

**Universidad Central de Costa Rica**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil**

**Comparación del impacto ambiental y costo económico en la  
construcción de viviendas de bien social edificadas en madera y  
concreto prefabricado en Costa Rica**

**Estudiante:**

**María Fernanda Pérez Quesada**

**Tutor:**

**Ing. José Alonso Murillo**

**San José, Costa Rica**

**2021**

## Tabla de contenido

<b>1. Capítulo 1</b> .....	1
<b>Introducción</b> .....	1
<b>1.1 Planteamiento del problema</b> .....	1
<b>1.2 Pregunta de investigación</b> .....	2
<b>1.3 Objetivos</b> .....	2
<b>1.3.1 Objetivo general</b> .....	2
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	2
<b>1.4 Justificación</b> .....	3
<b>1.5 Antecedentes</b> .....	4
<b>1.5.1 Antecedentes internacionales</b> .....	4
<b>1.5.2 Antecedentes nacionales</b> .....	8
<b>2 Capítulo 2</b> .....	13
<b>2.1 Marco teórico</b> .....	13
<b>2.1.1 Contaminación ambiental</b> .....	13
<b>2.1.1.1 Cambio climático</b> .....	13
<b>2.1.1.2 Gases efecto invernadero (GEI)</b> .....	14
<b>2.1.1.3 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b> .....	14
<b>2.1.1.4 Cálculo de la huella de carbono</b> .....	15
<b>2.1.1.5 Ciclo de vida (OpenLCA)</b> .....	15
<b>2.1.2 Normativa construcción de viviendas de interés social</b> .....	17
<b>2.1.2.1 Instituciones para aprobación de bonos para casas de interés social</b> .....	17
<b>2.1.3 Casas prefabricadas</b> .....	17
<b>2.1.4 Casas madera</b> .....	19
<b>2.1.5 Análisis de resultados mediante el Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles (MIVES)</b> .....	24
<b>3 Capítulo 3</b> .....	26
<b>Marco metodológico</b> .....	26
<b>3.1.1 Enfoque de la investigación</b> .....	26
<b>3.1.2 Tipo de investigación</b> .....	26
<b>3.1.3 Sujetos y fuentes de información</b> .....	27

3.1.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
<b>4</b>	<b>Capítulo 4.....</b>	<b>30</b>
4.1	Análisis de información.....	30
4.1.1	Requisitos para la construcción de viviendas de interés social .....	30
4.1.2	Diseño estructural en madera .....	36
4.1.2.1	Suposiciones de diseño.....	36
4.1.2.2	Diseño de la vivienda .....	37
4.1.2.3	Cargas de diseño .....	38
4.1.2.4	Modelo en SAP 2000 .....	41
4.1.2.5	Diseño en flexión .....	42
4.1.2.6	Revisión por deflexión .....	48
4.1.2.7	Diseño por cortante .....	51
4.1.2.8	Diseño por compresión .....	54
4.1.2.9	Piezas de madera .....	55
4.1.4	Pesos material casa prefabricada.....	57
4.2	Cálculo del ciclo de vida de las viviendas.....	57
4.2.1	Consumo de agua m <sup>3</sup> .....	61
4.2.2	Calentamiento global, kg CO <sub>2</sub> gerenado .....	62
4.2.3	Formación de Ozono, ecosistemas terrestres kg NO <sub>x</sub> .....	64
4.2.4	Niebla toxica (smog), kg O <sub>2</sub> eq.....	66
4.2.5	Cambio climático, kg CO <sub>2</sub> .....	68
4.3	Costos sistemas constructivos .....	71
4.4	MIVES tomo de decisiones.....	73
4.4.1	Programador.....	73
4.4.2	Usuario .....	79
4.4.3	Reporte .....	79
<b>Capítulo 5</b>	<b>.....</b>	<b>82</b>
5.1	Conclusiones .....	82
5.2	Recomendaciones .....	83
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>84</b>

## Ilustraciones

Ilustración 1. Contaminación ambiental.....	13
Ilustración 2 .Efecto invernadero.....	14
Ilustración 3. Ciclo de vida.....	16
Ilustración 4. Casa prefabricada .....	19
Ilustración 5. Modulo de sección.....	21
Ilustración 6. Marco de paredes madera.....	23
Ilustración 7. Cada de madera .....	23
Ilustración 8. MIVES sostenibilidad .....	25
Ilustración 9. Vivienda base .....	37
Ilustración 10. Modelo 3D.....	41
Ilustración 11. Distribución vigas.....	42
Ilustración 12. Unidades para el flujo.....	58
Ilustración 13. Inicio ciclo de vida casa madera.....	58
Ilustración 14. Fin ciclo de vida casa madera.....	59
Ilustración 15. Inicio de ciclo de vida casa prefabricada.....	59
Ilustración 16. Fin del ciclo de vida casa prefabricada.....	60
Ilustración 17. Propiedades modelo.....	73
Ilustración 18. Preferencia población de vivienda.....	74
Ilustración 19. Árbol de requerimientos .....	75
Ilustración 20. Indicadores .....	76
Ilustración 21.Funcion de valor .....	77
Ilustración 22. Pesos .....	78
Ilustración 23. Valores viviendas .....	79

## Tablas

Tabla 1. Factor de ajuste por el peralte de la sección.....	22
Tabla 2. Requisitos mínimos para la construcción de viviendas de interés social .....	31
Tabla 3. Carga permanente.....	38
Tabla 4. Calculo fuerza sísmica.....	39
Tabla 5. Densidad de la madera.....	40
Tabla 6. Factores de carga y resistencia viga corona .....	43
Tabla 7. Factores de carga y resistencia para viga principal .....	43
Tabla 8. Factores de carga y resistencia para viga secundaria .....	44
Tabla 9. Factores de carga y resistencia para viguetas .....	45
Tabla 10. Diseño en flexión viga corona.....	46
Tabla 11. Diseño en flexión viga principal.....	46
Tabla 12. Diseño en flexión viga secundaria.....	47
Tabla 13. Diseño en flexión viguetas .....	48

Tabla 14. Revisión por deflexión viga corona.....	49
Tabla 15. Revisión por deflexión viga principal .....	50
Tabla 16. Revisión por deflexión viga secundaria .....	50
Tabla 17. Revisión por deflexión viguetas .....	51
Tabla 18. Diseño por cortante viga corona.....	52
Tabla 19. Diseño por cortante viga principal .....	52
Tabla 20. Diseño por cortante viga secundaria.....	53
Tabla 21. Diseño por cortante viguetas .....	53
Tabla 22. Diseño por compresión.....	55
Tabla 23. Resumen de material para casa de madera .....	56
Tabla 24. Gypsum vivienda de madera .....	56
Tabla 25. Resumen materiales casa prefabricada.....	57
Tabla 26. Costos casa prefabricada .....	71
Tabla 27. Costos casa madera.....	71

## Graficas

Grafica 1. Consumo de agua casa madera.....	61
Grafica 2. Consumo de agua casa prefabricada.....	61
Grafica 3. comparativo consumo de agua .....	62
Grafica 4. Calentamiento global madera .....	63
Grafica 5. Calentamiento global prefabricado.....	63
Grafica 6. Comparativa calentamiento global .....	64
Grafica 7. Generación de ozono madera .....	65
Grafica 8. Generación de ozono prefabricado .....	65
Grafica 9. Comparativa generación de ozono .....	66
Grafica 10. Niebla toxica madera .....	67
Grafica 11. Niebla toxica prefabricado.....	67
Grafica 12. Comparativa Niebla toxica .....	68
Grafica 13. Cambio climático madera.....	69
Grafica 14. Cambio climático prefabricado .....	69
Grafica 15. Comparativa cambio climático.....	70
Grafica 16. Comparativa costo viviendas.....	72
Grafica 17. Afectación ambiental.....	80
Grafica 18. Resultados géneroles comparativa.....	81

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios que me ha dado la fortaleza para cumplir con mis metas llenándome de sabiduría para alcanzar mis objetivos.

Agradezco al Ing. Alejandro Cervantes, mi director de carrera, que desde el primer día me mostró su apoyo para la realización de mi proyecto y siempre estuvo anuente a responder todas mis dudas en todo el transcurso del proyecto, gracias a él pude aprender cómo utilizar varios programas para poder culminar mi proyecto de graduación.

Al Ing. Jose Alonso Murillo mi tutor que me ayudó con sus comentarios, correcciones y aportes para mejorar y tener un enfoque más acertado y funcional para el proyecto.

Al Ing. Jose A. Castro Herra que siempre estuvo presente y me colaboró con mucha información para la realización del proyecto, también dándome su apoyo y motivación incondicional en la carrera y mi vida.

A mi familia, principalmente a mi hermana Elena Pérez y mi madre María Esther que estuvieron desde el inicio de mi carrera motivándome a nunca dar marcha atrás con mis sueños y ganas de crecer profesionalmente.

**Dedicatoria**

Este proyecto se lo dedico a mi madre María Esther que con mucha dedicación y cariño me ha enseñado a luchar por mis sueños y no dejarme vencer por las adversidades que se pueden presentar en el camino. Gracias a su ejemplo aprendí a esforzarme y tener una buena administración de los recursos para alcanzar mis metas.

## Resumen

En el país la mayoría de las viviendas de interés social están construidas en sistema de concreto prefabricado de columnas y baldosas, en el año 2020 según Estadísticas del BANVHI se construyeron 12873 viviendas que generan un gran daño ambiental debido a los materiales con los que se fabrican ya que no son amigables con el ambiente. Por esto es importante conocer el impacto ambiental que se genera por la construcción de las viviendas y dar una solución alternativa para crear viviendas de interés social amigables con el ambiente.

La construcción de viviendas de bien social en madera podría colaborar a la disminución de CO<sub>2</sub> ya que la madera contribuye a la limpieza del aire atrapando el CO<sub>2</sub> y liberando oxígeno.

Con este trabajo se pretende conocer la afectación ambiental y económica del sistema prefabricado y el sistema en madera para determinar la factibilidad de construir en el GAM viviendas de interés social realizando un diseño estructural de la vivienda para determinar los materiales con los que construir la casa para determinar su costo y afectación ambiental.

Este trabajo es de tipo cuantitativo de enfoque experimental ya que se deben comparar numéricamente costos económicos y afectación ambiental para conocer cuál de los dos sistemas es más favorable para la construcción de viviendas.

Con ayuda del programa OpenLCA se establecerán parámetros para conocer diferentes afectaciones ambientales que se pueden dar por la construcción de una vivienda, dependiendo de la materia que se vaya a utilizar para la construcción de las casas así será su afectación.

Para la comparativa económica se analizarán los costos de cada sistema constructivo mediante la solicitud de cotizaciones para conocer el valor de las viviendas en madera y en prefabricado, según la solicitud de materiales producto del diseño estructural propuesto.

Para las comparativas finales se utilizará MIVES en el que se ingresan los resultados de los costos y la afectación ambiental y generará gráficamente los resultados de los datos estudiados.

Como parte de los resultados se determinó que, a nivel ambiental, es 39% más factible la construcción de viviendas de interés social en madera; pero a nivel económico es mejor la construcción en prefabricado ya que el ahorro es casi de un 30%.

Según los resultados arrojados en el programa MIVES como consecuencia final de la comparativa, se realizó una evaluación de 40:40:20 en la que se representa en un 40% lo ambiental y económico y en un 20% la opinión social; por tanto, son mejores las construcciones en madera considerando la distribución realizada.

Como recomendación se propone hacer un análisis de la vida útil de ambos sistemas constructivos y el mantenimiento que requiere cada uno de ellos, para minimizar los costos en el sistema de madera se sugiere utilizar el diseño simplificado del capítulo 17 del CSCR 2010 versión 2014 para la realización de viviendas en madera ya que si se realiza de diseño el dimensionamiento de las piezas es mayor, de igual modo el costo. Se propone utilizar madera nacional, ya que en los resultados la madera es donde se genera mayor afectación ambiental es la importación del material.

## **1. Capítulo 1**

### **Introducción**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

Uno de los grandes desafíos que se tiene actualmente en Costa Rica es la reducción de CO<sub>2</sub> en el ambiente, la mayoría de las viviendas de interés social que se construyen en la gran área metropolitana son en sistemas prefabricados, que es un sistema práctico debido a la rapidez con la que se construye y tiene un costo económico accesible, pero no se considera la afectación que causan estos sistemas constructivos en el medio ambiente.

En el país la mayoría de las viviendas están construidas a base de productos cementicios que no generan aportes positivos al medio ambiente.

El sistema que se evaluará es prefabricado a base de columnas y baldosas de concreto reforzado y aunque su elaboración es en fábricas industriales generan un gran daño ambiental debido a que los materiales con los que se construyen no son amigables con el medio ambiente por lo que generan grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.

Es significativo conocer el impacto ambiental de la construcción de viviendas y así prever los daños ambientales que pueden darse con el paso de los años y lograr reducir el efecto invernadero. Según estadísticas del BANHI en el año 2020 se construyeron 12873 viviendas de interés social en el país lo que podría representar en gran impacto y daños ambientales.

Según “Costa Rica. Gobierno del bicentenario (2016)” el “El gobierno de Costa Rica mantiene y fortalece su compromiso con la meta de Carbono Neutralidad para el 2021 y el proceso de descarbonización de la economía por lo cual propone acciones climáticas para que las y los ticos

puedan contribuir a la meta país”. Costa Rica está comprometida a remover de la atmosfera el bióxido de carbono en su totalidad con la propuesta de carbono neutral para el 2021, por lo que reducir el CO<sub>2</sub> producido por las construcciones sería de gran aporte para llegar a la meta planteada por el país. Por esto se debe buscar alguna solución alternativa para que se disminuya el CO<sub>2</sub> en la atmosfera.

La madera es una solución amigable con el ambiente que reduciría el daño ambiental según Tuk (2019). Por una tonelada de madera se absorben cuatro toneladas de CO<sub>2</sub> y tiene muchas propiedades aptas para la construcción de una vivienda, sin embargo, se debe determinar si es factible construir una casa de bien social en este sistema debido a los costos que se podrían producir.

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿Como determinar el impacto ambiental y económico en la construcción de viviendas de bien social en edificaciones de madera y concreto prefabricado en Costa Rica para minimizar la afectación en el medio ambiente?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar la factibilidad ambiental y económica de una vivienda de bien social en madera mediante la comparación con el sistema prefabricado de columnas y baldosas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Recopilar requisitos para la construcción de viviendas de interés social en madera.
- Realizar diseño estructural en madera para viviendas de bien social.

- Definir el impacto ambiental y económico de los sistemas en prefabricado y madera.
- Comparar el impacto ambiental y costo económico de la construcción en prefabricado y madera.

#### **1.4 Justificación**

Según el artículo 65 de la Constitución Política de Costa Rica “El Estado promoverá la construcción de viviendas populares y creará el patrimonio familiar del trabajador.” Esto quiere decir que toda persona tiene derecho a una vivienda adecuada que cumpla con sus derechos económicos, sociales y culturales, las personas con ayuda del BANVHI podrían adquirir una vivienda digna con colaboración del gobierno para poder tener una vivienda para desarrollarse con su familia.

La construcción de viviendas de bien social en madera podría ayudar a disminuir el CO<sub>2</sub> en la atmosfera ya que la madera contribuye a la limpieza del aire y es una solución sumamente amigable con el ambiente ya que podemos reforestar los bosques.

Las construcciones siempre serán parte importante para la sociedad, generando empleo y viviendas, por lo que es imposible dejar de realizarlas, pero se debe tener una visión no solamente de funcionalidad sino también ayudar al ambiente, por esto las construcciones de viviendas de bien social en madera en el GAM llegarían a dar un respiro al planeta de tanta contaminación que hemos generado con el paso de los años.

Las casas de interés social son construcciones que han ido aumentando con el tiempo, según el BANVHI del año 2018 al 2019 se tramitaron 2064 bonos más para la construcción de viviendas, por lo que es de gran importancia no solamente brindar a una familia una solución de vivienda sino

también que la vivienda pueda contribuir con el ambiente, tomando en cuenta que debe cumplir con las mismas requisiciones que una vivienda en prefabricado.

Hay que resaltar que en otros países empresas como Acciona, Abengoa, Ferrovial, Acerinox han establecido un monto a los gases de efecto invernadero que se genera por sus labores realizadas y así llevar un control y disminuir el daño que se le hace al ambiente, promoviendo minimizar la generación de gases de efecto invernadero.

La mayoría de las viviendas de bien social en Costa Rica en la gran área metropolitana son construidas en sistemas prefabricados, se creará una solución alternativa en madera que cumpla con todos los requerimientos que pide el BANHVI en Costa Rica, no solo a nivel constructivo sino también ambiental y que satisfaga las necesidades de todas las personas que vivan en ella.

## **1.5 Antecedentes**

### **1.5.1 Antecedentes internacionales**

Un primer trabajo corresponde a Katia Regina Punhagui García (Brasil, 2014) quien realizó la propuesta: “Potencial de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera” ... Uno de los objetivos principales de esta tesis es conocer si la construcción de viviendas en madera puede mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> y disminuir la energía incorporada en Brasil, por lo que se investigan los tipos de maderas nativos que existen en ese país y cuáles serán aptas para la construcción de viviendas. Considera desde la extracción del material, el transporte que se requiere desde la plantación hasta donde se procesa, el proceso de convertir el tronco en madera útil para el consumidor y el transporte final. Determina la afectación por el CO<sub>2</sub> de cada tipo de madera estudiada.

Concluye que el desempeño en el uso de la vivienda influye enormemente en el consumo de recursos energéticos y que es importante considerar la producción de otros gases como lo es el metano en la descomposición de la madera para conocer la consecuencia en los cálculos del efecto invernadero.

Este proyecto es de gran aporte por la medición de los tipos de árboles estudiados y los procedimientos para conocer cuanto dióxido de carbono se produce en la atmosfera por las construcciones en madera.

Un segundo trabajo corresponde a María Paz Jara Ruiz (Chile, 2015) quien realizó la propuesta “Comparación de la huella de carbono en la construcción de edificaciones de hormigón y madera sólida contra laminada.” En este trabajo se realiza una comparativa de la huella de carbono en los procesos constructivos para una edificación de mediana altura, en la que se define una metodología de cuantificación de la huella de carbono producida en el edificio, posteriormente realiza el análisis de la huella de carbono de un edificio de hormigón de cuatro pisos, uno en madera contra-laminada de la misma altura y se compara la huella de carbono de cada uno.

Se consideran las emisiones directas que son las provenientes de calderas y vehículos las que son emisiones que ya son controladas por una empresa, las emisiones que son provenientes de la electricidad adquirida y por último contempla otro tipo de emisiones indirectas que son las generadas por los transportes, la extracción y producción de materiales y el uso de productos y servicios.

Este proyecto determina el gran aporte que es construir con madera a nivel ambiental y recalca que se deben realizar más estudios a nivel estructural, ya que en los códigos chilenos hay muchas limitantes por alturas, por lo que se recomienda realizar códigos más específicos de diseño.

Esta tesis identifica la cantidad de materiales necesario para construir una obra para posteriormente calcular los factores de emisiones de gases por cada material, convirtiendo de toneladas a emisiones de CO<sub>2</sub>, por último realiza una sumatoria del total de emisiones de CO<sub>2</sub> generados y se hace una comparativa entre dos sistemas.

Un tercer proyecto corresponde a Jorge Galván Rodríguez (España, 2017) quien hizo la propuesta “Sostenibilidad y durabilidad de elementos estructurales superficiales en base madera el caso del CLT”. En esta tesis de doctorado se plantea el estudio de la durabilidad estructural por la degradación de agentes abióticos mediante ensayos de laboratorios en los que se hacen pruebas de envejecimiento artificial, se analiza dos especies diferentes de madera que son muy utilizadas en el sector construcción para encolado y para tratamientos protectores en profundidad. En este trabajo se realiza un estudio para evaluar su durabilidad y poner en evidencia el valor que tiene la madera en España.

Lo que se desea impulsar en el proyecto es el uso de la madera comprobando que si tiene una buena durabilidad y se podría utilizar para realizar construcciones mixtas. Explica todas las partes que tiene un tronco como lo es la corteza, floema, duramen y albura y especifica su dureza. Parte importante de lo que se desea realizar en este proyecto es medir la vida útil de la madera a nivel constructivo, en esta tesis se da una explicación que determina de donde se debe extraer la madera dependiendo del fin con el que se utilice.

Un cuarto trabajo es de Silvana Carangui R. (2010) quien realizó la propuesta “Estudio de los sistemas constructivos tradicionales en madera”. En él se plantea demostrar que el sistema de construcciones en madera es un sistema útil y se aplica a un medio rural, se realiza un diseño de una vivienda que sea adaptable a una parroquia, se estudian las propiedades de la madera físicas, eléctricas, acústicas, térmicas y mecánicas, su forma y los factores que la pueden afectar.

Realizando un diseño estructural para una vivienda de bien social con elementos estructurales de grandes secciones ensamblados por uniones tradicionales de caja-espiga. Explica las grandes ventajas que tiene el uso de la madera como el comportamiento con el medio ambiente, la transmisión del sonido en las construcciones, la humedad, el comportamiento que tiene la madera ante los sismos y el fuego.

Este trabajo es de gran aporte ya que especifica todas las ventajas que tienen las construcciones en madera, y que propiedades debe tener cada elemento para que sea resistente a la hora de diseñar una vivienda.

Un quinto proyecto es de Víctor Hugo Salazar Alvarado (2014) quien realizó la propuesta “Vivienda con estructura de madera en la ciudad de Guayaquil.” El principal objetivo es determinar la factibilidad de la construcción de viviendas con estructura de madera en la ciudad de Guayaquil, identificando las características de la madera de uso estructural que se encuentran disponibles en la zona e identificar las metodologías constructivas utilizadas en las viviendas.

Se describen la dureza y tipos de maderas para la construcción, el transporte que se necesita y los tipos de madera que están en el mercado. Muestra todos los parámetros a considerar para el diseño estructural de una vivienda, desde las bases hasta los techos, todos diseñados en madera y como deben de ser sus uniones. En este proyecto se da una propuesta para la construcción de casas de bien social, que primeramente se construirían en hormigón armado y se propone realizarla en madera.

Se muestra una metodología para el diseño en que da una idea de cómo debe de ser el diseño estructural para una vivienda de bien social, con el diseño de las vigas, las columnas haciendo una comparativa de costos con la de hormigón.

### 1.5.2 Antecedentes nacionales

Un sexto trabajo corresponde a Stuart Sáenz Montero (2015) y se denominó: “Comparación de la huella de carbono generada al construir las paredes de una vivienda unifamiliar de 45m<sup>2</sup> en obra gris, utilizando las emisiones calculadas al usar losas prefabricadas de concreto y al usar teca” En este trabajo se muestra una comparativa en la construcción de paredes prefabricadas y madera teca en la que se mide el dióxido de carbono producido para una vivienda determinada, se establece el proceso desde antes que el material salga de las plantas para conocer el impacto a nivel ambiental que se produce por los prefabricados y con la madera teca desde el momento de su cultivo considerando elementos de transporte, producción de material y construcción.

Se utiliza la herramienta myclimete para medir las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas, basado en las normas ISO14040/44 e ISO14067, que mide el consumo energético y el tipo de combustible utilizado.

El resultado de este estudio determina que las emisiones de CO<sub>2</sub> que provocan más daños en el ambiente son causados por la producción de materiales de construcción ya que utilizan equipos de alto consumo energético. Y que la madera es el único rubro que influye positivamente en la concentración de CO<sub>2</sub>.

Este trabajo es de gran aporte a la investigación para conocer parte de las emisiones de gases que se generan en el sistema prefabricado y todo el proceso que conlleva la construcción de viviendas de este tipo.

Un séptimo trabajo pertenece a Sebastián Vega Rodríguez (2014) quien realizó la propuesta “Cálculo y reducción de la huella de carbono en materiales de construcción de viviendas de interés social.” Esta tesis estudia la reducción de la huella de carbono producida en casas de interés social

en Costa Rica construidas en mampostería y prefabricados y busca una solución alternativa para la reducción del CO<sub>2</sub>.

Menciona la norma PAS 2050 publicada en 2008 que sugiere los pasos con los que se puede calcular la huella de carbono en el ciclo de la vida de un producto o servicio, que establece un mecanismo para el cálculo de los gases. Además, se basa en la tesis de César Augusto Rodríguez (2010), denominada “Calculadora de carbono para materiales básicos de construcción de obra gris en Costa Rica” en la que define las emisiones de carbono de los materiales para obra gris de una construcción.

Este proyecto concluye que en Costa Rica no hay medidas precisas de factores de emisiones de CO<sub>2</sub> por lo que recomienda la inversión de recursos para poder cuantificar mejor las emisiones, también se determinó que el sistema que consume más energía es el sistema de mampostería y el cual requiere más mano de obra, recomienda reducir materiales como el cemento ya que son los materiales que generan más huella de carbono en la atmósfera, además recomienda usar maderas de origen nacional, ya que en el estudio se utilizó madera proveniente de Estados Unidos, por lo que indica estudiar maderas como lo son teca, melina, pochote, entre otras.

Este trabajo ayuda con los análisis para conocer la generación de carbono que se producen en los materiales de construcción, mediante dos metodologías, el método de presupuesto de materiales y el análisis de energía acumulada.

Un octavo trabajo de Paula Badilla Arroyo, Jose Andrés Elizondo Santiago, Tatiana Fernández Martínez, Jorge Méndez, Fabricio Mora, Marcela Quesada (2015) lleva el título “Cálculo de huella de carbono para materiales de construcción en Costa Rica.” En este trabajo se

analizan todos los procesos constructivos para conocer el ciclo completo de vida de un producto según la demanda en Costa Rica obteniendo los factores de emisiones propias en el país.

Este proyecto tiene como fin estimar el factor de emisiones de gases del efecto invernadero en la construcción, mediante el estudio de metodologías para la obtención de estos factores, se logra asignar estos valores a los materiales analizados para conocer la huella de carbono de las construcciones.

Se realiza un estudio por unidad de material para determinar el CO<sub>2</sub> generado. Se muestra una investigación y comparación de las emisiones calculadas internacionalmente y las nacionales, para así tener parámetros de las variaciones que se pueden dar en los cálculos.

Es de gran aporte para esta investigación ya que da un desglose de las emisiones de gases producidas por materiales específicos, y con emisiones por unidades, da ejemplos relacionados con las baldosas y columnas, mampostería la cual conlleva materiales como bloques y varillas, sistemas livianos y maderas sólidas y maderas laminadas.

Un noveno proyecto pertenece a Rudy Daniela Bello Balladares (2019) quien realizó la propuesta “Evaluación de la calidad de la madera utilizada en viviendas de interés social financiadas por el Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI) en Costa Rica.” Esta propuesta plantea desarrollar una metodología para conocer la calidad de la madera en casas de bien social mediante un manual de lineamientos que se adapte a los requisitos que solicita el Banco Hipotecario de la Vivienda.

Esta metodología evalúa el contenido de humedad de la madera, las dimensiones y la calidad, la penetración del preservante en la madera y muestras de retención de preservantes considerando varias normas en Costa Rica.

Este proyecto provee aspectos a considerar como el transporte de la madera, la medición de la humedad, maquinaria y equipo que se debe usar para el transporte y normas según el BANVI para la construcción de viviendas en madera.

## **Proyecciones**

### **Alcances**

- El siguiente trabajo estudiará la factibilidad de la construcción de viviendas de bien social en sistema constructivo con madera. Se pretende considerar factores ambientales y económicos en una comparativa con las construcciones en sistema prefabricado.
- Se estudiarán los requisitos que solicita el BAHNVI para la construcción de viviendas de interés social, a partir de ahí se realizará una propuesta de una planta arquitectónica que será el diseño base para la realización de todos los cálculos.
- Se realizará un diseño estructural de la vivienda en madera con el mismo dimensionamiento a la prefabricada para hacer una comparativa más certera de la afectación ambiental y económica para conocer las diferencias que se generen entre ambos modelos.
- Se estudiará la afectación ambiental de las dos viviendas para determinar si es factible cambiar el diseño tradicional de las viviendas prefabricadas.
- Se analizarán los costos de ambos sistemas, para determinar si es factible económicamente variar el sistema constructivo tradicional utilizado en el país.

### **Limitaciones**

- La comparativa no contempla elementos electromecánicos ni acabados de las viviendas ya que por su similitud no generarán un valor determinante en los cálculos de la afectación ambiental y a nivel de cosos son muy similares.

- No se contemplan las conexiones en el diseño de madera ya que no sería de gran relevancia en el análisis del impacto ambiental y económico, por su bajo impacto sobre estos rubros.
- No se realiza el diseño de las fundaciones de la vivienda ya que eso depende del terreno en el cual se vayan a construir por esto se realizará una estimación de esos materiales.
- Los costos de los sistemas en madera y prefabricado no son exactos ya que en el mercado existe gran variedad de proveedores, y de la contestación de los mismos dependerá el promedio de los costos.
- La parte social es un factor no considerado, las partes mencionadas son solamente para la evaluación de sostenibilidad y considerar la opinión de las personas.

## 2 Capítulo 2

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Contaminación ambiental

La contaminación ambiental es el ingreso de agentes nocivos en un entorno, que causa un medio inseguro, puede ser provocada por algunas actividades humanas como lo son el transporte, la agricultura, la construcción entre otras. Según Gudiño (2019) uno de los seis retos que amenazan la sostenibilidad ambiental en el país es la contaminación del aire causada por las emisiones de partículas contaminantes como el dióxido de carbono y la disminución de la reforestación.



*Ilustración 1. Contaminación ambiental*

*Fuente: <https://sites.google.com/site/laimportanciadecuidarelplaneta/recursos/introduccion>*

##### 2.1.1.1 Cambio climático

Según MINAE (2018): “El calentamiento global es la causa del cambio climático, es decir, el aumento de la temperatura del planeta provocado por las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero derivadas de la actividad del ser humano, están provocando variaciones en el

clima que de manera natural no se producirían.” Esto denota que parte del efecto invernadero que se da es por causas de actividades humanas, por lo que es indispensable buscar alternativas para minimizar los efectos que se produzcan por el cambio climático.

### 2.1.1.2 Gases efecto invernadero (GEI)

Son los gases que se acumulan en la atmósfera que generan aumento del calor, estos gases son de origen natural y son esenciales para la vida en el planeta, pero los gases que no se producen naturalmente y se dan por las actividades humanas hacen que se dé la acumulación de gases, estas actividades son principalmente la agricultura, la construcción, la industria, el transporte y la electricidad.

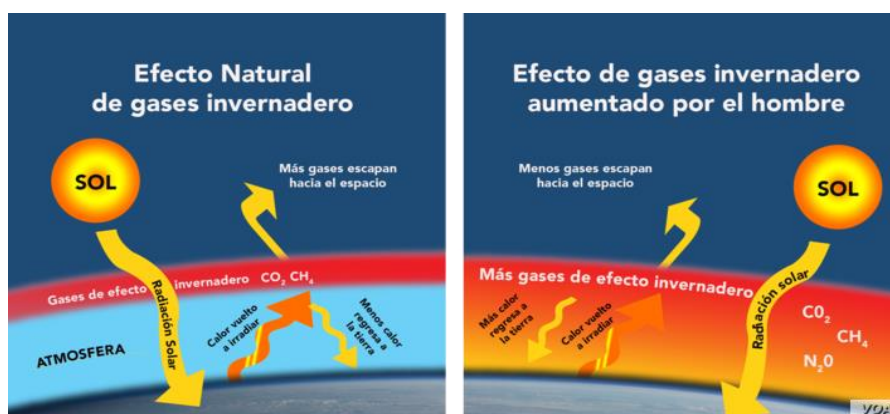


Ilustración 2 .Efecto invernadero

Fuente: Voanoticias <https://www.voanoticias.com/archivo/medio-ambiente/cambio-climatico-gases-efecto-invernadero-baten-recordf>

### 2.1.1.3 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

El CO<sub>2</sub> es una combinación de oxígeno y carbono, es un gas de efecto invernadero porque, como parte de la atmósfera de la Tierra, atrapa la energía del sol y mantiene al mundo a una temperatura habitable.

A pesar de que el CO<sub>2</sub> es parte indispensable de la vida ya que lo requieren las personas, plantas y animales para subsistir, debido a la intervención humana se genera la acumulación en la atmósfera por lo que aumenta el calentamiento global, generando que menos gases escapen de la tierra.

#### **2.1.1.4 Cálculo de la huella de carbono**

Los cálculos de la huella de carbono son una herramienta que permite medir la afectación derivada por el efecto invernadero ocasionados por las actividades humanas. Se calcula desde la extracción de las materias primas, el proceso de fabricación y la distribución del material.

El cálculo de la huella de carbono tiene tres niveles, el primero incluye las emisiones directas las que se generan por una empresa o persona y están controladas, el segundo nivel incluye las emisiones indirectas asociadas a la energía y el tercer nivel contiene emisiones indirectas las que se derivan de los insumos.

Para el análisis del ciclo de vida de los materiales se consideran todos los flujos de materia y energía que afectan a cada tipo de material, determinando que el cálculo de emisiones de gases se calcula determinando la unidad de la actividad (kg, litros, kwh, etc.) por un factor de emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### **2.1.1.5 Ciclo de vida (OpenLCA)**

El ciclo de vida es el proceso que se realiza desde que un proyecto está en la cuna hasta que muere; estos procesos conllevan varias etapas como la extracción del producto, la manufactura, el transporte, el uso que se le dará al material y como se transformaría ese material al final de su vida útil.

Con el análisis del ciclo de vida se logra hacer un estudio de los impactos ambiental derivados a lo largo de la vida de un elemento en cuestión, parte del estudio del ciclo de vida es la recopilación de todos los flujos de energía y material empleados para la fabricación, su uso y su desecho, en este se evaluación el potencial de impacto ambiental asociado a cada salida o entrada de un proceso.

El análisis del ciclo de vida se puede hacer mediante la aplicación OpenLCA, que ayuda a determinar la afectación ambiental en el ciclo de vida de un determinado proyecto, en él se deben ingresar los valores del proceso de vida que se quiera analizar, posteriormente el programa da resultados de la afectación del ciclo completo.

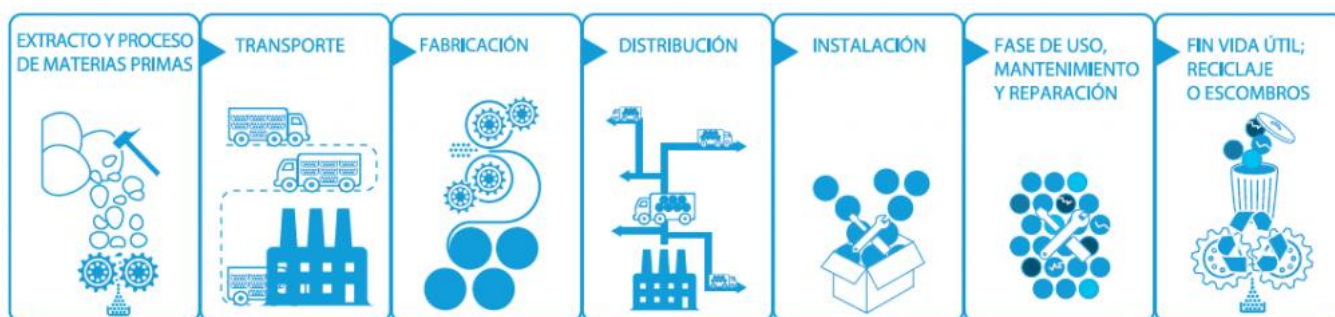


Ilustración 3. Ciclo de vida

Fuente: <https://aislamientosostenibilidad.es/analisis-ciclo-de-vida-en-la-edificacion-sostenible/>

Para la utilización de OpenLCA es indispensable conocer los pesos de los materiales a evaluar para el cálculo del ciclo de vida del proceso, con esta información se ingresan los materiales al sistema con su respectiva utilidad para que el programa pueda hacer los cálculos de la afectación ambiental en todo el ciclo de vida del producto, posteriormente el programa puede realizar comparativas para analizar la afectación para varios escenarios.

### **2.1.2 Normativa construcción de viviendas de interés social**

Es indispensable para construir una vivienda que se sigan las normativas que se solicitan en el país, parte significativa para la construcción de que vela para que las personas vulnerables puedan tener una vivienda digna y prioriza a las que se encuentran en mayor riesgo.

#### **2.1.2.1 Instituciones para aprobación de bonos para casas de interés social**

El Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) es la entidad encargada de ejecutar el ordenamiento territorial del país, también promueven programas habitacionales que permiten que las personas tengan acceso a una casa propia, desarrollando proyectos para clase baja y para clase media.

Todos los proyectos de interés social que se den en el país deben tener el aval del INVU y del Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI) que es el ente rector del sistema financiero nacional para la vivienda y está dedicado a disminuir el déficit habitacional del país.

Según datos del BANHVI (2020) en el año 2020 de enero a noviembre se han formalizado 1878 casos para la obtención de bonos mediante el artículo 59 de la directriz 27, que son bonos para familias de clase media baja, por lo que se puede determinar que existe una gran cantidad de viviendas de bien social que se construyen al año en Costa Rica.

### **2.1.3 Casas prefabricadas**

Las casas prefabricadas constan de columnas y baldosas de concreto que son instaladas en forma modular, este sistema ya está avalado por el Código Sísmico de Costa Rica en el que se establecen las condiciones mínimas para llevar a cabo el diseño simplificado estructural de la vivienda que se desee construir.

Las columnas según el CSCR 2010 versión 2014 tienen una longitud de 3,15m para obtener una altura de 2,50m nivel de piso terminado con una sección de 13x13cm, existen columnas con previstas eléctricas para colocar los tomas y los apagadores y con previstas para duchas. Las columnas cuentan con ranuras o canales longitudinales donde se introducen las baldosas.

Las baldosas tienen una longitud variable para facilitar el modulado, el ancho es de 50cm y existen varios tipos como lo son el estándar, de ajuste, banquinas y cargadores.

Para las cimentaciones se realiza una zanja de 40x40x80cm de profundidad, con un sello de concreto pobre de 10cm, los huecos son rellenos con concreto con una resistencia mínima a la compresión de 175kg/cm. Las sisas entre baldosas se rellenan con repello para mejorar el acabado de las paredes.

Las viviendas prefabricadas deben cumplir con el Código Sísmico de Costa Rica, en la sección número 17 del Código se define el diseño simplificado para las viviendas de uno o dos pisos que se establecen algunos criterios generales obligatorios para construir una vivienda mediante este método.

Algunos de los límites determinados en el Código para construir viviendas con el diseño simplificado para viviendas prefabricadas son:

1. Sistema a base de paneles o baldosas, horizontales o verticales de concreto prefabricado para viviendas de un nivel.
2. Para la fundación las columnas prefabricadas se deben embeber en un dado de concreto de 40x40cm y con una profundidad mínima de 80 cm para separaciones de columna de más de 1.50 m y 30 x 30 cm por 70 cm de profundidad para separaciones de columna de 1.50 m o menos.

3. Todo el perímetro de la vivienda debe contar con una varilla #3 que debe quedar anclada a los extremos embebida en el concreto y con un recubrimiento como mínimo de 3cm.
4. Las paredes tienen que ser mínimo de 12cm y si separación entre columnas debe ser como mínimo de 150cm.



*Ilustración 4. Casa prefabricada*

*Fuente: <https://meramattress.com/fotos-de-casas-prefabricadas/>*

#### **2.1.4 Casas madera**

Las viviendas realizadas en madera datan de la época primitiva donde nuestros antepasados creaban refugios con ramas para protegerse de la intemperie y proteger el fuego, con el paso de los años la construcción de las viviendas en madera fue creciendo y realizando diferentes tipos de construcciones en el mundo, como puentes, edificios de gran altura y viviendas por dar algunos ejemplos.

Para la construcción de una vivienda o edificación es preciso cumplir con el Código Sísmico de Costa Rica en el que se determinan las especificaciones para la construcción en el país, en la sección número 11 de este Código se determina los requisitos para la construcción de una vivienda en madera.

Uno de ellos es que deben ser proporcionadas para las combinaciones de cargas (6-1) y (6-4) los valores correspondientes para estas ecuaciones son  $\lambda$  equivalente a 0,6 y  $\lambda$  equivalente a 0,8 que se indican en el Código Sísmico de Costa Rica capítulo número 6.

Según el Código Sísmico de Costa Rica (2010, p.11/2) “Toda madera para uso estructural debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Debe estar identificada claramente por su nombre comercial y un nombre botánico homólogo.
- b. Debe estar libre de pudrición o evidencia de ataque de insectos que puedan afectar su desempeño estructural.
- c. Cuando sea requerido, debe estar preservada según las condiciones de riesgo final.”

Estos requisitos son de vital importancia para determinar si es factible el uso de una madera para para el diseño estructural. Para el diseño en madera también se debe considerar la humedad que tenga la madera que debe de ser inferior al 19% para madera seca.

El diseño de vigas en flexión en madera debe cumplir con las siguientes especificaciones:

$$M_n \leq M_u$$

Donde:  $M_n$  es el momento máximo con el que se debe cumplir para el diseño y  $M_u$  es el momento ultimo a flexión.

$$Mu = \phi_b \lambda M'$$

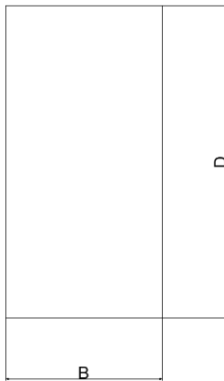
Donde:

$\Phi_b$ : Factor de reducción equivalente a 0,85

$\lambda$ : Factor de tiempo

$$M' = S \cdot F'_b$$

S: Modulo de sección



$$S = BD^2/6$$

*Ilustración 5. Modulo de sección  
Fuente: elaboración propia*

$F'_b$ : esfuerzo permisible en flexión corregido

$$F'_b = F_b \cdot C_{cH} \cdot C_t \cdot C_f \cdot C_{fu} C_i \cdot C_r$$

Para el cálculo del  $f'_b$  se deben considerar los siguientes factores según sea el diseño:

$F_b$ : Esfuerzo en flexión

$C_f$ : Factor de forma o geometría de la sección

*Tabla 1. Factor de ajuste por el peralte de la sección*

Peralte, d (mm)	300	350	400	450	500	550
Cf	1,00	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93

*Fuente: Peralta (201, p. 10) Instituto tecnológico de Costa Rica*

Cc: Factor de curvatura en vigas laminadas, encoladas únicamente

Cd: Factor de peralte y factor sobre volumen para vigas con peralte mayor a 30cm

Ch: Contenido de humedad de la madera

Cl: Esbeltez de a viga

Cr: Como viga aislada=1. Si trabaja en conjunto con otras vigas, como un sistema= 1,15.

Ct: Duración de los esfuerzos considerados

Si la temperatura es menor a 38°C Ct=1, si 38°C<T<= 52°C Ct= 0,8 , si 52°C<T<= 65°C Ct= 0,7.

Ct: Condiciones de servicio.

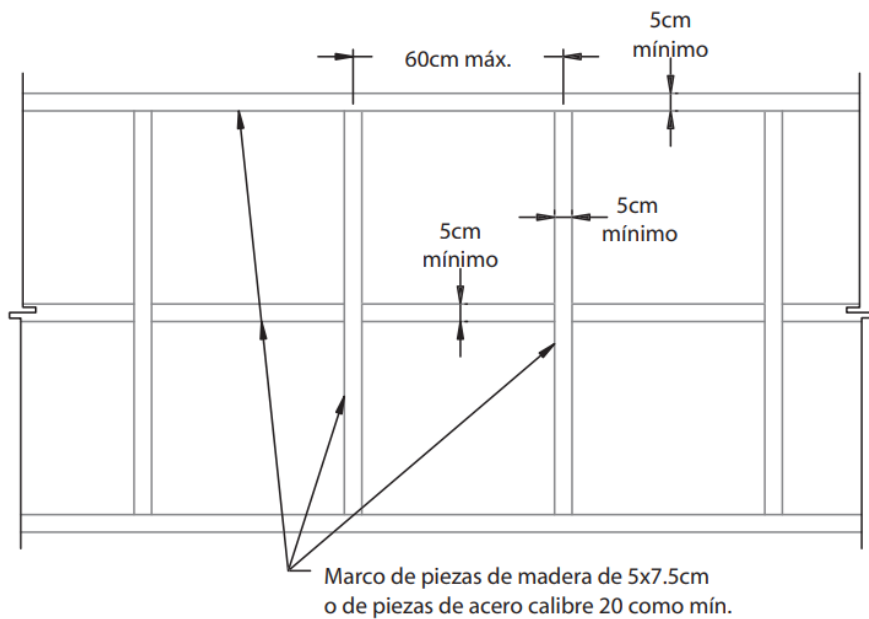
Cv: Factor de corrección de vigas de gran volumen.

*Tuk Duran J, (2019) Madera: Diseño y construcción, San Jose, Costa Rica*

Dependiendo del tipo de viga que se vaya a diseñar se determinan los factores de corrección por los cuales se va a realizar el diseño.

Para el caso del diseño de las paredes se utilizará el diseño simplificado del Código Sísmico de Costa Rica capítulo 17 en que se determinan diferentes parámetros estándares de diseño de casas, en el caso de la madera se deben realizar un marco arriostrado las piezas deben de ser como mínimo de 2x3” nominales, los elementos de los marcos deben de ser separados a 60cm máximo

y se le debe colocar un elemento horizontal en la base a mitad de la altura y en la parte superior de la pared, en las esquinas se debe colocar arriostres en diagonal que formen un ángulo a  $45^\circ$  y  $60^\circ$ .



*Ilustración 6. Marco de paredes madera*

*Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (4Ed.). (2014). Código Sísmico de Costa Rica. Tecnológica de Costa Rica.*



*Ilustración 7. Cada de madera*

*Fuente: Belisario (2016)6 casas de madera*

### **2.1.5 Análisis de resultados mediante el Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles (MIVES)**

Debido a que en el proyecto se deben realizar decisiones de cuál es la mejor solución para la construcción de viviendas de bien social, es indispensable no basarse en un criterio personal, por lo que el uso de la aplicación MIVES se vuelve una metodología en la que se pueden analizar los diferentes factores ambientales, sociales y económicos para determinar cuál es la mejor alternativa para la construcción de casas de interés social.

MIVES fue diseñado por la escuela de caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña, (España) y es una metodología de toma de decisiones multicriterio que evalúa diferentes alternativas para resolver un problema a través de índices de valores, considerando diversas fases para la obtención de resultados.

El programa tiene tres módulos, el módulo programador, el módulo usuario y el módulo reporte. El módulo programador es en el que se establece la estructura del problema, en el módulo usuario se colocan las partes a evaluar y se le asignan las cantidades resultantes y por último en el módulo reporte se generan gráficas y tablas en las que se analizan los resultados.

Se demarca la decisión mediante la fijación de los límites en el sistema, se realiza un árbol para la toma de decisiones en el que se ordenan los aspectos que se tomarán en cuenta para la decisión, se crean las funciones de valor que van de 0 a 1 en nivel de importancia según la valoración que se da en la ramificación del árbol de valores considerando los pesos de cada aspecto relacionado.

Como paso final se realiza el análisis de resultados, se comprueba si el modelo de valoración se ajusta a lo que se requiere para la toma de decisión, esta fase es una fase de valoración del modelo y de las alternativas para conocer si los resultados son los esperados.



*Ilustración 8. MIVES sostenibilidad*

<https://consorciolechero.cl/sustentabilidad/>

Para la utilización de este programa es necesario asignar pesos (porcentajes) para poder tener parámetros para el cálculo de toma de decisiones, primeramente, se asignan los criterios a evaluar, luego subcriterios y posteriormente los indicadores de cada uno. Esto colabora a que la decisión no sea tomada por la persona ejecutora, sino que la decisión será tomada según los parámetros asignados.

Lo que busca esta herramienta es llegar a una decisión que satisfaga las necesidades de todos los involucrados.

### **3 Capítulo 3**

#### **Marco metodológico**

##### **3.1.1 Enfoque de la investigación**

El enfoque de este trabajo será cuantitativo ya que al ser una comparativa ambiental y económica se deben analizar numéricamente los resultados para conocer la factibilidad de cada tipo de construcción desarrollada utilizando la recolección y el análisis de datos para contestar la interrogante de cuál es el sistema constructivo más favorable para la construcción de viviendas de bien social desde un punto de vista económico y ambiental.

Este método ayudará a conocer cuál de los dos sistemas constructivos generará más afectación ambiental mediante el sistema OpenLCN que establece parámetros para conocer diferentes afectaciones ambientales que se pueden dar. Los resultados de este programa serán representados en su mayoría gráficamente.

Para la comparativa económica se analizarán los costos de cada sistema constructivo mediante la solicitud de cotizaciones para conocer el valor de las viviendas en madera y en prefabricado.

##### **3.1.2 Tipo de investigación**

Según Serrano et al. (2011) “Un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales”

Este trabajo será de tipo experimental debido a que se tiene un grupo de control, en este caso es el sistema prefabricado, a este no se le realizarán variaciones debido al que el sistema ya está determinado según el CSCR y otra variable que es el sistema en madera que varía según el diseño que se vaya a efectuar.

Parte de la evaluación se realizará con el programa MIVES que ayuda a establecer parámetros para la elección de cuál de los dos sistemas es más beneficioso para la construcción de viviendas de interés social.

### **3.1.3 Sujetos y fuentes de información**

El primer sujeto de investigación es el Banco Hipotecario de Vivienda junto con el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo que son los encargados de determinar los requisitos para construir una vivienda de bien social y cuáles son las características que debe tener la vivienda para poder otorgarles el bono para la construcción.

También se considera el Código Sísmico de Costa Rica capítulo 6, capítulo 11 y capítulo 17, en los que se determinan los requisitos a nivel estructural para la construcción de viviendas en Costa Rica, en este caso para la construcción de viviendas en madera y en sistema prefabricado.

Para el diseño de madera se tomará como referencia el libro de Juan Tuk “Diseño de madera y construcción”, versión 2019. En él se muestran factores relevantes para la elección del tipo de madera y un método para el diseño estructural en madera.

El libro “Tecnología de la madera. Plantaciones forestales” de Moya et al., que muestra varios tipos de madera y sus características mecánicas, se utilizará para conocer características de la madera.

Se utilizará la aplicación OpenLCN que será de gran aporte para el cálculo del ciclo de vida de las dos viviendas, con ella se podrá calcular las diferentes afectaciones ambientales que se generen por cada sistema para así poder realizar la comparativa ambiental.

Por último, se utilizará la aplicación que es un modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles, esta aplicación ayudará a la toma de decisión de cual sistema constructivo es el óptimo para construir median la evaluación de multicriterio mediante índices de valor.

#### **3.1.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Una de las primeras técnicas que se empleará es la búsqueda de información en el BAHVI para conocer los requisitos de la construcción de viviendas de bien social en madera, para conocer si para la construcción de estas casas se requieren de requisitos diferentes a las de prefabricado. Este punto se realizará por medio de llamadas, correos y revisión de página oficial de la institución.

Para el diseño de la vivienda en madera se llevará un curso en línea con el ingeniero Juan Tuk (Diseño, construcción y restauración sostenible con madera), en este curso se pretende adoptar las herramientas necesarias para el diseño en madera junto con el Código Sísmico de Costa Rica, esperando conocer cómo se realizan los diseños en flexión, cortante y compresión para la construcción de la vivienda. Parte de las herramientas a utilizar son Excel para los cálculos y SAP2000 para la obtención de las fuerzas internas de la estructura a las cuales se someterá la estructura. Con la información obtenida se procede a realizar el diseño estructural de los elementos de la estructura en madera.

Para conocer el impacto ambiental se utilizará la aplicación OpenLCN, en ella se deben agregar los pesos de todos los materiales, distancias de transporte y tipos de transporte para determinar la afectación, primeramente, se hará un desglose de todos los materiales por viviendas y luego se establecerán los pesos de los materiales en Excel para así agregarlos en el sistema.

Para conocer los costos de los materiales se cotizará con diferentes proveedores para tener un costo aproximado para los dos sistemas constructivos, esto se hará mediante llamadas y correos a los proveedores respectivos.

Para las comparativas finales se utilizará MIVES en el que se ingresan los resultados de los costos y la afectación ambiental y generará gráficamente los resultados de los datos estudiados.

## **4 Capítulo 4**

### **4.1 Análisis de información**

#### **4.1.1 Requisitos para la construcción de viviendas de interés social**

Para aplicar por un bono de una vivienda de bien social se piden algunos requisitos, necesarios para la construcción y el préstamo solicitado.

Según el BANVHI (2020, Montos de bono según ingresos familiares. BANVHI Viviendas que construyen esperanza) para que una familia pueda utilizar a un bono de vivienda tiene que tener un ingreso máximo de 1.656.816 colones y un mínimo de 414.204 colones y a partir de los ingresos que tenga se determina el monto que se les prestará, debe formar parte de un núcleo familiar en el que se encuentre mínimo una persona mayor de edad, la persona que solicite el bono no debe tener casa propia o más de una propiedad, no debe haber recibido un bono anteriormente, tiene que ser costarricense o contar con residencia, debe realizar los trámites en sucursales autorizadas por el BANHVI, y debe presentar todos los documentos para la solicitud del bono.

Según la información otorgada por Comunicaciones BANVHI (comunicación personal, 23 de octubre 2020) se indica: “Todas las viviendas financiadas con el bono de vivienda, independientemente de su sistema constructivo deben normarse por el Reglamento de Construcción del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. Si la vivienda se construye con recursos de un bono otorgado bajo el amparo del artículo 59 se debe aplicar, adicionalmente, la Directriz 27 que indica las especificaciones técnicas mínimas que debe contemplar.”

En la Directriz numero 27 publicada en La Gaceta N°175, se determinan los parámetros de construcción de proyectos y viviendas dando prioridad a personas con discapacidad, adultos

mayores en circunstancias de pobreza y familias que vivan en precarios o tugurios que son de extrema pobreza. Estas personas son las que pueden aplicar por beneficios de los bonos ordinarios.

También se establecen las especificaciones técnicas y lineamientos para la escogencia de tipologías arquitectónicas para la construcción de viviendas y obras de urbanizaciones en la que se determinan las características que deben tener las viviendas de bien social.

Algunas especificaciones técnicas y requisitos mínimos para la construcción de viviendas en de bien social son los siguientes:

*Tabla 2. Requisitos mínimos para la construcción de viviendas de interés social*

<b>Requisitos mínimos para la construcción de viviendas de interés social</b>				
<b>Descripción</b>		<b>Requisito</b>		
		Área	42	m <sup>2</sup>
<b>1</b>	<b>Núcleo de menos de cinco miembros</b>	Dormitorios	2	unidades
		Área	50	m <sup>2</sup>
<b>2</b>	<b>Núcleo de más de cinco miembros</b>	Dormitorios	3	unidades
		Espesor mínimo 7,5 cm		
<b>3</b>	<b>Contrapiso de concreto</b>	Resistencia mínima 175 kg/cm <sup>2</sup>		
		Lastre o grava mínimo 15cm		
		Compactación 95%		
<b>4</b>	<b>Paredes exteriores</b>	Acabado sin reventaduras, grietas e imperfecciones		

- Impermeabilización 100%
- 5 Paredes internas** Madera: no puede tener picaduras, debe ir tratada contra insectos y contra humedad
- Diseño del profesional responsable
- En madera dimensiones mínimas 2,5x7,5 cm
- 6 Estructura de techos** Madera: no puede tener picaduras, debe ir tratada contra insectos y contra humedad
- Metálicas: Soldadas, protección contra la corrosión, se pueden apernar siempre que se protejan contra la corrosión
- Lámina galvanizada ondulada N 28
- Traslapes mínimos 15cm
- 7 Cubierta de techos** Tornillos empaques de neopreno con sello
- Si hay dos viviendas pegadas deberá colocarse un botagua entre los techos
- Se puede usar aluminio chapo, x-11 o x-12, acero inoxidable
- 8 Marcos de ventanas** o hierro galvanizado o madera tratada
- Dimensiones no menores a 2.5x7.5cm en madera de primera
- 9 Marcos de puertas** calidad

- Mínimo 3 puertas, dos deben de ser externas, pueden ser en madera, metal o bastidos de madera, resistentes a la humedad
- 10 Puertas**
- Principal y posterior con llavín doble
- Puerta baño doble forro
- Se deben colocar como mínimo dos bisagras de bronce de 7,5 cm de ancho
- Se debe colocar en aleros en madera o gypsum para exterior.
- El alero debe medir mínimo 50cm
- 11 Cielo raso**
- Emplantillado será en madera tratada de 2,5x5cm o perfiles de hierro galvanizado
- Puede ser en hierro galvanizado liso calibre 28 como mínimo o en PVC
- Las canoas en PVC deberán llevar soporte a no más de 60cm
- 12 Canoas y bajantes**
- Los bajantes no pueden tener una sección menos de 44cm<sup>2</sup>
- Deben conectarse a cajas de registro para su respectiva salida pluvial.
- se pueden realizar en concreto, gypsum o cualquier otro material avalado por el fabricante
- 13 Tapicheles y precintas**

**14 Instalaciones eléctricas**

No debe tener imperfecciones como despuntamientos, quebraduras o fisuras

Debe cumplir con el código de Instalaciones eléctricas y las normativas vigentes por el CNFL o por la empresa de servicios eléctricos

Mínimo debe tener tres salidas eléctricas por habitación (Iluminación, apagador y tomacorriente).

Debe tener una prevista para cocina 220 voltios

Contar con un tablero eléctrico de 8 espacios como mínimo, monofásica, trifilar de 120-220 voltios, con barra a tierra, como mínimo 15 amperios para iluminación, 20 amperios para tomas, 30 amperios para termo ducha y 40 amperios para toma especial, debe tener una varilla cooperweld de 1,5 por 12,7 mm de espesor

Tener una toma telefónica en la sala de la vivienda

El diámetro de la acometida no puede ser mejor a #6 THW, el cableado de toda la casa debe de ser en #12 THW y el de la cocina en #8 THW

Todo debe de estar entubado con Conduit interna y externamente con EMT

- Todos los tomas y apagadores deben ir con una caja rectangular, conectores y tapa metálica o PVC
- Debe tener una ducha con cachera de llave y una llave de chorro para lavar los pies
- Un inodoro económico, sobre un flanger con empaque de cera
- 15 Baño** Un lavatorio con sifón con llave de control
- El piso de la ducha debe tener una pendiente de 15 como mínimo hacia el desagüe y que sea antideslizante
- Las paredes de la ducha deben estar impermeabilizadas
- Debe ser una pila de concreto de un tanque con batea sobre bloques
- 16 Pila de concreto**
- El fregadero debe de ser de fibra de vidrio o de acero inoxidable de un tanque con una llave de chorro
- 17 Fregadero cocina**
- Debe cumplir con el instituto de Normas técnicas de Costa Rica los estándares del ICAA
- 18 Sistema de agua potable** Toda la tubería deberá de ser en PVC CSH-40 de 12.5mm
- Se deben realizar pruebas de presión hidrostática
- Debe cumplir con el instituto de Normas técnicas de Costa Rica los estándares del ICAA y Ministerio de Salud
- 19 Sistema de tuberías de aguas residuales**

Se deben instalar cajas de registro en cada cambio de dirección de tuberías

En los baños se debe instalar tuberías de ventilación para evitar los malos olores

No se puede descargar las aguas residuales al alcantarillado pluvial

Debe pintarse con no menos de dos manos de pintura de buena calidad, también podrá usarse revestimiento, estuco.

## 20 Pintura

Debe cumplir con los requisitos para la impermeabilización y durabilidad

---

*Fuente: BANHVI (2002), Directriz N.27*

Con la información otorgada por el BANVHI y la Directriz 27 dada por el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos se inicia el diseño de la vivienda en madera que tiene pocos requisitos diferentes a la realizada con prefabricado, la diferencia es el tipo de impermeabilización que se le debe dar a la vivienda, en el caso de la madera debe ser curada para que no sufra ninguna afectación por la humedad, los insectos y pájaros que se puedan presentar en la vivienda.

### **4.1.2 Diseño estructural en madera**

#### **4.1.2.1 Suposiciones de diseño**

Para el diseño estructural de las viviendas se considerará una zona sísmica tipo III ya que es la más común en todo el país según el CSCR y el Valle Central se encuentra en esta zona. Como no se cuenta con una zona específica para realizar un estudio de suelos para efecto de cálculos de las fuerzas sísmicas se asume un suelo tipo S3 según el CSCR 2010 versión 2014: “S3 es un perfil de suelo con 6 o 12m de arcilla de consistencia de suave a medianamente rígida”. Según la

clasificación de importancia en el CSCR se considera una edificación tipo D que es de ocupación normal e incluye todas las obras que son habitacionales.

#### 4.1.2.2 Diseño de la vivienda

Para los análisis se utilizará como base una vivienda de un nivel de 45m<sup>2</sup> con dos dormitorios, un baño completo y un área de sala-cocina-comedor y el área para pilas externo.

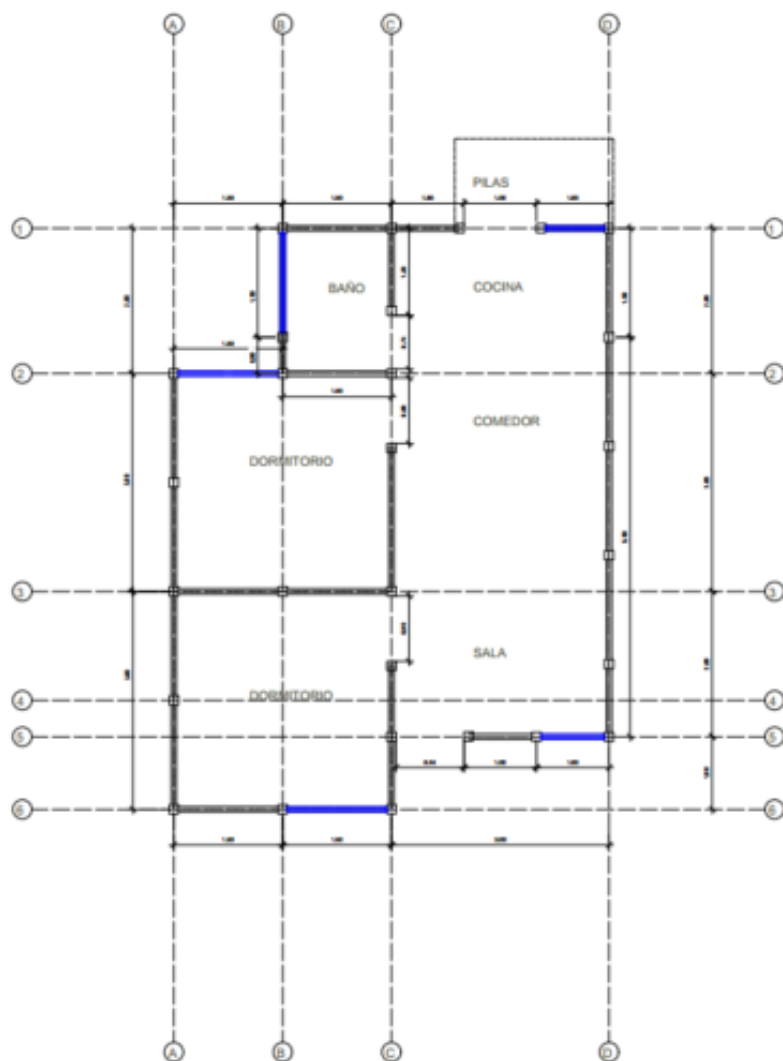


Ilustración 9. Vivienda base  
Fuente: elaboración propia

La vivienda en madera se diseñó con soporte en madera para la fundación sobre pedestales en concreto, con una altura de la base a la viga corona de 2,40m.

#### 4.1.2.3 Cargas de diseño

Para esta vivienda se consideró una carga temporal de 200kg/m<sup>2</sup> que esta destinada a uso habitacional.

Para las cargas permanentes se consideran los siguientes valores:

*Tabla 3. Carga permanente*

Descripción	Peso unitario (kfg/m <sup>2</sup> )	Ancho tributario (m)	Carga distribuida (kfg/m)	Peso total (kg)
Cielos	30,00	3,00	90,00	720,00
Lamina gypsum MR ducha	20,00	1,00	20,00	160,00
pisos de madera	19,53	3,00	58,59	468,72
Techo lamina 28	4,60	3,00	13,80	110,40
entrepiso	30,00	3,00	90,00	720,00
Paredes tabla madera	1,00	3,00	3,00	24,00
Sistema electromecánico	15,00	3,00	45,00	360,00
Estructura de techo regla 1x3 pino radiata	7,00	3,00	21,00	168,00
<b>Total, Carga permanente CP</b>	<b>127,13</b>		<b>341,39</b>	<b>2731,12</b>

*Datos referentes al ASCE 7-02, Metalco*

*Fuente: elaboración propia*

Se considera una de las vigas más críticas en la que se debe considerar el ancho tributación por el peso unitario de cada elemento para después multiplicarlo por el largo y así tener la carga permanente a la que se someterá la estructura.

El peso propio de los elementos estructurales se calculó según el programa SAP 2000, al programa se le indico el peso de estos elementos. Para el cálculo de las cargas sísmicas se considera

la densidad de la madera pino radiata a un 25% de humedad. Para el cálculo de las cargas sísmicas se utilizó el método estático referente el CSCR. Para el análisis se utilizó:

$$V=C W$$

Donde:

V= cortante en la base o valor total de las fuerzas sísmicas horizontales

C= coeficiente sísmico obtenido

W= peso total de la edificación para efectos sísmicos

Para el cálculo del coeficiente sísmico es necesario conocer varios factores

$$C = \frac{\alpha_{ef} * I * FED}{SR}$$

Donde:

A<sub>ef</sub>= Aceleración pico efectiva de diseño

I=Factor de importancia de la edificación

SR= Factor espectral dinámico

*Tabla 4. Calculo fuerza sísmica*

Calculo fuerza sísmica		
Descripción	Valor	Referencia
Zona:	III	Cap 02 CSCR2010
Tipo de sitio	S3	Cap 02 CSCR2010
$\alpha_{ef}$	0,36	Tabla 2.3 CSCR2010
Periodo T (s)	0,15	t=0,15*N
Ductilidad $\mu$	2	Cap 11 CSCR 2010
FED	1,443	Tabla E.7 CSCR2010
Factor importancia I	1	Tabla 4.1 CSCR2010
Sobre resistencia SR	2	[5-1] CSCR2010
Coeficiente sísmico C	0,260	
Masa sísmica W (Kgf) N1	3717,88	
Cortante Basal V (Kgf) N1	965,68	
	0,97	

*Fuente: elaboración propia*

Para el cálculo del peso propio de los elementos se utilizó el método preciso para conocer la densidad de la madera.

$$\rho_{CH} = 1000G_{CH} \left( 1 + \frac{CH}{100} \right)$$

$$G_{CH} = \frac{G_b}{1 - 0,265aGb}$$

$$a = \frac{30 - CH}{30}$$

Donde:

Pch= densidad a un contenido de humedad (kg/m<sup>3</sup>)

Gch= gravedad específica de la madera a un contenido de humedad CH

Gb= gravedad específica básica (masa seca al horno dividida entre el volumen verde y la densidad del agua)

Ch= contenido de humedad de la madera

*Referencia CSCR capítulo 11*

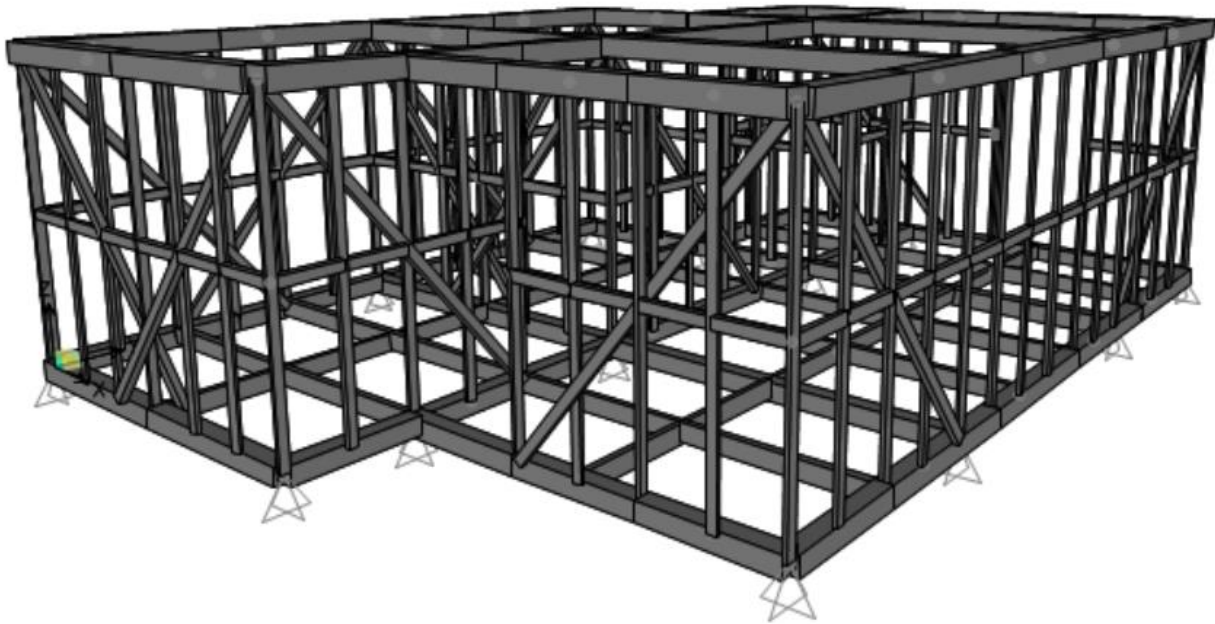
*Tabla 5. Densidad de la madera*

Densidad de la madera método preciso	
a	0,17
Contenido de humedad <b>CH</b>	25,00 %
Gravedad específica básica <b>Gb</b>	0,50
Gravedad específica de la madera a un contenido de humedad <b>G ch</b>	0,51
<b>Densidad a un contenido de humedad Pch</b>	<b>639,11 kg/m<sup>3</sup></b>

*Fuente: elaboración propia*

#### 4.1.2.4 Modelo en SAP 2000

Para el análisis estructural de la vivienda se utilizó el programa SAP2000 en el que se realizó el modelo de la vivienda para conocer cuáles son los esfuerzos a los que se someterá la estructura de madera.



*Ilustración 10. Modelo 3D*  
*Fuente: SAP2000*

A partir de ahí se diseñaron cuatro tipos de vigas: las vigas coronas, vigas principales, vigas secundarias y viguetas para la vivienda, también se diseñan las cerchas en madera para tener más parámetros de cambio a nivel ambiental. A continuación, se muestran la distribución de las vigas mencionadas, considerando que para el diseño se tomarán los momentos máximos y mínimos, carga axial máxima, cortante máxima y mínima de toda la estructura.

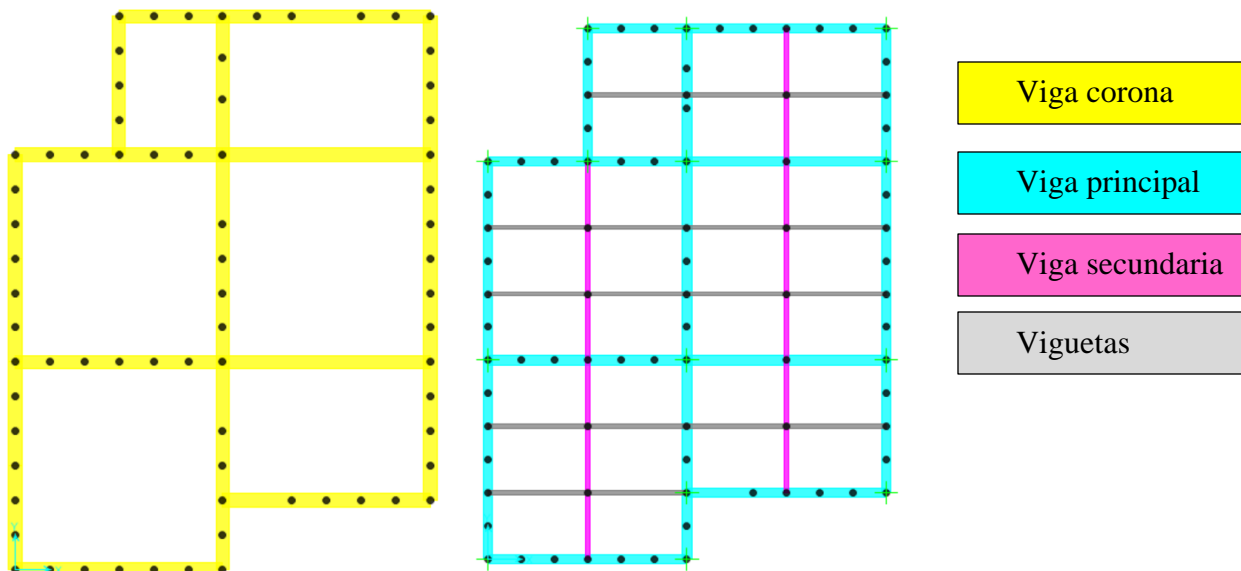


Ilustración 11. Distribución vigas  
Fuente: SAP2000

#### 4.1.2.5 Diseño en flexión

Una vez que se termina la distribución de los elementos estructurales se proponen dimensiones para las vigas y se realiza el diseño por flexión que debe cumplir con la siguiente limitante.

$$M_n \leq M_u$$

El diseño debe considerar dos combinaciones de cargas para el análisis

$$C_u = 1,4 \text{ CP}$$

$$C_u = 1,2\text{CP} + 1,6 \text{ CT}$$

a las que se les asigna un factor de duración de carga ( $\lambda$ ) de 0,6 y 0,8 respectivamente.

(Referencia Juan Tuk Madera Diseño y Construcción).

En las siguientes tablas se muestran las dimensiones seleccionadas para todas las vigas y los resultados de las cargas temporales, permanentes, momentos y cortantes del resultado del programa SAP2000.

*Tabla 6. Factores de carga y resistencia viga corona*

<b>Factores de carga y resistencia</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
longitud vivienda	8	m
b	0,20	m
b real	0,19	m
d	0,15	m
d real	0,14	m
largo L	1,5	m
Carga temporal	40	kgf/m <sup>2</sup>
Momento máximo positivo	855	kgf-m
Momento máximo negativo	812	kgf-m
Cortante Fv	2700	kgf

*Fuente: elaboración propia*

*Tabla 7. Factores de carga y resistencia para viga principal*

<b>Factores de carga y resistencia vrs esfuerzos permisibles</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
longitud vivienda	8	m
b	0,15	m
b real	0,14	m

d	0,15	m
d real	0,14	m
largo L	1,5	m
Carga temporal	200	kgf/m <sup>2</sup>
Momento máximo positivo	1590	kgf-m
Momento máximo negativo	1397	kgf-m
Cortante Fv	4805	kgf

*Fuente: elaboración propia*

*Tabla 8. Factores de carga y resistencia para viga secundaria*

<b>Factores de carga y resistencia vrs esfuerzos permisibles</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
longitud vivienda	8	m
b	0,08	m
b real	0,06	m
d	0,15	m
d real	0,14	m
largo L	1,5	m
Carga temporal	200	kgf/m <sup>2</sup>
Momento máximo positivo	720	kgf-m
Momento máximo negativo	303	kgf-m
Cortante Fv	1227	kgf

*Fuente: elaboración propia*

Tabla 9. Factores de carga y resistencia para viguetas

Factores de carga y resistencia vrs esfuerzos permisibles		
Descripción	Cantidad	Unidad
longitud vivienda	8	m
b	0,08	m
b real	0,06	m
d	0,15	m
d real	0,14	m
largo L	1,5	m
Carga temporal	200	kgf/m <sup>2</sup>
Momento máximo positivo	285	kgf-m
Momento máximo negativo	627	kgf-m
Cortante Fv	1003	kgf

Fuente: elaboración propia

Para el diseño en flexión hay que considerar factores, primeramente el factor de duración para las dos combinaciones mencionadas anteriormente, el módulo de ruptura en el que se consideraron el contenido de humedad, duración de los esfuerzos, el factor de tamaño y la esbeltez.

$$F'b = F_b \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_f \cdot C_i$$

En las siguientes tablas se muestra un resumen de los cálculos para el diseño de vigas y todos los elementos considerados para el diseño.

Tabla 10. Diseño en flexión viga corona

Diseño en flexión			
Descripción	Cantidad	Unidad	
factor de duración de la carga $\lambda$	0,60		
Factor de resistencia en flexión $\Phi_b$	0,85		
Módulo de ruptura $f_b$	228,71	kgf/cm <sup>2</sup>	
Contenido de humedad de la madera $ch$	0,75		
Duración de los esfuerzos considerados $C_t$	1,00		
Factor de tamaño $C_f$	1,00		
Esbeltez $C_l$	1,00	cm	
Base $b$	19,12	cm	
Peralte $d$	14,04	cm	
$f_b'$	171,53	kgf/cm <sup>2</sup>	
Módulo de sección del elemento $S$	628,16	cm <sup>3</sup>	
Capacidad de momento nominal reducida $M'$	107748	kgf-cm	
$\lambda\phi_b M' = Mu$			
$\lambda\phi_b M'$	91586		
Demanda de flexión sobre el elemento $M_u +$	85500	kgf-cm	cumple
Demanda de flexión sobre el elemento $M_u -$	81200	kgf-cm	cumple

Referencia Juan Tuk. Madera: diseño y construcción

Tabla 11. Diseño en flexión viga principal

Diseño en flexión			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Factor de duración de la carga $\lambda$	0,6		
Factor de resistencia en flexión $\Phi_b$	0,85		
Módulo de ruptura $f_b$	228,71	kgf/cm <sup>2</sup>	
Contenido de humedad de la madera $ch$	0,75		
Duración de los esfuerzos considerados $C_t$	1,00		
Factor de tamaño $C_f$	1,00		
Esbeltez $C_l$	1,00	cm	
Base $b$	14,04	cm	
Peralte $d$	14,04	cm	

$fb'$	171,53 kgf/cm <sup>2</sup>	
Módulo de sección del elemento <b>S</b>	461,26 cm <sup>3</sup>	
Capacidad de momento nominal reducida <b>M'</b>	79120,44 kgf-cm	
$\lambda\phi_b M' = Mu$		
		67252,37
Demanda de flexión sobre el elemento <b>Mu +</b>	2095,00 kgf-cm	cumple
Demanda de flexión sobre el elemento <b>Mu -</b>	1683 kgf-cm	cumple

*Fuente: elaboración propia*

Tabla 12. Diseño en flexión viga secundaria

Diseño en flexión		
Descripción	Cantidad	Unidad
Factor de duración de la carga $\lambda$	0,6	
Factor de resistencia en flexión $\Phi_b$	0,850	
Módulo de ruptura <b>fb</b>	228,706	kgf/cm <sup>2</sup>
Contenido de humedad de la madera <b>ch</b>	0,750	
Duración de los esfuerzos considerados <b>Ct</b>	1,00	
Factor de tamaño <b>Cf</b>	1,00	
Esbeltez <b>Cl</b>	1,00	cm
Base <b>b</b>	6,42	cm
Peralte <b>d</b>	14,04	cm
$fb'$	171,53	kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de sección del elemento <b>S</b>	210,92	cm <sup>3</sup>
Capacidad de momento nominal reducida <b>M'</b>	36179	kgf-cm
$\lambda\phi_b M' = Mu$		
		30752
Demanda de flexión sobre el elemento <b>Mu +</b>	2095	kgf-cm
Demanda de flexión sobre el elemento <b>Mu -</b>	1683	kgf-cm

*Fuente: elaboración propia*

Tabla 13. Diseño en flexión viguetas

Diseño en flexión			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Factor de duración de la carga $\lambda$	0,60		
Factor de resistencia en flexión $\Phi_b$	0,85		
Módulo de ruptura $f_b$	228,71	kgf/cm <sup>2</sup>	
Contenido de humedad de la madera $ch$	0,75		
Duración de los esfuerzos considerados $C_t$	1,00		
Factor de tamaño $C_f$	1,00		
Esbeltez $C_i$	1,00	cm	
Base $b$	6,42	cm	
Peralte $d$	14,04	cm	
$f_b'$	171,53	kgf/cm <sup>2</sup>	
Módulo de sección del elemento $S$	210,92	cm <sup>3</sup>	
Capacidad de momento nominal reducida $M'$	36179,00	kgf-cm	
$\lambda\phi_b M' = Mu$			
$\lambda\phi_b M'$	30752,15		
Demanda de flexión sobre el elemento $M_u +$	2095,00	kgf-cm	cumple
Demanda de flexión sobre el elemento $M_u -$	1683,00	kgf-cm	cumple

Referencia Juan Tuk. Madera: diseño y construcción

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.2.6 Revisión por deflexión

Para la revisión por deformación se deben considerar las dimensiones de la viga, la elasticidad para la madera y la inercia.

Para conocer la inercia se debe utilizar la siguiente formula:

$$I = \frac{b \cdot d^3}{12}$$

Donde b es la base y d es el peralte.

Para la deflexión en flexión se consideró como simple con carga uniforme por lo que se aplicó la siguiente formula:

$$\frac{5wL^4}{384EI}$$

Donde  $w$  es el peso,  $L$  es el largo de la viga,  $E$  es la elasticidad del material e  $I$  es la inercia a a la que está sujeta.

Para determinar si cumple la revisión por deformación se debe verificar que cumpla con las deflexiones máximas admisibles según la carga y uso del edificio. Para el caso de viga corona debe cumplir con  $L/180$  para carga temporal y  $L/120$  para carga temporal más carga permanente.

A continuación, se muestra un resumen de los cálculos para las vigas.

*Tabla 14. Revisión por deflexión viga corona*

Revisión deflexión			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Largo $L$	150	cm	
Peralte $p_{real}$	14,04	cm	
Base $b_{real}$	19,12	cm	
Elasticidad $E$	88200,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia $I$	4409,69	cm <sup>4</sup>	
Deflexión máximo temporal	0,06	cm	Cumple
Deflexión máximo admisible temporal	0,50	cm	
Deflexión máxima carga permanente	0,15	cm	Cumple
Deflexión máxima admisible carga permanente	0,63	cm	

*Fuente: elaboración propia*

Tabla 15. Revisión por deflexión viga principal

Revisión deflexión			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Largo L	150	cm	
Peralte $p_{real}$	14,04	cm	
Base $b_{real}$	14,04	cm	
Elasticidad E	88200	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia I	3238,08	cm <sup>4</sup>	
Deflexión máximo temporal	0,079	cm	Cumple
Deflexión máximo admisible temporal	0,500	cm	
Deflexión máxima carga permanente	0,208	cm	Cumple
Deflexión máxima admisible carga permanente	0,625	cm	

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Revisión por deflexión viga secundaria

Revisión deflexión			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Largo L	150	cm	
Peralte $p_{real}$	14,04	cm	
Base $b_{real}$	6,42	cm	
Elasticidad E	88200	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia I	1480,66	cm <sup>4</sup>	
Deflexión máximo temporal	0,172	cm	Cumple
Deflexión máximo admisible temporal	0,500	cm	
Deflexión máxima carga permanente	0,454	cm	Cumple
Deflexión máxima admisible carga permanente	0,625	cm	

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Revisión por deflexión viguetas

Revisión deformaciones			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Largo L	150	cm	
Peralte $p_{real}$	14,04	cm	
Base $b_{real}$	6,42	cm	
Elasticidad E	88200	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia I	1480,66	cm <sup>4</sup>	
Deflexión máximo temporal	0,172	cm	Cumple
Deflexión máximo admisible temporal	0,500	cm	
Deflexión máxima carga permanente	0,454	cm	Cumple
Deflexión máxima admisible carga permanente	0,625	cm	

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.2.7 Diseño por cortante

Para el diseño en cortante se debe cumplir la siguiente relación.

$$\lambda \phi_v V_n \geq v_U$$

Donde:

$V_U$ = Demanda de cortante

$V'$ = Capacidad en cortante nominal del elemento

$\Phi_v$ = Factor de resistencia

$\lambda$ = Factor de duración de la carga

$$V_n = 2/3 F_v * A$$

A= área transversal del elemento

A continuación, se muestra un resumen de los cálculos realizados para el diseño en cortante de las diferentes vigas

Tabla 18. Diseño por cortante viga corona

Revisión cortante		
Descripción	Cantidad	Unidad
$\Phi$	0,75	
Factor de conversión k	2,16	
Factor de duración de la carga $\lambda$	0,60	
Contenido de humedad Cch	0,97	Para 25% de CH
Duración de los esfuerzos Ct	1,00	t<38=1
Esbeltez de la viga Ci	1,00	
$\Pi$	0,94	
Fv	119,00	(kgf/cm <sup>2</sup> )
Fv corregido	112,20	(kgf/cm <sup>2</sup> )
Vu sap	2700,00	kgf
Vn	20079,31	kgf
		Cumple

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Diseño por cortante viga principal

Revisión cortante		
Descripción	Cantidad	Unidad
$\Phi$	0,75	
Factor de conversión k	2,16	
Factor de duración de la carga $\lambda$	0,60	
Contenido de humedad Cch	0,97	
Duración de los esfuerzos Ct	1,00	
Esbeltez de la viga Ci	1,00	
$\Pi$	0,94	
Fv	119,00	(kgf/cm <sup>2</sup> )

Fv corregido	112,20	(kgf/cm <sup>2</sup> )	
Vu sap	4805,00	kgf	Cumple
Vn	14744,43	kgf	

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Diseño por cortante viga secundaria

Revisión cortante			
Descripción	Cantidad	Unidad	
$\Phi$	0,75		
Factor de conversión k	2,16		
Factor de duración de la carga $\lambda$	0,60		
Contenido de humedad Cch	0,97		
Duración de los esfuerzos Ct	1,00		
Esbeltez de la viga Ci	1,00		
$\Pi$	0,94		
Fv	119,00	(kgf/cm <sup>2</sup> )	
Fv corregido	112,20	(kgf/cm <sup>2</sup> )	
Vu sap	1227,00	kgf	
Vn	6742,11	kgf	Cumple

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Diseño por cortante viguetas

Revisión cortante		
Descripción	Cantidad	Unidad
$\Phi$	0,75	
Factor de conversión k	2,16	
Factor de duración de la carga $\lambda$	0,60	
Contenido de humedad Cch	0,97	
Duración de los esfuerzos Ct	1,00	
Esbeltez de la viga Ci	1,00	
$\Pi$	0,94	
Fv	119,00	(kgf/cm <sup>2</sup> )

Fv corregido	112,20	(kgf/cm <sup>2</sup> )	
Vu sap	1003,00	kgf	
Vn	6742,11	kgf	Cumple

*Referencias Juan Tuk. Madera: diseño y construcción, CSCR2010*

*Fuente: elaboración propia*

#### 4.1.2.8 Diseño por compresión

El diseño en compresión de las cerchas se realizó por compresión paralela, por lo que debe cumplir con la siguiente limitante:

$$p_u \leq 0,90P_{cr}$$

Donde:

P<sub>cr</sub>= Resistencia diseño

P<sub>u</sub>= Resistencia axial del elemento

Para conocer la capacidad a la compresión del diseño se deben conocer varios elementos:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E' * A}{r_e^2}$$

Donde

E' = Modulo de elasticidad corregido (E' = E \* C<sub>ch</sub> \* C<sub>t</sub> \* C<sub>i</sub>)

Re = Relación esbeltez

A = área de contacto entre elementos

En la siguiente tabla se muestran los cálculos para determinar que la utilización de esta cercha cumple con lo requerido por el diseño.

Tabla 22. Diseño por compresión

Diseño en compresión			
Descripción	Cantidad	Unidad	Referencia
Pu sap	101	kgf	
Ancho d	0,08	m	
$d_{real}$	6,42	cm	
Base	0,03	m	
$b_{real}$	1,34	cm	
Relación esbeltez re	64,75		
Ke	0,5		
Longitud libre del elemento en compresión le	240	cm	
Radio de giro r	1,85	cm	
Inercia I	29,55	cm <sup>4</sup>	
Área	8,60	cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad E	88200	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad corregido E'	62842,50	kg/cm <sup>2</sup>	
Cch	0,75		
Ct	1		
Ci	0,95		
Pcr	1272,68	kgf	
0.90Pcr	1145,41	kgf	cumple

Referencia CSCR, Juan Tuk, Madera: diseño y construcción

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.2.9 Piezas de madera

Después de tener todos los cálculos realizados se pueden determinar las piezas de madera que se utilizaron para los cálculos de costos y ambientales. Para el caso de la vivienda en madera se usó madera para las vigas, paredes, piso y cerchas; se hicieron placas aisladas de concreto para la fundación. Las paredes internas serán forradas con gypsum para dar un acabado más prolijo a las paredes.

Los cálculos ambientales se deben colocar según el peso de los materiales a utilizar, por lo que es indispensable contar con ellos para ingresarlos en la aplicación OpenLCN y así poder calcular la afectación ambiental y el ciclo de vida de la vivienda.

Las piezas que se utilizarán son las siguientes:

*Tabla 23. Resumen de material para casa de madera*

<b>Piezas de madera</b>								
Descripción	Material	Cantidad	alto m	ancho m	largo m	m3	valor peso material	Unidad
Viga corona	Pino	1,00	0,14	0,19	44,50	1,18	639,00	756,38 kg
Viga principal	Pino	1,00	0,14	0,14	45,10	0,88	639,00	564,85 kg
Viga secundaria	Pino	1,00	0,14	0,06	12,90	0,11	639,00	69,24 kg
Viguetas	Pino	1,00	0,14	0,06	25,30	0,21	639,00	135,80 kg
Cerchas	Pino	3,00	0,03	0,08	31,10	0,18	639,00	115,39 kg
Columnas 1	Pino	28,00	2,40	0,05	0,08	0,26	639,00	163,60 kg
Columnas 2	Pino	43,00	2,40	0,05	0,08	0,39	639,00	251,25 kg
Diagonales paredes	Pino	16,00	0,03	0,08	3,12	0,10	639,00	61,74 kg
Horizontales paredes	Pino	1,00	0,03	0,08	33,50	0,06	639,00	41,43 kg
Pisos	Pino	1,00	0,01	6,52	6,52	0,51	639,00	325,89 kg
Forro paredes externas	pino	1,00	2,40	0,01	27,00	0,78	639,00	496,89 kg
Agua para curado	agua	1,00	-	-	-	-	-	1000,00 kg
Pedestales sacos								
cemento 50	concreto	14,00	0,40	0,50	0,50	1,40	382,50	535,50 kg
Pedestales arena	arena	14,00	0,40	0,50	0,50	1,40	1500,00	2100,00 kg
Pedestales v#4	acero	28,00	-	-	-	-	1,00	27,89 kg
Pedestales v#3	acero	14,00	-	-	-	-	0,56	7,80 kg
Excavación		-	-	-	-	1,40	1800,00	2520,00 kg

*Fuente: elaboración propia*

*Tabla 24. Gypsum vivienda de madera*

<b>Gypsum casa de madera</b>								
Descripción	Material	Cantidad	alto m	largo m	m2	valor peso material	Unidad	
Forro paredes internas 1 forro	gypsum	1,00	2,40	27,00	64,80	6,00	388,80	kg
Forro paredes internas doble forro	gypsum	1,00	2,40	8,60	20,64	6,00	123,84	kg

*Fuente: elaboración propia*

#### 4.1.4 Pesos material casa prefabricada

En el caso de la vivienda en sistema prefabricado se cuantificaron los materiales según lo estipulado en el capítulo 17 del Código Sísmico de Costa Rica para la construcción de vivienda en sistema de baldosas prefabricadas.

Tabla 25. Resumen materiales casa prefabricada

Resumen material para vivienda prefabricada									
Descripción	Material	Cantidad	alto m	ancho m	largo m	m3	valor peso material	Peso	Unidad
Dados de concreto	concreto	29,00	0,70	0,30	0,30	1,83	2400,00	4384,80	kg
Excavación	tierra	-	-	-	-	1,83	1800,00	3288,60	kg
Sello de concreto pobre	concreto	29,00	0,10	0,30	0,30	0,26	2400,00	626,40	kg
Tirantes varilla #3	acero	1,00	-	-	39,70	-	0,556	22,07	kg
acero para losa #3	acero	45,00	-	-	15,00	3,00	27,000	81,00	kg
Columnas prefabricadas	concreto prefa	29,00	-	-	-	-	89,10	2583,90	kg
Baldosas 1,50	prefa	86,00	0,63	0,06	1,50	81,27	2400,00	195048,00	kg
acero para baldosas #3	acero	86,00	2,10	2709,00	1290,00	-	0,556	1506,20	kg
solera RT 1-16	acero	1,00	-	-	6,62	-	14,83	98,13	kg
Repellos cemento	cemento	1,00	2,50	0,05	39,70	4,96	382,50	518,10	kg
Repellos arena	arena	1,00	2,50	0,05	39,70	4,96	1500,00	2031,75	kg
cerchas 50x50x1,5	acero	3,00	0,03	0,08	5,18	15,55	14,00	217,70	kg/m3
Contrapiso	concreto	1,00	0,10	6,71	6,71	4,50	2400,00	10800,00	kg

Fuente: elaboración propia

#### 4.2 Cálculo del ciclo de vida de las viviendas

El cálculo del ciclo de vida de las viviendas se realizó mediante el programa OpenLCA, como primer paso se deben agregar los flujos al programa que serían referentes a las viviendas, que deben contar con una unidad para su análisis. En el caso de las dos viviendas se considera como unidad la vivienda general, esto debido a que las dos viviendas poseen el mismo diseño arquitectónico.

Propiedades de flujo				
Nombre	Factor de conversión	Unidad de referencia	Fórmula	Es referencia
Number of items	1.0	Item(s)	1.0 Item(s) = 1.0 Item(s)	<input checked="" type="checkbox"/>

Ilustración 12. Unidades para el flujo  
Fuente:OpenLCA

Luego de crear el flujo se creó un proceso, en este proceso se ingresó en cada vivienda los materiales a utilizar con su debido peso y características. El proceso tiene varias etapas, así como el ciclo de vida, la primera es ingresar los materiales y los pesos en las entradas, después la salida que sería la casa, posteriormente se ingresa otro flujo que es referente a la demolición de la vivienda para dar por terminado el ciclo de vida.

Entradas/Salidas: fabricación casa de madera			
Entradas			
Flujo	Categoría	Cantidad	Unidad
drinking water	Materials productio...	1000.00000	kg
Dummy excavated material	Materials productio...	2520.00000	kg
excavated material	Materials productio...	0.00000	kg
Gypsum	Materials productio...	0.00000	kg
Gypsum plasterboard	Systems/Construction	86.00000	m2
pine wood	Materials productio...	2778.36000	kg
portland cement (CEM I)	Materials productio...	535.00000	kg
sand 0/2	Materials productio...	2100.00000	kg
steel rebar	Materials productio...	35.69000	kg
transport in t*km	Transport services/O...	1.39495E5	t*km
transport in t*km	Transport services/O...	183.37000	t*km
transport in t*km	Transport services/O...	45.00000	t*km
Salidas			
Flujo	Categoría	Cantidad	Unidad
casa de madera	Casa de madera	1.00000	Item(s)

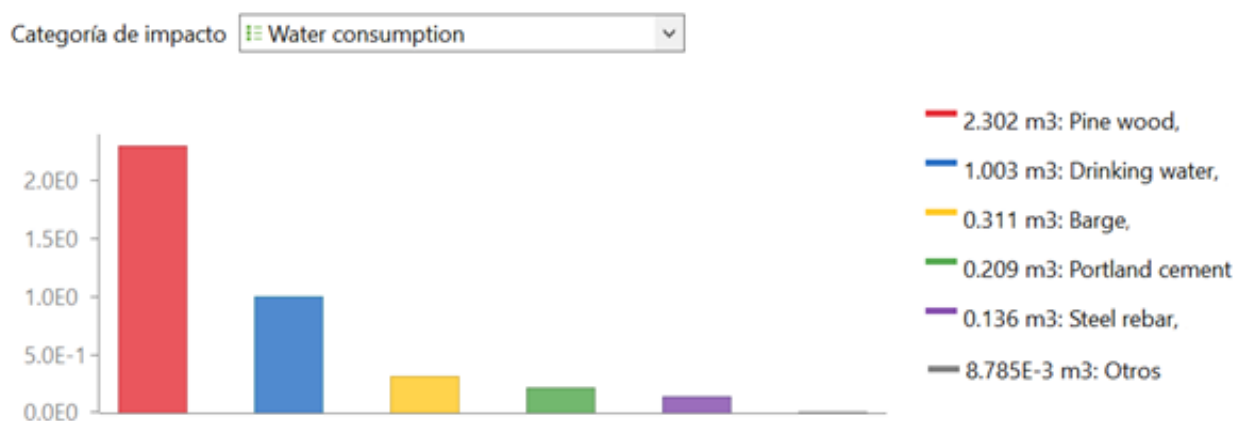
Ilustración 13. Inicio ciclo de vida casa madera  
Fuente:OpenLCA





### 4.2.1 Consumo de agua m<sup>3</sup>

A continuación, se muestra una comparativa del consumo de agua de las dos viviendas, el mayor consumo es en la casa prefabricada. El principal consumo de la madera se da en la producción del pino, luego en el agua utilizada para los pedestales y por último en el cemento y el acero utilizado.



Grafica 1. Consumo de agua casa madera

Fuente: OpenLCA

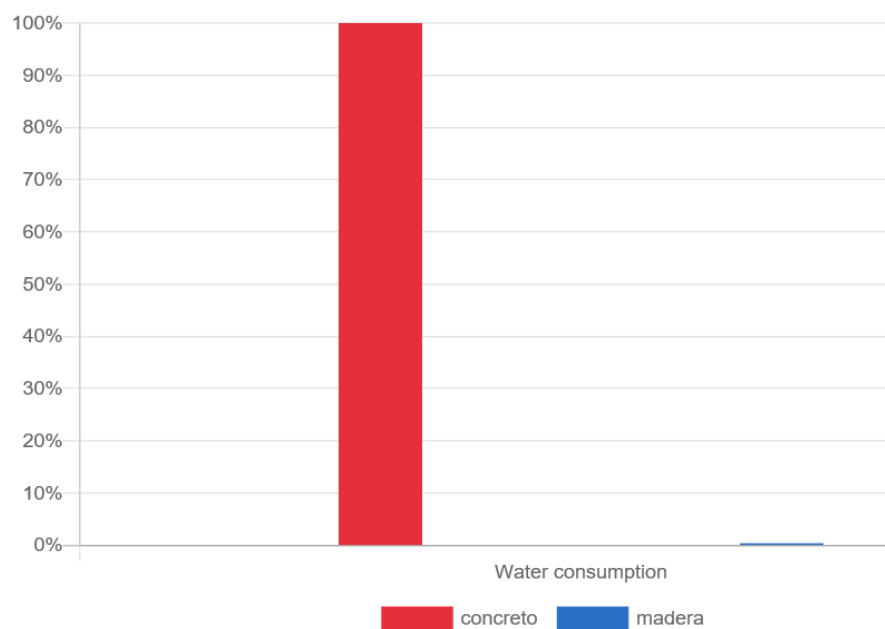
Para el sistema prefabricado el mayor consumo se da por toda el agua que se requiere para la elaboración del concreto en sitio, el curado y los repellos, luego un consumo para la elaboración de las baldosas y columnas de la vivienda.



Grafica 2. Consumo de agua casa prefabricada

Fuente: OpenLCA

Indicador	concreto	madera	Unit
Water consumption	1.04883e+3	3.96966e+0	m3



Grafica 3. comparativo consumo de agua

Fuente: OpenLCA

En este grafico se puede visualizar la gran diferencia de consumo de agua que se da entre los 2 sistemas constructivos, el sistema prefabricado consume casi 1045m<sup>3</sup> más que el sistema en madera, dado que para el prefabricado se deben realizar baldosas, columnas y fundaciones las cuales consumen mucho de este líquido.

#### 4.2.2 Calentamiento global, kg CO<sub>2</sub>gerenado

Parte esencial de lo que se debía evaluar es el calentamiento global que se genera por la construcción de una vivienda de bien social, en los siguientes gráficos se mostrará en kg de CO<sub>2</sub> la afectación que se da por cada material en los dos sistemas constructivos.



Grafica 4. Calentamiento global madera

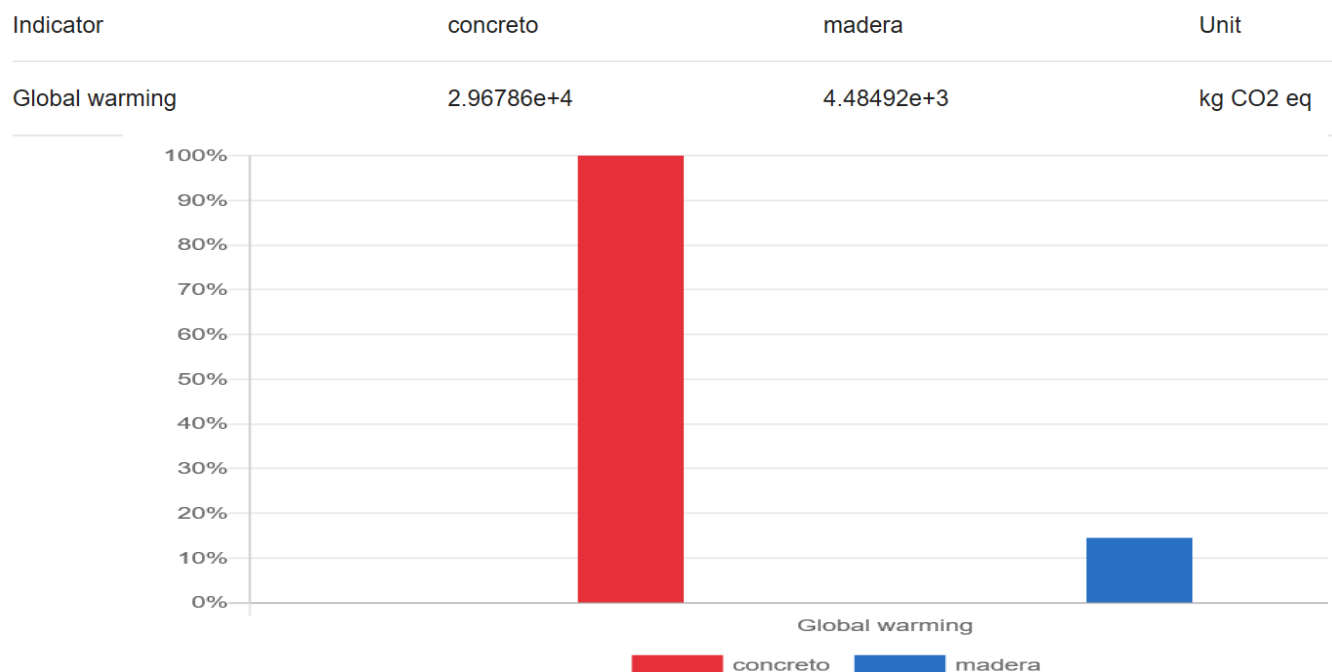
Fuente: OpenLCA

La importación del pino es de en gran medida la que afecta el calentamiento global en el sistema constructivo de madera, notándose exponencialmente la diferencia con los materiales que se utilizarán para la construcción.



Grafica 5. Calentamiento global prefabricado

Fuente: OpenLCA



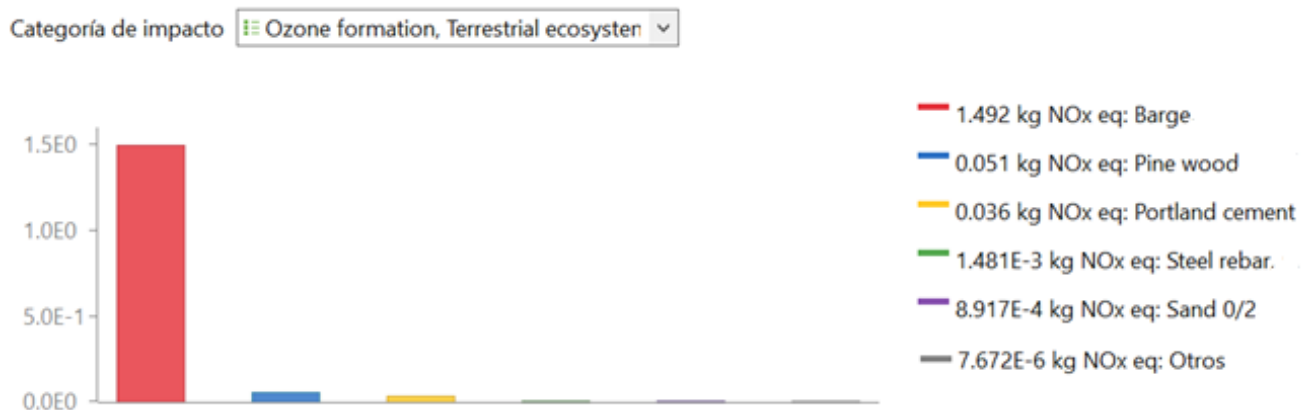
*Grafica 6. Comparativa calentamiento global  
Fuente: OpenLCA*

Como se muestra en los gráficos anteriores, en la madera lo que más afecta es la importación del material y en el concreto las baldosas y columnas que se utilizan para el sistema prefabricado. Comparando los resultados la afectación que tiene el sistema prefabricado en comparación con el de madera es más de un 500%.

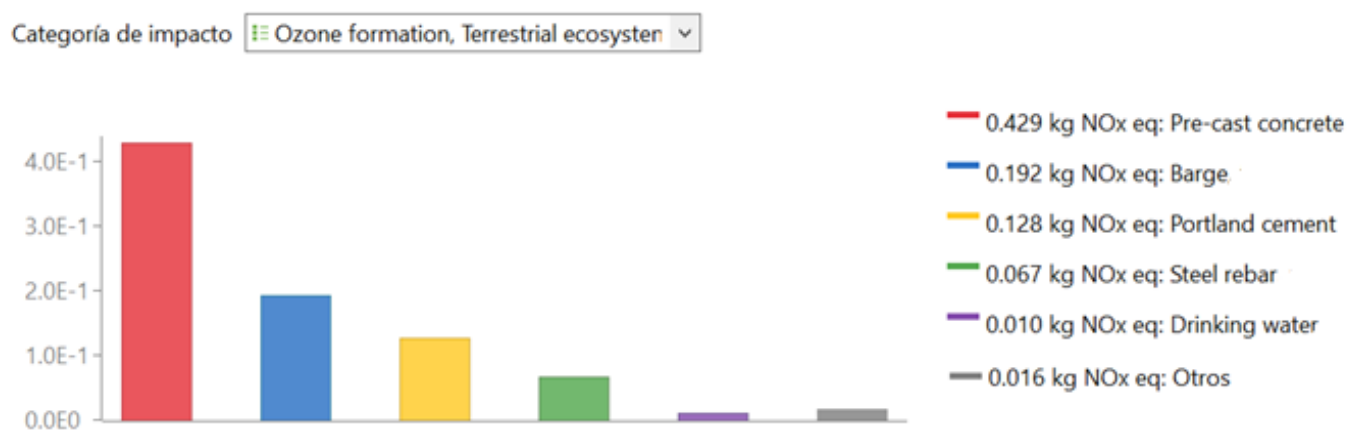
#### **4.2.3 Formación de Ozono, ecosistemas terrestres kg NO<sub>x</sub>**

Sin el ozono estratosférico los rayos ultravioleta podrían alcanzar la superficie de la tierra y generar enfermedades como cáncer de piel, cataratas y afectación inmunológica. Por esto el ozono es de vital importancia para el control de la temperatura de la atmosfera.

En los siguientes gráficos se expondrá la generación de dióxido de nitrógeno que colabora con la destrucción de la capa de ozono en los dos sistemas constructivos.

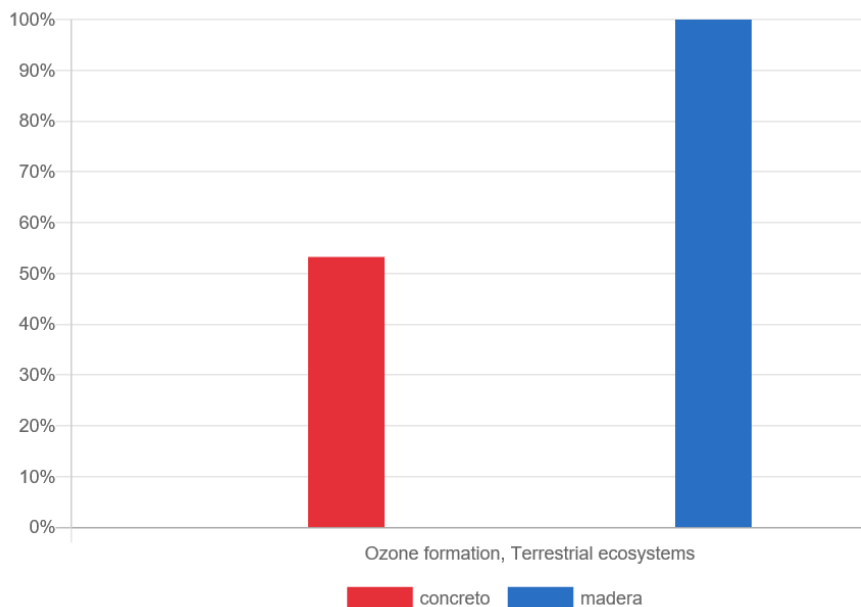


Grafica 7. Generación de ozono madera  
Fuente: OpenLCA



Grafica 8. Generación de ozono prefabricado  
Fuente: OpenLCA

Indicator	concreto	madera	Unit
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	7.46927e-1	1.58151e+0	kg NOx eq



*Grafica 9. Comparativa generación de ozono*  
*Fuente: OpenLCA*

En el sistema de madera se genera 1,58 kg NOx y en el de prefabricado 0,84kg NOx. Como se muestra en las gráficas, en el sistema de madera el NOx es mucho mayor al prefabricado, esto se debe al tipo de transporte que se está utilizando por la importación de la madera, para los demás materiales es mínima la afectación que se da para destruir la capa de ozono. En el caso del sistema prefabricado la mayor afectación está en las baldosas de concreto para las paredes.

#### **4.2.4 Niebla toxica (smog), kg O2eq**

La niebla toxica se da en gran medida por la combinación del aire de quemas, emisiones de gases por el transporte y gases industriales. Puede afectar a las personas de asma, alergias y otras enfermedades respiratorias.



Grafica 10. Niebla toxica madera  
Fuente: OpenLCA

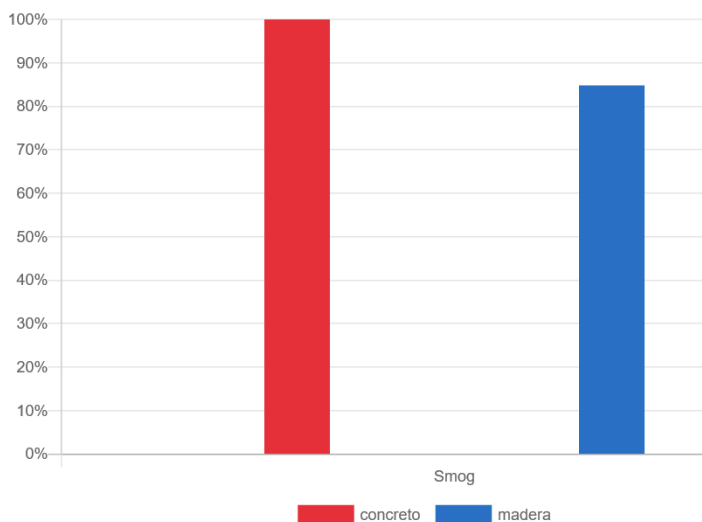
Como hemos notado en la mayoría de los casos anteriores la mayor afectación ambiental en este sistema es la importación de la madera, que supera en más de un 100% a las demás líneas a considerar.



Grafica 11. Niebla toxica prefabricado  
Fuente: OpenLCA

En el caso del sistema prefabricado se puede notar que el principal contaminante son las baldosas de concreto que se utilizan para la construcción de la vivienda y en segundo lugar el transporte del material.

Indicator	concreto	madera	Unit
Smog	1.20571e+3	1.02279e+3	kg O3 eq



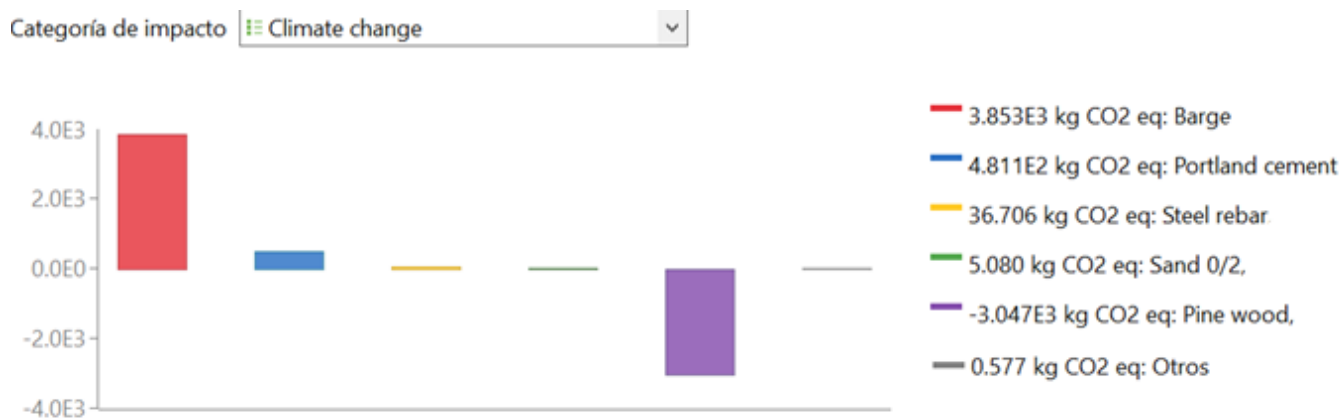
*Grafica 12. Comparativa Niebla toxica*

*Fuente: OpenLCA*

En el análisis de la niebla toxica se ve una diferencia de 3,63 kgO3 colocando al sistema en concreto como el más alto en la generación de smog. Aunque diferencia no es tan grande se debe considerar que los dos sistemas generan una gran contaminación.

#### **4.2.5 Cambio climático, kg CO2**

En los siguientes gráficos se muestran datos a nivel más global, la afectación del cambio climático que se da por ambos sistemas constructivos, parte de los elementos que lo componen son el CO2, el metano CH2, óxido Nitroso N2O, el ozono O2 y los valores de agua. Este resultado es de suma importancia para la investigación, ya que es más notoria la afectación ambiental causada por los sistemas constructivos.



Grafica 13. Cambio climático madera

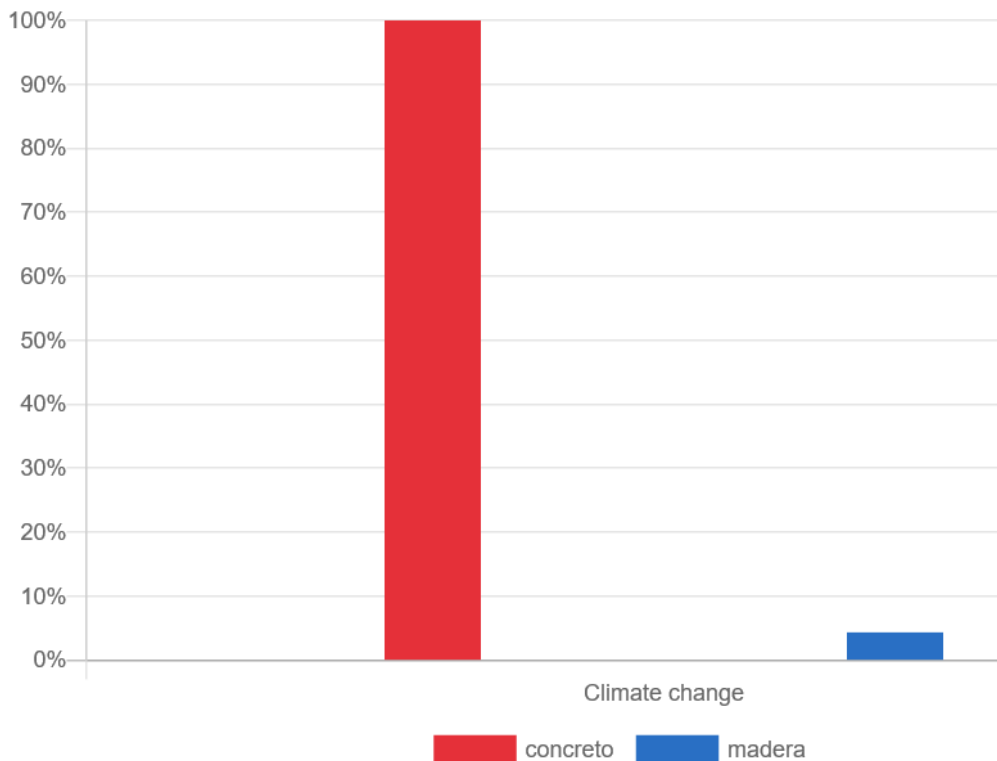
Fuente: OpenLCA



Grafica 14. Cambio climático prefabricado

Fuente: OpenLCA

Indicator	concreto	madera	Unit
Climate change	3.06276e+4	1.32904e+3	kg CO2 eq



*Grafica 15. Comparativa cambio climático*  
*Fuente: OpenLCA*

Como se ve en los gráficos anteriores en el sistema constructivo en madera a pesar de que el transporte genera un efecto negativo, se contrarresta con los kilogramos de CO2 que se dan por el pino radiata, en cambio en el sistema prefabricado se nota una gran cantidad de kg de las baldosas del sistema. Colocando al sistema prefabricado en este caso como el que más afecta el cambio climático.

### 4.3 Costos sistemas constructivos

Para conocer los costos de las viviendas se cotizaron con diferentes proveedores todos los materiales evaluados para la comparativa ambiental. A continuación, se muestran dos tablas en las que se dan los costos de ambas viviendas.

*Tabla 26. Costos casa prefabricada*

<b>Prefabricado</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>costo unitario</b>	<b>costo total</b>
Sello concreto pobre	cemento	2	sacos	₡ 6 400,00	₡ 12 800,00
Paredes	Baldosas, columnas	86	und	₡ 18 674,42	₡ 1 606 000,00
Cerchas	Tubo Hn 2x2x1,5"	3	und	₡ 11 200,00	₡ 33 600,00
Solera	RT 1-16	2	und	₡ 10 463,00	₡ 20 926,00
placas columnas	cemento	14	sacos	₡ 6 400,00	₡ 89 600,00
	Varilla #3	7	varillas	₡ 1 850,00	₡ 12 950,00
Repellos	cemento	11	sacos	₡ 6 400,00	₡ 70 400,00
	arena	1,35	m3	₡ 13 000,00	₡ 17 550,00
Contrapiso	concreto	4,5	m3	₡ 85 000,00	₡ 382 500,00
	malla electrosoldada	4	und	₡ 19 000,00	₡ 76 000,00
				<b>Total</b>	<b>₡ 2 309 526,00</b>

*Referencia precios proveedores ferreteros Construplaza (enero 2021), Prefablock (diciembre 2020)*

*Fuente: elaboración propia*

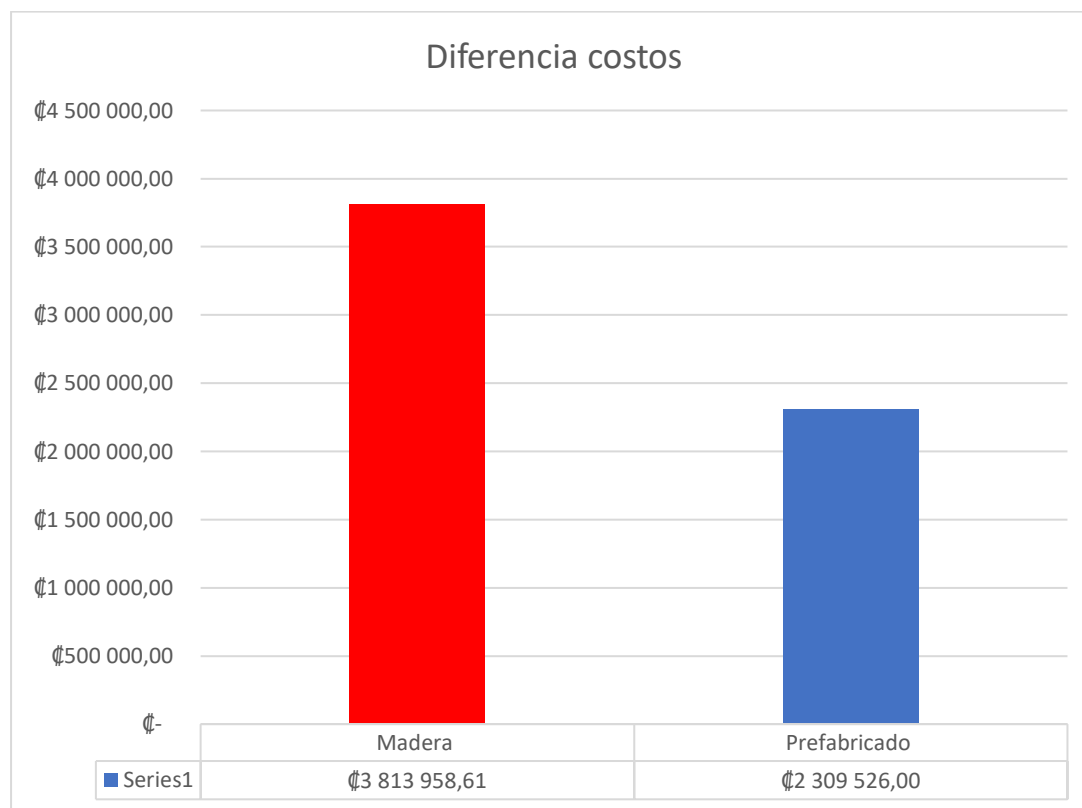
*Tabla 27. Costos casa madera*

<b>Madera</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>costo unitario</b>	<b>costo total</b>
Viga corona	1,18	m3	₡ 830 253,42	₡ 982 770,98
Viga principal	0,88	m3	₡ 830 253,42	₡ 733 910,82
Viga secundaria	0,11	m3	₡ 830 253,42	₡ 89 966,26
Viguetas	0,21	m3	₡ 830 253,42	₡ 176 445,46
Cerchas	0,18	m3	₡ 830 253,42	₡ 149 927,40
Columna 1	0,13	m3	₡ 830 253,42	₡ 107 986,29
Columna 2	0,20	m3	₡ 830 253,42	₡ 165 836,09
Diagonales paredes	0,10	m3	₡ 830 253,42	₡ 80 218,39
Horizontales paredes	0,06	m3	₡ 830 253,42	₡ 53 832,45
Pisos	42,50	m2	₡ 6 815,04	₡ 289 639,41
Forro paredes externas	0,78	m3	₡ 830 253,42	₡ 645 605,06
Cemento	11,00	sacos	₡ 6 400,00	₡ 70 400,00

Arena	1,40	m3	₡ 13 000,00	₡ 18 200,00
Varilla #4	28,00	varillas	₡ 3 315,00	₡ 92 820,00
Varilla #3	14	varillas	₡ 1 850,00	₡ 25 900,00
Gypsum 1 forro	22	láminas	₡ 4 500,00	₡ 99 000,00
Gypsum doble forro	7	láminas	₡ 4 500,00	₡ 31 500,00
			<b>Total</b>	<b>₡ 3 813 958,61</b>

Referencia precios Construplaza (enero 2021), Maderotec (enero 2021)

Fuente: elaboración propia



Grafica 16. Comparativa costo viviendas

Como se puede notar el sistema en madera es un 39% más caro que el sistema prefabricado, el costo por metro cuadrado para el sistema prefabricado sería de cincuenta y un mil colones aproximadamente y el de la madera de ochenta y cuatro mil colones, colocando a la construcción de viviendas en madera en el lugar de mayor costo económico.

## 4.4 MIVES tomo de decisiones

### 4.4.1 Programador

Para la utilización de este programa se evaluaron 3 requerimientos: el ambiental, económico y social. Como primer paso para la evaluación se creó un proyecto en el que se colocan las características globales con las que se va a trabajar.

Propiedades del modelo

Modelo: Proyecto de graduación

Fecha de elaboración: enero 2021

Localización: Costa Rica

Realizado por: María Fernanda Pérez Quesada

Referencia:

Versión N°: 1

Descripción: En este proyecto se pretende determinar si es mejor construir en sistema prefabricado o en madera casas de bien social

Cancelar Aceptar

*Ilustración 17. Propiedades modelo*  
*Fuente: MIVES 2020*

Se debe colocar el nombre del modelo creado, la fecha en que se realizó, el lugar de evaluación del proyecto, la persona que lo creó y una descripción breve de lo que se pretende hacer.

Una vez creado el modelo se procede con el árbol de requerimientos el cual contempla los requerimientos como base, ambiente, económico y social, luego los criterios a evaluar, el ambiental se sub divide en m<sup>3</sup> de agua consumidos, generación de ozono, calentamiento global, generación de niebla tóxica, y cambio climático cada uno de ellos con su debido indicador (unidad de medida utilizada). Para el requerimiento económico solo se evaluó un criterio el costo total que se obtuvo

con una unidad de costo total por vivienda. Como tercer requerimiento y para el cálculo de la sostenibilidad se agregó la parte social en la que se realizó una única pregunta a 41 personas mediante una encuesta de Google en la web, en la que se consulta a criterio personal cual vivienda le gusta más a nivel de fachada para vivir.

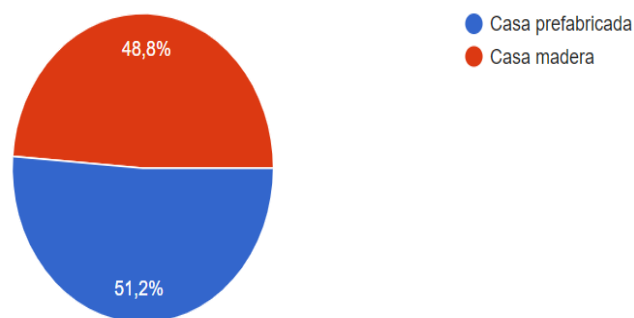
Casa prefabricada



Si usted fuera beneficiado con una casa, cual sería de su elección

41 respuestas

Casa madera



*Ilustración 18. Preferencia población de vivienda*

*Fuente: <https://docs.google.com/forms/u/0/>*

En la encuesta realizada se muestra que la elección estética es mayor en la prefabricada, pero con un porcentaje mínimo de 2,4% que es poco relevante.



Ilustración 19. Árbol de requerimientos

Fuente: MIVES 2020

En la imagen anterior se muestran todas las características consideradas en el árbol de requerimientos para la evaluación y elección del sistema constructivo.

Una vez que se realizó el árbol de requerimientos se procede a colocar los indicadores, en que el programa establece lo que se colocó en el árbol de requerimientos, con la diferencia que se establece una unidad de medida para los criterios, se determina si es una variable continua o discreta, para todos los criterios se utilizó continua ya que solo se evalúa un factor por criterio. Parte de las unidades se asignaron conforme al programa OpenLCA que se determinan según la afectación elegida.

Unidades

Permitir al usuario responder 'desconocido'

Valor del indicador si el usuario responde 'desconocido'

Continuo  
 Discreto

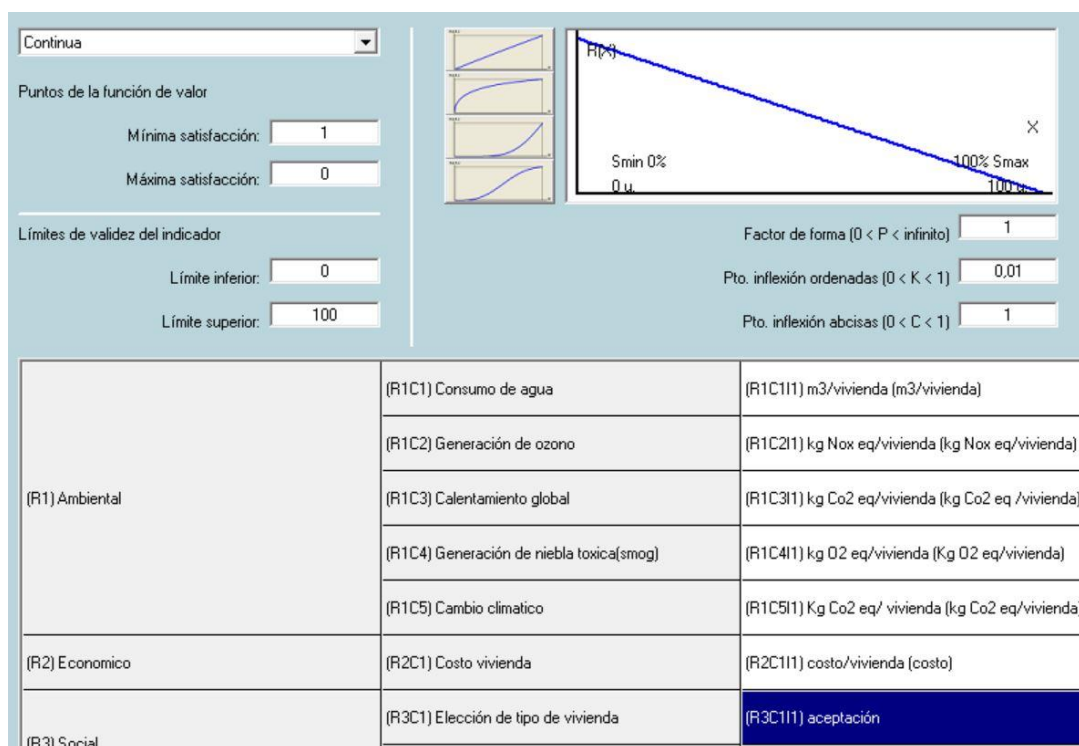
Determinista  
 Probabilista

Los indicadores deterministas continuos no tienen parámetros configurables, pero es necesario definir sus unidades.

[R1] Ambiental	[R1C1] Consumo de agua	[R1C11] m3/vivienda
	[R1C2] Generación de ozono	[R1C21] kg Nox eq/vivienda
	[R1C3] Calentamiento global	[R1C31] kg Co2 eq/vivienda
	[R1C4] Generación de niebla toxica(smog)	[R1C41] kg Co2 eq/vivienda
	[R1C5] Cambio climatico	[R1C51] Kg Co2 eq/ vivienda
[R2] Economico	[R2C1] Costo vivienda	[R2C11] costo/vivienda
[R3] Social	[R3C1] Elección de tipo de vivienda	[R3C11] aceptación

*Ilustración 20. Indicadores*  
Fuente: MIVES 2020

Luego de colocó las funciones de valor que son la función que utiliza el programa para evaluar la respuesta que se obtenga de la evaluación, esta parte es de suma importancia ya que son los parámetros para lo obtención de resultados.



*Ilustración 21. Funcion de valor*  
*Fuente: MIVES 2020*

En la siguiente parte se determinaron los pesos a evaluar para cada requerimiento, estos pesos son a criterio propio, en los que se determinaron de la siguiente manera:

- 40% ambiental
- 40% económica
- 20% social

Se hizo de esta manera ya que los principales factores a evaluar son los ambientales y económicos, colocando al área social como un factor importante, pero no de gran relevancia como lo económico y ambiental.

(R1) Ambiental Peso: 40,00 %	(R1C1) Consumo de agua Peso: 18,18 %	(R1C1I1) m3/vivienda Peso: 100,00 %
	(R1C2) Generación de ozono Peso: 18,18 %	(R1C2I1) kg Nox eq/vivienda Peso: 100,00 %
	(R1C3) Calentamiento global Peso: 18,18 %	(R1C3I1) kg Co2 eq/vivienda Peso: 100,00 %
	(R1C4) Generación de niebla toxica(smog) Peso: 9,09 %	(R1C4I1) kg O2 eq/vivienda Peso: 100,00 %
	(R1C5) Cambio climatico Peso: 36,36 %	(R1C5I1) Kg Co2 eq/ vivienda Peso: 100,00 %
(R2) Economico Peso: 40,00 %	(R2C1) Costo vivienda Peso: 100,00 %	(R2C1I1) costo/vivienda Peso: 100,00 %
(R3) Social Peso: 20,00 %	(R3C1) Elección de tipo de vivienda Peso: 100,00 %	(R3C1I1) aceptación Peso: 100,00 %

*Ilustración 22. Pesos*  
*Fuente: MIVES 2020*

Para los criterios se consideró también la opinión propia colocando en primer nivel de importancia al calentamiento global con un 36,36%, seguido del consumo de agua, generación de ozono, calentamiento global con un 18,18% cada una y de ultimo el smog con un 9,09%.

#### 4.4.2 Usuario

En el modelo usuario se coloca el nombre del proyecto, se definen las alternativas a utilizar y se colocan los resultados de la afectación ambiental, económica y social en la vivienda prefabricada y de madera.

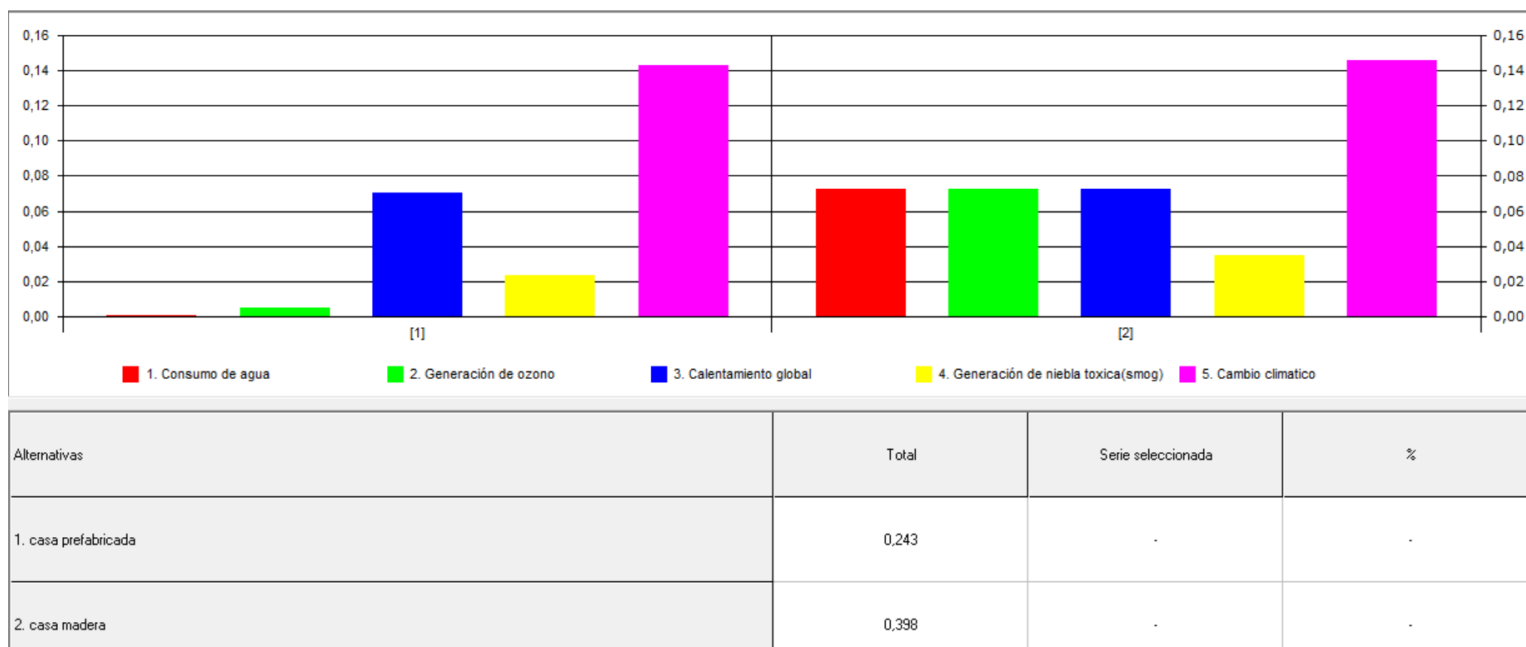
Requerimientos	Criterios	Indicadores	casa prefabricada	casa madera
(R1) Ambiental	(R1C1) Consumo de agua	(R1C111) m3/vivienda (m3/vivienda)	1049	4
	(R1C2) Generación de ozono	(R1C211) kg Nox eq/vivienda (kg Nox eq/vivienda)	1	16
	(R1C3) Calentamiento global	(R1C311) kg Co2 eq/vivienda (kg Co2 eq/vivienda)	29679	4485
	(R1C4) Generación de niebla toxica(smog)	(R1C411) kg O2 eq/vivienda (Kg O2 eq/vivienda)	1206	1023
	(R1C5) Cambio climatico	(R1C511) Kg Co2 eq/ vivienda (kg Co2 eq/vivienda)	30628	1329
(R2) Economico	(R2C1) Costo vivienda	(R2C111) costo/vivienda (costo)	38	62
(R3) Social	(R3C1) Elección de tipo de vivienda	(R3C111) aceptación (%)	54	46

*Ilustración 23. Valores viviendas*  
Fuente: MIVES 2020

Con estos resultados ya se puede usar MIVES reportes, esta aplicación es para mostrar gráficamente los resultados y determinar cuál es la mejor alternativa para la realización de las viviendas.

#### 4.4.3 Reporte

El módulo reporte es la culminación de los resultados de la comparativa y en la que se determina cuál de los dos sistemas es más factible. En el primer grafico se mostrará la afectación ambiental generada por los cuatro factores evaluados. Es importante mencionar que MIVES en este caso da los resultados de manera positiva, esto quiere decir que entre más alto sea el resultado es más beneficioso utilizar el sistema constructivo.



Grafica 17. Afectación ambiental  
Fuente MIVES 2020

En las primeras cinco columnas (1) se muestra la afectación ambiental generada por el sistema prefabricado y en las otras cinco comunas (2) la afectación ambiental del sistema en madera.

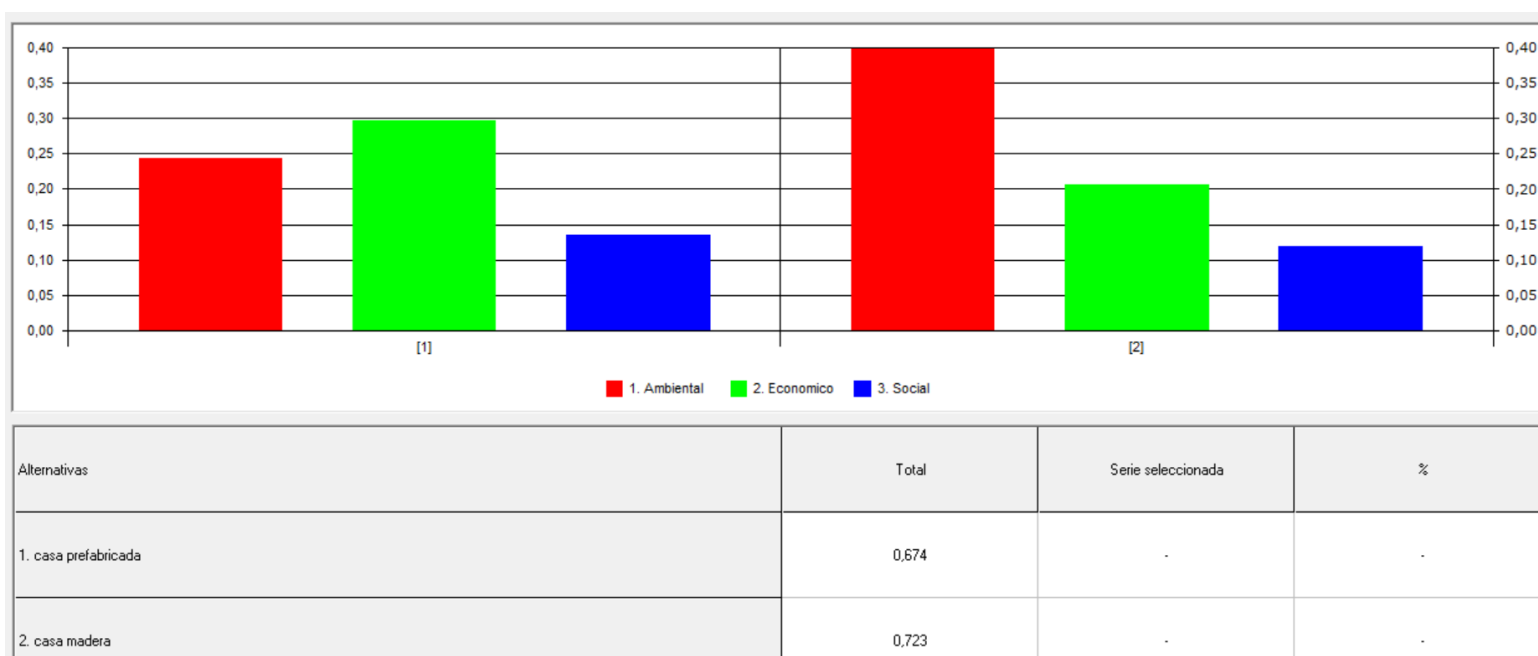
Analizando los resultados se determina que el sistema prefabricado consume casi un 100% más que el sistema de madera, esto debido a que, para la fabricación de las baldosas, columnas, curado, fundaciones y demás materiales el consumo de agua es necesario para su fabricación, en el caso del sistema en madera solo se requiere para los pedestales de la vivienda, por ende a nivel ambiental el sistema prefabricado no está siendo beneficioso para la conservación del recurso.

En el caso del ozono se debe tener una interpretación adecuada esto debido a que entre más ozono se genera más beneficioso va a ser para el medio ambiente, entonces como resultado se podría decir que la madera es más útil ya que se genera en mayor cantidad, referente al calentamiento global es más favorable para el entorno las construcciones en madera en un 85% aproximadamente.

La generación de smog es mayor en la madera, esto debido al transporte que se da en la importación del material.

Por último, el cambio climático en mayor porcentaje se da por el sistema prefabricado con un 96% del total generado.

En resumen, según los valores que da el MIVES como resultado, a nivel ambiental es más útil construir en madera para minimizar la afectación en el ambiente.



*Grafica 18. Resultados géneroles comparativa*

*Fuente: MIVES 2020*

Como se ve en las gráficas anteriores a nivel ambiental es en un 28% más beneficioso la construcción de viviendas en madera, en lado contrario a nivel económico ya que en prefabricado hay un ahorro casi del 39% en los costos totales de los materiales a evaluar.

A opinión general de las 41 personas se considera preferente construir en prefabricado con un 11% de mayor aceptación.

## Capítulo 5

### 5.1 Conclusiones

- Para obtener una vivienda de interés social se debe contar con requisitos mínimos, como tener un ingreso familiar máximo de 1.656.816 colones y mínimo de 414.202 colones, no tener casa propia o propiedades, no haber recibido un bono anteriormente y ser costarricense.
- Existen dos tipos de bonos, el primero que debe cumplir con las características anteriores y otro que es amparado en el artículo 59 de la directriz 27 el cual da prioridad a personas con discapacidad, adultos mayores y personas en extrema pobreza.
- Los requisitos de la construcción de viviendas de madera y prefabricados son muy similares, solamente con algunas variables, la madera no puede tener picaduras, debe tener tratamiento contra insectos y contra humedad.
- La afectación ambiental en el sistema constructivo de madera aumenta por la importación del material ya que la madera impacta positivamente en el ambiente.
- El daño ambiental generado por las viviendas prefabricadas es un 28% mayor que las viviendas en madera. Por lo cual es factible realizar un cambio de viviendas prefabricadas a madera para minimiza la afectación ambiental.
- A nivel estructural es factible construir viviendas de interés social en madera ya que cumple con todos los requisitos estipulados en el código sísmico de Costa Rica.
- A nivel económico es más factible construir viviendas en sistema prefabricado.
- La elección del sistema constructivo depende mucho de los profesionales responsables ya que dependiendo de las prioridades que tengan así elegirán el sistema constructivo con el

que se va a realizar las viviendas. En este caso se utilizó una distribución donde se le da una importancia igualitaria al daño ambiental y costo económico con un 40% cada uno y un 20% a la parte social ya que no es parte de los objetivos a evaluar en el proyecto.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda hacer un análisis de la durabilidad de ambos sistemas a largo plazo ya que al ser una vivienda de interés social no se cuentan con recursos para su mantenimiento, por ende se sugiere también analizar los costos de mantenimiento de la vivienda.
- Parte de la sugerencia es la realización de vivienda de bien social de madera en el GAM por ello sería interesante conocer la aceptación a profundidad de las personas en esta área para comprobar si se adaptan a este tipo de vivienda.
- Se recomienda realizar un diseño en madera menos conservador o utilizar el diseño simplificado del capítulo 17 del CSCR para la realización de viviendas en madera ya que se podrían reducir los costos del sistema.
- Se recomienda realizar el diseño de las uniones para hacer un análisis completo del diseño estructural en madera.
- Se sugiere analizar los costos de mantenimiento de ambos sistemas constructivos para determinar a largo plazo la factibilidad de los sistemas.
- Uno de los principales generadores de gases contaminantes son los vehículos por lo que se recomienda analizar toda la maquinaria que se utiliza en el proceso constructivo para conocer por completo la afectación.
- Se recomienda además de la construcción de la vivienda en un sistema amigable con el ambiente la utilización de energía renovable como la energía solar o la biomasa.

- Como principal recomendación se propone utilizar madera nacional para la realización de las viviendas en madera, ya que la importación es la que genera más contaminante y más daños en el ambiente.
- Se recomienda hacer un estudio más profundo de los costos de ambos sistemas constructivos para determinar las variaciones que hay en el mercado para la compra de todos los materiales para construir la vivienda.
- Se sugiere como futuro tema de estudio hacer un análisis completo del daño ambiental de todas las partes de la vivienda, como lo son techos, material electromecánico y acabados de la vivienda para comprobar el impacto total a nivel país que se da por cada tipo de vivienda.

## **Bibliografía**

- Ariete N.A(2010) Caracterización de madera de Pinus radiata D. Don sometido a un proceso de modificación térmica usando un ambiente de inmersión. Recuperado <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fifa698c/doc/fifa698c.pdf>
- Badilla P et al (2015) Calculo de la huella de carbono para materiales de construcción en Costa Rica (tesis de licenciatura) Universidad de Costa Rica
- Banco de vivienda. (2020). Portal del Banco Hipotecario y de Vivienda. BANHVI. <https://www.banhvi.fi.cr/bono/>
- Bello R.B (2019) Evaluación de la calidad de la madera utilizada en viviendas de interés social financiadas por el Banco Hipotecario de viviendas (BANHVI) en Costa Rica( tesis licenciatura) Instituto tecnológico de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (4Ed.). (2014). Código sísmico de Costa Rica. Tecnológica de Costa Rica.
- Construplaza (2021) Materiales de construcción <https://www.construplaza.com/Construplaza/Pedidos?busqueda=MADERA>
- Chacón M. J (2010) Comportamiento estructural de conexiones con configuración circular en elementos de madera en sistemas de viga-columnas (tesis licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Comunicaciones BANVHI. Especificaciones casas de madera. (correo electrónico)
- Durán Tuk J (octubre 2020). Diseño, construcción y restauración sostenible con madera. Curso presentado en el colegio de ingenieros civiles.
- Durán Tuk J. (2019). Madera: Diseño y construcción. San Jose: Tecnológica de Costa Rica.
- Green Delta (1.10.3(2020) OpenLCA Recuperado <https://www.openlca.org/>
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (s. f.). INVU - Portal-INVU. Recuperado 2020, de <https://www.invu.go.cr/>
- Instituto de normas técnicas de Costa Rica (2011). Modera aserrada para uso general(06-06-02:2011)

- Jara M.P (2015) Comparación de la huella de carbono en la construcción de edificaciones de hormigón armado y madera solida contralaminada (licenciatura de ingeniería civil) Universidad del Bio-Bio
- Lang J. F (2016) Diseño de una vivienda de interés social con madera de melina cultivada en Costa Rica. (tesis licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica
- Metalco (2020). Portal-METALCO <http://www.metalco.net/productos/perfil-tipo-c/>
- Manual MIVES (2009). Modelo Integrado de Valor Para Evaluaciones de Sostenibilidad: Evaluaciones de la sostenibilidad en ingeniería civil. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Morice, E. (2020). cotización sistema prefabricado [Correo electrónico].
- Rojas C.E (2010) Herramienta para el diseño de elementos estructurales de madera nacional mediante los métodos ASD y LRFD (tesis de licenciatura) Instituto tecnológico de Costa Rica
- SAP2000 Ultimate(21.2.0)(2019) Recuperado en <http://bit.ly/311CS7I>
- Sáenz Montero (2015) Comportamiento de la huella de carbono generada al construir las paredes de una vivienda unifamiliar de 45m<sup>2</sup> en obra gris, utilizando las emisiones calculadas al usar losas prefabricadas de concreto y al usar teca (tesis de licenciatura). Universidad de costa Rica
- Sandí A.L (2018) Herramienta para la estimación de huella de carbono de proyectos constructivos (tesis licenciatura) Instituto tecnológico de Costa Rica.
- Vega, K. (2020). cotización madera [Correo electrónico].
- Vega S (2014) Calculo y reducción de la huella de carbono en materiales de construcción de viviendas de interés social (tesis de licenciatura) Universidad de Costa Rica
- Punhagui K.R(2014) Potencial de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera (doctorado) Universidad Politecnica de Cataluña