....	43
3.3.	Matriz energética.....	44
4.	CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	45
4.1.	Evaluación del calentamiento global.....	45
4.1.1.	Pre-uso	45
4.1.2.	Producción del bambú	47
4.1.3.	Escenarios de análisis	48
4.2.	Evaluación de la energía primaria consumida.....	49
4.2.1.	Pre-uso de la vivienda.....	49
4.2.2.	Producción del bambú	50
4.2.3.	Escenarios de análisis	51
4.3.	Evaluación con la metodología ReCiPe.....	52
4.3.1.	Estructuras	52
4.3.2.	Escenarios de análisis	53
5.	CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
5.1.	Aspectos generales	56
5.1.1.	Consumo de energía primaria.....	56
5.1.2.	Calentamiento global	57
5.2.	Resultados de la metodología IPCC100a.....	57

5.2.1. Estructura de vivienda	57
5.2.2. Análisis de escenarios	59
5.2.3. Producción del bambú	64
5.3. Resultados del consumo de energía primaria	66
5.4. Resultados de la metodología ReCiPe	69
5.5. Uso de la metodología Traci 2.1	70
6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES	72
7. REFERENCIAS	77



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Características del lugar de plantación y producción del bambú.....	23
Tabla 3. 2. Lista de materiales e infraestructura correspondientes a la producción del bambú en Lalaquiz	28
Tabla 3. 3. Distancias de transporte y lugares de fabricación.....	30
Tabla 3. 4. Lista de materiales y equipos correspondientes a las zapatas y a la losa de la vivienda	31
Tabla 3. 5. Lista de materiales, equipos e infraestructura de la habitación y ensamblaje de las piezas correspondientes a la estructura de la vivienda.....	34
Tabla 3. 6. Lista de materiales correspondientes a la especialidad de Arquitectura.....	35
Tabla 3. 7. Composición de residuos de construcción usados en la vivienda.....	36
Tabla 3. 8. Lista de materiales correspondientes al mantenimiento de la vivienda.....	39
Tabla 3. 9. Lista de materiales correspondientes al fin de vida de la vivienda.....	39
Tabla 4. 1. Comparación entre especialidades de estructuras y arquitecturas	47
Tabla 4. 2. Comparación entre todas las etapas.....	49
Tabla 4. 3. Comparación entre todas las etapas.....	49
Tabla 4. 4. Consumo energético primario en todas las fases de producción del bambú.....	51
Tabla 4. 5. Consumo de energía primaria por etapa de vida, escenario 1.....	51
Tabla 4. 6. Consumo de energía primaria por etapa de vida, escenario 2.....	52
Tabla 4. 7. Tabla de comparación de categorías de impacto de los componentes de la estructura de la vivienda.....	52
Tabla 4. 8. Tabla de comparación de categorías de impacto por etapa de vivienda en 25 años .53	
Tabla 4. 9. Tabla de comparación de categorías de impacto por etapa de vivienda en 50 años .54	
Tabla 5. 1. Comparación del potencial de calentamiento global por metro cuadrado de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos	63
Tabla 5. 2. Comparación de potencial de calentamiento global de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos	64

Tabla 5. 3. Comparación de energía primaria de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos	67
Tabla 5. 4. Comparación de energía primaria consumida por unidad de vivienda entre la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos	69
Tabla 5. 5. Comparación de categorías de medio impacto de la etapa del pre-uso entre la vivienda de bambú y Cáceres Cebrecos	71



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Flujo de proceso de producción de un culmo de bambú	11
Figura 2. 2. Conector de extremidad de bambú.....	14
Figura 3. 1. Vigas I-Joist en el entrepiso de la estructura	18
Figura 3. 2. Estructura de la vivienda de bambú	18
Figura 3. 3. Procedimiento simplificado para el análisis del inventario	21
Figura 3. 4. Raíz del culmo de bambú luego de ser cortado.....	25
Figura 3. 5. Perforación de un culmo de bambú.....	25
Figura 3. 6. Transporte del bambú hacia la zona de preservado.....	26
Figura 3. 7. Poza de preservación con solución de sales y bambú sumergido en ella	26
Figura 3. 8. Corte de las vigas I-Joist con dimensiones requeridas e inserción de platinas metálicas ejecutadas por el IVUC.....	32
Figura 3. 9. Corte de las vigas bambú con dimensiones requeridas e inserción de las uniones en los extremos.....	33
Figura 3. 10. Conector de madera con pernos pasantes.....	33
Figura 3. 11. Montaje de la estructura de la vivienda.....	34
Figura 3. 12. Esquema de los elementos de la fase del AICV.....	40
Figura 3. 13. Fuentes de generación energética en el Perú.....	44
Figura 4. 1 Potencial de calentamiento global en la estructura.....	45
Figura 4. 2. Potencial de calentamiento global en la arquitectura	46
Figura 4. 3. Porcentaje de emisión de kg CO ₂ eq por etapa de producción del bambú.....	48
Figura 4. 4. Porcentaje de consumo de energía por etapas de estructura.....	50
Figura 5. 1. Distribución porcentual del potencial de calentamiento global de la estructura de la vivienda	58
Figura 5. 2. Comparación del índice de calentamiento global entre viviendas de bambú.....	59
Figura 5. 3. Comparación del índice de calentamiento global entre los escenarios 1 y 2.....	60

Figura 5. 4. Comparación en porcentaje del índice de calentamiento global entre los escenarios 1 y 2	60
Figura 5. 5. Comparación porcentual del potencial de calentamiento global de la vivienda de bambú y de García Torres (2014).....	62
Figura 5. 6. Comparación porcentual del potencial de calentamiento global por metro cuadrado de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos.....	63
Figura 5. 7. Comparación del potencial de calentamiento global de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos	64
Figura 5. 8. Comparación de energía primaria consumida de la vivienda de bambú y de García Torres.....	66
Figura 5. 9. Comparación porcentual de energía primaria consumida de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos.....	68
Figura 5. 10. Comparación de energía primaria consumida por unidad de vivienda entre la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos	69
Figura 5. 11. Comparación de las categorías de impacto relacionadas al uso de los materiales que conforman la estructura de la vivienda.....	70
Figura 5. 12. Comparación porcentual de categorías de medio impacto de la vivienda de bambú con Cáceres Cebrecos.....	71

1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Introducción

El cambio climático es el desafío ambiental del siglo XXI (UNDP, 2011) que las economías mundiales han decidido enfrentar y ello ha recaído en la mejora de las condiciones medio ambientales globales. Así, con el objetivo de lograr el cumplimiento de dichas condiciones, en el 2015 se lleva a cabo uno de los acuerdos más importantes relacionados a la gestión ambiental a nivel mundial: “El acuerdo de París”.

El acuerdo de París contó con la participación de 175 partes (174 países y la Unión Europea) alrededor del mundo (Unfccc.int, 2019), y entre ellos se estableció el objetivo de limitar el aumento de temperatura global a 1.5 grados Celsius, por lo que, la reducción de las emisiones al 2030 por parte de los países desarrollados y en vías de desarrollo es fundamental. En este contexto, dentro del marco local, las autoridades peruanas en conjunto con la Organización Internacional para el Bambú y Ratán (INBAR), vienen reformulando sus políticas medioambientales para la promoción de materiales sostenibles, y muestra satisfactoria de ello, es el lanzamiento del Plan Nacional de Promoción del Bambú y caña brava. El principal interés de este plan es el de generar beneficios ambientales, económicos y sociales mediante el uso de bambú, caña brava (Manual de sistematización de experiencias en Piura, 2017).

Por un lado, se encuentra el beneficio ambiental, debido a que el bambú es capaz de capturar y almacenar entre 16 y 128 toneladas de carbono/ hectárea (Huy & Than Long, 2019), siendo un poco más bajo que la madera, cuyo rango de captura de carbono varía entre 126-699 toneladas de carbono/hectárea (Van der Lugt et al., 2019). Aun así, estudios afirman que la

gran diferencia a favor del bambú se da en la etapa de cosecha, y esto es, debido a su rápido crecimiento.

Por otro lado, un adecuado uso del bambú puede contribuir en la mejora de los ingresos económicos de las naciones. Un claro ejemplo del adecuado uso del bambú es la industrialización de este en China, cuyo valor en términos monetarios ascendieron a los 35 mil millones de dólares americanos en lo que respecta al 2018 y, además, logró crear más de 8 millones de puestos de trabajo (CCICED & INBAR,2019). La experiencia del bambú en el sector industrial chino ha sido tomada como ejemplo en países en vías de desarrollo, como lo es Perú. El cuál, con el Plan Nacional de Promoción del uso del Bambú y de la Caña, ha contribuido en el desarrollo económico local de las regiones de Cajamarca, Junín y Piura, que al 2017 ya consta de 800 hectáreas aproximadamente de la especie *guadua angustifolia*.

En el departamento de Piura, muchos productores de cacao y café vieron en el bambú un producto rentable que podía desarrollarse en condiciones más agrestes que sus productos iniciales, eligiendo a la *guadua angustifolia* como alternativa de plantación. Otros, descubrieron que las plantaciones eran capaces de desarrollarse en tierras áridas en contacto con aguas provenientes de PETAR, es decir, que funcionaban como material de reforestación (Manual de sistematización de experiencias en Piura, 2017). Asimismo, en la provincia de Morropón se generaron puestos de trabajo que se vieron reflejados en la disminución de migraciones de jóvenes del campo a la ciudad, contribuyendo así con el sector socioeconómico y medioambiental.

Los productos de bambú que son ofrecidos en el mercado peruano son en su mayoría artículos de cocina, de uso personal, muebles y con poco alcance como material estructural de viviendas. La baja difusión de uso en este último aspecto se debe entre otras causas, como la falta de conocimiento constructivo, a la incertidumbre sobre la competencia de las

características del bambú, que, a la fecha, Sajad Hussain, (2013), a través de ensayos de tensión y compresión, demostró que el bambú es un material competente. Y, por su parte expertos en Perú, consolidaron la norma técnica peruana de bambú E100 demostrando el buen desempeño estructural de esta gramínea.

Por otro lado, en el contexto peruano, los materiales estructurales cumplen un rol fundamental como parte de una estructura sismorresistente y, por consiguiente, la implementación de estos debe garantizar un buen desempeño ante las ocurrencias de eventos sísmicos. Ante este escenario, se destaca la falta de daños estructurales de 20 viviendas de bambú en el epicentro de 7.5 grados en la escala de Richter en Costa Rica. A pesar, de los datos presentados, las investigaciones continúan su rigor debido a la necesidad de garantizar la funcionalidad y competencia del bambú como material alternativo en construcciones menores.

Como parte de las investigaciones para demostrar el buen comportamiento del bambú como material principal dentro de las viviendas, el Instituto de Vivienda, Urbanismo y Construcción (IVUC) de la Universidad de San Martín de Porres, ha desarrollado un prototipo de vivienda unifamiliar con bambú con conectores industrializados. El cual será analizado en toda la etapa de ciclo de vida con la finalidad de medir los impactos ambientales. Y, de esta forma se espera contribuir con el fortalecimiento del uso del bambú en el sector inmobiliario y pueda despegarse una industria sostenible del bambú.

1.2. Justificación

La búsqueda de la sostenibilidad en los proyectos de edificación actuales se debe a que, ante los actuales problemas medioambientales y la escasez de recursos primarios, es parte del deber ético de los profesionales de la ingeniería civil velar por el ambiente y la satisfacción adecuada de las necesidades del mercado inmobiliario actual y también por las necesidades de las demandas futuras. En este sentido, siendo que el actual mercado inmobiliario está incluyendo el uso del bambú en la construcción de viviendas, alegando sus bajos impactos en el medio ambiente. Resulta importante realizar un ACV para poder medir los impactos ambientales de una vivienda compuesta por el bambú como material de construcción.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El propósito de la presente investigación es evaluar e interpretar los impactos ambientales de un modelo de vivienda unifamiliar de bambú de dos pisos ubicada en la ciudad de Lima, mediante la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV).

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el Inventario del Ciclo de Vida (ICV) de una vivienda unifamiliar con bambú que considera también la producción del bambú
- Aplicar el Impacto del Ciclo de Vida (AICV) de la vivienda unifamiliar con bambú, determinando las categorías de impacto más importantes del proyecto.
- Interpretar los resultados obtenidos del ICV y del AICV de la vivienda unifamiliar con bambú.

2. CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. **Ámbito Internacional**

Las emisiones generadas por el uso de los materiales de construcción han despertado la preocupación de los países por el uso de materiales sostenibles y amigables con el medio ambiente. En este sentido, el empleo del bambú como material sostenible ha venido en incremento debido a sus propiedades mecánicas y a su rápido crecimiento, especialmente en zonas privilegiadas donde esta gramínea es abundante. Sin embargo, su uso ha traído consigo opiniones diferidas sobre el impacto ambiental del material, por lo que, especialistas en el uso de la herramienta del análisis del ciclo de vida han emprendido investigaciones sobre la cadena productiva del bambú y su uso en la construcción. Así a lo largo de los años se han desarrollado estudios de ACV que contemplan las distintas aplicaciones del bambú como materiales de construcción y a su vez, de materiales convencionales utilizados en la construcción (Van der Lugt et al., 2006).

2.1.1. **ACV del bambú como material de construcción**

Un primer estudio cuyo objetivo principal es demostrar la sostenibilidad del bambú mediante el uso de la herramienta del ACV, obtiene resultados que confirman su baja carga ambiental en sus cuatro aplicaciones: vigas transversales, columnas, barandas y vigas longitudinales, de la construcción temporal de un puente en Ámsterdam. En dicho estudio, Van der Lugt et al., (2006) comparan el ACV de una varilla de bambú de la especie *Guadua Angustifolia*, importado de Costa Rica y usado en Países bajos, con el concreto, madera y acero en las cuatro aplicaciones estructurales.

La evaluación del impacto ambiental fue realizada bajo el modelo TWIN2002, donde la unidad funcional del bambú está representada por la columna, viga y baranda del puente. Del

mismo modo, los materiales en comparación (concreto, madera y acero) fueron modelados con la función ejercida del bambú a excepción del concreto que fue considerado solo en las columnas. Con la elección de los materiales de acuerdo con los requerimientos técnicos, los resultados de la comparación entre los cuatro materiales presentan al bambú como el de menor carga ambiental, misma que se debe al siguiente corto proceso de producción: cosecha, preservación, transporte terrestre y transporte marítimo. A pesar de los bajos impactos del material en el medio ambiente los investigadores resaltan que existen retos producto del uso del material.

Van der Lugt et al., (2006) encierran estos retos en tres aspectos: (1) Forma, (2) Irregularidad y (3) falta de conocimiento de códigos de construcción con bambú. En primer lugar, la forma esférica dificulta la elección de las uniones por lo que algunos expertos encuentran que el bambú laminado es una gran alternativa, sin embargo, el laminado implica un aumento en la carga ambiental y en el costo. Por otro lado, la irregularidad es tratada con un adecuado control y manejo desde la plantación, control de calidad del material, o tratamientos térmicos que puedan ayudar a enderezar las varillas.

Con aspectos a tratar en el bambú rollizo, la idea de implementar el bambú laminado parece lidiar con los problemas del rollizo, pero la alternativa a pesar de ser considerada sostenible presenta un gran incremento de carga ambiental con respecto al bambú rollizo. Otro punto por resaltar, incluso siendo el uso del bambú una alternativa estructural de bajo costo, el corto tiempo de vida y sus altos costos laborales para realizar el montaje y desmontaje en la estructura, hacen que la mejor opción sea el acero. Por esta razón, el estudio concluye que si bien, el bambú consigue ser sostenible es exclusivo de las estructuras temporales o estructuras civiles.

Finalmente, el estudio hace un llamado a realizar futuros ACV con datos de otras especies de bambú, usos en otras construcciones y sobre todo en la innovación de las uniones del bambú, que a la fecha es una pieza clave en la inclusión del bambú en la construcción

2.1.2. ACV de los productos de bambú

El bambú presenta alrededor de 90 géneros y cerca de 1200 especies, de los cuales son 4 los géneros comúnmente usados para construcción. Uno de los géneros más comercializado en América Latina es la *Guadua*, cuya especie *Guadua Angustifolia Kunth* presenta una resistencia óptima que la convierte en la favorita de los constructores con bambú. Por su parte, el género *Phyllostachys* y su especie *Phyllostachys edulis* o más conocido como **Bambú Moso** se encuentra distribuido en las áreas de China cuyas aplicaciones van desde servir de base en la producción de comida hasta servir en la construcción. Este género, debido a la conservación de su estructura raíz luego del corte y su crecimiento acelerado, incluso en terrenos improductivos, permite al país asiático usarlo localmente y a su vez exportarlo a países europeos.

La alta demanda con aplicaciones en China y Europa motivó el estudio comparativo de ACV de los productos de bambú del género **Moso** y otras maderas, en Países Bajos. El ACV, desarrollado por Vogtländer et al., (2010), consideró la cadena productiva que presenta el siguiente proceso: plantación, primer procesamiento, procesamiento final, y el transporte vía marítima entre Shanghái y Rotterdam al almacén en Países bajos, además, del transporte terrestre entre fases. Este análisis, va desde “la cuna” a “la puerta” y presenta como unidad funcional, bajo la cual se calculó e interpretó los resultados, a una varilla de 5.3 metros de largo con un peso seco de 7.65 kg. En la fase de Análisis del Inventario del ciclo de vida, se resalta el efecto que produce la baja relación entre el peso/volumen del bambú en la carga ambiental generada por su transporte, porque su densidad de carga en barco es menor a 415 kg/m³. Este

límite de densidad ocasiona que la carga ambiental del transporte a considerarse debe estar en función del volumen y no en función del peso de la carga ni la distancia recorrida, como normalmente se considera.

El gran volumen de las varillas de bambú hace que su transporte tenga una representación del 89% de la carga ambiental total, reduciendo su competencia ambiental frente a las maderas de origen europeo. Esta característica volumétrica intrínseca al bambú rollizo hizo que Vogtländer et al., (2010), optaran por desarrollar el ACV del plybamboo, un panel de bambú laminado, que, a pesar de mejorar significativamente la eficiencia del volumen, el producto de bambú tan solo consiguió un mejor desempeño ante la madera azobé, pero no ante las maderas europeas.

Finalmente, el estudio concluyó que el transporte ejerce una gran influencia en la carga ambiental de los productos de bambú y se incrementa cuando se trata de largas distancias. Sin embargo, las varillas de bambú presentan el menor impacto ambiental cuando su uso en China, por lo que, su uso local es recomendado (Vogtländer et al., 2010).

2.1.3. ACV de un prototipo de edificio con estructura de bambú

Otra aplicación del bambú, en la industria de la construcción china, es su uso como componente estructural en un prototipo de edificio residencial. Como parte de las propuestas sostenibles en la construcción, el edificio fue analizado bajo el método de ACV para determinar las emisiones de CO₂ y la energía embebida en todas sus fases y a su vez, compararlos con los de una edificación a base de ladrillo y concreto. El estudio de ACV comprende las fases desde la extracción de materia prima, procesamiento de materiales, manufactura, transporte, uso y disposición final y reciclaje.

La investigación de Yu et al., (2011), mostró un consumo energético producto del transporte de materiales en camiones o trenes de 2.686 MJ/tonkm y 0.105 MJ/tonkm respectivamente, de los cuales, se supo que la obtención de energía consumida estuvo en función del peso y la distancia recorrida. Otra fase considerada pertenece a los residuos durante la construcción que corresponden a los restos de concreto, ladrillo, madera, vidrio, plástico que representa entre 10 y 20% del peso total del edificio que a su vez forma parte del impacto generado por su reciclaje.

Los residuos como parte de la demolición también fueron considerados fue entre 10 a 20 veces más por peso de residuos debido a las construcciones. Se resaltó la relación entre los residuos y el tipo de estructura y la técnica de demolición, porque entre la demolición usando herramientas manuales y el uso de equipo pesado para la demolición hay gran diferencia. En este caso, el estudio consideró una demolición manual y, además, consideró que los residuos de la estructura de bambú o madera pueden ser recuperados entre el 80 y 90% con biogás. Por otro lado, en el caso de la construcción en base a concreto y ladrillo, se consideró una recuperación total del acero, aluminio y en caso del concreto, se le puede otorgar un reúso de agregado para los cementos. Todo ello, fue evaluado y considerado como energía recuperada debido a la demolición y emisión total de CO₂ evitada

La comparación de ambas viviendas se dio bajo las mismas características funcionales de una vivienda, es decir, la misma área de piso y ratio de muros. Los resultados de la comparación de ambas estructuras mostraron que la construcción en base a concreto y ladrillo fue la mayor consumidora de energía y emisora de CO₂ con 3532.9 MJ/m² y 326.1 kg/CO₂/m², respectivamente. Mientras, que la vivienda de bambú emitió 3003.4 MJ/m² y 168.9 kg CO₂/m².

Adicionalmente, se muestra que las edificaciones de bambú poseen un gran potencial de uso de reciclaje de los residuos generados durante la etapa de construcción y de demolición ahorrando así aproximadamente un 50% de energía usada y casi un 70% de emisiones de CO₂. No obstante, se hace énfasis en que los resultados de dicha investigación dependen del nivel de gestión y tipo de tecnologías a usar en los procesos intermedios para la ejecución del proyecto.

2.1.4. Inventario del ciclo de vida del proceso de producción de bambú

En el 2015, se llevó a cabo el ACV de la producción de bambú rollizo tratado, especie *Dendrocalamus Asper*, por Jaramillo et al., (2015). La investigación fue llevada a cabo en Pichincha, Ecuador y contempló las fases que van desde el manejo del bambusal hasta su secado. A continuación, se describen los procesos de la producción de bambú rollizo y el inventario del ciclo de vida que fueron considerados para el desarrollo del ACV.

El primer proceso considerado, fue el manejo de la plantación, el cual consiste en el corte de las hiervas de menor dimensión que dificultan la extracción de los culmos de bambú. En este proceso, consideraron a las siguientes entradas: moto guadaña, motosierra, combustible y bambúes a cortar y como salidas a las emisiones producto del uso de combustibles, como parte del flujo del proceso. Luego, se prosiguió con la cosecha de los culmos, corte de los tallos del terreno, y la división de cada culmo en 3 partes, de 6 metros cada una. Con ello, se procedió al desarrollo de los datos a ingresar al ICV. En la figura 2.1, se puede observar las entradas y salidas del proceso, así como, el tipo de herramienta, tiempo de uso y combustible usado para ejecutar la acción.

Una vez finalizado el corte de los bambúes, estos eran transportados hasta el lugar de su posterior tratamiento. En el proceso de transporte, se consideró al camión y al combustible como entradas y a las emisiones del combustible, como salidas. Finalmente, la fase de

tratamiento engloba como entradas, al agua necesaria para la inmersión de los bambúes, y a los ácidos: bórico y bórax para la solución de preservación. Por otro lado, dentro de las salidas, no se consideró ningún material, debido a que el residuo generado por la solución fue despreciable

Del estudio, se obtuvo las emisiones finales de cada proceso desarrollado, evaluados en kg CO₂, valores que según los autores resultan ser de bajo impacto ambiental a excepción del transporte del bambú. En este sentido, Jaramillo et al., (2015) recomienda instalar centros de tratamiento para el bambú en zonas cercanas a las plantaciones. En cuanto a los residuos producto del corte de tallos, sugieren tomar precauciones a medida que el uso del bambú comience a ser industrializado. Debido a que el residuo de bambú contiene preservantes y a medida que vayan aumentando podría afectar las condiciones del suelo e incluso la salud de las personas.



Figura 2. 1. Flujo de proceso de producción de un culmo de bambú

Fuente: Adaptado de Jaramillo et al., (2015).

2.1.5. ¿Construcción con bambú industrial o tradicional?

El estudio reciente de Zea et al., (2018), llevado a cabo en Colombia, trata sobre el análisis del ciclo de vida de dos viviendas que contempla la extracción de materiales hasta su uso en construcción. La primera vivienda de 1 piso de 18 m² y la segunda, de 5 pisos de 1100 m² de área construida, denominadas SSH y MSB respectivamente, fueron modeladas con 4 materiales diferentes: ladrillo, bambú, bloque hueco de hormigón y bambú laminado con pegamento. Para el caso de la vivienda MSB, se realizó un modelo de ladrillo y uno, con bambú laminado.

La evaluación de la vivienda se realizó con la ayuda del software SimaPro v8, la base de datos Ecoinvent v3.0 y la metodología de evaluación, IPCC2013. Con ello, se obtuvo que los mayores impactos fueron generados por los edificios a base de ladrillo y hormigón con valores entre 150 y 230 kg CO₂ eq/m². Mientras que, las viviendas de bambú tradicional y bambú laminado con pegamento alcanzaron los 80 y 39 kg CO₂ eq/m², respectivamente. De esta manera, se concluyó que resulta más eficiente construir viviendas de bambú de varios pisos que solo de uno (Zea et al., 2018).

En el estudio también se compara el balance de CO₂ capturado, almacenado y emitido durante la producción de los materiales usados en la construcción y demuestra que los sistemas basados en bambú presentan emisiones negativas. Es decir, que estos sistemas podrían reducir los niveles de CO₂ en la atmósfera, en cuanto a la vivienda de bambú laminado, se observa que genera menor captación de CO₂ que la de bambú tradicional. Esto, puede deberse a que los sistemas constructivos industrializados presentan mayor demanda de energía frente a los tradicionales. Finalmente, Zea et al., (2018) concluye que usar el sistema constructivo en base a bambú resulta ser beneficioso debido a su bajo impacto ambiental y a su capacidad por almacenar CO₂.

2.2. **Ámbito local**

Ya desde una perspectiva más cercana al Perú, se tiene el estudio de Gonzáles (2012), quien analiza los potenciales impactos ambientales de muros de diversos materiales cuyo marco local fue la ciudad de San Luis de Potosí, Bolivia. Lo interesante resulta en que esta investigación analiza tanto muros de materiales convencionales, como son el ladrillo y los bloques de concreto y aquellos no convencionales, como es el adobe mecanizado. Este último, es definido como un adobe procesado en el que se emplean materiales de estabilización de origen material (cemento, cal) como vegetal (plantas aceitosas). Los resultados indicaron que la fabricación de ladrillos, comparado con las otras alternativas, genera mucho mayor impacto ambiental (especialmente la acidificación y eutrofización, y la respiración de inorgánicos). Con respecto a las juntas de construcción, las de mortero son las de mayor impacto ambiental (consumo de combustibles fósiles), mientras que, de los recubrimientos, el yeso es aquel con mayor impacto ambiental.

En todas las comparaciones realizadas en el estudio se encontró un patrón común: los materiales naturales resultaron ser los que menor potencial de impacto ambiental tuvieron. Sin embargo, debido al alcance del estudio, no se pudo analizar el desempeño estructural ante cargas sísmicas ni las capacidades de confort térmico ni costos en ninguno de los casos. Dentro del marco nacional, como parte del plan de incentivación de políticas verdes, y a favor de los ODS, la INBAR presentó al bambú como un material de construcción de uso idóneo y accesible para viviendas (Ministerio de Agricultura, 2010). Ya el 1 de julio del 2008 se aprueban los Planes Nacionales de Promoción de caña brava y bambú (NCE 2016, 2019) que se vienen aplicando en las construcciones de bambú en ciudades peruanas como Lima, Ica, Piura, entre otras y desde entonces se vienen construyendo prototipos de viviendas con fines investigativos.

En el año 2013 se construyó bajo los lineamientos de una construcción sostenible, un prototipo de casa de bambú en la costa, el cual ocupó el segundo puesto en la categoría Costa Tradicional del Concurso Nacional de Vivienda Social Construye para Crecer y en el 2015, se presentó un diseño de vivienda de dos pisos a construirse en la selva peruana (Ministerio de vivienda Construcción y saneamiento, 2015).

En la actualidad se cuenta con la investigación en curso de la vivienda de bambú diseñada y ejecutada por especialistas del IVUC, de acuerdo con los parámetros de las normas técnicas peruanas, E.060 Concreto Armado, E.100 Bambú y E.010 Madera. La cual consta de un diseño innovador en las uniones, y, a su vez, del uso de vigas I-Joist y tableros OSB importados, lo que permite mejorar las condiciones de funcionalidad y seguridad del modelo de estudio. El novedoso diseño de conexión presenta ventajas en cuanto a su implementación y retiro en comparación a las uniones tradicionales efectuadas con sogas o morteros, (ver figura 2.2). Y, si bien su costo es mayor, se encuentra compensado por el bajo costo de la mano de obra debido a la sencillez de su instalación (Barnet et al., 2020). Los componentes de la vivienda como los conectores ya vienen siendo estudiados desde el 2017 y por su lado, la inclusión y el estudio de las maderas de ingeniería, tableros OSB y vigas I-Joist, comenzaron en el 2019.



Figura 2. 2. Conector de extremidad de bambú
Fuente: Barnet & Jabrane., (2017).

3. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

Las definiciones y metodología usadas se basaron principalmente en las normas 14040 (ISO, 2006a) y 14044 (ISO, 2006b). De las cuales se sabe que un Análisis del Ciclo de Vida de un producto (ACV) es una compilación de entradas y salidas de un conjunto de fases consecutivas e interrelacionadas concernientes al sistema del producto de interés. El ACV incluye las etapas desde la adquisición y/o extracción de materia prima hasta la disposición final del producto para poder determinar el potencial de impacto ambiental que podría ocasionar la producción de este mismo.

3.1. Análisis del ciclo de vida

El análisis del ciclo de vida es una herramienta útil para poder tomar mejores decisiones al momento de elegir entre dos o más alternativas mediante una interpretación y comparación de resultados e identificar aquellos procesos, dentro de un sistema definido, que generarían mayor impacto ambiental (ISO, 2006b).

El desarrollo de un ACV se da principalmente en cuatro etapas. La primera, es la definición del objetivo y alcance, los cuales servirán como base para el desarrollo de las siguientes etapas. La segunda, es el inventario del ciclo de vida (ICV) en donde se contabilizan las entradas y salidas de todos los procesos definidos en el alcance del estudio. La tercera es el análisis del impacto del ciclo de vida (AICV), el cual consiste en la asignación de los resultados del ICV a categorías de impacto para poder calcular los impactos ambientales previamente definidos en el alcance del estudio. La cuarta y última es la interpretación, en donde se analiza la validez de los resultados del ICV y AICV y finalmente, se mencionan las conclusiones del estudio de acuerdo con estos (ISO, 2006b).

Asimismo, dentro de los tipos de ACV de acuerdo al sistema del producto de estudio, se diferenciaron tres: (1) De la cuna a la tumba, donde la cuna representa el lugar de origen del producto y la tumba representa la etapa final una vez que este cumpla su función; (2) de la cuna a la puerta, el cual es usado cuando las etapas de interés comprenden desde el origen hasta la salida del producto al mercado (por ejemplo, para una compañía que le interesa el impacto que involucraría la generación de un producto) y (3) de la cuna a la cuna, el cual extiende el análisis hasta la etapa de retorno del producto a etapas previas (Matthews et al., 2014).

En el presente estudio, el ACV usado fue del tipo de la cuna a la tumba debido a que el producto analizado (vivienda unifamiliar), una vez que cumple su función no retorna a una etapa previa. Si bien es cierto que algunos materiales sí gozan de dicha posibilidad, en este caso el retorno no se da hacia un mismo sistema del producto, sino a uno diferente. Por ejemplo, un tallo de bambú que sirve de columna en una vivienda, una vez se deteriora, no puede volver a usarse en su función estructural nuevamente, pero si puede ser usado como fuente de energía; sin embargo, en este caso no se considera dicho uso.

3.1.1. Objetivo y alcance

La elaboración del alcance debe facilitar su entendimiento considerando que la información es de índole cuantitativa y cualitativa, con esta finalidad los parámetros clave usados en la investigación son la unidad funcional, el sistema del producto y los límites del sistema de acuerdo con Matthews et al., (2014).

3.1.1.1. Unidad funcional

Es una cantidad medible y expresada en unidades específicas que se relaciona estrechamente con la función que desempeña el producto elegido y que sirve como unidad de referencia para las posteriores etapas de la investigación (tanto el ICV, como el AICV y la

interpretación de resultados). La unidad funcional de la vivienda de bambú es 1m² de área construida. Sin embargo, dada la diversidad de procesos en el ciclo de vida de la vivienda también se usó como unidad funcional de la producción del bambú a una vara de bambú de 6 metros de longitud, 11 cm de diámetro en la parte superior y 10 cm, en la inferior con un peso de 11.68 kg.

3.1.1.2. Sistema del producto y límite del sistema

Detrás del producto sobre el cual se realiza el estudio y de la función que este cumple, durante su ciclo de vida, existe un sistema complejo conocido como sistema del producto conformado por una serie de flujos y procesos que se interrelacionan y guardan cierta continuidad (González, 2012). Entiéndase por flujo como las entradas y salidas de un proceso. Dichos flujos se pueden clasificar dependiendo de su origen y/o destino en el sistema del producto. Si este relaciona un proceso del sistema del producto con otro ajeno a este del mismo modo que el caso anterior, se denomina flujo del producto (ISO, 2006b). Por otro lado, los procesos son un conjunto de actividades interrelacionadas que transforman entradas en salidas. Dentro de estos, se denominan procesos unitarios a los elementos mínimos a considerar en el ICV que realicen dicha función (ISO, 2006a).

Es importante definir adecuadamente los flujos y procesos del sistema del producto para poder representar claramente lo mencionado en el objetivo y alcance. Por ello, estos son elegidos de acuerdo con la función que desempeña el producto mediante los límites del sistema. Así también, el nivel de especificidad de los procesos unitarios concernientes a este, juega un rol muy importante dentro del ACV. De otro modo, el estudio podría tornarse extenso o de lo contrario, presentaría resultados de poco impacto aplicativo (Matthews et al., 2014).

El sistema del producto en estudio corresponde a una vivienda diseñada y ejecutada por el IVUC que combina aspectos de una vivienda tradicional con innovaciones tecnológicas. La

vivienda dispone de 132.6 m² de área construida y consta de 2 dormitorios, 2 baños, una cocina y una sala. La estructura está constituida principalmente por los siguientes materiales: bambú, concreto, maderas de ingeniería y uniones de extremidades del bambú. La vivienda, además, incluye maderas de ingeniería (vigas I-Joist) y tableros OSB que forman parte de la estructura del entrepiso, ambas importadas desde Chile. La Figura 3.1 muestra el uso de las vigas I-Joist y la Figura 3.2, la estructura de la vivienda en la cual se puede observar el uso del tablero OSB que recubre las vigas I-Joist en el entrepiso.

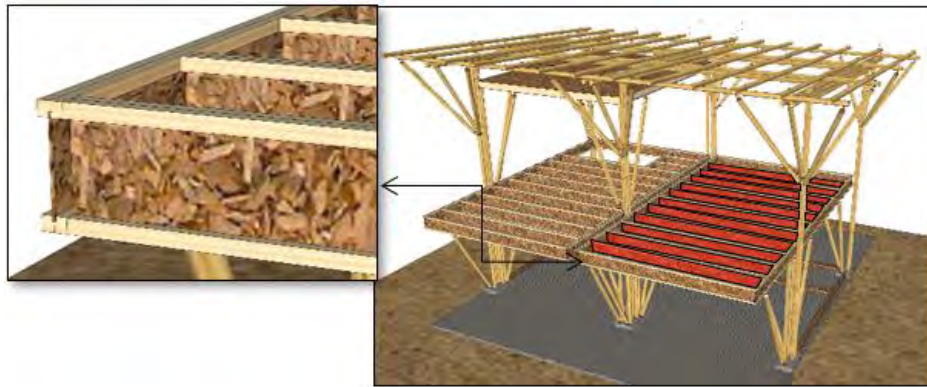


Figura 3. 1. Vigas I-Joist en el entrepiso de la estructura

Fuente: Barnet & Jabrane, (2020).

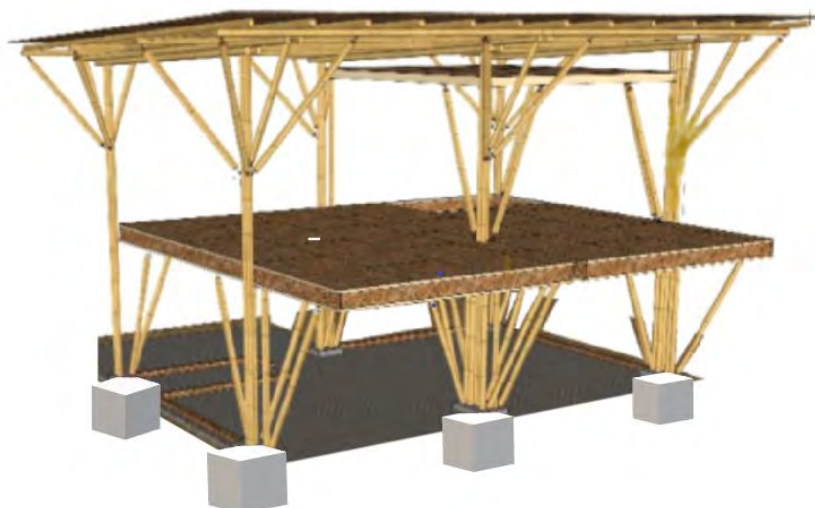


Figura 3. 2. Estructura de la vivienda de bambú

Fuente: Barnet & Jabrane, (2020).

El ACV de la vivienda comprende las etapas de pre-uso, uso y fin de vida. En primer lugar, el pre-uso está gobernado por la extracción de materias primas, transporte de materiales, manufactura, y todos los equipos, materiales y transporte relacionados al proceso de construcción, además de los residuos sólidos hacia la tecnosfera. En esta etapa, a pesar de que la vivienda está compuesta por distintos materiales, entre ellos, el bambú, madera de ingeniería, vigas I-Joist, entre otros, el estudio contempla con mayor énfasis los correspondientes al bambú, debido a su uso en la especialidad de estructuras. Por ello, la vivienda consta de un ICV que contempla todas las etapas de la vivienda y otro enfocado a la producción del bambú.

En segundo lugar, la etapa de uso está gobernada por el consumo de energía y agua, así como, del mantenimiento de elementos dañados. Para ello, se ha considerado el consumo de energía eléctrica obtenida de la “Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía” elaborado por Vásquez et al., (2017) y el consumo de agua otorgada por Sedapal (2017). Así, la vivienda presenta un consumo de 200 KWh/mes y 9.09 m³/mes de energía y agua respectivamente. Por último, la etapa de fin de vida considera el transporte de los materiales del lugar de construcción al de disposición final que, en este caso, se consideró al relleno sanitario modelo del Callao. Sin embargo, la presente investigación no considera el tratamiento de los residuos en el relleno sanitario debido a su complejidad, ni al reúso de las piezas

Asimismo, la investigación considera como parte de los límites del sistema los procesos que van desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final de la vivienda. Además, al ser el bambú de gran relevancia en el sistema, se enfatizó en los procesos que incluyen su producción. La producción del bambú contempla los siguientes aspectos: plantación de los bambúes, manejo del terreno de cultivo, extracción, preservación y secado. De la misma forma, se consideró el uso de materiales, equipos e infraestructura relacionada a la cadena productiva. Los siguientes procesos incluyeron el transporte de carga desde el sitio

de cultivo hasta el lugar de preservación y, posteriormente, hasta la ubicación de la construcción. El flujo del sistema de producción se puede observar dentro de los límites del sistema en el *Anexo A*.

El sistema de producción de bambú incluye las entradas de energía, materiales, mano de obra y las salidas en forma de residuos y emisiones hacia la tecnosfera y atmósfera. Los valores considerados durante todas las etapas implicadas en el uso de mano de obra se modelaron como emisiones producto del uso del transporte que utilizan las personas para poder desplazarse al lugar de producción.

Por otro lado, los límites de la vivienda de bambú comprenden los procesos de la manufactura de los materiales para su posterior uso en construcción y el transporte de los residuos una vez que llegan al final de su vida útil. En este proceso, se ha considerado las siguientes entradas: (1) agua, (2) energía, (3) combustible fósil, (4) materia prima, (5) transporte de materiales, (6) equipos e (7) infraestructura. La etapa de uso de la vivienda considera dos escenarios de análisis que varían en el tiempo de vida útil, uno de 25 años y el otro de 50 años, ambos, incluyen el consumo de agua y energía y el mantenimiento de piezas de bambú. Por último, el fin de vida solo considera el uso del transporte al relleno sanitario por lo que, solo fue modelado este proceso.

3.1.2. Inventario del ciclo de vida

El inventario del ciclo de vida (ICV) según Vaskan et al., (2017): “Es aquella etapa que involucra la creación de un inventario de flujos (tanto entradas como salidas) del sistema del producto definido en los objetivos y alcances del estudio” (p. 129). Para el adecuado desarrollo del presente acápite, se hizo un exhaustivo análisis de las entradas y salidas de cada proceso unitario. Cabe mencionar que, durante esta etapa se debe tener suma precaución en no realizar un conteo doble de entradas y/o salidas. Dicho error se puede cometer debido a la compleja

interrelación entre procesos unitarios. Sumado a esto, gran parte de la recolección de datos ya está previamente establecida y ligada a incertidumbres locales y propias del estudio de donde se reportaron o de las referencias de las cuales los publicaron.

Para evitar ello, la norma 14044 (ISO, 2006b) sugiere la adopción de las medidas descritas a continuación: realización de un flujo del proceso en donde sea distinguible el proceso unitario, así como sus interrelaciones; descripción de cada proceso unitario y de los factores que intervienen en las entradas y salidas; listado del flujo y datos relevantes asociados a cada proceso unitario; listado donde se especifique las unidades usadas; descripción de la recolección de datos y, finalmente, instrucciones que detallan cada caso especial, irregularidades u otros puntos asociados con los datos emitidos. En la Figura 3.3, se puede distinguir un procedimiento simplificado para el análisis del inventario, el cual resume las etapas a ser consideradas dentro del ACV, que van desde la definición del objetivo y el alcance hasta la ejecución del inventario.

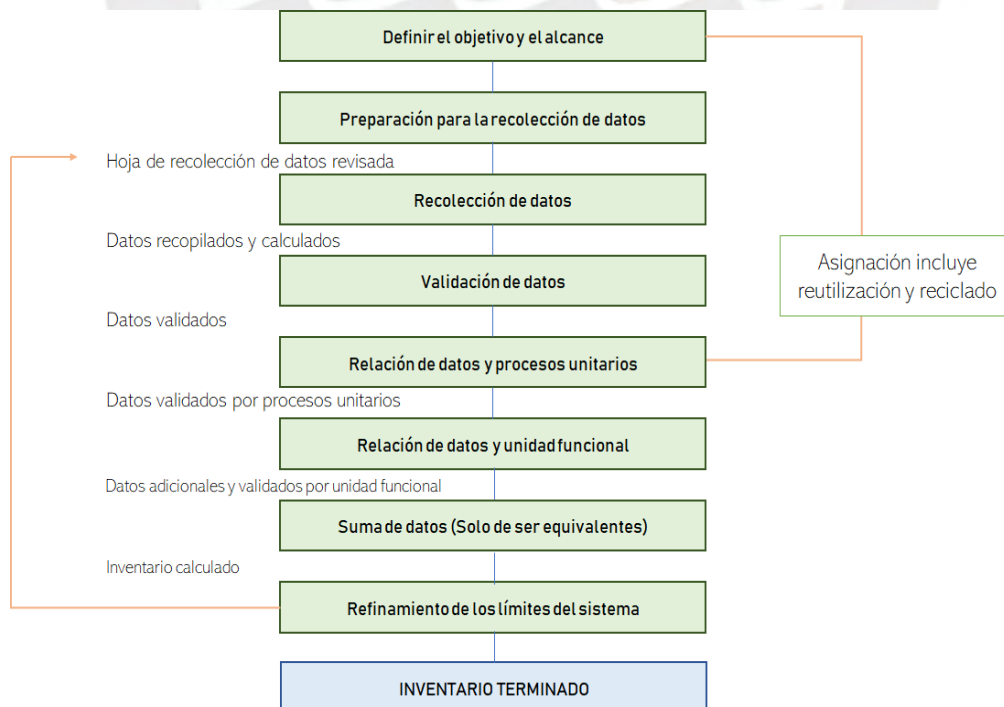


Figura 3. 3. Procedimiento simplificado para el análisis del inventario

Fuente: Adaptado de ISO, 2006a.

3.1.2.1. Adquisición de datos

El estudio comienza, en primera instancia, con la preparación para la recolección de datos teniendo en cuenta que la mayoría de los datos se pueden clasificar en entradas que pueden ser de energía y materia prima; productos, coproductos y residuos y emisiones al medio ambiente (aire, agua, etc). La información utilizada fue resultado de dos entrevistas a especialistas en bambú involucrados en las fases tanto de producción de bambú como de construcción de la vivienda, además de la data recolectada en las visitas a campo.

En primera instancia, se elaboró un cuestionario que resume los datos más importantes sobre el proceso de producción de un tallo tratado y listo para la venta (*ver Anexo B*). Además, se hizo uso de la base de datos de Ecoinvent v3.3. y se añadió información extra de la literatura. Finalmente, todos los datos fueron modelados en el Software SimaPro 8.5 con el uso de la base de datos Ecoinvent v3.3.

3.1.2.2. Modelado de la materia prima

El estudio contempla la extracción de las materias primas necesarias para la construcción de la vivienda. En caso del bambú, se realizó el trabajo de campo para poder entender su cadena productiva y gracias a ello se pudo obtener el ICV.

3.1.2.2.1. Cadena productiva del bambú

El estudio de la cadena productiva del bambú fue realizado en el distrito de Lalaquiz, situado a 5 horas de la ciudad de Piura. En él se extrajo información tomada de campo y de las experiencias de la ONG Progreso, la Asociación de productores de bambú y de productores independientes que fueron resumidos en el cuestionario del *Anexo B*. La información recolectada fue primordial en la elaboración del ICV de la producción del bambú y, gracias a

ello, el ICV contempla los siguientes procesos: (1) Plantación, (2) Manejo, (3) Cosecha, (5) Transporte, (6) Perforación, (7) Preservación y (8) Secado.

Los procesos considerados fueron llevados a cabo en una parcela de 3.5 hectáreas de un producto. La tabla 3.1 muestra las características más importantes del lugar de producción.

Tabla 3. 1. Características del lugar de plantación y producción del bambú

Descripción	Unidad	Cantidad
Área del terreno	há	3.5
Densidad de bambúes	und/ha	4000
Infraestructura de canal de riego	M	500
Número de trabajadores por día	und	1

a) Plantación y manejo

La producción del bambú inicia desde la plantación de los pastos y para ello, los productores deben elegir un método adecuado de cultivo. A la actualidad se cuenta con métodos de cultivo, como el del “rizoma” o el de los “chusquines” y su elección varía de acuerdo con las exigencias de los productores. En la parcela en estudio se usaron 40 cabezas o rizomas de bambú para la propagación de aproximadamente 14,000 bambúes en 16 años.

El bambú a pesar de que no necesita mucha atención en cuanto al manejo como el café, es una gramínea que consume mucha agua y en especial durante su primer año de vida, por ello, el manejo de las plantaciones está representado principalmente por el riego de las cañas. Una caña necesita ser regada con aproximadamente 1000 litros de agua cada 20 días durante su primer año de crecimiento y cada 2 meses en los años siguientes, el riego es realizado cuando las épocas de lluvia finalizan, es decir, durante los meses de mayo a noviembre. Por otro lado, el riego es posible gracias a la existencia de unas nacientes de agua a 0.5 km de las plantaciones,

las cuales son tomadas y distribuidas por un canal de riego de aproximadamente 0.5 km de longitud y con sección rectangular de dimensiones de 50 cm de ancho, 60 cm de profundidad y 10 cm de espesor.

Otro proceso que forma parte del manejo es el corte de las malezas que crecen alrededor del bambú. Sin embargo, este se lleva solo cuando han crecido e impiden el desarrollo del bambú, por ello, no fue posible hacer una estimación adecuada de la cantidad y la frecuencia del corte, además de que los residuos son dejados en el terreno de producción. En este sentido, el ICV no considera los residuos de las malezas.

b) Cosecha y transporte

La cosecha se realiza a los 3 años de vida en la primera brotación y al año y medio en el segundo brote. En esta etapa, se realiza el corte de los culmos a una altura de medio metro a partir de la base y se refina el corte de los tallos a nivel de la base para que no almacenen el agua de lluvias y pueda nacer un nuevo tallo. Luego, se corta las puntas y ramas del culmo dejando a la raíz como se muestra en la figura 3.6. Por otra parte, el bambú es cortado a los 3 años de vida y que durante ese tiempo consume recursos. Finalmente, se consideró al machete como herramienta para la extracción de los culmos y los restos producto del corte no fueron contabilizados, debido a que son dejados en el terreno como abono natural de las plantas.

El transporte en el Perú está regido por los vehículos de carga que pueden ser clasificados de acuerdo con su peso bruto vehicular. En el desarrollo de los procesos se ha considerado un vehículo rígido mediano cuyo peso bruto vehicular varía entre 3.5 ton a 12 ton, peso correspondiente a un vehículo mediano. Por ello, de acuerdo con la base de datos, el transporte empleado desde el terreno de cultivo hasta la zona de preservado le corresponde al uso de un camión de 3.5 a 7.5 toneladas de la categoría Euro 3. Mientras que desde la zona de preservado

hasta la de construcción, sin pasar por distribuidores intermediarios, se ha considerado un camión de 7.5 a 16 toneladas (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2015).



Figura 3. 4. Raíz del culmo de bambú luego de ser cortado

c) Perforación, preservación y secado

El bambú requiere de una previa perforación en el centro, debido a que, en la etapa de tratamiento la solución química debe entrar en contacto con el interior del bambú. El procedimiento consiste en el lanzamiento de una varilla de acero de forma que perfora al bambú en el centro (ver figura 3.7). Para ello, los productores disponen de una parte de la infraestructura correspondiente a un depósito de la municipalidad distrital de Lalaquiz y en él se observa el poco espacio que se necesita para poder desarrollar dicha actividad. Las emisiones de los materiales desechados producto de la perforación no se tuvieron en cuenta en el ICV debido a que son mínimos y son dejados en el terreno destinado a la perforación.



Figura 3. 5. Perforación de un culmo de bambú

Después del perforado, el bambú es llevado a la poza de preservación que se encuentra a pocos metros del lugar de perforación y por ello, el bambú es trasladado por los trabajadores sin necesidad del uso de un vehículo (ver figura 3.6). Luego, las cañas de bambú son sumergidas en una poza de dimensiones de 8.7 m de largo, 1.7 m de ancho y 1.35 m de profundidad que contiene una solución compuesta de agua, ácido bórico y bórax en una relación de 94:3:3. La figura 3.7 muestra la poza con la solución de sales y las cañas de bambú sumergidas en ella, las cuales son dejadas durante 4 días y se estima que después de 8 usos la solución es desechada.



Figura 3. 6. Transporte del bambú hacia la zona de preservado



Figura 3. 7. Poza de preservación con solución de sales y bambú sumergido en ella

Finalmente, las cañas son llevadas al lugar de secado, cuya infraestructura consta de 24 cañas sin tratamiento y una plancha de aluminio y se encuentra al costado de la poza de preservación y allí se espera que los culmos queden completamente secos para su distribución.

d) Intervención de la mano de obra en todas las fases

Debido a que el ICV engloba la mano de obra, los procesos fueron desarrollados considerando a la intervención de la mano de obra en el uso del transporte para su movilización al lugar de trabajo. Esta inicia con el proceso de plantación, en este sentido, no se tuvo en cuenta su intervención en el manejo del cultivo, debido a su complejidad y falta de datos, ya que, el proceso es realizado por turnos que organizan los mismos productores. Sin embargo, se desconoce la distancia recorrida de los productores hasta el lugar de riego y su frecuencia, por ello, no fue considerado en el modelado, lo cual contribuye a un aumento en la incertidumbre de los datos obtenidos.

En cuanto al resto de procesos, el personal contratado cumple un jornal de 8 horas diarias para poder cumplir con la cadena de producción y para lograrlo, los trabajadores se trasladan en moto aproximadamente 20 km desde su hogar hasta el sitio de producción. A continuación, se detallará el proceso y la duración empleados por el personal bajo la denominación de “peón”.

El proceso inicia con la cosecha del bambú, en el cual, un peón debe cortar aproximadamente 20 tallos de bambú en el primer día con un jornal de 8 horas. En el segundo día, se realiza el traslado del bambú y para ello un peón debe transportar 50 tallos en promedio, desde la zona de cultivo hacia la carretera con distancias de 10 minutos a pie en promedio. Luego, el material es transportado, mediante un camión, una distancia aproximada de 20 km a la poza de preservación y el mismo peón descarga los 50 tallos. En el tercer día, un peón perfora hasta 26 varas y luego las lleva a la poza de preservación, los días siguientes el bambú se mantiene sumergido y finalmente, al noveno día, un peón lleva el bambú a la zona de secado con una duración de medio jornal.

Con la intervención de la mano de obra en los procesos se concluye la producción de un culmo de bambú y el listado de materiales correspondientes a la producción del bambú que

resume todos los procesos se muestra en la tabla 3.2 y en el *Anexo C*, la infraestructura correspondiente.

Tabla 3. 2. Lista de materiales e infraestructura correspondientes a la producción del bambú en Lalaquiz

Partida	Item	Descripción	Und	Base de datos	Cant. unitaria	Und
BAMBÚ	Plantación	Raíces de bambú	P	Wood agricultura	0.028	und
	Manejo	Área de cultivo	hta	Occupation, heterogeneous, agricultural	75	m ² a
		Riego	Und	Water, unspecified natural origin, PE	17,834	Kg
				Canal de riego (*)	0.00016	und
	Cosecha	Corte de bambú	Min	Power sawing	10	min
	Transporte	Del área de transporte al área de preservación	Tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5	0.21	tkm
	Perforación	Perforado del bambú	Und	Steel, low alloyed	0.00002	Kg
				Zona de perforado	0.00001	und
	Preservación	Insumos para el preservado	Kg	Tap water	14.75	Kg
				Borax	0.471	Kg
				Acid boric	0.471	Kg
				Poza (*)	3.37E-06	und
	Secado	Secado del bambú	Kg	Zona de secado (*)	2.74E-07	und
Transporte	De la zona de preservación a la construcción	Tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16	12.85	tkm	

(*) Ver Anexo c. Infraestructura correspondiente a la producción del bambú

El modelado de la vivienda incluye la extracción de la materia prima y su distribución hasta el lugar de construcción, así como las herramientas y maquinarias usadas en el proceso constructivo. En este sentido, el rol que desempeña el transporte es imprescindible y en procesos como la producción del bambú, el más representativo en cuanto al impacto ambiental.

El transporte se ha considerado desde la fábrica hasta el lugar de construcción, es decir, no se ha considerado el paso de la distribución por medio de intermediarios, para este fin, el medio de transporte usado es un camión de 7.5 a 16 toneladas. Asimismo, la entrada manual

de las distancias se tuvo en cuenta para los materiales más representativos dentro de la composición de la vivienda, que son los siguientes: cemento, agregados, acero, madera y bambú, los mismos que corresponden a la especialidad de estructuras. Mientras que, para motivos de los materiales con referencia a la especialidad de Arquitectura, se ha considerado la base de datos de Ecoinvent v3.3.

Las vigas I joist, tableros y paneles OSB y las vigas de pino son materiales importados desde Chile. Por lo que, se ha asumido que estos materiales pertenecen a la misma industria maderera en Lautearo (Chile), localizada a 766 km del puerto de Valparaíso (Chile), puerto desde el cual se realiza el transporte a Perú. Este último, dista de 2437 km del puerto del Callao (Perú), en el cual se desembarca los materiales para ser llevados al lugar de construcción (30.7 km).

Por otro lado, el cemento, los agregados y el acero son usados para la elaboración de la mezcla de concreto correspondiente a las zapatas y a la losa de la vivienda. La compañía cementera dista de 36.7 km del lugar de construcción, la industria de los agregados, de 26.4 km y la compañía de acero de 231 km, por su lado, la madera se obtiene a 792 km del lugar de producción y el bambú a 1100 km del sitio de construcción. Todas las materias primas que intervienen en el proceso de producción de los materiales listados, a excepción del bambú, fueron obtenidos de la base de datos Ecoinvent v3.3. Por último, la tabla 3.3 resume las distancias de transporte y los lugares desde donde los materiales son distribuidos.

Tabla 3. 3. Distancias de transporte y lugares de fabricación

Material	Lugar	Base de datos	Km
Acero	Paracas - Ica, en el Km. 241 de la Panamericana Sur	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro3 {RoW} market for APOS, U	231
Cemento	Planta Atocongo		36.7
Arena	Cajamarquilla – Lurigancho (Chosica)		26.4
Grava	Cajamarquilla – Lurigancho (Chosica)		26.4
Madera	Maderas laminadas Pucallpa		792
Pino	Lp (Chile)	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro3 {RoW} market for APOS, U	766
		Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for APOS, U	30.7
Osib	Lp (Chile)	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for APOS, U	2437
		Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro3 {RoW} market for APOS, U	766
Bambú	Lalaquiz	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for APOS, U	30.7
		Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro3 {RoW} market for APOS, U	2437
		Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro3 {RoW} market for APOS, U	1100

El ICV comprende data extraída directamente de campo, en caso de la construcción y de entrevistas y fuente bibliográfica con respecto al uso y a su fin de vida. A continuación, se detalla las etapas del ciclo de vida y su inventario.

3.1.2.3. Construcción de la vivienda

3.1.2.3.1. Cimentación y losas

La cimentación está representada por zapatas cuyo material de diseño es relevante en el análisis del impacto ambiental, dado que la producción del concreto demanda gran energía y es considerado un emisor importante de gases de efecto invernadero. Por este motivo, el concreto fue modelado teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio de la producción del cemento en el Perú realizado por Vázquez-Rowe et al., (2018).

Los resultados del Potencial de Calentamiento Global debido a la producción del concreto en el Perú varían en un rango de 245 y 316 kg CO₂ eq por m³ de concreto cuando se trata de elementos verticales, pero en caso de elementos horizontales varían entre 294 kg y 381 kg CO₂ eq/m³. No obstante, los valores le corresponden a un concreto cuyo esfuerzo de compresión (f'c) de 175 kg/cm² y debido a que, es el mismo valor de f'c de las zapatas de la vivienda se pudo establecer los límites desarrollados por Vázquez-Rowe et al., (2018).

Cabe resaltar que la mezcla del concreto es realizada in situ y para ello se ha usado un mixer de concreto que fue modelado de acuerdo con las especificaciones técnicas de un mixer de uso común. La ficha técnica del mixer describe una producción de 6 m³ de concreto por hora y un consumo de 3.5 litros de gasolina por hora (Homecenters Peruanos S.A, 2020).

Además, en el proceso se ha tenido en cuenta el acero de refuerzo usado y el encofrado de la partida y con ello se obtuvo un índice de calentamiento global de 256 kg CO₂ eq. La tabla 3.4 muestra la lista de materiales de la partida de cimentación con la cantidad total utilizada por etapa y las cantidades usadas por unidad funcional de los procesos unitarios.

Tabla 3. 4. Lista de materiales y equipos correspondientes a las zapatas y a la losa de la vivienda

Partida	Item	Descripción	U.F	Cant	Cant/m ²	Base de datos	Cant	Cant/U.F	Und
CIMENTACIÓN	Zapatas y losa	Concreto	m ³	11.44	0.08	cement portland	3626.5	317.0	kg
						Sand	9335.04	816.0	kg
						tap water, market for	297.84	204.0	kg
						mixer of concrete	14.5E-06	1E-06	und
						Gravel	1'1771.7	1029.0	kg
		Acero de refuerzo	Kg	64.39	0.49	steel, low alloyed	68.89	1.07	Kg
						power saw	3.0	0.047	hm
		Encofrado y desencofrado	m ²	17.52	0.13	sawn timber, hardwood	0.35	0.02	m ³
						power saw	4.03	0.23	hm
						steel, low alloyed	0.67	0.038	kg

3.1.2.3.2. *Habilitación y ensamblaje de piezas que conforman la estructura de la vivienda*

La construcción de la vivienda permite realizar actividades en paralelo como la habilitación de las piezas de uso estructural de forma simultánea con la cimentación. La habilitación consiste en el dimensionamiento y corte de las piezas de acuerdo con los requerimientos del diseño de vigas, columnas y arriostres, ya que, los materiales llegan al área de construcción con dimensiones comerciales. Por ejemplo, el bambú presenta una longitud de 6 m, mientras que las vigas I-Joist son comercializadas en dimensiones de 12 m, las vigas de pino de 3 m y los tableros OSB en dimensiones de 2.44m x 1.22m de distintos espesores.

Por un lado, las vigas I-Joist necesitan del dimensionamiento y la inserción de platinas metálicas (ver Figura 3.8) que permitan la unión con los arriostres, mientras que, las piezas de bambú requieren además la inserción de las uniones, elaboradas previamente, en sus extremos (ver Figura 3.9).



Figura 3. 8. Corte de las vigas I-Joist con dimensiones requeridas e inserción de platinas metálicas ejecutadas por el IVUC.

Fuente: IVUC, 2020.



Figura 3. 9. Corte de las vigas bambú con dimensiones requeridas e inserción de las uniones en los extremos
Fuente: IVUC, 2020.

Las uniones cumplen un rol importante en la instalación de la vivienda, ya que, anteriormente eran realizadas de forma tradicional y ahora se usaron desde uniones metálicas hasta uniones con pernos y madera (ver figura 3.10). En caso de las conexiones metálicas con topes de madera, que son en su mayoría, fueron modeladas como una masa de acero y madera, respectivamente. Ello puede significar el aumento en la incertidumbre del cálculo del impacto, ya que, no se está considerando el proceso de su fabricación.



Figura 3. 10. Conector de madera con pernos
Fuente: IVUC, 2020.

Finalmente se produce el montaje de los elementos (ver figura 3.11) para dar lugar a la estructura de la vivienda, cuyos materiales, herramientas y maquinarias se encuentran resumidos en la tabla 3.5, en conjunto con la etapa de habilitación de las piezas.



Figura 3. 11. Montaje de la estructura de la vivienda

Fuente: IVUC, 2020.

Tabla 3. 5. Lista de materiales, equipos e infraestructura de la habitación y ensamblaje de las piezas correspondientes a la estructura de la vivienda

Partida	Item	Descripción	U.F	Cant	Cant/m ²	Base de datos	Cant	Cant/U.F	Und
BAMBÚ	Columnas, vigas y arriostres	Bambú tratado	und	146	1.10	bamboo pole	146.000	1.000	und
						power sawing	1.217	0.008	hm
I-JOIST	I-JOIST	Estructura de entrepiso	und	14	0.11	i-joist	168.000	12.000	m
						power saw	1.190	0.085	hm
	Hangers	Unión de vigas I-JOIST	und	50	0.37	steel, low alloyed	7.500	0.150	kg
						atornillador eléctrico	4.250	0.085	hm
PINO	Vigas	Techo del segundo piso	und	12	0.09	viga de pino	0.279	0.023	m ³
						power saw	0.500	0.042	hm
	Listones cubierta	Listones para cubierta	und	58	0.44	osb	0.418	0.007	m ³
						power saw	2.417	0.042	und
UNIONES	Tipos	Uniones	und	276.00	2.08	pieza eucalipto (wood)	0.033	0.0001	m ³
						tabla de madera (osb)	0.065	0.0002	m ³
						steel, low alloyed	39.668	0.144	kg
						atornillador eléctrico	21.883	0.079	hm
						tope de madera	0.081	0.0003	m ³
						pieza eucalipto (wood)	0.033	0.012	m ³
						power saw	1.600	0.595	hm
cemento	448.000	1.623	kg						
OSB	Tableros OSB 18mm	Revestimiento entrepiso	und	62.00	0.47	osb	2.552	24.292	m ³

3.1.2.3.3. Cerramiento, acabados y carpintería

Los acabados, forman parte de la especialidad de arquitectura y su modelamiento estuvo compuesto de las pinturas que son necesarias en el uso del bambú, así como las maderas que recubren algunas columnas. Esto ha sido considerado debido a la importancia del recubrimiento de las piezas de bambú ante su exposición al sol. La carpintería le corresponde a las puertas y el cerramiento forma parte del techo y básicamente está compuesto por pino. Por último, los datos utilizados para su modelamiento son determinados gracias a la base de datos Ecoinvent v3 y en la tabla 3.6 se puede observar las partidas de cerramiento, acabados y carpintería con los respectivos materiales que necesitan para su construcción y su modelamiento en la base de datos como cantidades dependientes de la unidad funcional.

Tabla 3. 6. Lista de materiales correspondientes a la especialidad de Arquitectura

Partida	Item	Descripción	U.F	Cant	Cant/m ²	Base de datos	Cant	Cant/U.F	Und
CERRAMIENTO	Rieles	Rieles horizontales	und	119.00	0.89	acero galvanizado	16.924	0.142	kg
	Revestimiento	Panel Colonial osb	und	151.00	1.14	osb	32.332	0.214	m ³
ACABADOS	Techo	Teja asfáltica	m ²	93.65	0.71	roof tile	2.341	40.000	m ²
		clavos de fijación	und	30.00	0.22	steel, low alloyed	1.500	0.050	kg
	Bambú	Revestimiento gloss	Gal	1.00	0.01	varnish	3.400	3.400	kg
		Tinher	Gal	2.00	0.02	Tinher	1.000	1.000	kg
	Pintura, piso y pared	Pintura para listones	Gal	27.00	0.20	alkyd paint	132.97	4.925	kg
		Cerámico	m ²	137.56	1.04	ceramic tile	370.51	2.693	kg
Pegamento		Glb	1.50	0.01	Glued	1.000	1.000	kg	
CARPINTERÍA	Puertas	Puerta exterior e interior	und	3.00	0.02	door, outer	4.968	1.656	kg
		Cerrajería exterior	und	3.00	0.02	steel, low alloyed	0.060	0.020	kg
	Ventanas y mamparas	marco de ventana	m	68.90	0.52	madera	0.241	0.003	m ³
		Vidrio	m ²	14.56	0.11	vidrio	1.092	0.075	kg

3.1.2.3.4. Residuos de la construcción

Los residuos de construcción y demolición están considerados dentro de los mayores contribuyentes a los residuos generados por la sociedad. En un estudio realizado en Denmark, se encontró que los residuos más representativos son los de hormigón y mampostería, en caso del sector de construcción ordinario (Butera et al., 2015). Existen pocos estudios sobre los residuos generados en construcciones de madera o bambú y uno de ellos fue realizado en China. En dicho estudio, Yu et al., (2011) sostiene que la producción de los residuos debido a la construcción constituye entre un 10 y 20 % del total de los materiales utilizados en la construcción.

El porcentaje estimado de los residuos de la vivienda durante su construcción fue obtenido a partir de entrevistas a expertos en la construcción de bambú, ya que, a la fecha no se cuenta con un estudio local del porcentaje de residuos durante la construcción. Los residuos durante la construcción son mostrados en la tabla 3.7. Sin embargo, la complejidad del tratamiento de residuos sólidos hace que los residuos no fueran considerados dentro del estudio, ya que, el diseño de la vivienda contempla que los desechos de las piezas puedan ser reusadas como artesanías o muebles.

Tabla 3. 7. Composición de residuos de construcción usados en la vivienda

Residuos de construcción	Base de datos	Cant	Cant/U.F	Und
Concreto	Concreto	3156.06	23.80	kg
Material de techo	Tejas	7.024	0.05	m ²
Acero	Acero	1.97	0.02	kg
Madera	Madera, bambú	1.32	0.01	m ³
otros	Vidrio	0.16	0.001	kg
	Baldosas de cerámica	55.58	0.42	kg
	Pintura	20.61	0.16	kg

3.1.2.4. Uso de la vivienda

El tiempo de servicio de la vivienda es la mayor limitante para establecer los procesos que son desarrollados a lo largo de su uso. Sin embargo, aún no existe un consenso en el valor que debe ser usado y por ello existen investigaciones en las que se expone la naturaleza, bien temporal o permanente del tiempo de vida de las viviendas.

El tiempo de servicio considerado en una vivienda cuya construcción es de acero o concreto reforzado y pertenece al sector formal, es de 50 años (Abd Rashid, A. F., Yusoff, S., & Mahat, N., 2013). Sin embargo, cuando se trata del tiempo de vida de una vivienda de bambú los estudios que permitan considerar un tiempo establecido son escasos. Por ello, se ha tenido en cuenta el tiempo de servicio de las construcciones temporales y permanentes, y que puedan estar sujetas a las condiciones climáticas. Cedeño, M (2020) sostiene, a partir de su experiencia, que existen viviendas con más de 20 años de antigüedad, entre ellas, las que tienen de 35 a 50 años y otras con 100 años de vida. Dentro de ellas se encuentran “La casa de los 3 espacios” en Manabí, “La Austera de Andaluz”, y “La construcción del cuerpo de bomberos” en Ecuador.

Teniendo en cuenta la falta de estudios y el registro de viviendas de Cedeño López, se consideró 2 escenarios de análisis, el primero a los 25 años y el segundo a los 50 años de vida. Ya en la etapa de uso, estudios de ACV consideran procedimientos de mantenimiento, reemplazo de materiales, remodelación y consumo de energía y agua. No obstante, el presente estudio solo consideró el consumo de energía operativa y el mantenimiento.

El consumo de energía eléctrica ha sido obtenido de la “Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía” elaborado por Vásquez, A.; Salazar, C. y E. Bazán (2017). En la cual el valor medio del consumo eléctrico de una vivienda de nivel socioeconómico C es de 200 kWh al mes. Por otra parte, el consumo de agua considerado fue de 9.09 m³ al mes (Sedapal, 2017).

3.1.2.4.1. Mantenimiento y reparación

El mantenimiento de la vivienda viene parametrizado por la norma técnica de bambú E100, en ella estipulan que la vivienda debe estar en constante revisión, ajustes y reparaciones a lo largo de su vida. En la presente investigación se tuvo en cuenta a la pintura como principal material de mantenimiento. La vivienda presenta piezas de bambú en exteriores, pero no se encuentran expuestas a la intemperie, ya que, están cubiertas por el techo, por lo que no se consideró el recubrimiento de pintura o barniz. En cambio, las piezas protegidas de la intemperie son cubiertas de pintura anualmente. Por otro lado, en caso de las piezas interiores que cumplen una función estructural, son recubiertas de pintura o barniz cada 2 años.

Así como se da un mantenimiento por piezas también, se resalta la acción del paso del tiempo en los productos de bambú y puede que sea necesario un cambio de piezas. No obstante, existe variabilidad en cuanto al intervalo de tiempo que debe ser adecuado para los reemplazos. Asimismo, Cedeño, M (2020) sostiene que durante su experiencia solo presencié 4 cambios de 1 pieza a 3 construcciones y en el caso de la vivienda de Manabí no realizó ningún cambio de piezas. Por lo expuesto, el estudio no consideró el cambio de piezas en la vivienda.

Finalmente, el mantenimiento de la madera contempló las consideraciones de la norma técnica de construcción de madera E10 que son realizadas cada 5 años, para las maderas expuestas a la acción del viento y del sol. La tabla 3.8 muestra la lista de materiales del mantenimiento con pintura de las piezas de bambú y de madera.

Tabla 3. 8. Lista de materiales correspondientes al mantenimiento de la vivienda

Descripción	Intervalo	Base de datos	Cant	Und
Mantenimiento	1 año	bambú exteriores protegidos (pintura)	16	kg
	2 años	bambú interiores (pintura)	24	kg
	5 años	maderas exteriores (pintura)	28	kg

3.1.2.5. Fin de vida

Los residuos de la demolición son de 10 a 20 veces más pesados que los residuos generados durante la construcción. Esto también depende del tipo de estructura de la vivienda y de las técnicas de demolición usadas (Yu et al., 2011). En el presente estudio, la estructura sigue un diseño que hace posible el reciclaje de las piezas usadas, en su mayoría los residuos son usados como material para muebles o de decoración (ver tabla 3.9). Por otro lado, el modelamiento de los residuos sigue un tratamiento diferente, ya que, depende del lugar de fin de vida y a pesar de contar con el lugar de relleno sanitario como lugar de destino, el modelamiento se hace complejo con el uso del software SimaPro 8.5. Por lo que, puede optarse por el software EaseTech, un software más completo para su aplicación en el ACV del tratamiento de residuos sólidos. Por este motivo, al ser solo el software SimaPro 8.5 el usado para el desarrollo del ACV, no se han considerado los residuos de los materiales para ser modelados en él.

Tabla 3. 9. Lista de materiales correspondientes al fin de vida de la vivienda

fin de vida	Base de datos	Cant	Cant/U.F	Und
	Concreto	11.44	0.09	m ³
	Madera	13.21	0.09	m ³
	Acero	65.65	0.49	Kg
	Cemento	448	3.38	Kg
	Pintura	137.38	1.04	Kg
	Puertas	4.97	0.04	Kg
	Vidrio	1.09	0.01	Kg
	Cerámica	370.51	2.79	Kg
	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro3	1150.25	8.68	Tkm

3.1.3. Análisis del impacto del ciclo de vida

El AICV no se limita solamente a cuantificar los impactos ambientales en términos de kilogramos de sustancia tóxica emitida al medio ambiente, sino que se realiza con el objetivo de determinar los daños que se producen en la salud humana, ecosistemas y recursos (Matthews et al., 2014). En primer lugar, la interrelación entre el ICV y AICV se da mediante la selección de categorías de impacto, junto con sus respectivos indicadores de categoría que se observa en la figura 3.4 y se describen a continuación.

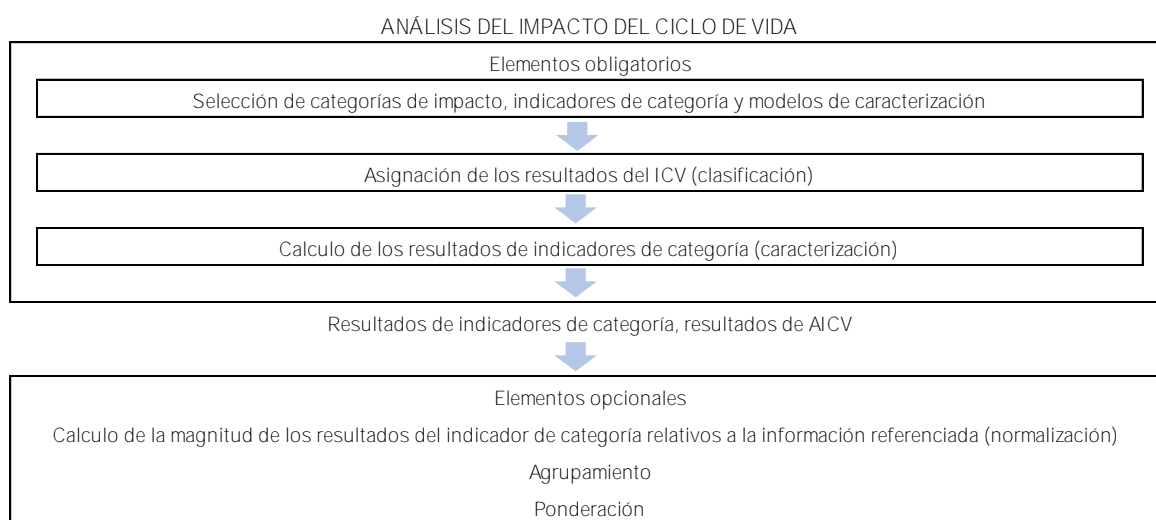


Figura 3. 12. Esquema de los elementos de la fase del AICV.
Fuente: Adaptado de ISO, 2006a.

3.1.3.1. Calentamiento global

Es el impacto que generan los gases emitidos por actividad antropogénica hacia el medio ambiente, los cuales retienen la energía solar térmica aumentando la temperatura global en consecuencia (Garraín Cordero, 2009). De todas estas emisiones gaseosas, la más común es la de dióxido de carbono. Por ende, el indicador mayormente usado para medir dicho impacto es

el potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés), cuya unidad de medida es la de cantidad de CO₂ equivalente emitido.

3.1.3.2. **Agotamiento de ozono estratosférico**

El ozono es una sustancia que juega un rol muy importante en la temperatura global, ya que está, a nivel estratosférico, evita el paso de los rayos UV, los cuales son sumamente perjudiciales para el cuerpo humano siendo un importante agente cancerígeno. El agotamiento de este elemento se relaciona estrechamente con los clorofluorocarbonados (CFCs). Por ello, el parámetro de medición a usar será el potencial de agotamiento de ozono cuya unidad de medida será la de cantidad de CFC-11 equivalente emitido (Sanz San Pablo, 2012).

3.1.3.3. **Acidificación**

Según González Maza (2012), es un impacto generado por la deposición de agentes acidificantes en la superficie terrestre debido a la lluvia ácida. Si bien dicho fenómeno puede originarse de distintas formas, aquella que nos concierne se genera por actividad antropogénica (transporte, actividad industrial, etc.), cuyas emisiones de mayor contribución son dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y amoníaco. Por ello, el parámetro de medición a usar será el potencial de acidificación cuya unidad de medida será la de cantidad de iones de hidrógeno equivalente emitido.

3.1.3.4. **Eutrofización**

Es un proceso de enriquecimiento de nutrientes dentro de un volumen de agua, lo cual da lugar a un sobrecrecimiento de algas que posteriormente se descomponen y reducen la cantidad de oxígeno mínima para la preservación del equilibrio del ecosistema acuático (Masters y Ela, 1991). Dichos nutrientes se componen principalmente a base de nitrógeno y fósforo, por lo que

el parámetro de medición a usar será el potencial de eutrofización cuya unidad de medida será la de cantidad PO4 equivalente emitido.

3.1.3.5. Agotamiento de recursos

Este impacto fue dividido en 3 categorías. Así se tiene el agotamiento de combustibles fósiles y de minerales, el uso de suelo y el uso de agua y su análisis es de suma importancia, debido a que, los materiales envueltos en una construcción típica requieren del uso extensivo de todos estos recursos. El parámetro de medición es el potencial de agotamiento de recursos, el cual consiste en la elaboración de un ratio que relacione los recursos usados y los recursos que aún quedan en la naturaleza.

En segundo lugar, se procederá con la clasificación, etapa en la que se elegirá la categoría de impacto a la cual pertenece cada elemento del ICV. Durante esta etapa es fundamental la identificación de las categorías de impacto de punto intermedio y de punto final. Para ello, Vázquez (2019) define brevemente ambas categorías considerando a las de punto intermedio como categorías medias de impacto ambiental, ya que están más próximas a la intervención ambiental y se cuenta con más información sobre las medidas en las que afecta al medio ambiente.

Algunas de las categorías de impacto se mencionan a continuación: acidificación, eutrofización y agotamiento del ozono estratosférico. Ejemplos de ellas, son las siguientes: daño a la salud humana, daño al ecosistema y agotamiento de recursos naturales. En tercer lugar, se desarrollará la caracterización y concerniente a esta, los elementos de caracterización del AICV. De este modo se logra una unidad común (equivalencia) en los flujos del inventario clasificados. Finalmente, se calculará los indicadores de categoría, para que puedan servir como base para la interpretación y evaluación de los resultados.

En la actualidad, se cuenta con metodologías de evaluación de impacto ambiental tales como: IPCC 2013, Eco Indicator 99, Impact 2002+, Recipe, entre otros. Cada una de ellas permite evaluar categorías de punto intermedio, de punto final o ambas (como es el caso del Impact 2002+). Para el desarrollo de la investigación se hizo uso de las metodologías IPCC 2013 GWP horizonte de tiempo de 100 años, especializada en la evaluación de gases de efecto invernadero y ReCiPe versión jerárquica, metodología que evalúa las categorías de punto intermedio. Asimismo, el método de evaluación de impacto ambiental usado para determinar el consumo de energía primaria es “Cumulative Energy Demand (CED)”. Finalmente, TRACI 2.1 solo para fines de comparación con estudios realizados anteriormente.

3.1.4. Validación e interpretación de resultados

Se procederá a validar e interpretar los resultados obtenidos, tanto del Inventario del Ciclo de Vida como del Análisis del Impacto del Ciclo de Vida, y se verificará que estos se encuentren alineados con el alcance y la meta inicial del estudio. Para ello, se hará uso del programa SimaPro 8.5. Finalmente, se realizarán las conclusiones y recomendaciones del estudio.

3.2. Elección del software y base de datos a utilizar

En la investigación realizada por Herrmann y Moltesen (2015), se estudia y compara dos softwares muy utilizados por los investigadores en LCA, que son: GaBi y SimaPro; ambas, comparadas en sus últimas versiones. Por un lado, GaBi, software de análisis y modelado del sistema del producto, apareció por primera vez en 1992. Por su parte, SimaPro lo hace en 1990. Ambas herramientas facilitan la ejecución del inventario y la evaluación del impacto ambiental, ya que, disponen de un interfaz del usuario del sistema del producto a modelar; una base datos ambientales y permite calcular las entradas y salidas cuantificadas en función a lo impuesto en la interfaz del usuario. Sin embargo, el éxito en la elección del software a usar depende de la

cuidadosa interpretación de los resultados más que del tipo de software, por lo que, el estudio fue desarrollado con el uso del software SimaPro 8.5 y la base de datos Ecoinvent v3.3.

3.3. Matriz energética

El consumo energético, es uno de los indicadores más relevantes durante las fases de uso y pre-uso de la vivienda. Es por ello, que resulta conveniente brindarle un enfoque más holístico acerca de la procedencia de la energía en el contexto peruano. De esta manera, es posible determinar los impactos ambientales debidos al uso de la energía. Para ello, el Ministerio de Energía y Minas (2014), ha desarrollado un estudio sobre las fuentes de energía que componen la matriz energética peruana, que se resumen en la Figura 3.5 y se muestra que el 51 % de la fuente de energía le corresponde al gas natural, una cantidad elevada en cuanto al uso de combustibles fósiles como recurso energético. El método de evaluación de impacto ambiental usado para determinar el consumo de energía primaria es “Cumulative Energy Demand (CED)” cuya matriz está basada en los datos estadísticos del 2014. Así como en la matriz de acuerdo con los resultados de la Agencia Internacional de Energía (2017).

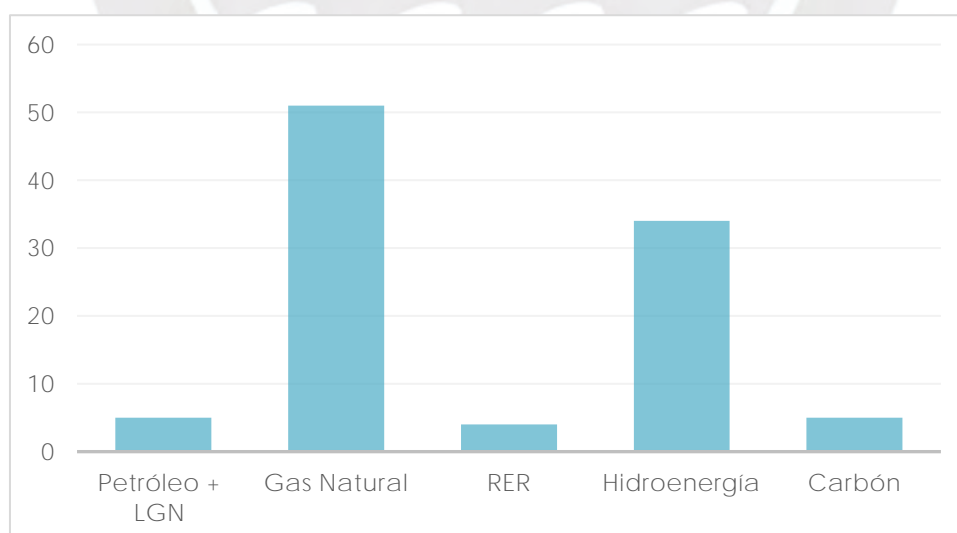


Figura 3. 13. Fuentes de generación energética en el Perú
Fuente: Adaptado de Ministerio de Energía y minas, 2014.

4. CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Evaluación del calentamiento global

4.1.1. Pre-uso

El pre-uso contempla la manufactura y la construcción de la vivienda, esta fue analizada con la metodología IPCC 2013 GWP 100^a y el uso del indicador de potencial de calentamiento global medido en kg de CO₂ equivalente por metro cuadrado emitido. La figura 4.1 muestra los resultados de la incidencia del indicador de los materiales que conforman la estructura de la vivienda, los cuales van en el siguiente orden: vigas de pino (1 kg CO₂ eq/ m²), bambú (5 kg CO₂ eq/m²), uniones (5 kg CO₂ eq/m²), vigas I-joist (6 kg CO₂ eq/m²), entrepiso y cubierta de OSB (10 kg CO₂ eq/m²), losas (19 kg CO₂ eq/m²) y cimentación (30 kg CO₂ eq/m²).

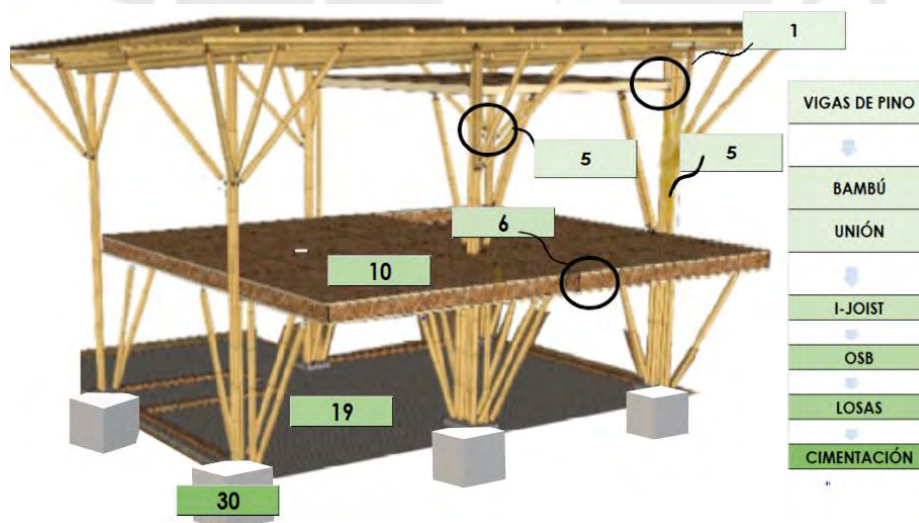


Figura 4. 1 Potencial de calentamiento global en la estructura

Nota. Figura de la vivienda adaptada de Diseño de prototipo de vivienda con bambú y madera de ingeniería, de IVUC, 2020.

Las partidas de zapatas de concreto armado y losa de concreto son las que ocasionan el mayor impacto. Luego, le sigue el uso de los tableros OSB que son empleados en la cubierta y el entrepiso, después, el impacto de las vigas I-joist que también conforman el entrepiso.

Seguidamente, la incidencia debido a la implementación de las uniones y el uso del bambú es similar. En este sentido, se resalta el poco impacto que genera el uso del bambú en comparación con el resto de los materiales, ya que, como se puede observar su uso es significativo en el diseño de la estructura, pero no en el impacto que origina. Finalmente, la partida correspondiente al uso de la viga de pino es la de menor impacto.

La necesidad por conocer el impacto debido al uso de los materiales en la arquitectura recae en su importancia como revestimiento de la estructura. La arquitectura contempla el uso de tablas, pinturas, entre otros, para el revestimiento de las piezas expuestas a la intemperie. Además, se estableció su comparación con la partida de estructuras en cuanto a la incidencia en el potencial de calentamiento global de la construcción de la vivienda. La figura 4.2 muestra los resultados kg de CO₂ eq por metro cuadrado emitidos por cada fase y se muestra en un orden creciente: carpintería (9 kg CO₂ eq/m²), acabados (16 kg CO₂ eq/m²) y cerramientos (30 kg CO₂ eq/m²). Además, se observa los materiales por los que está conformado cada fase.

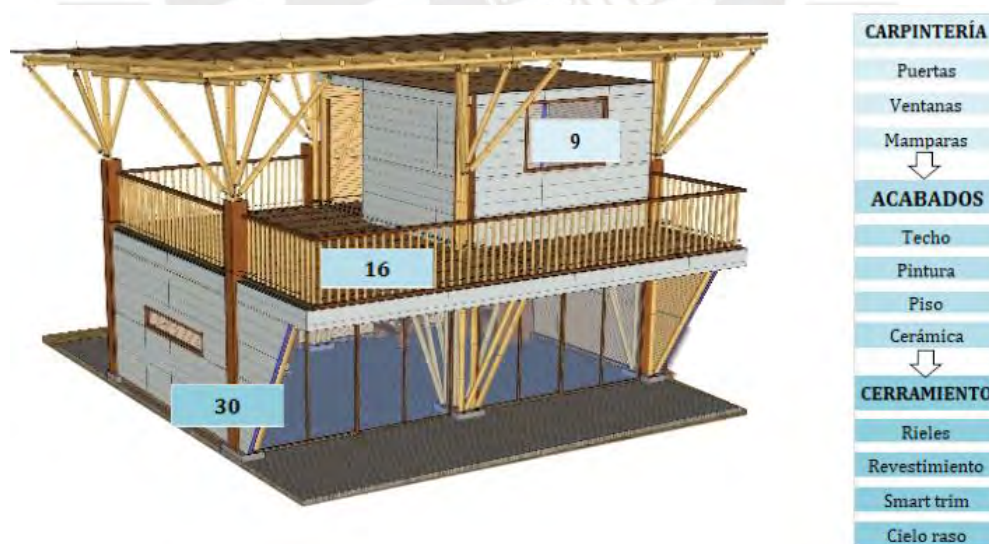


Figura 4. 2. Potencial de calentamiento global en la arquitectura
 Nota. Figura de la vivienda adaptada de Diseño de prototipo de vivienda con bambú y madera de ingeniería, de IVUC, 2020.

La tabla 4.1 muestra la comparación entre la especialidad de estructuras y arquitectura, de las cuales esta última representa el 36% de las emisiones producidas por ambas especialidades. Estos resultados, no consideran a las instalaciones sanitarias, ni eléctricas, debido a que su uso no depende del material estructural a ser usado, por lo que, las emisiones solo corresponden a la arquitectura y estructura.

Tabla 4. 1. Comparación entre especialidades de estructuras y arquitecturas

IPCC GWP 100a (kg CO ₂ eq/m ²)	Estructuras	Arquitectura
	76	43
	64%	36%

4.1.2. Producción del bambú

El bambú cumple un rol imprescindible en la construcción de la vivienda, en consecuencia, se ha determinado el potencial de calentamiento global que conlleva su producción, así como, el impacto que genera cada proceso. La producción inicia con la plantación de las raíces para su posterior dispersión que conllevan a las 3.5 hectáreas de bambú, este tiene un impacto insignificante (2E-06 kg CO₂ eq), a él le sigue el manejo (0.2 kg CO₂ eq) y la cosecha (0.2 kg CO₂ eq) antes de ser transportado. El transporte de la zona de cosecha a la zona de perforación se ha nombrado como “transporte 1” que origina un 0.2 kg CO₂ eq, mientras que, la perforación, preservación y el secado de las varas de bambú un 0.2, 1.2 y 0.1 kg CO₂ eq respectivamente.

Finalmente, los resultados debido a la producción de un bambú de 6 m de longitud, 11 cm y 10 cm de diámetro superior e inferior, respectivamente y un peso de 11.68 kg contemplan el transporte desde el lugar de secado hasta el lugar de construcción (2.8 kg CO₂ eq), nombrado como “transporte 2”. Debido a la poca industrialización en la producción del bambú y la significativa cantidad de kilómetros recorridos para su movilización, el problema a afrontar se

remite principalmente al transporte. En la figura 4.3, se muestra que el transporte de la zona de secado hasta la zona de construcción representa el 58% del total de impacto generado por la producción, al cual, le sigue con menor porcentaje de participación, pero significativo, la preservación de las cañas con un 26% de incidencia.

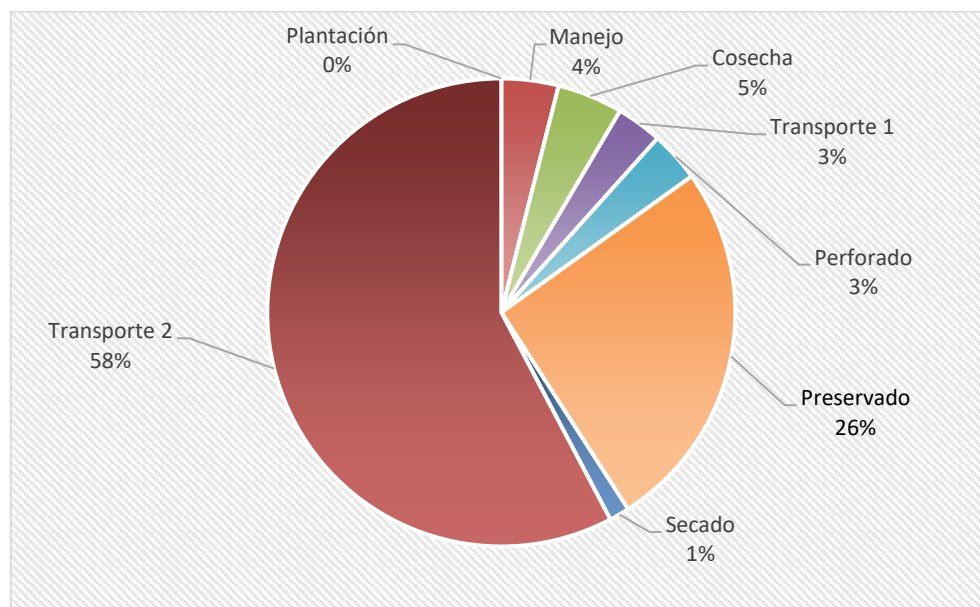


Figura 4. 3. Porcentaje de emisión de kg CO₂ eq por etapa de producción del bambú

4.1.3. Escenarios de análisis

Los escenarios contemplados para el análisis de la vivienda corresponden a los tiempos de vida de 25 años y 50 años, por lo que, se hizo la comparación del potencial de calentamiento global entre las etapas de pre-uso, uso y fin de vida. La etapa de pre-uso contempla la manufactura y todas las especialidades de construcción, la etapa de uso, el mantenimiento y consumo energético mientras que, el fin de vida es representada por el transporte de los residuos hasta el relleno sanitario.

La tabla 4.2 muestra que la etapa de uso es la de mayor impacto (63%), seguida de la construcción (36%) y, por último, fin de vida (1%). El uso de la vivienda está gobernado

principalmente por el consumo de energía y agua, y en menor representación del mantenimiento. A pesar de ello, el pre-uso mantiene un impacto significativo en el horizonte de tiempo de 25 años. Finalmente, se resalta el poco porcentaje que representa el fin de vida.

Tabla 4. 2. Comparación entre todas las etapas

Potencial de calentamiento global (kg CO ₂ eq/m ²)	Pre-uso (kg CO ₂ eq/m ²)	Uso (kg CO ₂ eq/m ²)		Fin de vida (kg CO ₂ eq/m ²)
		Mantenimiento	Energía operativa	
337	123	42	170	3
100%	36%	63%		1%

La tabla 4.3 muestra que la etapa de uso sigue siendo la de mayor impacto (78%), seguida del pre-uso (22%) y, por último, del fin de vida (0%). Es muy notable el porcentaje de incidencia del uso, ya que, está muy por encima del resto de las etapas y que el impacto debido al pre-uso sufre una reducción significativa. Finalmente, el fin de vida presenta un porcentaje prácticamente nulo.

Tabla 4. 3. Comparación entre todas las etapas

Potencial de calentamiento global (kg CO ₂ eq)	Pre-uso (kg CO ₂ eq)	Uso (kg CO ₂ eq)		Fin de vida (kg CO ₂ eq)
		Mantenimiento	Energía operativa	
549	123	84	339	3
100%	22%	78%		0%

4.2. Evaluación de la energía primaria consumida

4.2.1. Pre-uso de la vivienda

El pre-uso de la vivienda comprende la manufactura y los procesos de mezcla, habilitación, ensamblaje, entre otros, que dan lugar a la composición de la estructura de la vivienda. Procesos en los cuales está involucrado el uso de energía y por ello, se hace necesario determinar el indicador de energía consumida. En este sentido, todos los procesos realizados

hasta la instalación de los materiales en la estructura fueron vinculados al nombre del material representativo. A continuación, se menciona al indicador de energía consumida por metro cuadrado en orden creciente al consumo de los materiales que conforman la estructura: vigas de pino (62 MJ/m²), uniones (69 MJ/m²), bambú (87 MJ/m²), losa (125 MJ/m²), I-Joist (279 MJ/m²), zapatas (481 MJ/m²) y tableros OSB (510 MJ/m²).

Los procesos desarrollados hasta el montaje de los tableros OSB (32%) y las zapatas (30%), son los que representan más del 50% del impacto total de las estructuras. Luego, le sigue los procesos relacionados a las vigas I-Joist (17%), losas (8%) y bambú (5%) que representan un 30% en conjunto, seguidas de las uniones (4%) y las vigas de pino (4%). Una vez más, se resalta el poco impacto relacionado al uso del bambú (ver figura 4.4).

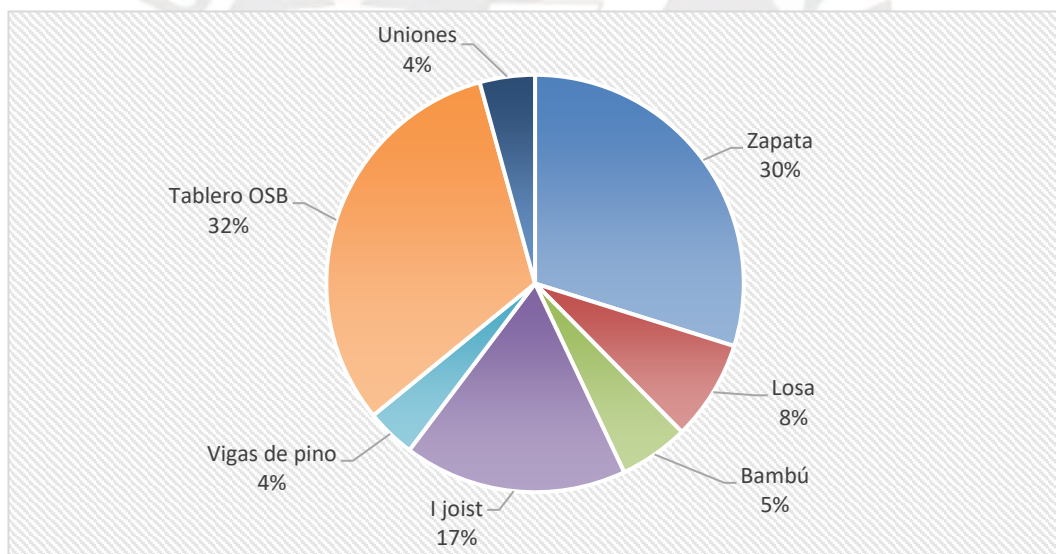


Figura 4. 4. Porcentaje de consumo de energía por etapas de estructura

4.2.2. Producción del bambú

El consumo energético primario de la producción del bambú presenta en total 80 MJ para una vara de bambú de 6 metros con un peso de 11.7 kg. Este resultado corresponde a la suma de los procesos para lograr su producción, de los cuales los más representativos siguen siendo el transporte del lugar de secado a la construcción (45 MJ) y el preservado (21 MJ). Los

resultados con mayor representación se pueden observar en la tabla 4.4 que muestra los porcentajes de 58% y 27% correspondientes al transporte y preservado, respectivamente.

Tabla 4. 4. Consumo energético primario en todas las fases de producción del bambú

Total (MJ)	Plantación (MJ)	Manejo (MJ)	Cosecha (MJ)	Transporte 1 (MJ)	Perforado (MJ)	Preservado (MJ)	Secado (MJ)	Transporte 2 (MJ)
80	0.0	4	3	3	3	21	1	45
100%	0%	4%	4%	3%	3%	27%	1%	58%

4.2.3. Escenarios de análisis

El resultado de la energía consumida por metro cuadrado y por etapas del ciclo de vida de la vivienda a los 25 años, se presenta en la tabla 4.5, siendo la etapa de uso la de mayor consumo (4,606 MJ/m²), que representa el 58% del total. Asimismo, se resalta la diferencia entre el consumo de energía por el mantenimiento y el consumo de energía operativa. Por su parte, el porcentaje de incidencia del pre-uso (3,249 MJ/m²), es inferior al uso de la vivienda, aun así, sigue siendo mayor al fin de vida (39 MJ/m²).

Tabla 4. 5. Consumo de energía primaria por etapa de vida, escenario 1

Total (MJ/m ²)	Pre-uso (MJ/m ²)	Uso (MJ/m ²)		Fin de vida (MJ/m ²)
		Mantenimiento	Energía operativa	
7,894	3,249	653	3954	39
100%	41%	58%		1%

Ante un escenario de tiempo de vida de 50 años, la energía consumida durante el ciclo de vida es representada en un 74% por la etapa de uso (9,213 GJ MJ/m²). Asimismo, se resalta la diferencia entre el consumo de energía por el mantenimiento y el consumo de energía operativa. Ya que, el consumo de energía primaria por parte del mantenimiento no representa ni el 15% del consumo de energía operativa. Por otro lado, el porcentaje de incidencia del pre-uso (39 MJ/m²) se ve reducido aún más con respecto al tiempo de vida de 25 años, no obstante, sigue siendo mayor al fin de vida (ver tabla 4.6).

Tabla 4. 6. Consumo de energía primaria por etapa de vida, escenario 2

Total (MJ/m ²)	Pre-uso (MJ/m ²)	Uso (MJ/m ²)		Fin de vida (MJ/m ²)
		Mantenimiento	Energía operativa	
12,501	3,249	1,306	7,907	39
100%	26%	74%		0%

4.3. Evaluación con la metodología ReCiPe

4.3.1. Estructuras

La tabla 4.7 muestra los resultados de las categorías de medio impacto por metro cuadrado correspondientes a la metodología de evaluación de impactos ambientales, ReCiPe. Los resultados fueron originados en función de los materiales que conforman la estructura de la vivienda.

Tabla 4. 7. Tabla de comparación de categorías de impacto de los componentes de la estructura de la vivienda

Categoría de impacto	Unidad/m ²	Total	Zapata	Losa	Bambú	I-Joist	Vigas de pino	Tablero OSB	Uniones
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	76	39%	26%	7%	7%	1%	13%	7%
Agotamiento de ozono estratosférico	kg CFC11 eq	4E-5	16%	5%	5%	14%	1%	56%	4%
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	4	37%	32%	4%	11%	0%	10%	6%
Formación de ozono, salud humana	kg NO _x eq	2E-1	34%	15%	13%	11%	2%	21%	5%
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	1E-1	36%	11%	10%	13%	1%	21%	8%
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg NO _x eq	3E-1	35%	15%	13%	11%	2%	20%	5%
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	2E-1	33%	15%	11%	12%	1%	22%	6%
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	2E-2	49%	13%	4%	8%	0%	13%	12%
Marine eutrophication	kg N eq	2E-3	33%	12%	3%	11%	0%	36%	5%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	251	35%	9%	17%	12%	2%	19%	7%
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	2	55%	6%	6%	7%	0%	12%	15%
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	3	54%	6%	6%	7%	0%	12%	14%
Toxicidad humana carcinogénica	kg 1,4-DCB	5	57%	4%	3%	6%	0%	13%	16%
Toxicidad humana no cancerígena	kg 1,4-DCB	73	54%	6%	6%	7%	0%	12%	14%
Uso del suelo	m ² a crop eq	131	11%	1%	63%	7%	2%	14%	1%
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	1	66%	5%	2%	3%	0%	5%	18%
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	14	31%	11%	13%	14%	1%	25%	6%
Consumo de agua	m ³	20	2%	1%	96%	0%	0%	0%	0%

4.3.2. Escenarios de análisis

Los valores de incidencia de las etapas del ciclo de vida de la vivienda: pre-uso, uso y fin de vida, en las categorías de medio impacto por metro cuadrado en un horizonte de tiempo de 25 y 50 años, se pueden distinguir en las tablas 4.8 y 4.9. De los resultados, se obtiene la etapa de menor impacto es el de fin de vida, con una participación de menos del 5%. Además, se observa la predominancia de los impactos generados por el pre-uso con respecto al uso y fin de vida. Muestra de ello, son las 13 de 18 categorías sobre las cuales presenta más del 50% de incidencia en la totalidad del impacto.

Tabla 4. 8. Tabla de comparación de categorías de impacto por etapa de vivienda en 25 años

Categoría de impacto	Unidad/m ²	Pre-uso		Uso		Fin de vida	
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	125	36%	215	63%	2	1%
Agotamiento de ozono estratosférico	kg CFC11 eq	1E-04	49%	1E-04	51%	8E-07	0%
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	6	56%	5	44%	4E-02	0%
Formación de ozono, salud humana	kg NOx eq	4E-01	60%	3E-01	38%	2E-02	2%
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	2E-01	58%	2E-01	41%	4E-03	1%
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg NOx eq	5E-01	60%	3E-01	38%	2E-02	2%
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	4E-01	54%	4E-01	45%	9E-03	1%
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	4E-02	67%	2E-02	33%	2E-04	0%
Eutrofización marina	kg N eq	6E-03	44%	8E-03	56%	2E-05	0%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	646	75%	190	22%	25	3%
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	5	59%	4	41%	4E-02	0%
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	8	61%	5	39%	7E-02	1%
Toxicidad humana carcinogénica	kg 1,4-DCB	12	71%	5	28%	6E-02	0%
Toxicidad humana no cancerígena	kg 1,4-DCB	172	73%	62	27%	2	1%
Uso del suelo	m ² a crop eq	180	91%	17	9%	8E-02	0%
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	2	47%	2	53%	5E-03	0%
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	28	28%	73	72%	1	1%
Consumo de agua	m ³	21	42%	29	58%	7E-03	0%

Tabla 4. 9. Tabla de comparación de categorías de impacto por etapa de vivienda en 50 años

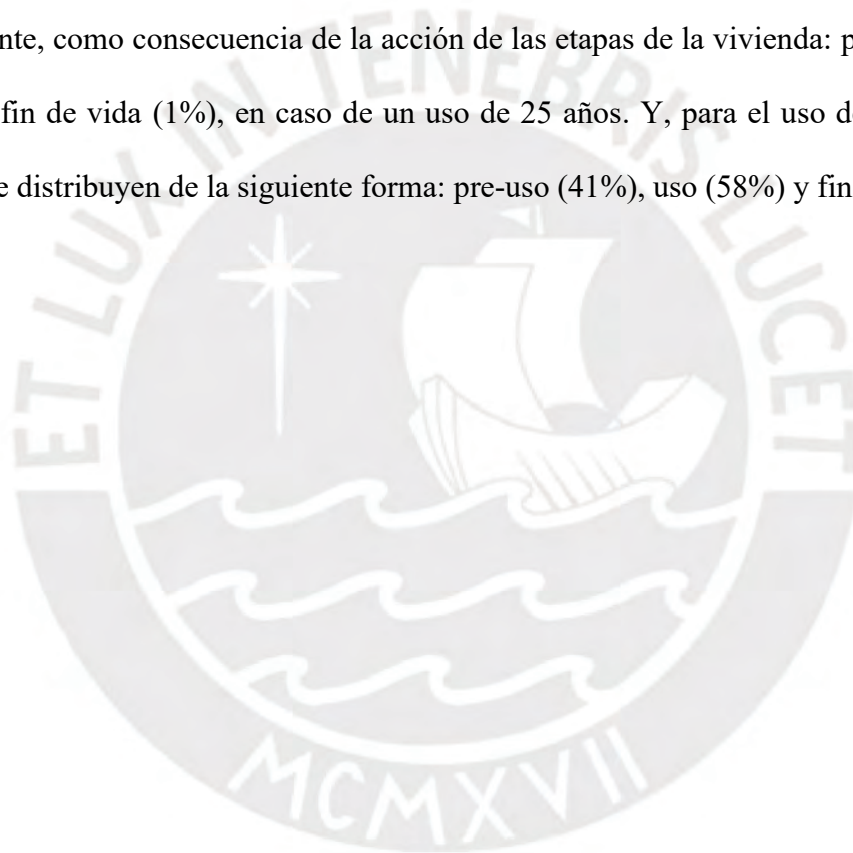
Categoría de impacto	Unidad/m ²	Pre-uso		Uso		Fin de vida	
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	125	22%	429	77%	2	0%
Agotamiento de ozono estratosférico	kg CFC11 eq	1E-04	33%	2E-04	67%	8E-07	0%
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	6	39%	9	61%	4E-02	0%
Formación de ozono, salud humana	kg NOx eq	4E-01	43%	5E-01	55%	2E-02	2%
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	2E-01	41%	3E-01	58%	4E-03	1%
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg NOx eq	5E-01	44%	6E-01	55%	2E-02	2%
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	4E-01	37%	7E-01	62%	9E-03	1%
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	4E-02	50%	4E-02	50%	2E-04	0%
Eutrofización marina	kg N eq	6E-03	28%	2E-02	72%	2E-05	0%
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	646	61%	380	36%	25	2%
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	5	42%	7	58%	4E-02	0%
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	8	44%	10	56%	7E-02	0%
Toxicidad humana carcinogénica	kg 1,4-DCB	12	55%	9	44%	6E-02	0%
Toxicidad humana no cancerígena	kg 1,4-DCB	172	58%	125	42%	2	1%
Uso del suelo	m ² a crop eq	180	84%	34	16%	8E-02	0%
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	2	31%	3	69%	5E-03	0%
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	28	16%	145	83%	1	0%
Consumo de agua	m ³	21	27%	58	73%	7E-03	0%

Los impactos relacionados a las etapas del ciclo de vida muestran un total de 2E-04 kg CFC-11eq/m² y 3E-04 kg CFC-11eq/m² para un tiempo de vida de 25 años y 50 años respectivamente. El porcentaje de impacto de cada etapa a los 25 años se encuentra distribuido de la siguiente manera: pre-uso (49%), uso (51%) y fin de vida (0%). Por otro lado, para un tiempo de vida de 50 años, la distribución de los porcentajes cambia: pre-uso (33%), uso (67%) y fin de vida (0%). Este indicador muestra que el impacto originado por la etapa de pre-uso es, en ambos escenarios, menor a los ocasionados por el uso de la vivienda.

Asimismo, el impacto originado por la etapa de pre-uso sigue siendo menor al producido por el uso en las siguientes categorías de impacto: Calentamiento Global, Eutrofización marina, Escasez de recursos minerales, Escasez de recursos fósiles y Consumo de agua. No obstante, los impactos generados por la etapa del pre-uso son mayores al del uso en las categorías de

Eutrofización de agua dulce, Ecotoxicidad terrestre, Toxicidad humana carcinogénica y no carcinogénica y Uso del suelo.

Sin bien los resultados se repiten en ambos escenarios, existen categorías de impacto cuyo comportamiento en un horizonte de tiempo de 25 años es diferente al de 50 años. Una de las categorías en la cual el impacto por parte del pre-uso es mayor al del uso en el primer horizonte, pero menor en el segundo, es la Formación de partículas finas. La vivienda impacta en 0.4 kg PM_{2.5} eq/m² y 0.6 kg PM_{2.5} eq/m² para un tiempo de vida de 25 años y 50 años respectivamente, como consecuencia de la acción de las etapas de la vivienda: pre-uso (58%), uso (41%) y fin de vida (1%), en caso de un uso de 25 años. Y, para el uso de 50 años, los porcentajes se distribuyen de la siguiente forma: pre-uso (41%), uso (58%) y fin de vida (1%).



5. CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Aspectos generales

5.1.1. Consumo de energía primaria

La demanda de energía acumulada, método usado para determinar la energía directa e indirecta relacionada a la extracción, producción, uso y fin de vida de los materiales, incluye diferentes tipos de recursos energéticos, que son renovables y no-renovables. La figura 4.4 y las tablas 4.4, 4.5 y 4.6 muestran los resultados correspondientes a la estructura, producción del bambú y la comparación de las etapas del ciclo de vida de acuerdo con los escenarios de análisis 1 y 2, respectivamente.

De acuerdo con los resultados, el uso de los tableros OSB consume el 32% del total de la energía debido a la estructura de la vivienda, y las zapatas, un 30%. Es decir que entre los tableros OSB y las zapatas, el consumo energético asciende el 50% del consumo de la estructura en su totalidad. Este resultado se encuentra justificado en la industrialización requerida para la producción de los tableros OSB y, además, el viaje extra, producto de la importación desde Chile a Perú. Por otro lado, cabe destacar el poco consumo energético por parte del bambú, ya que, representa tan solo un 5% del consumo, a pesar de ser un material fundamental en la estructura de la vivienda. Este resultado producto de la baja industrialización del bambú es de esperarse debido a que durante la producción el consumo energético directo fue mínimo, básicamente son la preservación y el transporte, las etapas de mayor consumo de energía.

Por otra parte, al realizar la comparación entre las etapas del ciclo de vida de la vivienda se observa que la etapa de uso es la de mayor impacto en este método. En el primer escenario la vivienda consume en total 7,894 MJ/m², de las cuales el 41% le corresponde al pre-uso y el

58% al uso. Mientras que en el escenario 2, la vivienda consume en total 12,500 MJ/ m², y es la etapa del uso que consume el 74% de la energía. Los resultados muestran que el uso es la etapa que consume más energía y de esta última, más del 80% se debe al consumo de energía operativa tanto a los 25 como a los 50 años.

5.1.2. Calentamiento global

Según Garraín Cordero (2009), de todas las emisiones gaseosas que retienen la energía solar térmica y aumentan la temperatura global, la más común es la de dióxido de carbono. Por lo tanto, el indicador comúnmente usado para medir dicho impacto es el potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés), con la unidad de medida de CO₂ equivalente emitido. Durante el ciclo de vida de la vivienda, se han generado en total 337 kg CO₂ eq/m² y 549 kg CO₂ eq/m² en un tiempo de vida de 25 y 50 años respectivamente, de los cuales el 99% de impacto le corresponde al pre-uso y a uso de la vivienda. En consecuencia, el fin de vida, que se encuentra gobernado por el transporte de los materiales desechados, representa el 1% del total de emisiones.

5.2. Resultados de la metodología IPCC100a

5.2.1. Estructura de vivienda

En caso de las emisiones de CO₂ por parte de la estructura de la vivienda, se obtiene que genera 76 kg CO₂ eq/ m². En la figura 5.1, se puede observar las partidas que originan mayor emisión cuyos porcentajes más representativos corresponden a las siguientes partidas: cimentación (39%), losa (26%), tableros OSB (12.5 %) y a las vigas I-Joist (7.1 %). En caso de vigas y columnas de bambú, se determinó que ocasiona 5 kg CO₂ eq/m², es decir presenta un 7 % del total de potencial de calentamiento global.

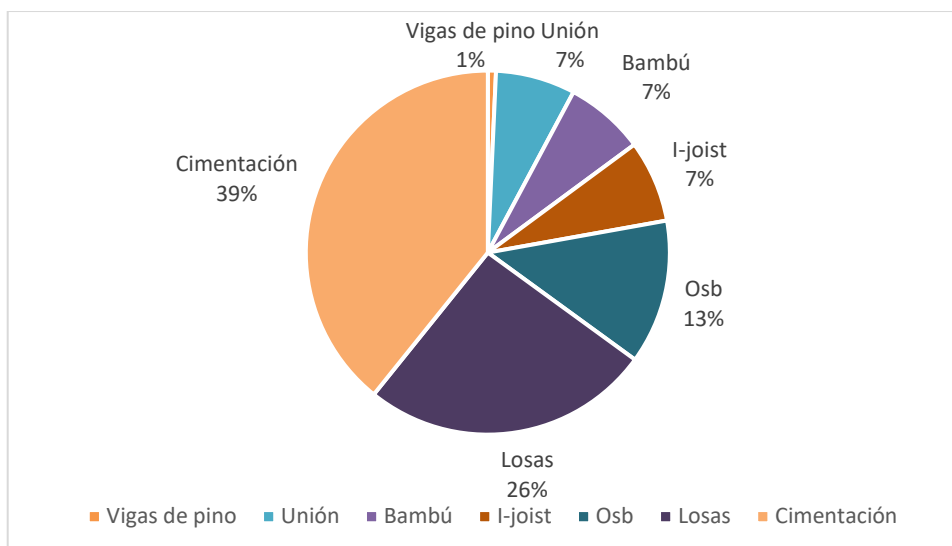


Figura 5. 1. Distribución porcentual del potencial de calentamiento global de la estructura de la vivienda

Cabe resaltar que las partidas con mayor incidencia en el indicador usan al cemento en sus procesos, tal como el concreto en la cimentación. No obstante, los procesos relacionados a los tableros OSB y a las vigas I-Joist también presentan un considerable impacto al igual que en el consumo energético, debido a la distancia recorrida desde Chile hasta la zona de construcción, además, de los procesos propios de la manufactura y los asociados a la construcción. En este sentido, resulta primordial destacar el bajo impacto ambiental que conlleva el uso del bambú.

Los resultados del impacto de la vivienda unifamiliar fueron sometidos a una comparación con el estudio de ACV de viviendas de bambú desarrollado por Zea Escamilla et al., (2018). Para ello, se hizo una breve descripción de las viviendas y se enfatizó en las especialidades desarrolladas. Una de las viviendas en descripción consta de un piso de 18 m² de área construida y está constituida de muros de “tipo bahareque”, es decir, bambú encementado y materiales como concreto para la cimentación, acero de refuerzo, madera y otros. El estudio demostró que la vivienda emite 80 kg CO₂ eq/m².

De los resultados en el presente estudio, se ha podido observar que el uso del concreto en zapatas es causante del mayor impacto de la cantidad de kg CO₂ eq en la estructura de la vivienda. Si bien la vivienda de Zea Escamilla presenta parámetros de construcción diferentes al de la vivienda de bambú, pudo servir de comparación debido a las similitudes en el uso del bambú como material estructural. Sin embargo, se aclara que la comparación entre las viviendas se hace con fines de establecer un rango de posibles valores.

El prototipo de la estructura de bambú ocasiona 76 kg CO₂ eq/m² a diferencia de los 80 kg CO₂ eq/m² de la vivienda de bahareque encementado. Este resultado, a pesar de las diferencias en los procesos constructivos, muestra que la vivienda en estudio representa un buen referente ante los valores determinados por estudios anteriores. La comparación entre ambas viviendas se puede observar en la figura 5.2.

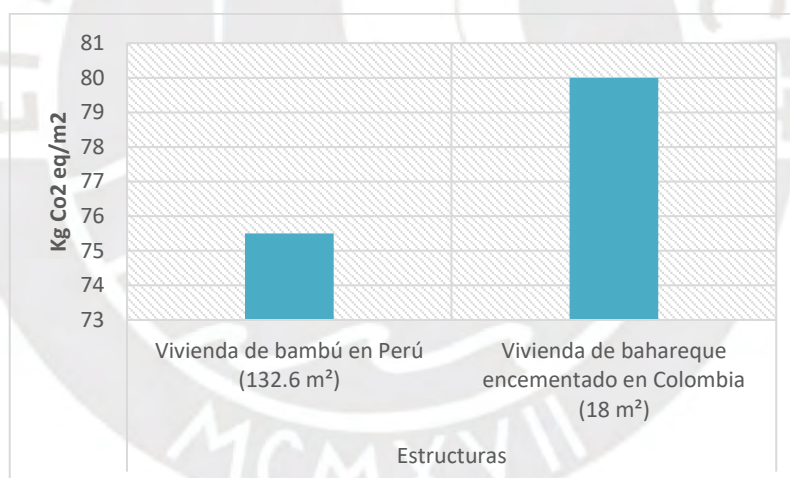


Figura 5. 2. Comparación del índice de calentamiento global entre viviendas de bambú

5.2.2. Análisis de escenarios

La figura 5.3 muestra la comparación de los resultados entre los escenarios de 25 y 50 años. La diferencia se concentra en la etapa del uso y debido a los años en comparación, el impacto del uso en los 50 años dobla al impacto producto del uso de la vivienda en 25 años.

Cabe resaltar que el horizonte de tiempo no modifica el pre-uso, ni la disposición final. A pesar de ello, ante un análisis del ciclo de vida el porcentaje de impacto de cada etapa de vida de la vivienda varía significativamente entre los 25 y 50 años.

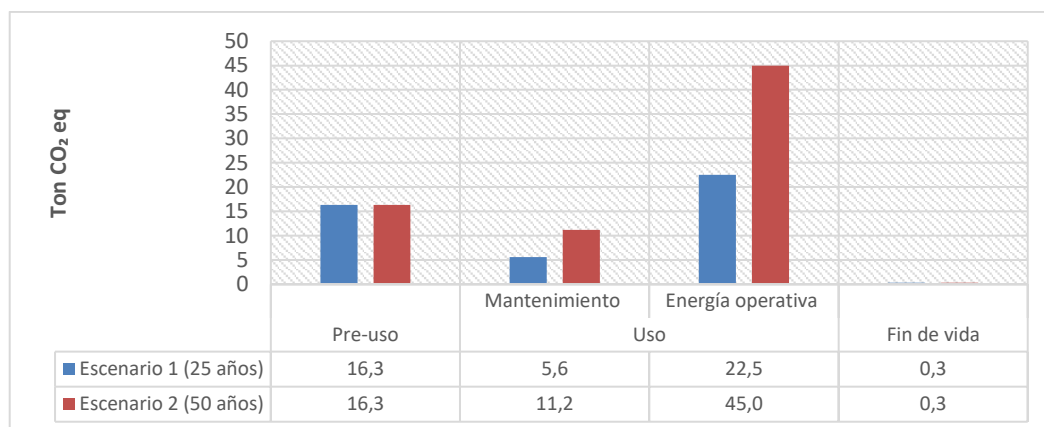


Figura 5. 3. Comparación del índice de calentamiento global entre los escenarios 1 y 2

Como se muestra en la figura 5.4, el impacto de cada etapa respecto al impacto total del ciclo de vida de la vivienda se ve afectado por la acción del cambio en el horizonte de tiempo. Ante los 25 años, la etapa del pre-uso representa el 36 % del total del impacto, mientras que la etapa de uso, el 63%. Aunque, ante un escenario de 50 años la relación de porcentajes se reduce en 13% en caso del pre-uso e incrementa en 14% en el uso, así como el fin de vida, pasa de impactar de un 1% a un 0%.

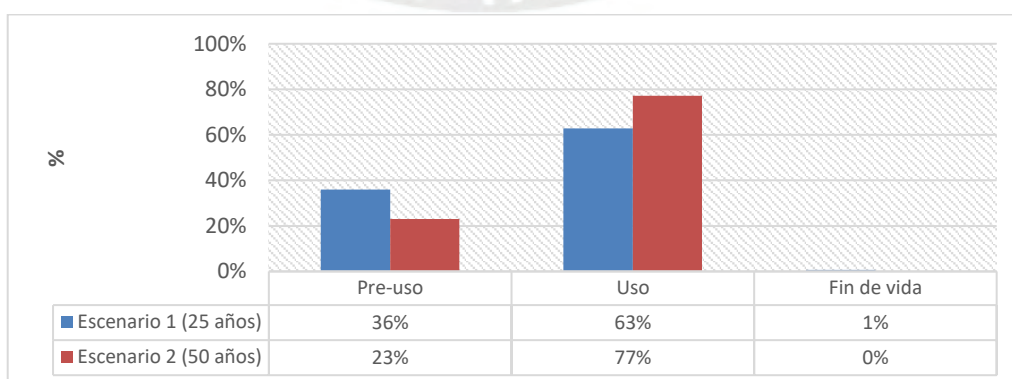


Figura 5. 4. Comparación en porcentaje del índice de calentamiento global entre los escenarios 1 y 2

Análogamente, se realizó una comparación de la vivienda de bambú con la vivienda de García Torres (2014). La cual consta de 478 m² cuyo diseño estructural y uso pertenecen al nivel socioeconómico “A”. La vivienda de bambú emite en total 549 kg CO₂ eq/m² y la vivienda de García Torres 934 kg CO₂ eq/m². De los cuales, la etapa del pre-uso, de acuerdo con la figura 5.5, emite 123 kg CO₂ eq/m² (23%) y la de García Torres, 546 kg CO₂ eq/m² (58%). Cabe destacar que las emisiones del pre-uso de la vivienda en estudio no representan ni la cuarta parte de las emisiones de la vivienda en comparación.

Por su parte, la etapa de uso es representada por el mantenimiento y el consumo de energía operativa durante 50 años. A la cual, en términos porcentuales, la vivienda de bambú le destina el 77% del total de emisiones, mientras que la de García Torres, tan solo el 38%, además, el mantenimiento representa el 15% y 6% respectivamente. Este último proceso está relacionado al material de construcción y los resultados indican que tiene emisiones de mayor relevancia para la vivienda de bambú, que para la segunda.

Por su lado, el consumo de energía operativa corresponde al 62% de las emisiones totales de la vivienda de bambú. En tanto que la vivienda en comparación presenta un 32% de sus emisiones. No obstante, se destaca que el consumo energético no depende del material de construcción, pero si del uso de aparatos eléctricos, electrodomésticos, entre otros, cuyo uso varía dependiendo del usuario. Finalmente, el mayor impacto debido a la etapa de fin de vida le corresponde a la vivienda de García Torres.

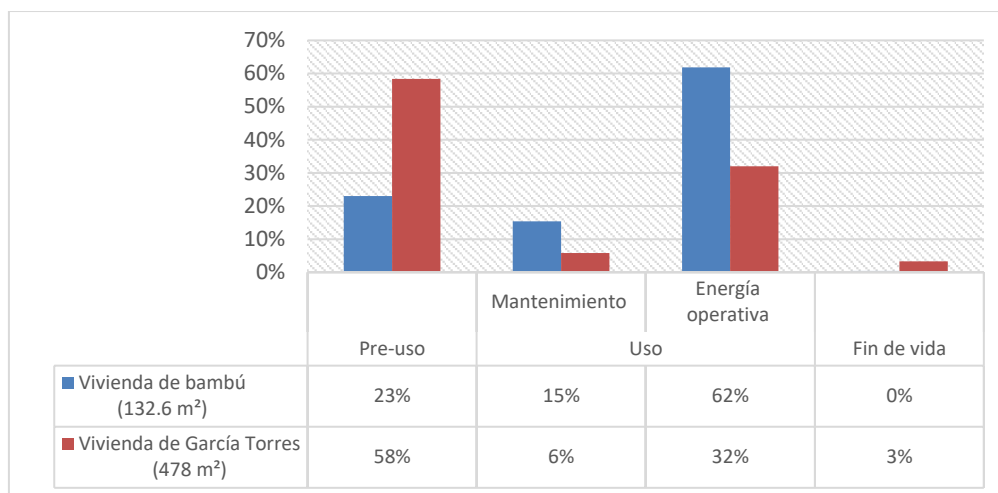


Figura 5. 5. Comparación porcentual del potencial de calentamiento global de la vivienda de bambú y de García Torres (2014)

La vivienda en estudio fue comparada, además, con las viviendas multifamiliares de Cáceres Cebrecos, A. (2016). La primera, nombrada como “modelo 1” es una edificación de ductilidad limitada de 9,409.3 m² de 8 pisos con 108 departamentos de aproximadamente 78 m² que pertenece al nivel socioeconómico “C” cuyo consumo eléctrico asignado fue de 278 kwh mensuales. Por su parte, la segunda denominada “modelo 2” es una edificación dual aporticada de 1779.3 m² de 5 pisos, con 4 unidades de 445 m², cuyo diseño estructural es del nivel socioeconómico “A” al cual se le asignó un consumo eléctrico de 1050 kwh mensuales.

El resultado es mostrado en la tabla 5.1 y la figura 5.6, en las cuales se observa que la vivienda de bambú tiene el menor impacto con respecto al resto de viviendas. Además, se destaca que es la única vivienda donde la etapa del pre-uso presenta una incidencia de menos del 30% en el total de las emisiones. En cambio, la acción del pre-uso en las 3 viviendas restantes representa más del 50% del impacto. Por último, la etapa de fin de vida tiene una emisión porcentual nula cuando se trata de la vivienda de bambú y las de Cáceres Cebrecos, pero de un 3% al tratarse del prototipo de García Torres.

Tabla 5. 1. Comparación del potencial de calentamiento global por metro cuadrado de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos

	Total (kg CO ₂ eq/m ²)	Pre-uso	Uso	Fin de vida
Vivienda de bambú (132.6 m ²)	549	22%	77%	0%
Vivienda de García Torres (478 m ²)	934	58%	38%	3%
"Modelo 1" de Cáceres Cebrecos (9409.3 m ²)	2132	52%	48%	0%
"Modelo 2" de Cáceres Cebrecos (1779.3 m ²)	2327	67%	33%	0%

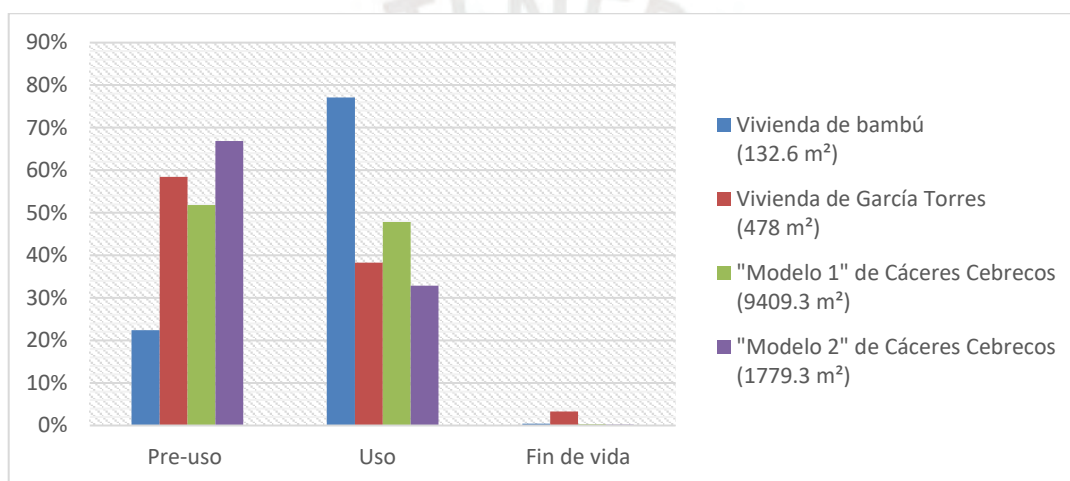


Figura 5. 6. Comparación porcentual del potencial de calentamiento global por metro cuadrado de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos

Asimismo, se comparó los impactos ocasionados por una unidad de vivienda. Para ello, el área de las viviendas multifamiliares fue considerado por departamentos de 87 m² y 445 m². Los resultados se pueden observar en la tabla 5.2 y la figura 5.7 donde se destaca el poco impacto ambiental en términos de ton CO₂ eq de la vivienda de bambú en relación con el resto de las viviendas. Es importante resaltar que los impactos de la vivienda de bambú son incluso menores a los producidos por el departamento de 87 m² de Cáceres Cebrecos. E incluso en la etapa de pre-uso, los impactos de la vivienda en estudio no representan ni la quinta parte del departamento del modelo 2.

Tabla 5. 2. Comparación de potencial de calentamiento global de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos

	Total (ton CO ₂ eq)	Pre-uso (ton CO ₂ eq)	Uso (ton CO ₂ eq)	Fin de vida (ton CO ₂ eq)
Vivienda de bambú (132.6 m ²)	72.8	16.3	56.2	0.3
Vivienda de García Torres (478 m ²)	446.4	260.7	171	14.6
"Departamento típico del modelo 1" de Cáceres Cebrecos (87 m ²)	185.5	96.2	88.8	0.5
"Departamento típico del modelo 2" de Cáceres Cebrecos (445 m ²)	1035.5	692.8	340.2	2.6

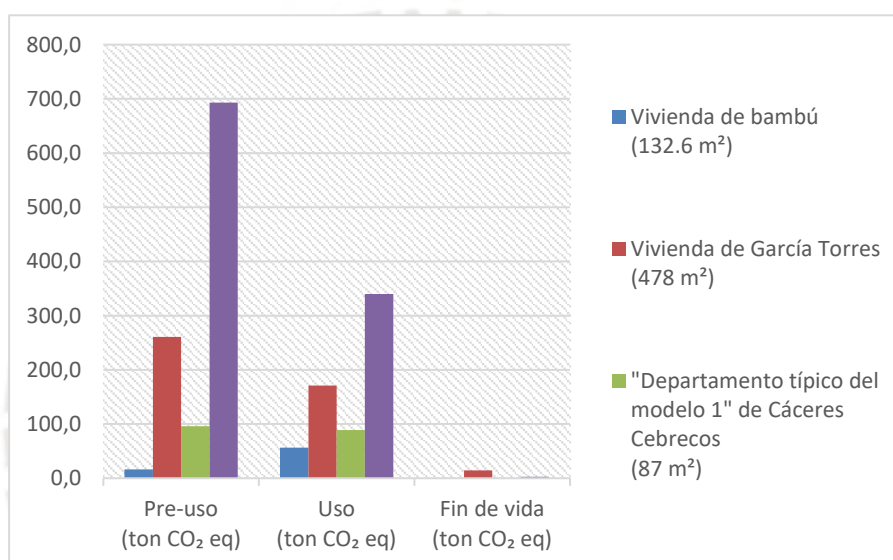


Figura 5. 7. Comparación del potencial de calentamiento global de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos

5.2.3. Producción del bambú

El ACV de la vivienda de bambú, incluye la extracción de materias primas y en caso del bambú, su producción en el distrito de Lalaquiz. Si bien los procesos de la cadena de producción tratan de seguir parámetros establecidos, aún no existe una convención de sistemas, ya que, de la literatura se conoce que alguno de los procesos desarrollados en Lalaquiz difieren de los ejecutados en Morropón. Uno de ellos, es que en Morropón se usan tanques para almacenar la solución de preservación que luego, es recirculada en cada proceso de preservado

por medio de una motobomba. Mientras que en Lalaquiz, el agua preservada se queda en la poza de preservación hasta que sea desechada.

Por otro lado, se encontró que una de las etapas más contaminantes durante la producción, es el transporte, con un impacto del 52% del total de la producción. Por ello, el modelado del transporte es fundamental y a la fecha mucho se ha discutido sobre la relación entre la baja densidad del bambú transportado y el impacto del transporte en su producción. Ello, debido a que la base de datos, Ecoinvent v3, considera que el transporte debe estar limitado por la masa, cuando las densidades de los materiales transportados son mayores a 250 kg/m³, pero debe limitarse por el volumen, cuando las densidades son menores a esta (Weidema et al., 2013).

Van der Lugt, Van den Dobbelsteen & Janssen, (2006) encuentran que la densidad del bambú transportado es de 132 kg/m³, cantidad menor a 250 kg/m³. Por consiguiente, se piensa en un modelado del transporte limitado por el volumen, pero a la fecha no se cuenta con un factor de carga que pueda escalar los impactos relacionados a la carga de baja densidad. En cierto modo, se pueden realizar suposiciones para poder escalar el volumen, el peso y la capacidad de carga del camión. Estas pueden contemplar las condiciones de la carretera, el tráfico, la habilidad del conductor y la calidad del combustible, debido a que todas ellas podrían impactar en las emisiones.

El factor que escala el volumen, peso y capacidad de carga no ha sido considerado en el estudio, no obstante, se recomienda modelar al transporte considerando más de un factor y realizar un análisis de sensibilidad que logre determinar el impacto del transporte en futuros estudios (Ecoinvent, 2021)

5.3. Resultados del consumo de energía primaria

La figura 5.8 muestra la comparación porcentual de la energía primaria consumida entre las etapas del ciclo de vida de la vivienda de García Torres y la de bambú. La primera consume en total 17 GJ/ m², mientras que la segunda 12.5 GJ/ m². Dado los porcentajes de consumo, se observa que la vivienda de bambú presenta la menor incidencia en los procesos relacionados al uso del material de construcción. Por ejemplo, durante la etapa de pre-uso, la vivienda de bambú consume el 26% de la energía total. En cambio, la vivienda en comparación consume el 41% del total. De modo similar, el mantenimiento de la vivienda de bambú representa el 10% de consumo energético frente a los 20% de la de García Torres.

En caso de la energía operativa, la vivienda en estudio tiene la mayor representación porcentual, debido a que, el consumo del pre-uso, mantenimiento y fin de vida, en comparación a esta, son más bajos. Por el contrario, la vivienda de García Torres tiene tan solo un consumo del 35%, ya que, el pre-uso y el mantenimiento son grandes consumidores de energía. Otro proceso, si bien de menor impacto, pero no irrelevante es el fin de vida. Los resultados muestran que su consumo es menor en caso de la vivienda de bambú.

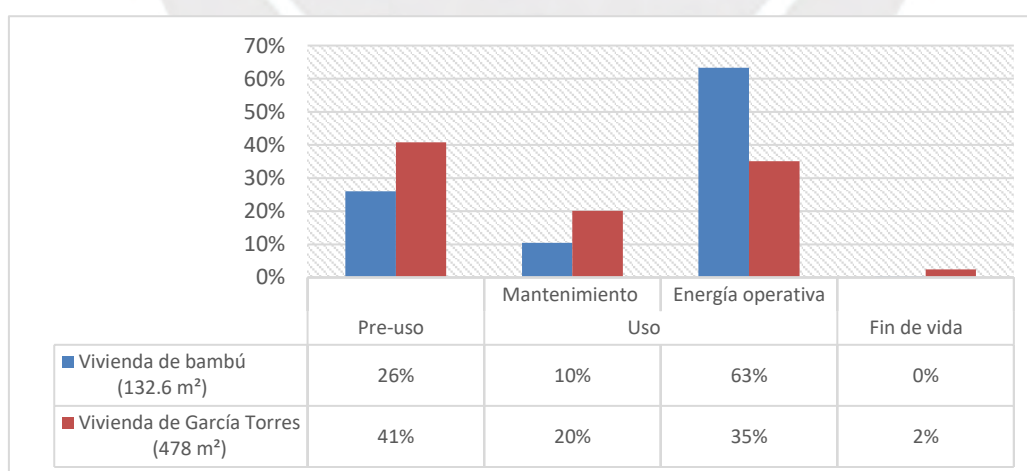


Figura 5. 8. Comparación de energía primaria consumida de la vivienda de bambú y de García Torres

Los resultados del consumo de energía primaria también fueron comparados con los de Cáceres Cebrecos. La tabla 5.3 y la figura 5.9 muestra la comparación entre las etapas de vida de las diferentes viviendas. En ellas, se observa que la vivienda de bambú consume 12.5 GJ/m² y la de García Torres 17 GJ/m² en comparación con los 25.3 GJ/m² y 23.6 GJ/m² por parte del modelo1 y modelo 2, respectivamente.

Nuevamente, el consumo de la vivienda en estudio es el menor. Es importante señalar que la etapa del pre-uso (26%) es la de menor relevancia en la vivienda de bambú frente al resto de viviendas. Ello se debe a la baja industrialización del bambú, material principal de construcción, al contrario, del cemento y acero que son grandes consumidores de energía. Por otro lado, el consumo de la energía operativa es un gran influyente durante la etapa de uso, por ello, se debe destacar que no depende de la elección del material de construcción y su consumo recae en el usuario, al contrario del mantenimiento. El cual sigue siendo menor para la vivienda de bambú. Finalmente, el consumo de energía primaria durante la etapa de fin de vida es mínimo en todas las viviendas.

Tabla 5. 3. Comparación de energía primaria de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos

	Total (GJ/m ²)	Pre-uso	Uso	Fin de vida
Vivienda de bambú (132.6 m ²)	12.5	26%	74%	0%
Vivienda de García Torres (478 m ²)	17.0	41%	53%	2%
"Modelo 1" de Cáceres Cebrecos (9409.3 m ²)	25.3	48%	51%	0%
"Modelo 2" de Cáceres Cebrecos (1779.3 m ²)	23.6	60%	40%	0%

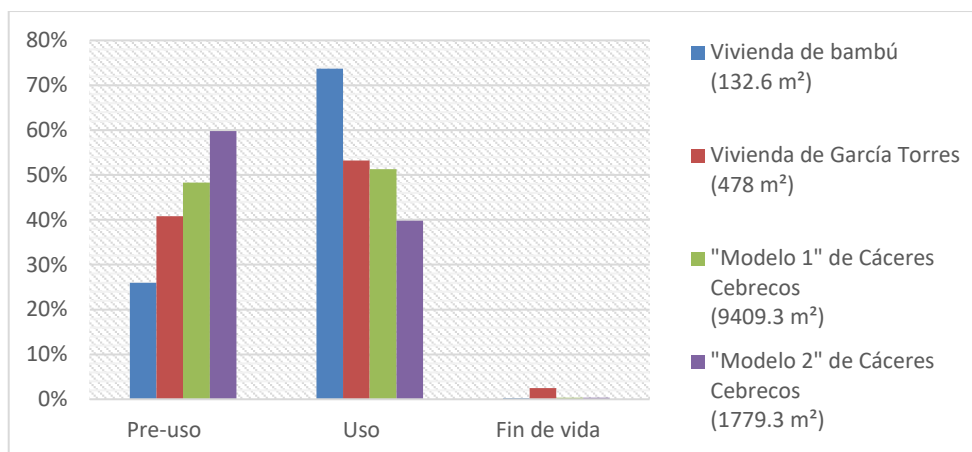


Figura 5. 9. Comparación porcentual de energía primaria consumida de la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos

Por último, los resultados debido al consumo de energía por unidad de vivienda también fueron comparados. Para ello, el área de las viviendas multifamiliares ha sido considerado por departamento de 445 m² y 87 m². La tabla 5.4 muestra los resultados, de la cual se resalta el poco consumo de energía primaria de la vivienda de bambú en relación con el resto de las viviendas, con un consumo de 1,657.6 GJ, en comparación a los 8,120.0 GJ, 10,497.6 GJ, 2,199.4 consumidos por la vivienda unifamiliar, el departamento de 445 m² y el departamento de 87 m² respectivamente.

En la figura 5.10 se puede apreciar el bajo consumo del pre-uso de la vivienda de bambú en comparación con el resto de las unidades de vivienda. Esta ventaja se da incluso frente al departamento de 87 m², resaltando que la vivienda de bambú tiene un área de 132.6 m². En cuanto a la etapa de uso, se puede observar una pequeña diferencia a favor del departamento, no obstante, se vuelve hacer énfasis en el consumo de energía operacional de los usuarios. Por último, la etapa de fin de vida presenta el menor consumo al tratarse de la vivienda en estudio.

Tabla 5. 4. Comparación de energía primaria consumida por unidad de vivienda entre la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos

	Total (GJ)	Pre-uso (GJ)	Uso (GJ)	Fin de vida (GJ)
Vivienda de bambú (132.6 m ²)	1,657.6	430.9	1,221.6	5.1
Vivienda de García Torres (478 m ²)	8,120.0	3,432.0	4,480.0	208.0
"Departamento típico del modelo 1" de Cáceres Cebrecos (87 m ²)	2,199.4	1,063.1	1,128.4	7.8
"Departamento típico del modelo 2" de Cáceres Cebrecos (445 m ²)	10,497.6	6,279.0	4,178.6	40.1

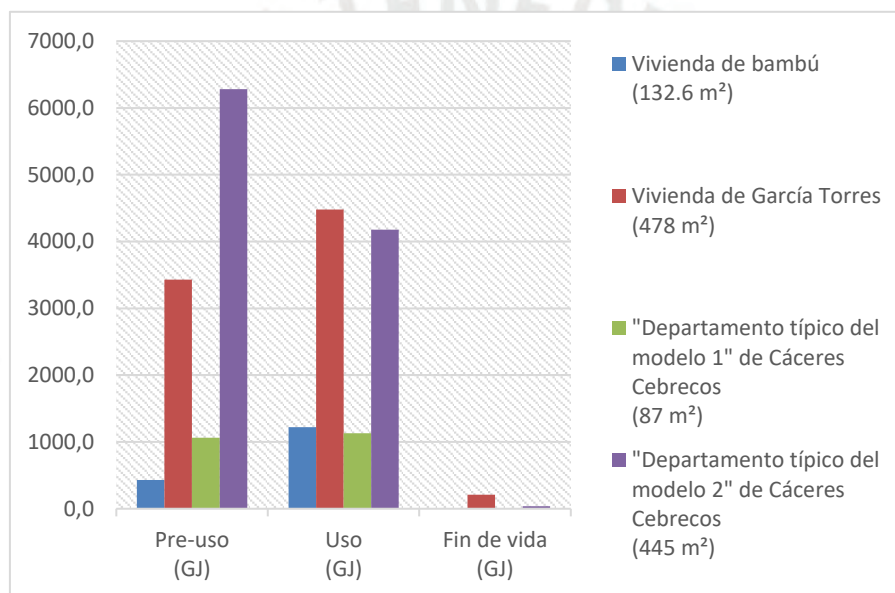


Figura 5. 10. Comparación de energía primaria consumida por unidad de vivienda entre la vivienda de bambú, García Torres y Cáceres Cebrecos

5.4. Resultados de la metodología ReCiPe

La figura 5.11 muestra la comparación de los impactos relacionados al uso de los materiales que conforman la estructura de la vivienda. De acuerdo con los resultados, el uso del concreto en la vivienda ocasiona los mayores impactos en las diversas categorías de impacto salvo en las categorías de consumo de agua, uso del suelo y agotamiento de ozono estratosférico. El consumo de agua y uso del suelo son categorías en las que el uso del bambú

presenta gran incidencia y ello debido a que, durante la plantación y manejo de las plantaciones de bambú, la planta es regada y hace uso del terreno de cultivo.

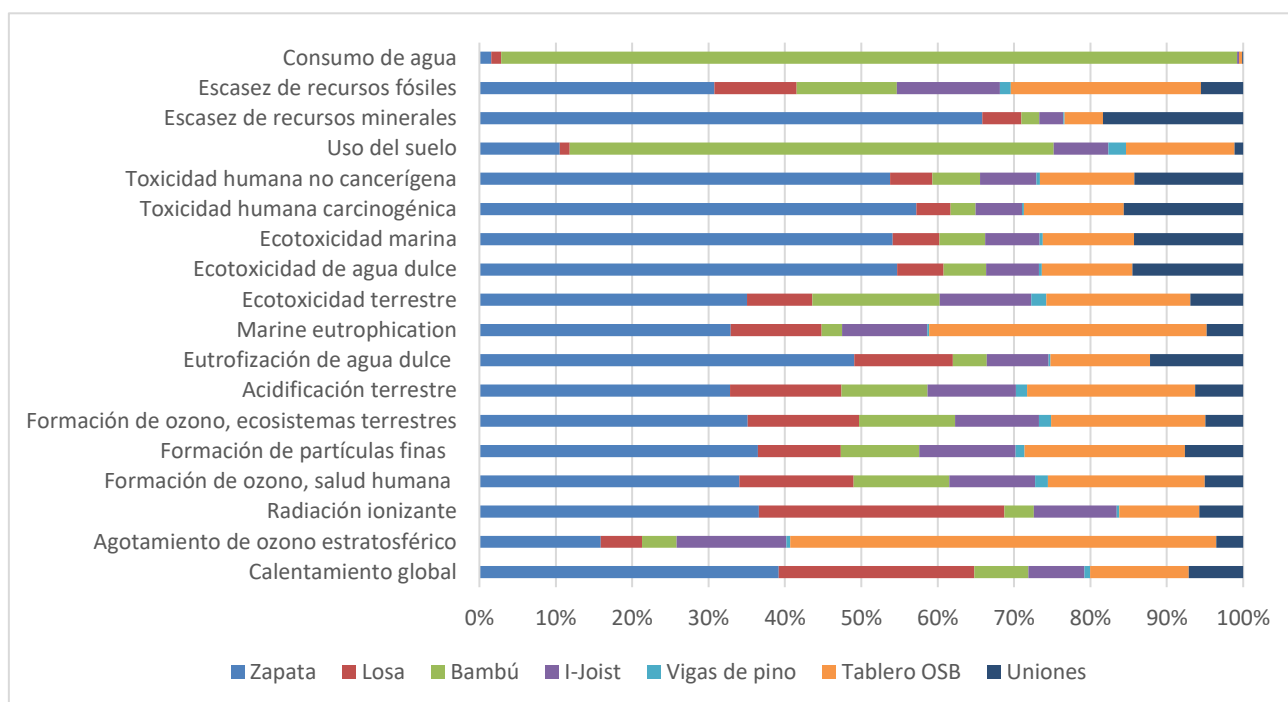


Figura 5. 11. Comparación de las categorías de impacto relacionadas al uso de los materiales que conforman la estructura de la vivienda

5.5. Uso de la metodología Traci 2.1

La importancia de los resultados de impacto ambiental hace necesario el establecimiento de valores de comparación y con ello el alcance de los impactos de la vivienda. Para ello, se comparó las emisiones de la etapa de pre-uso de la vivienda de bambú con el modelo 2 de Cáceres Cebrecos. Si bien, las características de la edificación son diferentes a las de la vivienda unifamiliar, los resultados sirven como referencia de valores límites permitidos. La comparación se hizo por metro cuadrado de área construida y los resultados son mostrados en la tabla 5.5.

Tabla 5. 5. Comparación de categorías de medio impacto de la etapa del pre-uso entre la vivienda de bambú y Cáceres Cebrecos

Categoría de impacto	Vivienda de bambú	Modelo 2 de Cáceres Cebrecos	Unidad
Agotamiento de ozono	1.6E-05	6.4E-05	kg CFC-11 eq
potencial de calentamiento global	1.6E+02	1.6E+03	kg CO ₂ eq
Formación de Smog	1.3E+01	1.2E+02	kg O ₃ eq
Acidificación	7.5E-01	8.8E+00	kg SO ₂ eq
Eutrofización	5.0E-01	4.5E+00	kg N eq
Sustancias cancerígenas	2.2E-05	1.7E-04	CTUh
Sustancias no cancerígenas	7.8E-05	7.6E-04	CTUh
Efectos respiratorios	1.9E-01	1.2E+00	kg PM ^{2.5} eq
Ecotoxicidad	1.9E+03	1.7E+04	CTUe
Agotamiento de combustibles	1.8E+02	1.2E+03	MJ surplus

Como se puede observar, los impactos de la vivienda de bambú en todas las categorías no llegan ni a ser el 10% del impacto de la vivienda de concreto (ver figura 5.12). A excepción del agotamiento de ozono, aun así, esta categoría de impacto no representa ni el 30% de la vivienda dual de pódicos. A pesar de ser de diferentes naturalezas (unifamiliar y multifamiliar), los resultados son significativos.

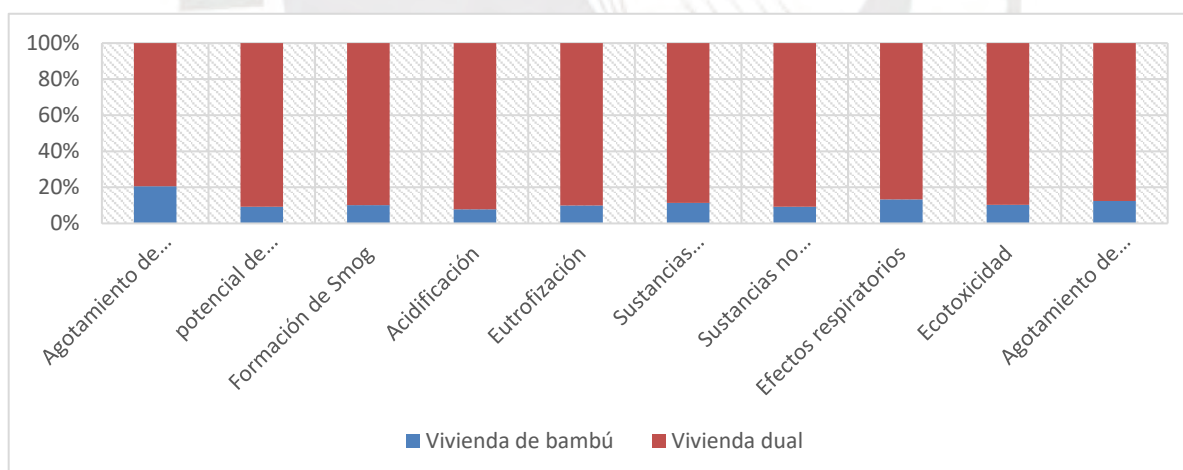


Figura 5. 12. Comparación porcentual de categorías de medio impacto de la vivienda de bambú con Cáceres Cebrecos

6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

El proyecto desarrollado sirve para establecer precedentes de la evaluación de impactos ambientales de las viviendas unifamiliares construidas de bambú como material estructural. No obstante, es necesario que se desarrollen más estudios teniendo en cuenta las condiciones geográficas, los procesos de producción del bambú y su especie. La construcción de viviendas de bambú, como material estructural, siguiendo los parámetros de la norma técnica E100, aún es incipiente. Por ello, se necesita de más proyectos para difundir un sistema de construcción cuyos impactos ambientales sean bajos y que pueda ser considerado dentro de las políticas gubernamentales de construcción.

El presente estudio contempla el análisis de una vivienda unifamiliar de bambú diseñada bajo los parámetros de la norma técnica E100 y construida en la ciudad de Lima, Perú. El estudio busca contribuir con el estado del arte de ACVs de viviendas de bambú en el Perú, así como, hacer un llamado a más investigadores a interesarse en un sistema constructivo que comienza a desarrollarse. Ya que, el bambú sigue siendo estigmatizado como poco favorable para la construcción formal.

El ciclo de vida de la vivienda fue analizado bajo las metodologías de evaluación de impacto ambiental CED, IPCC 2013 y ReCiPe versión jerárquica. Los resultados producto de la evaluación fueron establecidos de acuerdo con las etapas de vida de la vivienda, en este sentido, las etapas de mayor impacto fueron el pre-uso y uso. La etapa de pre-uso que comprende la extracción de materiales, su manufactura y la construcción, emite un total de 16.2 ton CO₂ eq o 123 kg CO₂ eq/m². Mientras que la especialidad de estructuras emite 76 kg CO₂ eq/m², es decir, el 62% de los impactos del total de la vivienda. De estos, se resalta la baja emisión del bambú, ya que, a pesar de ser el material estructural principal, su emisión es de 5

kg CO₂ eq/m² con una participación del 7% del total de la especialidad. Asimismo, las uniones, parte fundamental en la investigación, presentan un 7 % del total.

En términos de consumo de energía primaria, el pre-uso consume 430.9 GJ o 3,250 MJ/m². De ellas, la estructura consume 1,612 MJ/m² y los componentes de mayor impacto son los tableros OSB y las zapatas. Dejando al bambú con una incidencia mínima del 5% del total de la estructura. Al ser el bambú un material predominante, el estudio también contempló el análisis de impactos ambientales de su cadena productiva. Los resultados muestran que los procesos de mayor emisión de kg CO₂ eq y consumo energético por unidad funcional son el transporte y la preservación, que en conjunto representan el 87% de las emisiones de kg CO₂ eq y el 88% del consumo de energía.

De las emisiones de los procesos de la cadena productiva, se destaca que es el transporte del centro de preservación hasta el lugar de construcción el de mayor representación, con el 58% de impactos totales. Es por ello que el transporte es uno de los procesos fundamentales y cuyo modelado ha sido discutido debido a la baja densidad del bambú. La cual puede necesitar factores que permitan escalar el volumen, el peso y la capacidad de carga del camión. No obstante, el estudio no consideró al factor, pero se recomienda a los futuros investigadores modelar al transporte considerando más de un factor (combustible, tráfico, etc.) y realizar un análisis de sensibilidad para determinar el impacto del transporte en el estudio.

El transporte es un problema que países productores como Ecuador han abordado optando por la difusión de las plantaciones de bambú para reducir las distancias de viaje. Esta alternativa, de ser implementada en el Perú, podría generar impactos aún menores por parte de las varas de bambú. Por este motivo, se insta a las autoridades peruanas a impulsar la difusión de las plantaciones de bambú. Por otro lado, es importante evaluar y tener un control eficiente del proceso de preservación e implementarlas en normas técnicas para de esta manera buscar

reducir sus impactos. En este sentido, se recomienda el uso de contenedores de agua que permitan no solo almacenar el agua con las sales que se extraen de la poza, sino también preservar el PH que se requiere para tratar los culmos de bambú. De esta forma, las sales que son usadas por número de bambúes tratados se reducen. Por otro lado, otra forma de reducir los impactos de la preservación es incrementando la cantidad de bambúes y sumergiéndolos, ya limpios a la poza de preservación, ya que de esta manera se reduce el consumo de agua con sales por bambú preservado.

Otro de los procesos a resaltar es la cosecha, si bien la emisión del proceso representa tan solo el 5% del total, su baja producción hace que los residuos del corte de tallos dejados en el terreno de cultivo sean mínimos y no fueran considerados dentro de los límites del sistema. Sin embargo, a medida que la producción del bambú vaya creciendo, los residuos serán cada vez mayores y tendrán que ser considerados dentro de los límites del sistema de producción. Por otro lado, las extremidades del bambú tampoco fueron considerados dentro del sistema de estudio, ya que, en su mayoría son usados para hacer manualidades, latillas, accesorios de escritorio, entre otros, es decir, pertenecen a otros sistemas.

Otra ventaja de la cosecha en la región de estudio es que el uso de herramientas es manual, machetes, y el consumo de energía es menor al que si se usaran las herramientas eléctricas. En el estudio de Yu et al., (2011) se menciona que la cosecha de bambú demanda tan solo de un 20 a un 30% de energía de lo que demanda la tala de un árbol de madera. Por lo que resulta interesante plantear un estudio futuro sobre el impacto de las herramientas en la producción.

Con respecto a la vivienda, los residuos producto de la construcción representan entre el 10% y 20% de los materiales usados. Estos valores son aproximaciones por parte de expertos, ya que, no se encontraron estudios sobre el porcentaje de residuos de construcción en viviendas

de bambú construidas en Perú o en Latinoamérica. Sin embargo, los residuos de las varas no fueron considerados porque son usados como manualidades o muchas veces forman parte de paneles de bambú chancado. En este sentido, se insta a la comunidad de especialistas a elaborar estudios de residuos de construcción de viviendas de bambú y madera y sus posibles usos.

En cuanto a los residuos de fin de vida de la vivienda, existen estudios del INBAR (2017) donde se considera a los residuos de bambú como una importante fuente de energía. Es así que en Madagascar funciona un gasificador de bambú cuyo uso, con 180 kg de residuos de bambú, logra iluminar a 250 hogares durante 6 horas, implementación que podría ejecutarse en lugares con problemas de electrificación.

Por otra parte, la vivienda también fue analizada en dos escenarios, uno a los 25 y otro a los 50 años. De todos los estudios en ambos escenarios, se concluye que la etapa de uso es la de mayor relevancia. La cual es representada por el mantenimiento y el consumo de energía operacional, cuyo impacto es alto en comparación del pre-uso. Por ello, en caso del mantenimiento se recomienda hacer uso de pinturas y/o barnices de bajo impacto ambiental. Análogamente, para reducir emisiones debido al consumo energético operacional, se podría hacer uso de equipos de ahorro energético y/o ahorro de agua.

Por último, la vivienda de bambú demostró ser la más beneficiosa en términos ambientales al ser comparada con estudios de la literatura. Así, se resalta el bajo impacto ambiental, incluso menor al de un departamento de 87 m². En relación con las categorías de medio impacto de la estructura, se concluye que el bambú con las uniones en investigación tiene un comportamiento ambiental favorable. Por lo que el proceso constructivo origina la menor cantidad de impactos en relación con otro proceso constructivo desarrollado en Colombia (bahareque encementado). Aun así, se podría desarrollar futuros estudios en Perú sobre otros procesos constructivos con bambú como material estructural.

En conclusión, una vivienda de bambú resulta ser beneficiosa y se recomienda su uso y difusión como material de construcción por su bajo impacto en el medio ambiente. Por lo que, ante una situación de crisis ambiental su difusión podría generar un adecuado control de emisiones, así como, ampliar el mercado de la producción de bambú y contribuir con el desarrollo de una industria. No obstante, para términos industrializados se podrían realizar futuros estudios de Análisis del Ciclo de Vida para determinar los procesos de mayor impacto ambiental para poder establecer políticas de mitigación de impactos y se logre desarrollar una industria amigable con el medio ambiente.



7. REFERENCIAS

- Abd Rashid, A. F., Yusoff, S., & Mahat, N. (2013). A Review of the Application of LCA for Sustainable Buildings in Asia. *Advanced Materials Research*, 724–725, 1597–1601.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.724-725.1597>
- Bambuterra Sapi De Cv. (2019). 10 ene. 2017 [Video]. Retrieved from
<https://www.youtube.com/watch?v=DaoGFLTpSr4>
- Barnet, Y., & Jabrane, F. (2019). Conectores de extremidades de bambú para estructuras exploración de un sistema de incrustación en la pared interna del tallo. *Campus*, 24(27), 53-65. <https://doi.org/10.24265/campus.2019.v24n27.05>
- Bellart Crevillen, M. y Mesa Marcos, S. (2009). Impacto ambiental y ciclo de vida de los materiales de construcción.
- Cáceres Cebrecos, A. (2016). Análisis De Ciclo De Vida Comparativo De Edificaciones Multifamiliares En Lima. Bachiller. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- El Comercio (2019). CCL: Construcción liderará el crecimiento del PBI en 2019. consulta: 4 de noviembre 2019 <https://elcomercio.pe/economia/construccion-liderara-crecimiento-pbi-2019-estima-ccl-noticia-nndc-597704-noticia/>
- European Commission. (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. (2010). 1st ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

- García Portugal, E., & Gonzales Ambia, J. (2015). El Consumo Mínimo De Energía Eléctrica Y Su Relación Con La Selección De Beneficiarios Del Vale De Descuento Fise [Ebook] (4th ed., pp. 10-40). Magdalena del mar-Lima: Fondo de inclusión social energético. Retrieved from <http://www.fise.gob.pe/pags/PublicacionesFISE/El-consumo-minimo-energia-electrica.pdf?2>
- García Torres, S. (2014). Evaluación Ambiental Durante El Ciclo De Vida De Una Vivienda Unifamiliar [Ebook] (pp. 10-73). Lima. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5313/GARCIA_S_ AMY_EVALUACION_AMBIENTAL_CICLO_VIDA_VIVIENDA_UNIFAMILIA_R.pdf?sequence=1&isAllowed=
- Garraín Cordero, D. (2009). Desarrollo Y Aplicación De Las Categorías De Impacto Ambiental De Ruido Y De Uso De Suelo En La Metodología De Análisis De Ciclo De Vida. Doctor. Universitat Jaume I.
- González Maza, F. (2012). Análisis del ciclo de vida de materiales de construcción convencionales y alternativos. Bachiller. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Herrmann, I. y Moltesen, A. (2015). Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production*, 86, pp.163-169.
- Homecenters Peruanos S.A. (2020). Mezcladora de concreto 11P3 con motor Honda 13HP. Promart.pe. Retrieved 6 July 2020, from <https://www.promart.pe/mezcladora-de-concreto-11p3-c-mot-honda-13hp-66120/p>.

Huy, B., & Than Long, T. (2019). A Manual for Bamboo Forest Biomass and Carbon Assessment [Ebook] (pp. 10-40). Beijing: INBAR. Retrieved from <https://resource.inbar.int/upload/file/1574823296.pdf>

INBAR (2017). El bambú como fuente de Bioenergía

Instituto de Vivienda, Urbanismo y Construcción. (2019). Proyecto de investigación: Desarrollo de un sistema constructivo con bambú y madera de Ingeniería. Artículo en preparación

International Energy Agency (2017). GLOBAL STATUS REPORT 2017. [online] Disponible en: https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf [Accessed 6 May 2019].

International Energy Agency (2017). Energy Efficiency. Market Report.

International Energy Agency (2018). CO₂ Emissions from fuel combustion. Statistics.

ISO, (2006a). Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework (ISO 14040). International Organization for Standardization.

ISO. (2006b). Environmental Management: Life Cycle Assessment; Requirements and Guidelines (ISO 14044). International Organization for Standardization.

Jaramillo Benavides, A., Ilha Librelotto, L., & Larco Benítez, M. (2015). Inventario Del Ciclo De Vida Del Proceso De Producción de Bambú Rollizo Tratado De La Especie Dendrocalamus Asper En El Noroccidente De Pichincha. Eidos, (8), 17. doi: 10.29019/eidos.v0i8.119

- Jesus Ramos Salazar. (2019). COSTOS Y PRESUPUESTOS EN EDIFICACIÓN [Ebook] (8th ed., pp. 90-246). LIMA. Retrieved from https://civilyedaro.files.wordpress.com/2014/08/costos_y_presupuestos_en_edificacion_-_capeco_r.pdf
- Li, J., Yuan, Y., & Guan, X. (2016). Assessing the Environmental Impacts of Glued-Laminated Bamboo Based on a Life Cycle Assessment. *Bioresources*, 11(1). <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.1941-1950>
- Masters, G. M., y Ela, W. P. (1991). Introduction to environmental engineering and science (Vol. 3). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Matthews, S., Hendrickson, C. y Matthews, D. (2014). Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions that Matter.
- Mezcla de carburante. (2019). Retrieved 26 September 2019, from https://www.stihl.es/combustibles-y-lubricantes-para-su-funcionamiento_1.aspx
- Ministerio de Agricultura. (2010). Plan Nacional de Promoción del Bambú. 2nd ed. Lima.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2015). Guía De Orientación Al Usuario Del Transporte Terrestre (pp. 8-76). Lima.
- Ministerio de vivienda Construcción y saneamiento (2013). Prototipos de Vivienda Progresiva. Lima: Unidad de Comunicaciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, pp.245-247.
- NCE 2016. (2019). The New Climate Economy. [online] Disponible en: <https://newclimateeconomy.report/2016/> [Accessed 8 May 2019].

Paucar Cárdenas, Santos Raphael y Llerena Suárez, Luis. (2018). Manual Técnico de la caña Guayaquil (*Guadua angustifolia*): Sistematización de experiencias en la Región Piura. 1era ed. Lima.

Paucar Cárdenas, R. (2019). Descripción del ciclo de vida de la producción del bambú en Piura [In person]. Satipo.

Ramirez, A., Torres, D., Peña, P., & Duque-Rivera, J. (2014). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions arising from the production of glued and pressed wall panels derived from *Guadua Angustifolia* Kunth (bamboo) in Ecuador. *Eco-Architecture V*. <https://doi.org/10.2495/arc140381>

Restrepo, Á., Becerra, R., & Tibaquirá G., J. (2016). Energetic and carbon footprint analysis in manufacturing process of bamboo boards in Colombia. *Journal Of Cleaner Production*, 126, 563-571. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.144>

Sajad Hussain, M. (2013). Bamboo as a Cost effective Structural Material in Buildings. *International Journal Of Engineering And Technical Research (IJETR)*, 1(9), 45-46. Retrieved 24 September 2019, from https://www.krishisanskriti.org/vol_image/03Jul201503074913.pdf

Sanz San Pablo, J. (2012). Análisis del Ciclo de Vida de una vivienda media de la Región de Murcia. Máster. Universidad Politécnica de Cartagena.

Sedapal. (2017). Mayor consumo de agua potable por habitante/día se registra en San Isidro - NOTICIAS - sedapal.com.pe. Sedapal.com.pe. Retrieved 29 September 2020, from https://www.sedapal.com.pe/noticias/-/asset_publisher/c20U/content/mayor-consumo-de-agua-potable-por-habitante-dia-se-registra-en-san-isidro;jsessionid=2E8649ED5B0EC30B7DF5434AE08CF0D9?redirect=http%3A%2

[F%2Fwww.sedapal.com.pe%2Fnoticias%3Bjsessionid%3D2E8649ED5B0EC30B7DF5434AE08CF0D9%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_c20U%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D2](https://www.sedapal.com.pe/noticias?sessionid%3D2E8649ED5B0EC30B7DF5434AE08CF0D9%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_c20U%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D2).

Salzer, C., Wallbaum, H., Ostermeyer, Y., & Kono, J. (2017). Environmental performance of social housing in emerging economies: life cycle assessment of conventional and alternative construction methods in the Philippines. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, 22(11), 1785-1801. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1362-3>

Speight, J. (2017). Sources and Types of Organic Pollutants. *Environmental Organic Chemistry for Engineers*, pp.153-201.

The Conversation. (2017). The world is facing a global sand crisis. Retrieved from <https://theconversation.com/the-world-is-facing-a-global-sand-crisis-83557>

The Difference Between the ecoinvent 3.1 System Models. (2019). Retrieved 18 November 2019, from <https://support.simapro.com/articles/Article/The-Difference-Between-the-ecoinvent-3-1-System-Models>

UNDP. (2011). “Cambio Climático: el desafío ambiental del siglo XXI” [Diapositivas de PowerPoint].

Unfccc.int. (2019). 175 Partes firman el Acuerdo de París | CMNUCC. [online] Disponible en: <https://unfccc.int/es/news/175-estados-firman-el-acuerdo-de-paris> [Accessed 16 May 2019].

Van der Lugt, P., van den Dobbelsteen, A., & Janssen, J. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting

structures. *Construction And Building Materials*, 20(9), 648-656.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.023>

Van der Lugt, P., Vogtländer, J. and Brezet, H. (2019). *Bamboo, a Sustainable Solution for Western Europe Design Cases, LCAs and Land-use*. Landbergstraat, Netherlands: INBAR.

Vaskan, P., Pachón, E. y Gnansounou, E. (2017). *Life Cycle Assessment of Sugar Crops and Starch-Based Integrated Biorefineries*. *Life-Cycle Assessment of Biorefineries*, pp.97-146.

Vásquez, A.; Salazar, C. y E. Bazan (2017). *Informe de Resultados. Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía – 2014-2015*. Gerencia de Políticas y Análisis Económico, Osinergmin – Perú.

Vázquez, I. (2019).” *Análisis del ciclo de vida*” [Diapositivas de PowerPoint].

Vázquez-Rowe, I., Cáceres, A., & Torres-García, J. (2017). *Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru* [Ebook] (1st ed., pp. 1-14). Lima: Peruvian LCA Network. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616319989?via%3Dihub>

Vázquez-Rowe I, Larrea-Gallegos G, Villanueva-Rey P, Gilardino A (2017) *Climate change mitigation opportunities based on carbon footprint estimates of dietary patterns in Peru*. *PLoS ONE* 12(11): e0188182.

Vázquez-Rowe, I., Ziegler-Rodriguez, K., Laso, J., Quispe, I., Aldaco, R., & Kahhat, R. (2018). *Production of cement in Peru: Understanding carbon-related environmental impacts*

and their policy implications. *Resources, Conservation And Recycling*, 142, 283-292.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.017>

Vogtländer, J., van der Lugt, P. y Brezet, H. (2010). The sustainability of bamboo products for local and Western European applications. LCA's and land-use. *Journal of Cleaner Production*, 18(13), pp.1260-1269.

Vogtländer, J., van der Velden, N., & van der Lugt, P. (2013). Carbon sequestration in LCA, a proposal for a new approach based on the global carbon cycle; cases on wood and on bamboo. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, 19(1), 13-23.
<https://doi.org/10.1007/s11367-013-0629-6>

Weidema, B., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., & Reinhard, J. et al. (2013). Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3 [Ebook] (p. 22). *Ecoinvent Report 1(v3)*. Retrieved 4 August 2020, from https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf.

What is The Paris Agreement?. *Unfccc.int*. (2016). Retrieved 20 January 2020, from <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

Yu, D., Tan, H., & Ruan, Y. (2011). A future bamboo-structure residential building prototype in China: Life cycle assessment of energy use and carbon emission. *Energy And Buildings*, 43(10), 2638-2646. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.013>

Zea Escamilla, E., & Habert, G. (2014). Environmental impacts of bamboo-based construction materials representing global production diversity. *Journal Of Cleaner Production*, 69, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.067>

Zea Escamilla, E., & Habert, G. (2015). Global or local construction materials for post-disaster reconstruction? Sustainability assessment of twenty post-disaster shelter designs. *Building And Environment*, 92, 692-702.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.036>

Zea Escamilla, E., Habert, G., Correal Daza, J., Archilla, H., Echeverry Fernández, J., & Trujillo, D. (2018). Industrial or Traditional Bamboo Construction? Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Bamboo-Based Buildings. *Sustainability*, 10(9), 3096.

<https://doi.org/10.3390/su10093096>

Zea Escamilla, E., Habert, G., & Lopez Muñoz, L. (2014). Environmental Savings Potential from the Use of Bahareque (Mortar Cement Plastered Bamboo) in Switzerland. *Key Engineering Materials*, 600, 21-33.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.600.21>

Zea Escamilla, E., Habert, G., & Wohlmuth, E. (2016). When CO₂ counts: Sustainability assessment of industrialized bamboo as an alternative for social housing programs in the Philippines. *Building And Environment*, 103, 44-53.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.003>

Zuraida, S., & Larasati, D. (2015). The Assessment of Marginal Prevention Costs on Bamboo Preservation Method. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 789-798.

<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.093>

서울시. (2019). [서울시]2019 서울 사회적경제 주간 기념행사 세부계획 2019. 6. 서울시,

179–181

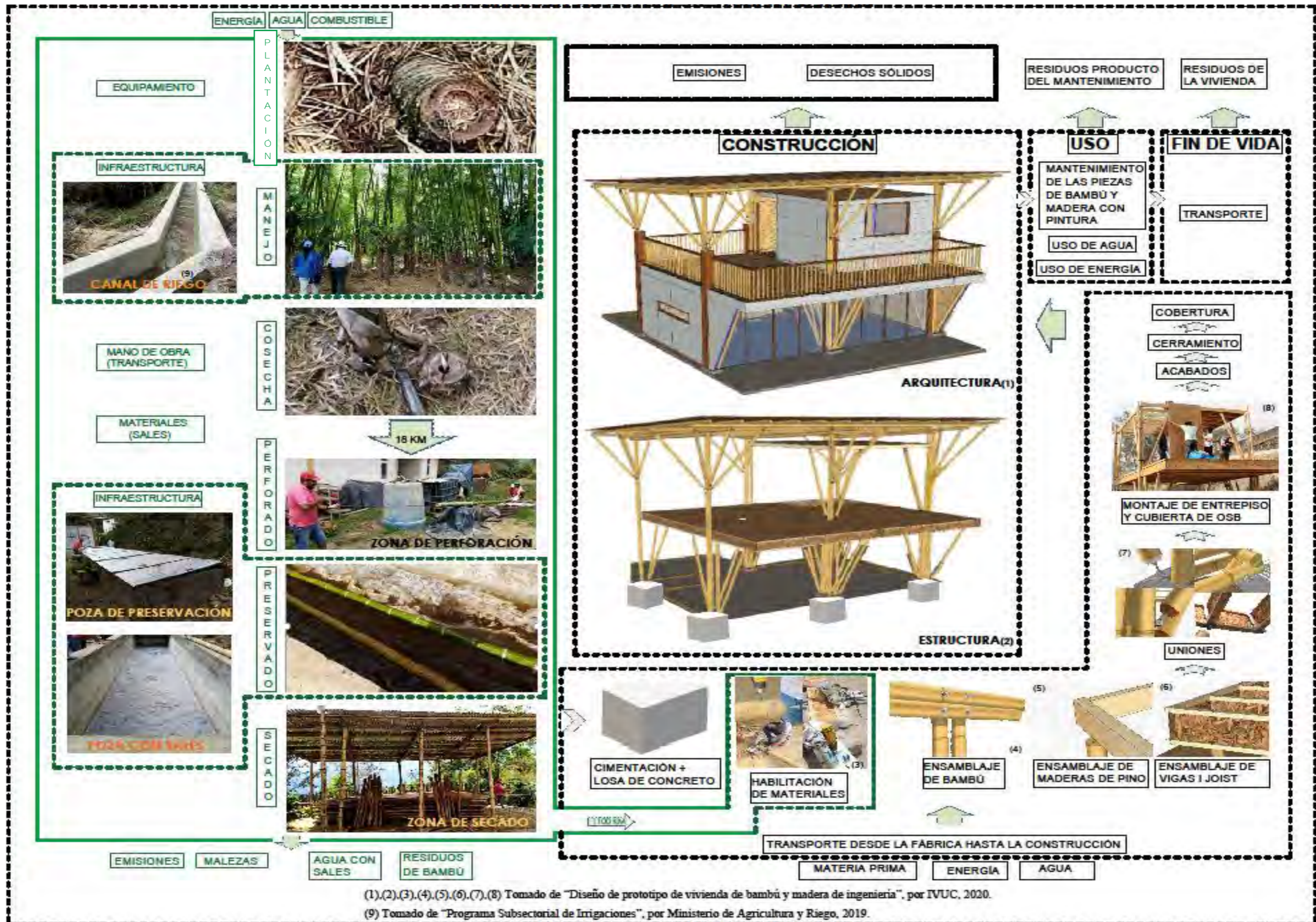
UN Climate Change Conference (COP26) at the SEC – Glasgow 2021. (2021). Retrieved 4 October 2021, from <https://ukcop26.org/>



ANEXOS



ANEXO A. LÍMITES DEL SISTEMA DE LA VIVIENDA DE BAMBÚ



(1),(2),(3),(4),(5),(6),(7),(8) Tomado de "Diseño de prototipo de vivienda de bambú y madera de ingeniería", por IVUC, 2020.

(9) Tomado de "Programa Subsectorial de Irrigaciones", por Ministerio de Agricultura y Riego, 2019.

ANEXO B. CUESTIONARIO PARA EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DEL BAMBÚ EN EL PERÚ

El presente cuestionario, fue hecho en base al desarrollado por Vázquez-Rowe, I., Cáceres, A., & Torres-García, J. (2017) en su investigación: “Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru”.

betsy.guerra@pucp.pe

Cuestionario de la producción del bambú

Datos personales: Diana Cruz Timoteo, Ramiro Neyra, Emerito Neyra, Raphael Paucar Cárdenas.

0. Datos generales:

0.1 Región

Lalaquiz, Piura.

0.2 Tipo de compañía

ONG PROGRESO en conjunto con la Asociación de productores de bambú y productores independientes

0.3 Tipos de guadua (solo para bambúes de uso structural)

Guadua Angustifolia

0.4 Tipo de bambúes producidos

Guadua Angustifolia

0.5 Edad del terreno de producción y previo uso de la tierra

16 años

0.6 Tipos de cultivos

Bambú

0.7 Información económica general

Características de operación	Unidad	Cantidad	Comentarios
La ONG Progreso opera en conjunto con la Asociación de productores de bambú y los productores independientes	#	1	La ONG Progreso trabaja con más de 18 personas, sin embargo el estudio se enfocó en las hectáreas de solo uno de los productores



Ilustración 1. Miembros de la Asociación de productores de bambú



Ilustración 2. Miembros de la ONG Progreso en la parcela en estudio del productor Ramiro Neyra

1. Plantación del bambú

1.1 Origen del bambú

Plantación	Comentarios
Método de cultivo: Cultivo por el método del burrito	El área de terreno es de 3.5 hectáreas cubierto con aproximadamente 14,000 bambúes, sin embargo, al comienzo solo se cultivaron 40 raíces de bambú
Tiempo de cultivo: 3 años	Los cultivos de bambú son cosechados cada 3 años y durante ese tiempo deben ser regados con frecuencia
Localización: Piura, distrito de Lalaquiz	Lalaquiz se encuentra a 4 horas de la ciudad de Piura
Modo de transporte: Camión de 3.5 ton a 7.5 ton	El camión usado para el transporte local de las varas de bambú recorre aproximadamente 20 km de distancia

1.2 Operación y manejo del cultivo

Características de operación	Unidad	Cantidad	Comentarios
Cultivo	Raíces x 3.5 hts	40	Método del burrito, con 40 cabezas de bambú se logró obtener en 16 años 14,000 bambúes
Manejo	Lt x bambú	1	El riego de la hectárea se realiza con agua proveniente de las quebradas naturales, aproximadamente a 0.5 km del lugar de cultivo. Este se realiza mediante un canal que debe abastecer a cada vara de bambú con aproximadamente 1000 litros de agua cada 20 días durante 7 meses del primer año de cultivo, y los dos años siguientes puede realizarse cada 2 meses durante 7 meses.

Comentarios: En algunos lugares, se comenta que el cultivo del bambú es natural y no necesita de agua

2. Cosecha del bambú

2.1 Cosecha de Guadua Angustifolia

Género de bambú	Área de cosecha (ha)	# de bambúes	Limitaciones de rendimiento	Comentarios
Guadua angustifolia	3.5	14,000	El método del burrito hace que el desarrollo de los bambúes sea más distanciado	Los productores recomiendan usar el método de los chusquines

2.2 Características de operación

Características de operación	Unidad	Cantidad	Comentarios
Número de trabajadores destinados a esta actividad	#	1	Un trabajador logra cortar 20 tallos de bambú en 8 horas El corte considera el tallo y las puntas y ramas del bambú
Modo de transporte	#	1	EL trabajador se traslada en moto con una duración de 15 minutos, aproximadamente 20 km.
Transporte del bambú al camión	#	2	Un obrero es capaz de trasladar 50 tallos en promedio en un jornal de 8 horas de la zona de cultivo hacia la carretera, para distancias cercanas en promedio de 10 minutos, alza de 200 bambúes al camión realizado por 2 peones.

2.3 Herramientas y maquinarias

Tipo	Cantidad	Características	Años de servicio	Tiempo esperado de duración(años)
Machete	1	Herramienta manual de uso mecánico	3	4

2.4 Pérdidas durante la cosecha

Fase	Porcentaje de pérdida	Cantidad (metro lineal)	Comentarios
Cosecha	25	2	El corte del bambú considera 1 metro en la cabeza y 1 metro desde la raíz

3. Perforado

3.1 Características de operación

Características de operación	Unidad	Cantidad	Comentarios
Número de trabajadores destinados a esta actividad	#	2	2 personas pueden perforar 52 baras de bambú
Horas de perforación	horas	8	52 bambúes perforados
Duración de la perforación	días	1	52 bambúes perforados

3.2 Herramientas y maquinarias

Tipo	Cantidad	Características	Año de fabricación	Años de servicio	Tiempo esperado de duración(años)
Varilla de acero	1	Herramienta mecánica de uso manual	2016	3	5

4. Preservación del bambú

4.1 Preservación química (solo para uso de bambú estructural)

a) Características de preservación

Características de operación	Unidad	Cantidad	Cantidad de bambúes preservados
Número de trabajadores destinados a esta actividad	#	1	52 bambúes son sumergidos para el preservado. Sin embargo la capacidad de la poza de preservación es de 65 bambúes, por lo que se va a considerar 65 bambúes para el preservado
Horas de llenado a poza	horas	8	
Duración del bambú sumergido en la poza	días	4	

b) Herramientas y maquinarias (por metro lineal de bambú)

Tipo	Cantidad	Material	Dimensiones	Tiempo esperado de duración(años)
Poza de preservación	1	concreto armado	8.67m x 1.62m x 1.36m	50

c) *Soluciones usadas (por metro lineal de bambú)*

Marca de la solución	Contenido(kg)		Proporción de mezcla (%)
1 bolsa	acido bórico	25	3
1 bolsa	borax	25	3
Agua	-		94

5. **Secado**

5.1 *Características de secado*

Características de operación	Unidad	Cantidad	Comentarios
Número de trabajadores destinados a esta actividad	#	1	Un trabajador puede retirar los 65 bambúes durante medio jornal y colocarlos en la zona de secado
Duración del secado del bambú	Días	2	El secado puede terminar en 2 días
Infraestructura	#	1	Constituido por 24 bambúes sin preservado, es donde se deja el bambú hasta su pedido

**ANEXO C. INFRAESTRUCTURA CORRESPONDIENTE A LA PRODUCCIÓN DEL
BAMBÚ**

Partida	Descripción	U.F	Cant	Base de datos	Cant	Cant/U.F	Und
CANAL DE RIEGO (*)	Encofrado y desencofrado de poza	m ²	132.710966	Sawn timber, hardwood, planed	2.6542	0.0200	m ³
				Power saw	33.8413	0.2550	hm
				Steel, low alloyed	0.2500	0.0019	kg
	Acero de refuerzo	kg	1110	Steel, low alloyed	1187.7000	1.0000	Kg
				Power saw	22.2000	0.0200	hm
	Concreto en poza	m ³	7.715	Portland cement	2893.1250	375.0000	kg
				Sand	5670.5250	735.0000	kg
				Tap water, at user	1774.4500	230.0000	kg
				machine operation	0.0000	0.0000	p
				Gravel	7985.0250	1035.0000	kg
POZA DE PRESERVACIÓN (*)	Encofrado y desencofrado de poza	m ²	40.94	Sawn timber, hardwood, planed	0.8188	0.0200	m ³
				power saw	1.5000	0.0366	hm
				steel, low alloyed	0.2500	0.0061	kg
	Acero de refuerzo	kg	146.77	Steel, low alloyed	157.0439	1.0000	Kg
				Power saw	2.9354	0.0200	hm
	Concreto en poza	m ³	2.38	Portland cement	754.4600	317.0000	kg
				Sand	1942.0800	816.0000	kg
				Tap water, at user	485.5200	204.0000	kg
				machine operation	1.1900	0.5000	p
				Gravel	2449.0200	1029.0000	kg
ZONA DE SECADO (*)	Zona de secado constituido de 24 varas de bambú	p	1	Land use	30.0000	30.0000	m ²
				Pole of bambú	24.0000	24.0000	p