

# Análisis de impacto ambiental de una vivienda unifamiliar aislada construida en madera mediante el uso de Metodologías BIM



# ÍNDICE

A.	ABREVIATURAS .....	2
B.	ÍNDICE DE TABLAS.....	3
C.	ÍNDICE DE IMÁGENES .....	3
1.	HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	5
2.	OBJETIVOS .....	6
3.	ANTECEDENTES.....	6
	La madera como material renovable. Tipos.....	6
	Usos de la madera en Europa hoy .....	7
	Caso de estudio: Vivienda unifamiliar en madera.....	8
	Documentación Gráfica:.....	10
4.	METODOLOGÍA.....	18
	Definición de objetivo y alcance.....	18
	One Click LCA® .....	20
	<i>Green Building Studio (GBS)</i> .....	22
	Análisis solar y eficiencia energética .....	23
	Cálculo de masas y medidas pasivas .....	28
	Resultados en GBS: .....	30
	Carbón biogénico .....	31
	Mejora material .....	33
	Resultados y análisis de inventario .....	33
	Huella de Carbono .....	34
	Resultados y análisis del impacto ambiental.....	38
	El potencial de calentamiento global (GWP) .....	39
	Potencial de generación fotoquímica de ozono .....	39
	Eutrofización .....	40
	El potencial de agotamiento del ozono .....	41
	Acidificación .....	41
5.	CONCLUSIONES.....	43
6.	RECOMENDACIONES .....	45
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	46

## A. ABREVIATURAS

ADP: Agotamiento abiótico

AP: Acidificación de los suelos y las aguas

BIM. Siglas en inglés. Modelado de Información de Construcción

CE: Consumo energético

EE. Siglas en inglés. Energía incorporada

EP: Eutrofización

GBS: Siglas en inglés. Green Building Studio®

GBXML: Formato de intercambio de información

GWP. Siglas en inglés. Potencial de calentamiento global

LCA. Siglas en inglés. Análisis de ciclo de vida

LVL: Chapas laminadas de madera

MDF: *Medium density fibre*

ODP: Potencial de agotamiento del ozono

OSB: Chapas de virutas

OSB: Siglas en inglés. Tableros de fibra orientada

POCP: Potencial de creación de ozono fotoquímico

## B. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de impacto medioambiental de la EE y CE en distintos materiales (Mercader Moyano et al., 2019).....	7
Tabla 2. Resultados finales totales de emisiones de gases .....	34
Tabla 3. Carbono emitido, valores.....	35
Tabla 4. Valores por estructura de la edificación. ....	36
Tabla 5. Datos de almacenamiento de carbón biogénico .....	38

## C. ÍNDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1. Localización zona del estudio. ....	8
Ilustración 2. Planta Baja. (Elaboración propia) .....	10
Ilustración 3. Planta Superior. (Elaboración propia) .....	11
Ilustración 4. Cubierta con paneles solares. (Elaboración propia) .....	12
Ilustración 5. Alzado Este. (Elaboración propia).....	13
Ilustración 6. Alzado Oeste. (Elaboración propia) .....	13
Ilustración 7. Alzado Sur. (Elaboración propia) .....	14
Ilustración 8. Alzado Norte. (Elaboración propia) .....	14
Ilustración 9. Render conceptual Vista Sur. (Elaboración propia).....	15
Ilustración 10. Render conceptual Vista Suroeste. (Elaboración propia).....	15
Ilustración 11. Render Conceptual. Norte. (Elaboración propia) .....	16
Ilustración 12. Render Conceptual. Noroeste. (Elaboración propia) .....	16
Ilustración 13. Render. Interior Vivienda salón, se aprovecha la iluminación natural al máximo mediante los ventanales de cristal. (Elaboración propia) .....	17
Ilustración 14. Etapas del ciclo de vida aplicadas a la construcción.....	19
Ilustración 15. Elección de materiales en Revit con Plugin OneClick-LCA . (Elaboración propia) .	20
Ilustración 16. Mapeo de elementos constructivos en la página de OneClick-LCA según BD Europa/ España. (Elaboración propia).....	20
Ilustración 17. Materiales y cantidades que arroja la vivienda. Estimados. (Elaboración propia - OneClick-LCA) .....	21
Ilustración 18. Datos análisis solar para cálculo de paneles solares en Revit. (Elaboración propia) .....	24
Ilustración 19. Simulación solar durante 1 año realizado en Revit. (Elaboración propia) .....	24
Ilustración 20. Carta Solar estereográfica Madrid. Fuente <a href="http://www.diazcaro.com/carta-solar-estereografica-de-madrid/">http://www.diazcaro.com/carta-solar-estereografica-de-madrid/</a> .....	25
Ilustración 21. Análisis con carta Solar. Solsticio de invierno, AM. (Elaboración propia) .....	25

Ilustración 22. Análisis con carta Solar. Solsticio de invierno, PM. (Elaboración propia) .....	26
Ilustración 23. Análisis con carta Solar. Solsticio de verano, AM. (Elaboración propia) .....	26
Ilustración 24. Análisis con carta Solar. Solsticio de verano, PM. (Elaboración propia) .....	27
Ilustración 25. Ladybug tool. Visor de GBXML. Licencia abierta. Elaboración propia .....	29
Ilustración 26. Capas de masas en Revit para ser exportadas. Elaboración propia. ....	29
Ilustración 27. Gráficos de consumo de Energía Total (KWh), Electricidad (KWh) y Gas Natural (m3). (Elaboración propia a partir de GBS) .....	30
Ilustración 28. Factura de consumo Eléctrico y de gas anual. Iberdrola. Estos gráficos se corresponden a una vivienda en un edificio multifamiliar del autor. (Elaboración propia) .....	30
Ilustración 29. Consumo medio por hogar en España. Toneladas equivalentes de petróleo y kWh. ....	31
Ilustración 30. Fijación de carbono, madera tratada para exteriores. Fuente EPD. Protec.....	32
Ilustración 31. Datos del Almacenamiento de carbono biogénico kg CO2. ....	33
Ilustración 32. Gráfica de alternativas sostenibles. Elaboración propia .....	33
Ilustración 34. Gráfica de resultado. Índice carbón. EU Carbon Benchmark (Elaboración propia). ....	34
Ilustración 35. Gráfica de resultado. Carbono incorporado por etapa del ciclo de vida. (Elaboración propia) .....	35
Ilustración 36. Gráfica de resultado. Material usado (kg) por estructura. ....	36
Ilustración 37. Gráfica de resultado. Impacto, Uso de energía primaria. Desglose. ....	36
Ilustración 38. Fase D. Valores de Emisiones de Carbono. ....	37
Ilustración 39. “Building circularity” o retorno de la edificación. Oneclick lca. Datos del modelo	37
Ilustración 40. Resultados carbón biogénico de la vivienda. (Elaboración propia).....	38
Ilustración 41. Gráfica de resultado. Potencial de calentamiento global (Elaboración propia)....	39
Ilustración 42. Gráfica de resultado. Impacto, Photochemical ozone creation, potencial de generación fotoquímica de ozono, (POCP). (Elaboración propia).....	40
Ilustración 43. Gráfica de resultado. Impacto, Eutrofización (EP). (Elaboración propia).....	40
Ilustración 44. Gráfica de resultado. Impacto, Ozone Depletion Creation (ODP). El potencial de agotamiento del ozono (Elaboración propia).....	41
Ilustración 45. Gráfica de resultado. Impacto, Acidificación (AP). (Elaboración propia) .....	42

## 1. HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El uso de materiales altamente contaminantes como el hormigón, PVC, aluminio y acero en diseños de construcción provoca, desde hace décadas, un impacto medioambiental severo. Además, se conoce que la producción de cemento y acero tiene asociada una huella de carbono muy alta, en cambio, los elementos naturales como la madera, poseen un índice bajo, dependiendo de su tipo y forma de extracción.

Los edificios son responsables del 40% del uso de la energía global y el 33% de la emisión de gases de efecto invernadero (Peng, 2015). En España se consumieron en el sector residencial 14.676 ktep<sup>1</sup> en 2019, con solo un 14% de energías renovables<sup>2</sup>.

Más del 65% de las emisiones de carbono de un edificio se producen durante la etapa de operación de su ciclo de vida (Li, Chen, Hui, Zhang, & Li, 2013). Por tanto, se hace necesario desarrollar nuevas estrategias de diseños constructivos responsables, que permitan evaluar el impacto de materiales de construcción en la huella de carbono asociada a las edificaciones.

La elección de este tema parte de mi experiencia como diseñador/colaborador de proyectos con altas huellas de carbono y la consecuente reflexión sobre el daño medioambiental que conlleva el empleo del acero y el cemento, en contraste con las ventajas del uso de la madera.

En este sentido, he podido confirmar que las nuevas herramientas de *software* de Modelado de Información de Construcción (BIM, *Building Information Modeling*) son ideales para realizar la tarea de cálculos de la huella de carbono, en función de los materiales empleados en las edificaciones.

Por tales razones, este trabajo se basa en un modelo de vivienda unifamiliar aislada en madera y se apoya en diversas herramientas BIM y de análisis medioambiental, más específicamente. De igual forma, se emplea la integración BIM+LCA+Sostenibilidad, acercamiento poco observado en las fuentes consultadas.

El análisis medioambiental de este tipo de edificación no es una práctica muy común debido a la complejidad y coste que acarrearán los métodos tradicionales. Esto trae como consecuencias malas decisiones medioambientales en proyectos que a largo plazo pueden tener un sobrecoste.

La detección del impacto ambiental en etapas tempranas del diseño del edificio puede ayudar a tomar decisiones fundamentales antes de llegar a la construcción (Li, X., Zhu & Zhang, 2010). Para el desarrollo del tema se utilizan las herramientas de *software* Revit, *Green Building Studio* (GBS) y One Click LCA.

Palabras clave: BIM, LCA, Sostenibilidad, Madera, Energía renovable.

---

<sup>1</sup> Toneladas equivalentes de petróleo

<sup>2</sup> IDAE, 2019. <https://informesweb.idae.es/informe-estadistico/informe.php>

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es identificar la huella de carbono de una vivienda de madera unifamiliar aislada, utilizando las metodologías BIM para el diseño de edificios sostenibles medioambientalmente, así como otras herramientas *online* y *software* de análisis de ciclo de vida.

El objetivo secundario es aplicar las normativas y metodologías dentro del marco actual para evaluar y reducir el impacto medioambiental y en la salud humana.

## 3. ANTECEDENTES

La madera es uno de los materiales de construcción más importantes de la historia de la humanidad. Se utiliza en casi todos los países y siempre ha tenido un valor social y económico particularmente fuerte. Para este trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica que ha permitido profundizar sobre los beneficios de la madera en ese sector (Ajayi et al., 2015; Falk, 2009; Mercader Moyano et al., 2019 y Woodard & Milner, 2016).

En comparación con otros, la madera posee un notable beneficio medioambiental al tener una energía incorporada (EE) muy baja. La EE se compone de la energía requerida para la recolección, manufactura y transporte del producto (Falk, 2009).

La madera se aplica con muy buena aceptación en la construcción moderna debido a su versatilidad, su abundancia en la naturaleza y a su recolecta controlada por normas medioambientales. Existen múltiples tipos y tiene una gama notablemente diversa de aplicaciones. Aunque consumen menos energía para su fabricación, los elementos constructivos deben poseer buen aislamiento para reducir el gasto en la fase operacional. A mayor aislamiento, menor consumo energético (Ajayi et al., 2015).

La madera como material renovable. Tipos.

En 2004 los bosques cubrían aproximadamente 3.9 billones de hectáreas a nivel mundial, lo que significa un aproximado del 30% de la superficie terrestre. A pesar de esto, se pierden aproximadamente 12-15 millones de hectáreas en países en vías del desarrollo. Se estima el uso de 2000 millones de toneladas de madera para material de construcción, para hacer papel y generación de energía (Zimmer & Wegener, 2004).

Los bosques como entidades naturales son capaces de acumular la energía, el carbón de la atmósfera y realizar una potente contribución al equilibrio medioambiental.

Existen varios tipos de madera. Una forma de clasificación es por su densidad: desde las maderas blandas como abetos, pinos, piceas, de zonas templadas y frías, hasta las maderas duras de las zonas templadas a tropicales.

La madera en sus usos para la construcción de edificaciones se produce de diferentes formas, entre ellas tenemos: las maderas macizas, alistonadas o ensambladas, las procesadas mediante chapas laminadas (LVL), encoladas, de virutas (OSB), de aglomerados, las contrachapadas de baja a alta densidad o los tableros de fibra de media (MDF) y alta densidad (HDF). De igual forma, se cuenta con los tableros de madera-cemento, generalmente utilizados en fachadas o los de cartón yeso con diversas variantes, usados en tabiquería interior por sus facilidades acústicas y ligereza. En nuestro trabajo, emplearemos tableros de cemento o cartón yeso hidrófugo por sus propiedades resistentes ante la humedad.

#### Usos de la madera en Europa hoy

El aumento del uso de productos de madera de ingeniería en la Unión Europea ha impulsado un cambio hacia una producción de materiales de construcción más eficientes en cuanto a emisiones de carbono. Los productos de madera de ingeniería ya han ido sustituyendo construcciones de edificios a base de hormigón y acero con utilización intensiva de carbono y energía, pero aún carecen de las capacidades y la demanda del consumo para ser más que un nicho de mercado. La Unión Europea no solo posee normativas para promover la madera como material constructivo, también ofrece programas de ayuda para incorporarla al examen del ciclo de vida en etapas tempranas de diseño y prevenir el impacto medioambiental negativo.

MATERIAL	UNIDAD	EE MJ/TU	CE kg CO <sub>2</sub> /TU
ACERO	kg	40.00	2.80
HORMIGÓN	m <sup>3</sup>	6209.97	159.56
MADERA DE PINO	m <sup>3</sup>	3.00	714.00
LADRILLO HUECO/CERÁMICO	millas	5290	487.60
ARENA	m <sup>3</sup>	247.51	48

Tabla 1. Comparativa de impacto medioambiental de la EE y CE en distintos materiales (Mercader Moyano et al., 2019).



Caso de estudio: Vivienda unifamiliar en madera.

El estudio se apoya en la confección de un modelo de residencia unifamiliar aislada, localizada en la sierra norte de Madrid. Ubicación: C. de la Magdalena, 28491 Navacerrada, Madrid, España.



Ilustración 1. Localización de la zona del estudio.

- La edificación consta de dos niveles, el nivel calle concentra las actividades del día cocina/comedor/salón flexible, reconfigurable y abierta. Las habitaciones se encuentran en el nivel superior, posee una cubierta tradicional a dos aguas con la posibilidad de recoger el agua de lluvia en un aljibe en la parcela.
- El entorno no presenta cambios topográficos de relevancia, el terreno es prácticamente plano.
- Se ha optado por separar la vivienda del nivel de suelo a modo de pilotis para prescindir de utilizar muros de contención y evitar la humedad posible.
- La cimentación constará de zapatas aisladas y soleras de hormigón armado con aligeramientos.
- El acceso se realiza mediante una escalera de madera para salvar el desnivel.

- Cubierta a dos aguas realizada mediante paneles sándwich prefabricados pre-laminados que garantiza una cubierta ligera de gran resistencia.
- La estructura utiliza vigas *Joist* ligeras, de alma OSB.
- Paneles prefabricados de madera como tabiquería principal.
- Los suelos de tarima flotantes y los forjados prefabricados de madera.
- Las placas de cartón yeso resistente a la humedad se utilizaron para los cuartos húmedos.
- Los pilares en el interior de la vivienda son de madera. Se diseñan a modo de pilotis en la planta acceso.
- Barandillas metálicas y ventanas con elementos de PVC, así como cerrajerías de las puertas y ventanas al mínimo
- El ciclo de vida del edificio está probado para 50 años.
- Se toman en cuenta las fases desde A1 (Inicio) hasta C4 (Fin de Vida).
- Se incluyen todos los materiales de construcción y el consumo de electricidad, agua y combustible del edificio, mediante una estimación promedio anual.
- El consumo de combustible de transportación (A2 y A4) irá definido por los EDP y recalculado mediante el software según la distancia a la obra.
- Los cálculos se realizan mediante el *plugin* para Revit de OneClick LCA, con la comodidad de obtener resultados en minutos. Se realizan varias pruebas al modelo de la vivienda hasta obtener la combinación más favorable y sostenible.
- Este diseño y modelo están basados en un prototipo de licencia libre y pública de Autodesk®, modificados por el autor.

Para la documentación gráfica se ha optado por un grafismo sencillo, se presenta a continuación:

Documentación Gráfica:

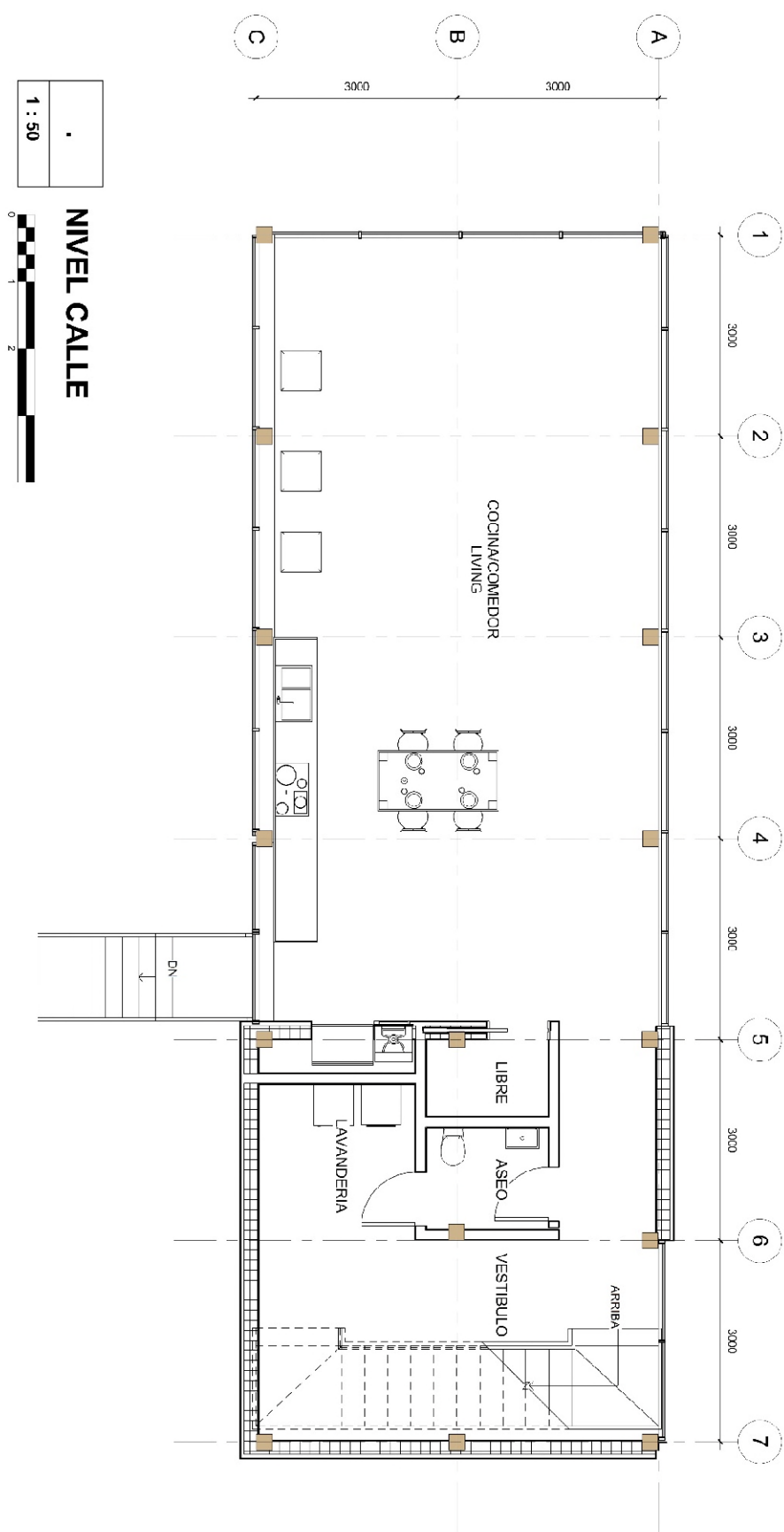


Ilustración 2.Planta Baja. (Elaboración propia)

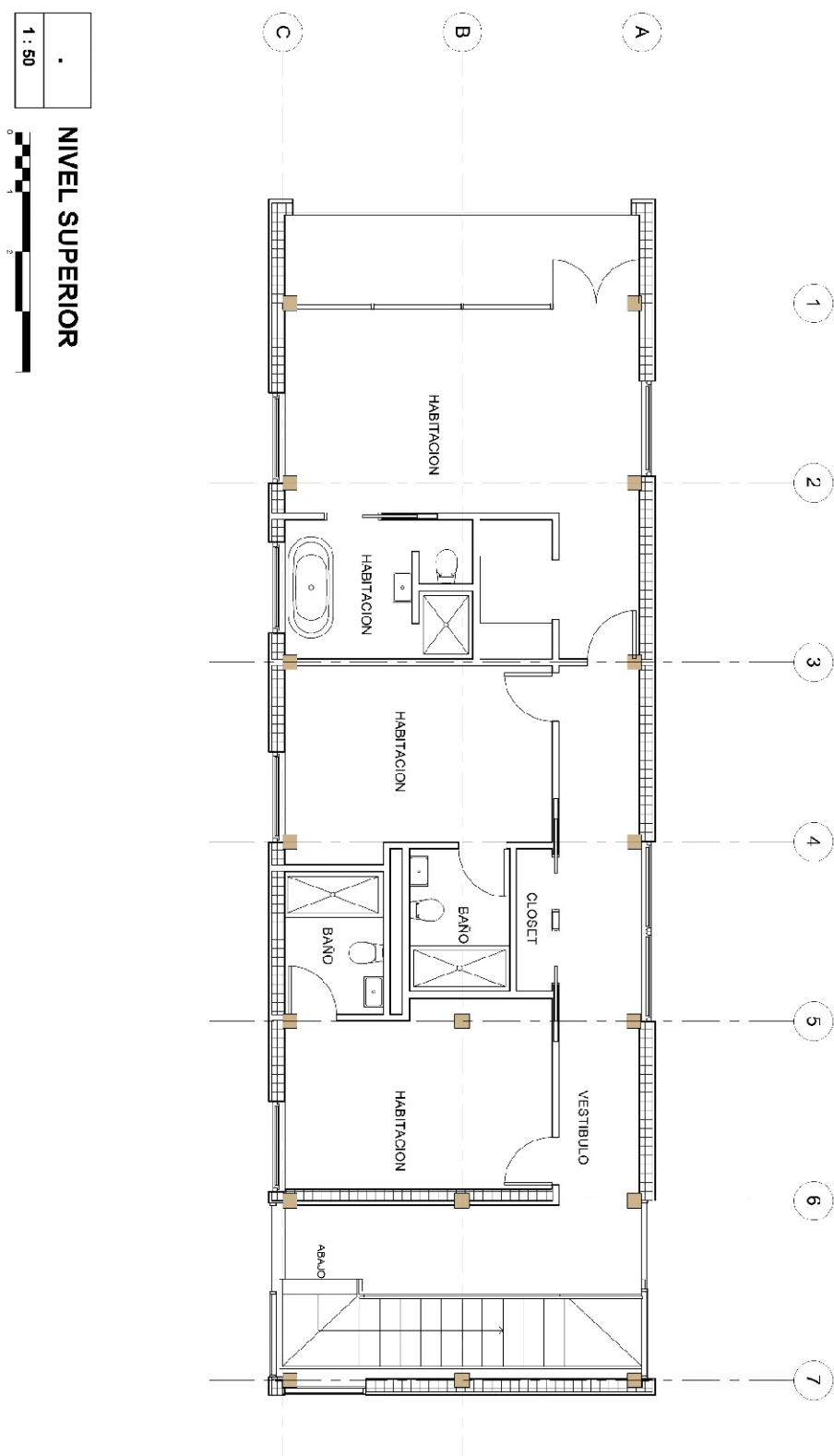


Ilustración 3. Planta Superior. (Elaboración propia)

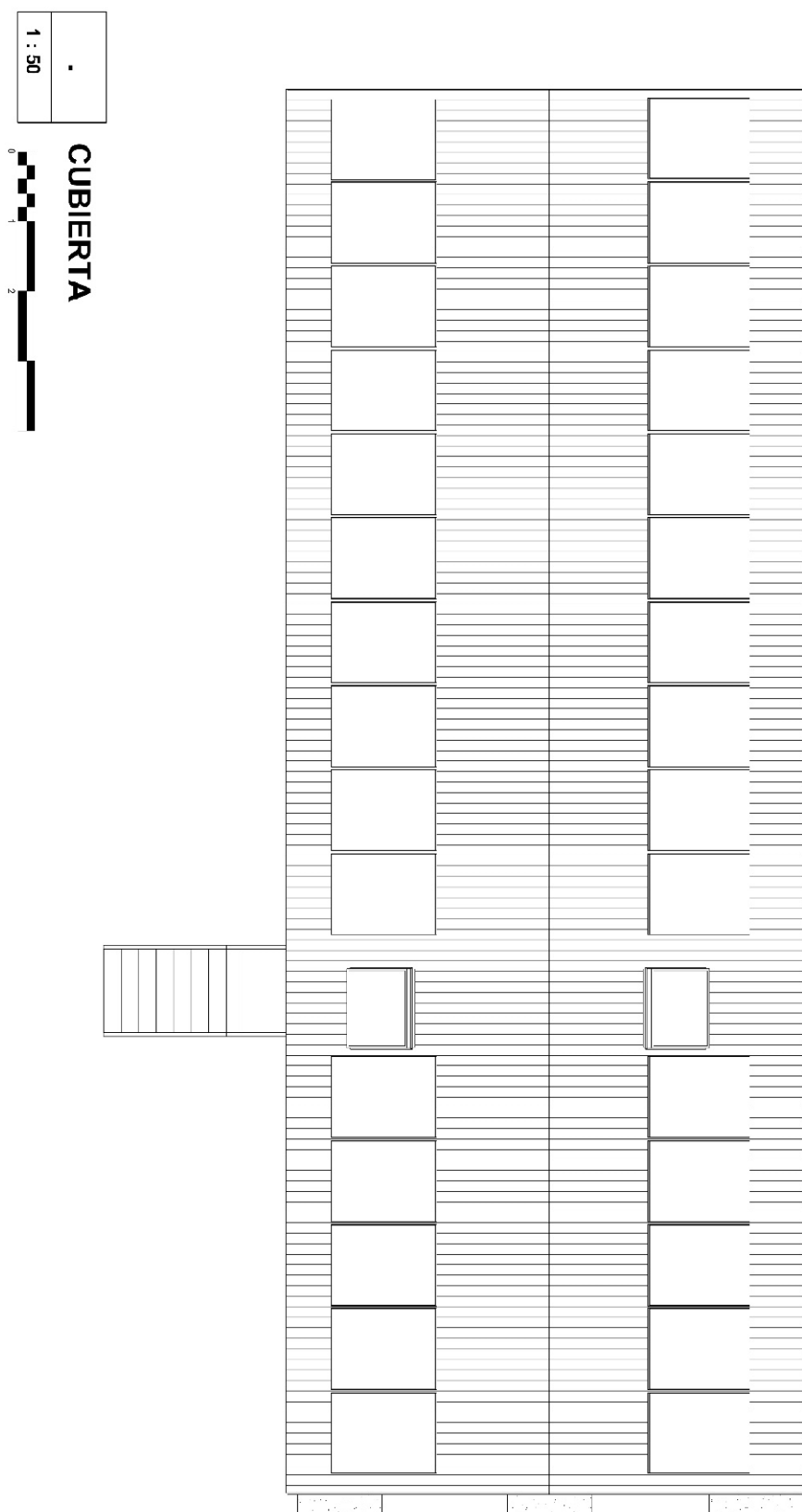


Ilustración 4. Cubierta con paneles solares. (Elaboración propia)

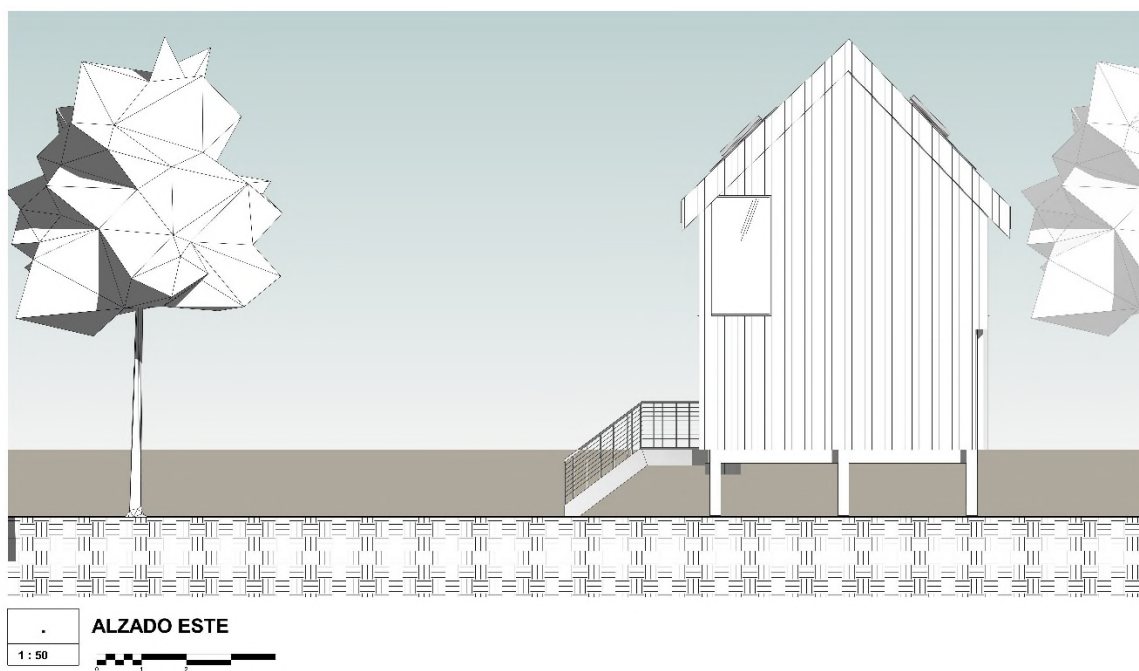


Ilustración 5. Alzado Este. (Elaboración propia)

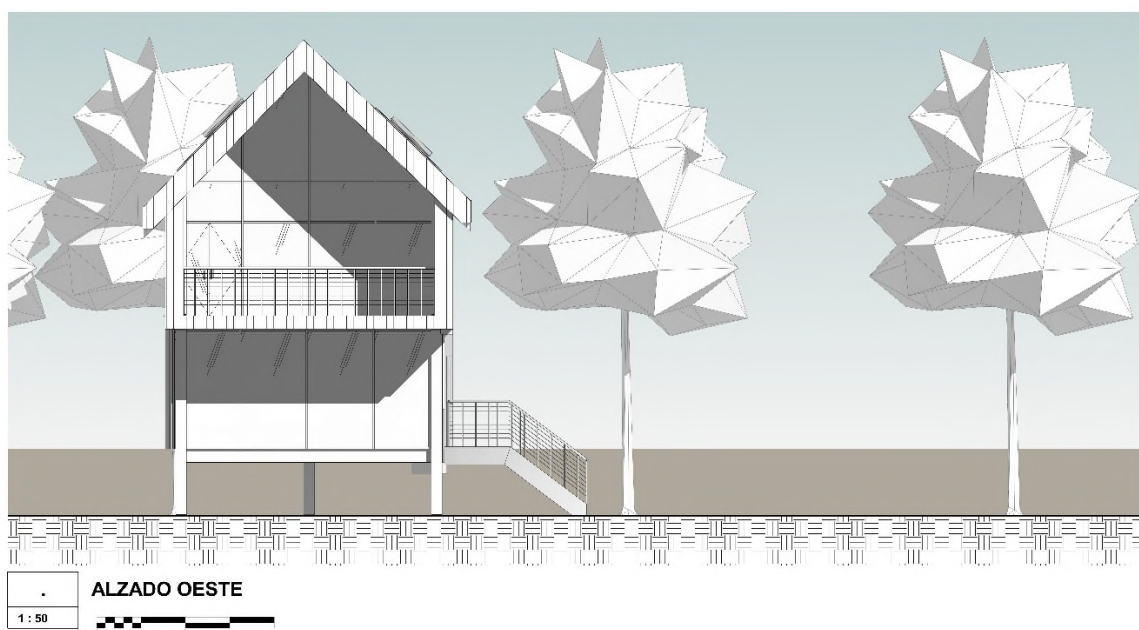


Ilustración 6. Alzado Oeste. (Elaboración propia)

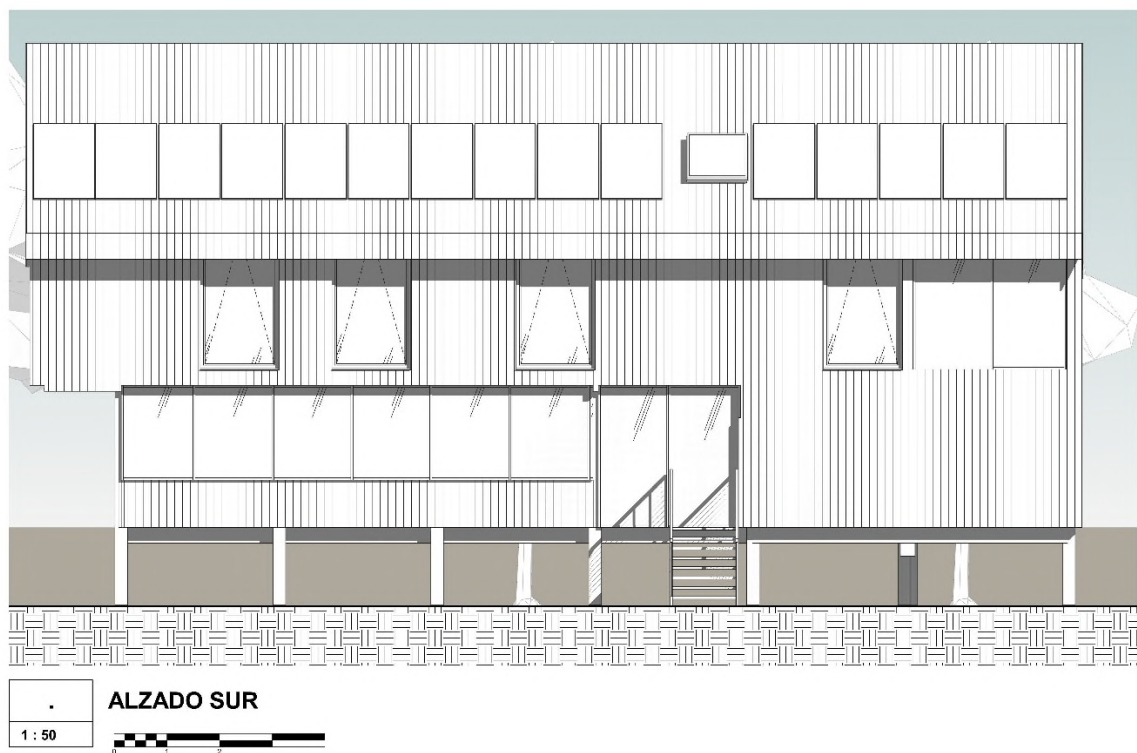


Ilustración 7. Alzado Sur. (Elaboración propia)

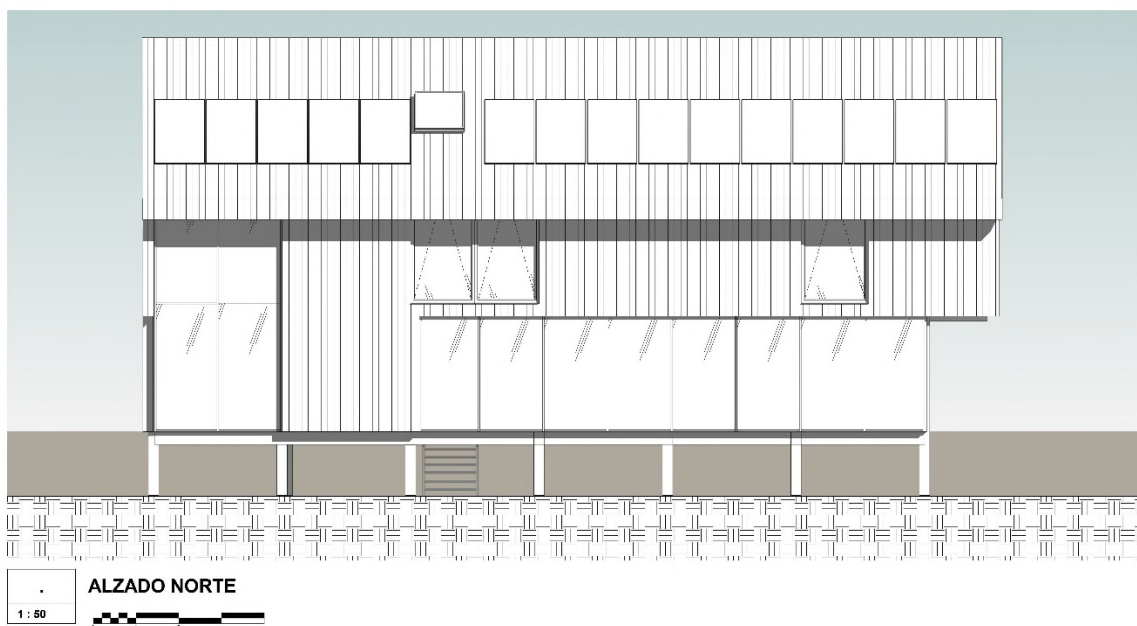


Ilustración 8. Alzado Norte. (Elaboración propia)





Ilustración 9. Render conceptual Vista Sur. (Elaboración propia)



Ilustración 10. Render conceptual Vista Suroeste. (Elaboración propia)





Ilustración 11. Render Conceptual. Norte. (Elaboración propia)



Ilustración 12. Render Conceptual. Noroeste. (Elaboración propia)



Ilustración 13. Render. Interior Vivienda salón, se aprovecha la iluminación natural al máximo mediante los ventanales de cristal. (Elaboración propia)

## 4. METODOLOGÍA

El método de trabajo consiste en hacer un análisis del ciclo de vida genérico, como punto de partida, de una vivienda unifamiliar aislada recreados a partir de un modelo BIM en *Autodesk Revit*; con el apoyo del plugin de Revit de la plataforma OneClickLCA<sup>3</sup>.

Aunque la plataforma nos propone varios tipos de conexión hemos elegido la de Revit plugin que resulta la más eficaz entre las otras opciones para mi caso de estudio, por las posibilidades de conexión, la rapidez de los cálculos y la simplicidad de la interfaz<sup>4</sup>.

Propongo también un acercamiento a los materiales locales, en este caso la madera y así examinar su eficiencia energética. Esta plataforma evaluará el modelo utilizando la normativa ISO 14040, UNE-EN 15978 y el método de mediano alcance CML 2016, en específico el Eco Indicador para valorar los impactos de daño. La ISO 14040 abarca dos tipos de estudios: Análisis del ciclo de vida (ACV) y Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV). Los últimos se asemejan a los de ACV, pero excluyen la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV). En este estudio hacemos la evaluación de los impactos en la salud humana el ecosistema y los recursos naturales, la norma se define en cuatro etapas:

1. Definición de objetivo y alcance
2. Inventario del ciclo de vida (ICV)
3. Evaluación de impacto ambiental del ciclo de vida (EICV)
4. Interpretación del ciclo de vida

### Definición de objetivo y alcance

La primera parte de la metodología es el alcance. El ciclo de vida se ha estimado de 50 años y utilizamos el concepto de cuna a tumba. Se incluyen los recursos materiales y los antecedentes de casos previos en la literatura consultada.

La elección de los materiales y el nivel de detalle de estos puede ser un factor importante en la sensibilidad del resultado del ciclo de vida (Häfliger et al., 2017).

---

<sup>3</sup> <https://www.oneclicklca.com>

<sup>4</sup> <https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/integrations/>

Nos basamos en los métodos utilizados por D. Li et al (2013), donde se insertan la eficiencia del consumo, el coste del consumo de carbón en cada fase del ciclo de vida y las medidas para optimizar la eficiencia estimada del carbono, con el fin de prolongar la vida útil. De igual manera, se proponen “mejorar los principios 3R (reducir, reutilizar y reciclar) del cemento y acero laminado, ahorrar electricidad y gas natural en la etapa de operación del edificio”(Li et al., 2013, p.1).

Resulta conveniente reducir el consumo energético en cada fase del ciclo de vida para evitar el trasvase de consumo de una fase a la otra, lo cual impactaría en el resultado final. Por ejemplo: tener en cuenta el reciclaje final de las materias primas o el consumo de energías renovables no solo en el uso del edificio, sino también en la producción y demolición o reciclaje final del producto o vivienda, estas ayudarían a reducir el impacto final.

Se emplea también el acercamiento de Krygiel & Nies (2008, p.2) consistente en:

Comprender el clima, la cultura y el lugar. Comprender la tipología de edificios.  
 Reducir la necesidad de consumo de recursos. Usar recursos locales y sistemas naturales gratuitos. Emplear sistemas eficientes hechos por el hombre.  
 Aplicación de sistemas de generación de energía renovable, compensación de impactos negativos.

Las etapas del ciclo de vida para este estudio serán las siguientes:

FABRICACIÓN A1-3	CONSTRUCCIÓN A4-5	USO B1-7	FIN CICLO C1-4
EXTRACCIÓN MATERIAS PRIMAS (A1)	TRANSPORTE PRODUCTO (A4)	USO (B1)	DERRIBO (C1)
TRANSPORTE (A2)	INSTALACIÓN (A5)	MANTENIMIENTO (B2)	TRANSPORTE (C2)
FABRICACIÓN (A3)		REPARACIÓN (B3)	GESTIÓN RESIDUOS (C3)
		SUSTITUCIÓN (B4)	ELIMINACIÓN (C4)
		REHABILITACIÓN (B5)	
		ENERGÍA OPERACIONAL (B6)	
		AGUA OPERACIONAL (B7)	

Ilustración 14. Etapas del ciclo de vida aplicadas a la construcción

## One Click LCA®

Para este ejercicio se utiliza el *software* BIM Revit e integraremos el *plugin* de cálculo de ciclo de vida One Click LCA, como hemos explicado. Esta plataforma permite interconectar el modelo de Revit con la página *web* oficial donde se realizan los análisis.

La primera labor consiste en un mapeo de los elementos constructivos y la definición de los materiales desde Revit para proceder al cálculo *a posteriori*. Se envía al portal *web* los datos para su análisis. La segunda labor consiste en elegir los materiales según procedencia y disponibilidad; también se selecciona la locación de los materiales, la distancia hasta la obra y el EPD o declaración medioambiental de producto.

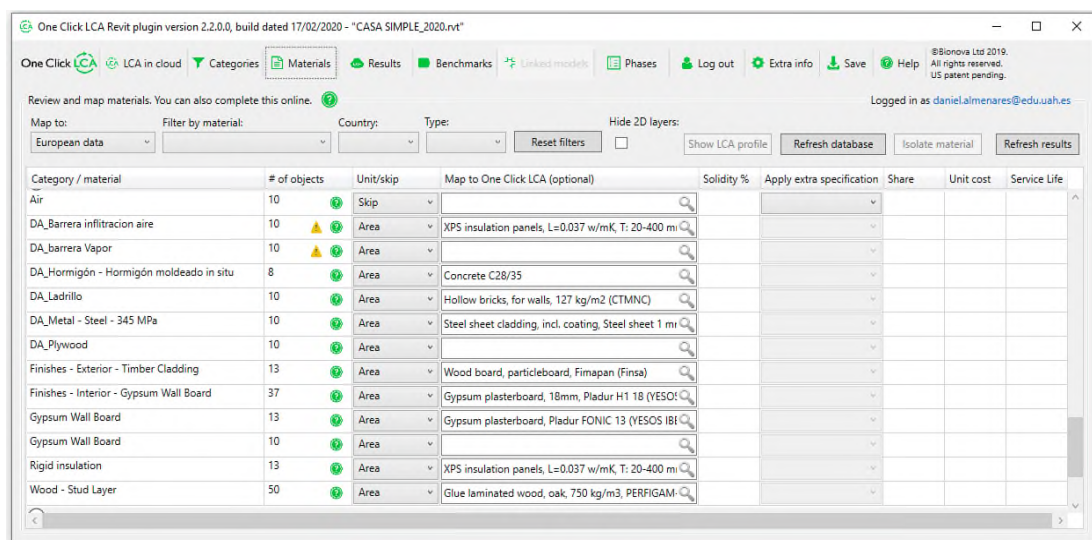


Ilustración 15. Elección de materiales en Revit con Plugin OneClick-LCA. (Elaboración propia)

Material	Clase	Comentario	Cantidad	Porción	Nombre del recurso	Base de mapeo	Decide después	Guardar asignaciones
rigid insulation	ROOF	Rigid insulation, 2 rows	413 m2	11,18 %	Cellulose insulation, blown (loose)	Usuarios globales	<input type="checkbox"/> Eliminar	<input checked="" type="checkbox"/>
structure - timber joist/rafter layer	SLAB	Structure - Timber Joist/Raft	287 m2	10,49 %	Elige la asignación	Usuarios en Spain	<input type="checkbox"/> Eliminar	
da_hormigón - hormigón moldeado in situ	SLAB	DA Hormigón - Hormigón m	288 m2	10,46 %	+			
rigid insulation	EXTERNA...	Rigid insulation, 13 rows	272 m2	7,38 %	+			
da_hormigón - hormigón moldeado in situ	EXTERNA...	DA Hormigón - Hormigón m	165 m2	6,25 %	+			
wood - stud layer	EXTERNA...	Wood - Stud Layer, 31 rows	388 m2	5,26 %	+			
da_metal - steel - 345 mpa	EXTERNA...	DA Metal - Steel - 345 MPa	252 m2	5,19 %	+			
da_hormigón - hormigón moldeado in situ	FOUNDAT...	DA Hormigón - Hormigón m	34 m3	4,6 %	+			
structure - timber joist/rafter layer	ROOF	Structure - Timber Joist/Raft	1,48 m3	1,78 %	+		<input type="checkbox"/> Eliminar	

Ilustración 16. Mapeo de elementos constructivos en la página web de OneClick-LCA según BD Europa/ España. (Elaboración propia)



1. Una vez cuantificada la lista de materiales empleados en la vivienda pueden analizarse el porcentaje, las cantidades y realizar las modificaciones necesarias de vuelta al modelo. Ver ilustración 15
2. Si no se está satisfecho con algún resultado no es necesario modificar el diseño como tal, sino evaluar la eficiencia de los materiales para llegar a conclusiones en la etapa de diseño, tanto conceptual como técnico.

#### Total toneladas - Etapas de ciclo de vida

Ítem	Valor	Unidad	Porcentaje %
A1-A3 Materiales	170	toneladas	96.41 %
A1-A3 Volúmenes de tierra	4,3	toneladas	2.47 %
B4-B5 Materiales de reemplazo	2	toneladas	1.13 %

#### Total toneladas - Clasificaciones

Ítem	Valor	Unidad	Porcentaje %
Losas, techos, cubiertas, vigas y tejado	60	toneladas	34.49 %
Muros exteriores y fachada	37	toneladas	21.12 %
Fundaciones, estructuras subterráneas	34	toneladas	19.54 %
Otras estructuras y materiales	34	toneladas	19.15 %
Columnas y estructuras verticales portantes	10	toneladas	5.69 %

#### Total toneladas - Tipos de recursos

Ítem	Valor	Unidad	Porcentaje %
Madera	77	toneladas	44.24 %
Mezcla de concreto lista	42	toneladas	23.86 %
Acero y otros metales	31	toneladas	17.67 %
Yeso y escayola	12	toneladas	6.75 %
Aislamiento	4,8	toneladas	2.76 %
Tierra, masas y piedras	4,3	toneladas	2.47 %
Plásticos, membranas y techos	3,9	toneladas	2.25 %

#### Masa toneladas - Clasificaciones

Ítem	Valor	Unidad	Porcentaje %
Losas, techos, cubiertas, vigas y tejado	60	toneladas	34.49 %
Muros exteriores y fachada	37	toneladas	21.12 %
Fundaciones, estructuras subterráneas	34	toneladas	19.54 %
Otras estructuras y materiales	34	toneladas	19.15 %
Columnas y estructuras verticales portantes	10	toneladas	5.69 %

Ilustración 17. Materiales y cantidades que arroja la vivienda. Estimados. (Elaboración propia - OneClick-LCA)

## *Green Building Studio (GBS)*

El software *Green Building Studio*, en lo adelante GBS, posibilita optimizar las capacidades energéticas del modelo y trabajar en aras de la neutralidad de carbono de las edificaciones. Permite extraer los resultados de energía y analizarlos independientemente. Toma en cuenta los datos geográficos de donde se sitúa nuestro ejemplo, así como los datos de consumo de los espacios y la ganancia de los materiales empleados. Para conseguir estos resultados se necesita definir un modelo de intercambio en Revit y exportarlo al programa GBS disponible online<sup>5</sup>.

Se necesita introducir los datos geográficos tales como latitud y longitud, así como los valores de energía, valores de resistencia de materiales, además se precisa de una conexión y un usuario para obtener los resultados. Es posible también mediante el GBS hacer una simulación del ahorro energético mediante paneles solares y el reciclaje del agua. Mi preferencia ha sido por:

- Herramienta basada en la nube
- Simulación de análisis térmicos
- Simplicidad del modelo energético, datos de calefacción y refrigeración anuales y las cargas de consumo de electricidad y agua
- Adopción de las condiciones medioambientales
- Consume menos tiempo que las herramientas tradicionales

Algunos trabajos como los de Kamar, Armando, & Fernanda (2016) tratan de ejemplos usando GBS comparados con otros softwares. Minh khoi Le, Nguyen, & Pham (2022) utilizan un prototipo para exponer las validaciones de GBS como herramienta para la sostenibilidad de su modelo (ubicado en Vietnam). Ambas referencias constituyen bases e inspiración para este trabajo.

Se emplean modelos hechos en Revit ya que con ellos segregamos los elementos en capas, con un excelente nivel de detalle e información añadido a los elementos

---

<sup>5</sup> <https://gbs.autodesk.com/GBS/>

constructivos superficies y los datos geográficos. Poseen la limitación de que el cálculo de ganancias térmicas va en consideración de la ocupación, luz y equipos, según (1,2,3), por lo que es necesario modificar estos valores.

Nuestro modelo utiliza, como en los ejemplos anteriores, principios desarrollados por estos autores, pero amplía su campo centrándose en la eficiencia de los materiales y aumenta el nivel de detalle.

El GBS es una herramienta de ayuda para definir ciertos aspectos en la etapa de diseño y interfiere nuestra propuesta formal.

#### Análisis solar y eficiencia energética

Las horas de sol en Madrid son aproximadamente 1600 al año, esto es un buen catalizador para optar por fuentes de energía renovables como la solar.

Se ejecuta la siguiente simulación de instalar paneles solares para producir energía eléctrica, tomando en cuenta un área de 68 m<sup>2</sup>, es decir 34 Paneles de 2m<sup>2</sup>, de los cuales serán solo 63 eficientes o de área útil computados por el programa. El objetivo de estos es reducir el impacto del uso de combustibles fósiles y emitir la energía sobrante a la red eléctrica, así como también reducir el efecto del valor de energía en el ciclo de vida.

El cálculo estimado ha sido de 13,295 kWh/año y de 14.6 años el retorno de la inversión. Como la producción de electricidad a partir de energía solar no es suficiente, se necesitan aplicar medidas pasivas de ahorro energético para reducir la huella de carbono de la etapa B6.

Las siguientes ilustraciones contienen el análisis solar realizado en el software para optimizar la ganancia solar mediante la orientación y cantidad de paneles a utilizar. Tiene en cuenta la información de las bases de datos que posee el programa con respecto a la situación geográfica. El primer análisis es el solar para aprovechar la energía como fuente renovable y valorar si es posible reducir los combustibles fósiles y la dependencia energética. Se basa en la carta solar estereográfica de Madrid y los



solsticios para observar la trayectoria solar, las sombras y la posición óptima para paneles.

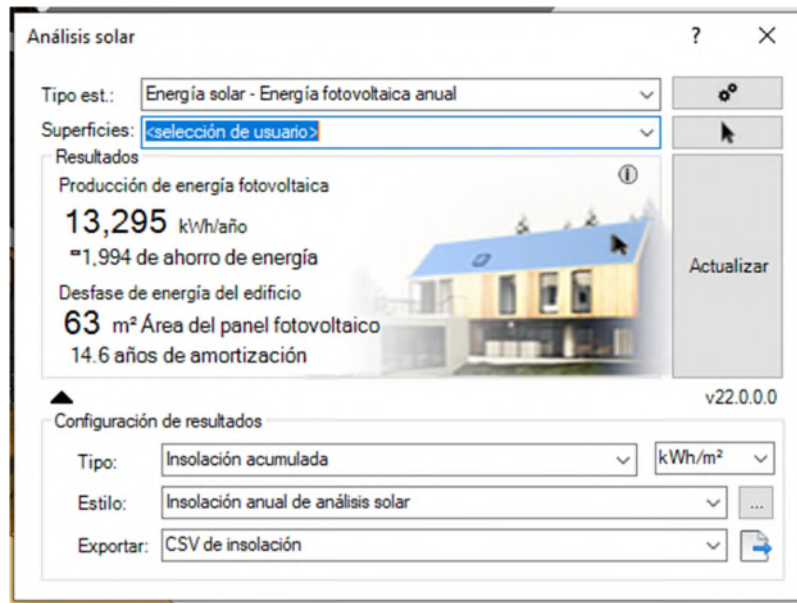


Ilustración 18. Datos análisis solar para cálculo de paneles solares en Revit. (Elaboración propia)

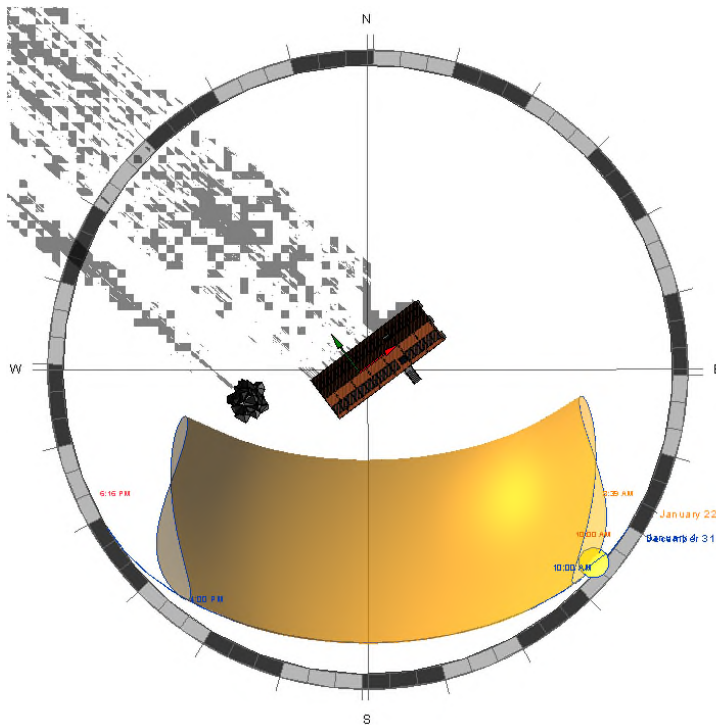


Ilustración 18. Simulación solar durante 1 año realizado en Revit. (Elaboración propia)

(c) Univ. of Oregon SRML  
 Sponsor: ETO  
 Lat: 40.24; Long: 3.41  
 (Solar) time zone: 0  
 Madrid  
 Lat 40,24N Long 3,41W

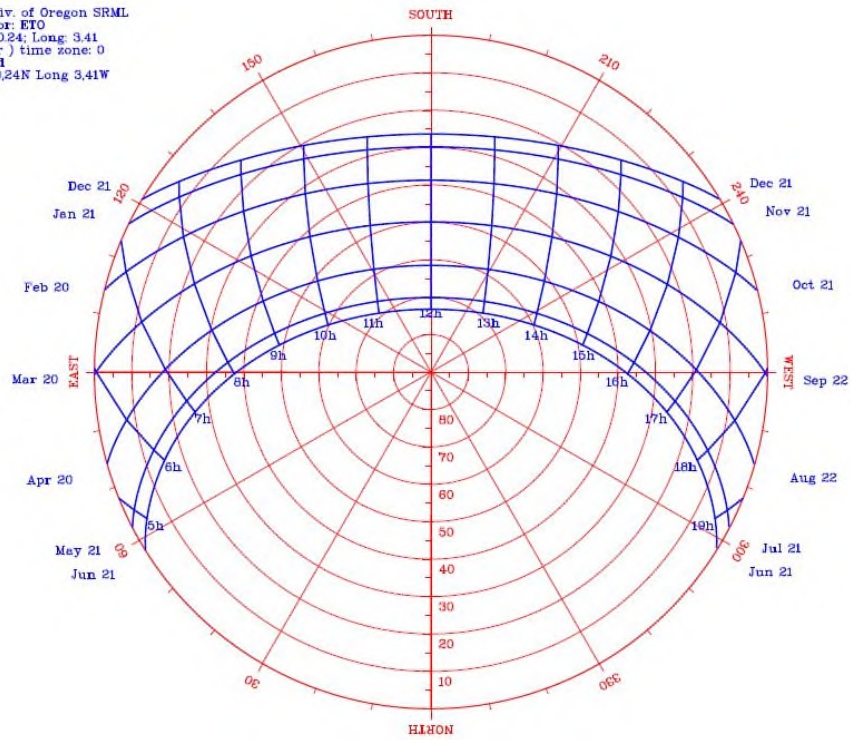


Ilustración 19. Carta Solar estereográfica Madrid. Fuente <http://www.diazcaro.com/carta-solar-estereografica-de-madrid/>

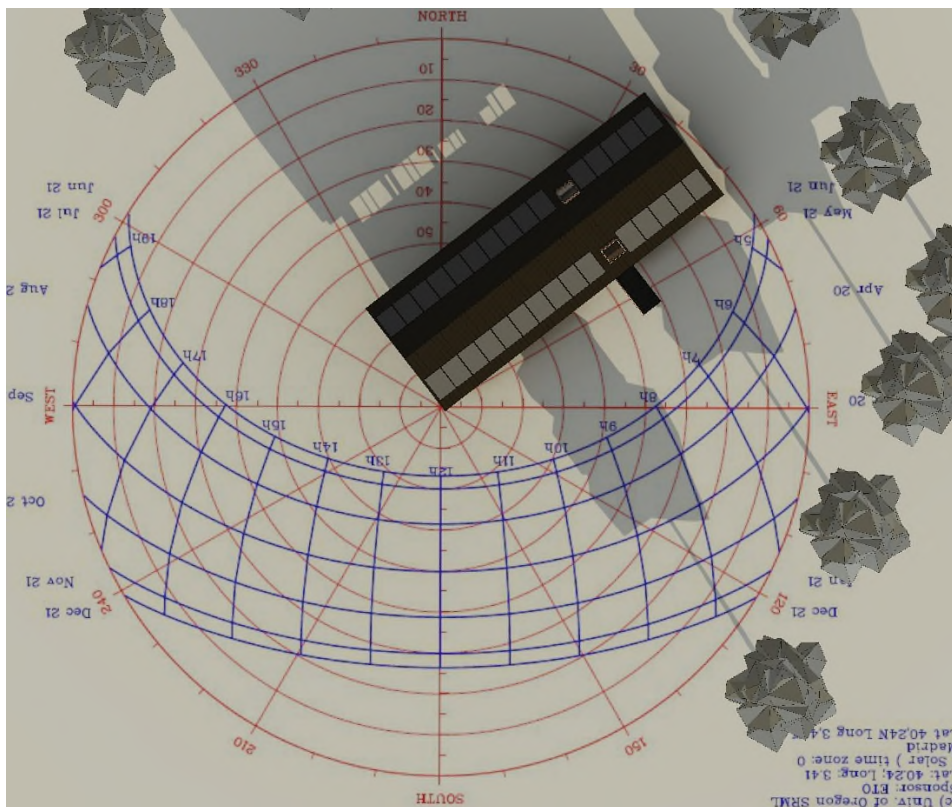


Ilustración 20. Análisis con carta Solar. Solsticio de invierno, AM. (Elaboración propia)



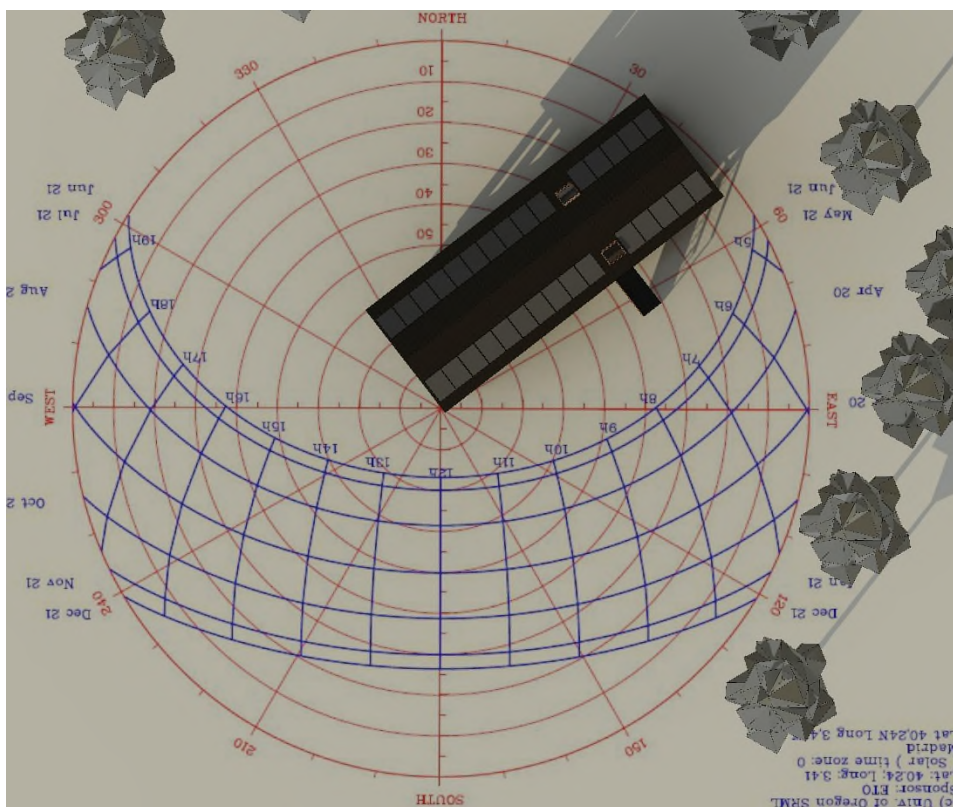


Ilustración 21. Análisis con carta Solar. Solsticio de invierno, PM. (Elaboración propia)

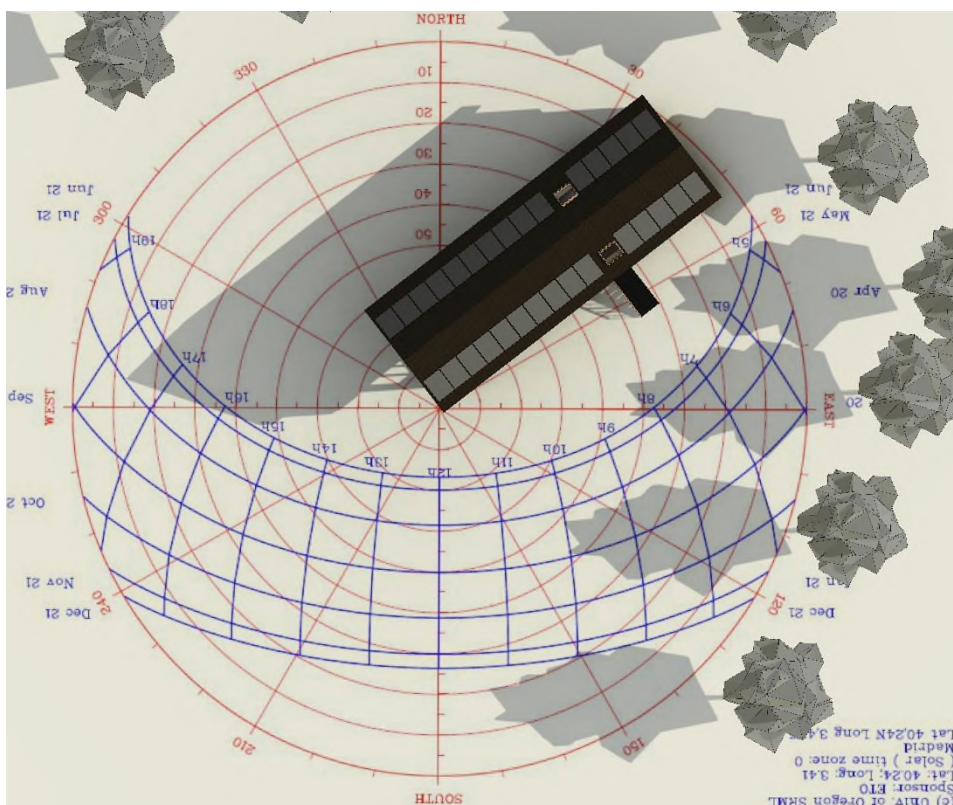


Ilustración 22. Análisis con carta Solar. Solsticio de verano, AM. (Elaboración propia)

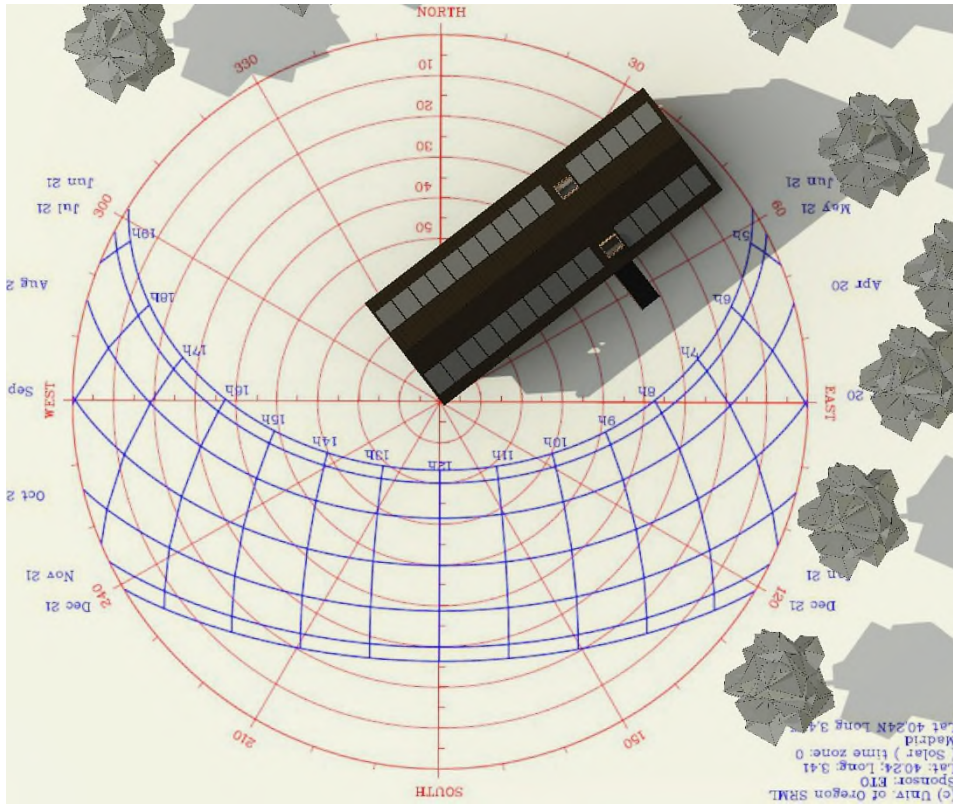


Ilustración 23. Análisis con carta Solar. Solsticio de verano, PM. (Elaboración propia)

## Cálculo de masas y medidas pasivas

GBS realiza un cálculo energético basado en masas, que son las capas que nuestro modelo utiliza para simular ese cálculo energético. A partir de Revit, se crea la configuración de energía del tipo de edificio y se exporta un modelo GBXML, que es el formato de intercambio de información generalmente usado en BIM y adoptado en la industria <sup>6</sup>. Este guarda la información de áreas y volúmenes, tipos de habitación, consumo de agua energía y los valores térmicos de los materiales que emplearán estas masas, entre otras propiedades.

Las masas son superficies y espacios analíticos que contienen un volumen y guardan información que utilizan algunos programas de eficiencia energética para facilitar el cálculo de una manera eficiente y rápida.

Como medidas pasivas se han utilizado:

- Cerramientos de doble y triple acristalamiento con cámara
- Aislamiento eficiente para el cerramiento, suelos y cubierta
- Recolección de agua de lluvia para riego o limpieza exteriores

A continuación, se observa la interfaz de un visor<sup>7</sup> de GBXML para el modelo donde se aprecian las masas o capas de nuestro modelo. También se pueden observar los análisis realizados en Revit para añadir la información de las superficies y los materiales. Toda esta información está coordinada y debe ser la misma que utilizamos tanto para la huella de carbono, la simulación energética y el cálculo de Ciclo de Vida. Por tanto, es necesario chequear paralelamente la normativa, los materiales y sus coeficientes y la información geográfica.

---

<sup>6</sup> [https://www.gbxml.org/About\\_GreenBuildingXML\\_gbXML](https://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML)

<sup>7</sup> <https://www.ladybug.tools/honeybee.html> o <https://www.ladybug.tools/spider-gbxml-tools/spider-gbxml-viewer/v-0-17-08/app-viewer/spider-gbxml-viewer.html>

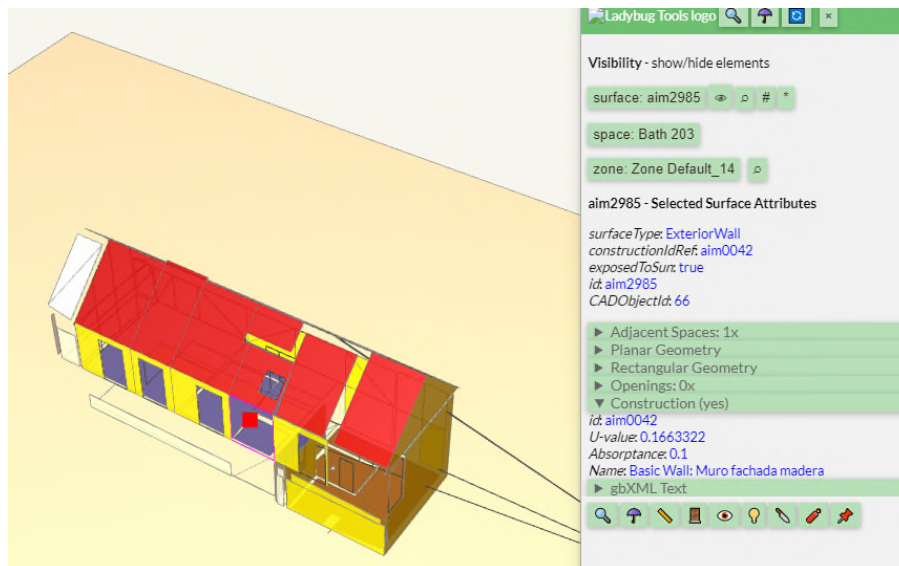


Ilustración 24. Ladybug tool. Visor de GBXML. Licencia abierta. Elaboración propia

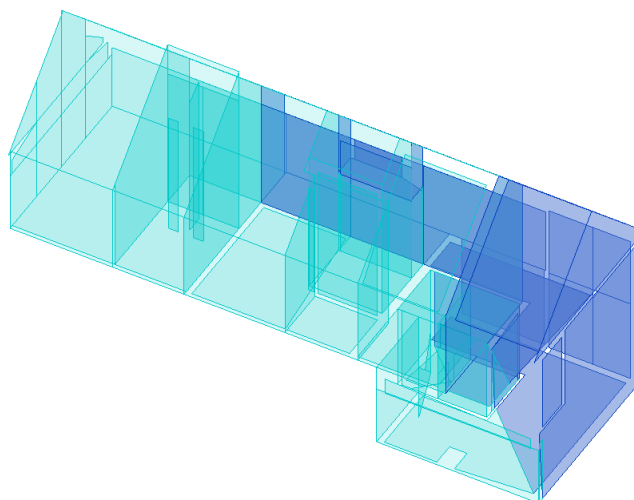


Ilustración 25. Capas de masas en Revit para ser exportadas. Elaboración propia.



Ilustración 26. Masas conceptuales generadas para el análisis energético



## Resultados en GBS:

Al realizar la simulación energética en GBS, el gasto arrojado de energía en nuestro modelo es de 44,000 kWh<sup>8</sup> año y 650m<sup>3</sup> de gas<sup>9</sup>.

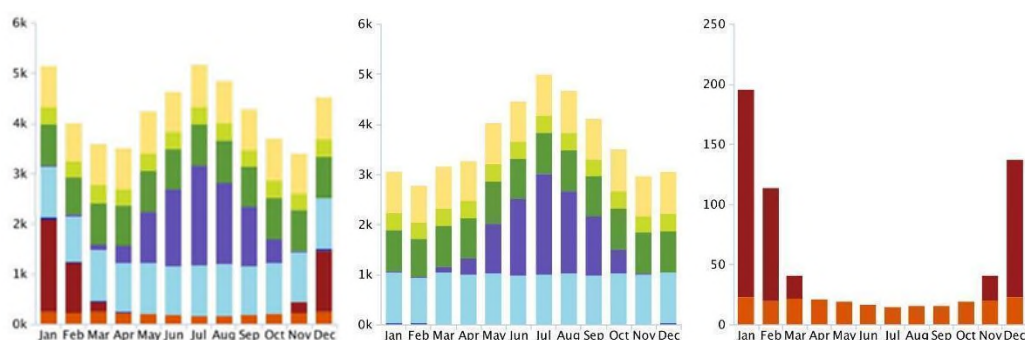


Ilustración 26. Gráficos de consumo de Energía Total (KWh), Electricidad (KWh) y Gas Natural (m<sup>3</sup>). (Elaboración propia a partir de GBS)

Si comparamos estos gráficos con los de un gráfico de consumo anual de una casa típica en Madrid, podremos ver la similitud en cuanto al comportamiento del consumo mensual: los meses de invierno con mayor consumo de gas y los de verano con mayor uso del aire acondicionado. Según los datos de las empresas de energía y del gobierno, el consumo de una casa unifamiliar aislada puede tener una media de 15,000 kWh al año<sup>10</sup>.

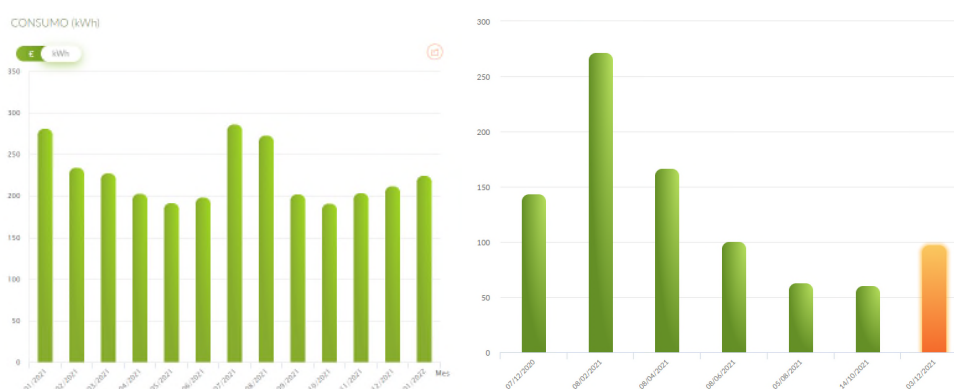


Ilustración 27. Factura de consumo Eléctrico y de gas anual. Iberdrola. Estos gráficos se corresponden a una vivienda en un edificio multifamiliar del autor. (Elaboración propia)

Si se comparan las figuras anteriores con el comportamiento del consumo medio en España, se observa que varía según la zona climática y el tipo de vivienda. Estos datos

<sup>8</sup> El último modelo arroja 11500 kWh de electricidad tras varias simulaciones

<sup>9</sup> Basado en vivienda unifamiliar aislada en Madrid

<sup>10</sup> Fuente IDAE

van a ser utilizados más adelante en el cálculo de ciclo de vida de la vivienda en su etapa de explotación o energía operacional (B6). Se tomará como referencia la media recomendada en España.

Zona Climática				
tep/hogar	Atlántico Norte	Continental	Mediterránea	España
Pisos	0,628	0,842	0,527	0,649
Unifamiliares	1,289	1,690	1,139	1,334
España	0,799	1,087	0,719	0,853

Zona Climática				
kWh/hogar	Atlántico Norte	Continental	Mediterránea	España
Pisos	7,306	9,796	6,128	7,544
Unifamiliares	14,987	19,653	13,239	15,513
España	9,293	12,636	8,363	9,922

Ilustración 28. Consumo medio por hogar en España. Toneladas equivalentes de petróleo y kWh.<sup>11</sup>

### Carbón biogénico

Para este trabajo se considera que muchas de las materias primas utilizadas provienen del carbón biogénico, es decir, de aquel que es guardado en las plantas o en el suelo. El carbono se acumula en las plantas a través del proceso de fotosíntesis, lo que significa que los productos de base biológica pueden contribuir a reducir los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera y a mitigar el desafío del cambio climático.

El concepto de “Emisión negativa”, explica que, durante la etapa de crecimiento de los materiales de base biológica, el carbono se almacena en el material. Si la biomasa se cosecha y se quema, este carbono se libera a la atmósfera. Algunas literaturas e indicadores sugieren que el carbono emitido es 0 ya que ha crecido en una época muy anterior a la producción del material, siempre y cuando el área o zona de bosque no se haya reducido.

En esta investigación, el almacenamiento de carbono biogénico solo se muestra como información adicional, aunque se toman en cuenta las emisiones negativas al almacenarse el CO<sub>2</sub> de la atmósfera en diversas fases del ciclo de vida, para condicionar los resultados de calentamiento global. Un ejemplo teórico: Si creamos (100T) de

<sup>11</sup> IDAE. Ibidem



materiales a partir de lumbré y emitimos 20T a la atmósfera por su producción, el carbono restante (80T) se almacenará durante todo el ciclo de vida de nuestra vivienda (50 años) hasta su reciclaje, demolición o preferentemente como biomasa. No obstante, si sembramos esos árboles al inicio de su tala (ver periodo de rotación), se favorece a que esas emisiones al final del ciclo vuelvan a ser cercanas a 0.

“La fijación de CO<sub>2</sub> en la madera de las coníferas se estima en 815 Kg CO<sub>2</sub> eq., por m<sup>3</sup> de madera, por lo que el balance de CO<sub>2</sub> para los productos analizados es negativo.”<sup>12</sup>

En la ilustración siguiente tomamos un ejemplo real a partir de un EPD, declaración medioambiental de producto, de una productora de madera del país vasco, norte de España, ofreciéndonos datos de la fijación de carbono para sus productos. Estos han sido creados antes de llegar a la obra por lo que su ciclo de vida anterior a nuestro caso se considera de cuna a cuna. Es decir, la fijación de carbono es anterior a la construcción de nuestro edificio.

**CML2001 - Calentamiento global**

Producto	Cantidad	Unidades
Cilindro de madera local	-6,88E+02	kg CO <sub>2</sub> eq.
Cilindro de pino silvestre	-5,90E+02	kg CO <sub>2</sub> eq.
Tabla local mecanizada	-6,29E+02	kg CO <sub>2</sub> eq.
Tabla Pino silvestre mecanizada	-5,09E+02	kg CO <sub>2</sub> eq.
Rollizo rústico	-7,01E+02	kg CO <sub>2</sub> eq.
Madera laminada mecanizada	-3,64E+02	kg CO <sub>2</sub> eq.

Ilustración 29. Fijación de carbono, madera tratada para exteriores. Fuente EPD. Protec

En la siguiente ilustración como comparativa de nuestro estudio se puede apreciar el 73.23 % de almacenaje de CO<sub>2</sub> del tablero MDF en relación con el acero galvanizado, que es nula. Para más información podemos consultar las declaraciones medioambientales de producto del fabricante, las cuales explican la proveniencia del material, en este ejemplo específico usamos los tableros MDF de Finsa. El resto de los valores se pueden apreciar en el apartado de resultados.

<sup>12</sup> EPD: Madera tratada para exteriores. Protec. [www.protecmadera.com](http://www.protecmadera.com)

	Hot-dip galvanized steel sheets, recommended sheet steel thi... ?	28,46 m2	88,34 %	87,97 %	88,26 %	88,29 %	87,76 %	86,7 %		
	MDF, melamine-coated, Fibraplast (Finsa) ?	78,77 m2	0,47 %	1,14 %	0,62 %	0,61 %	1,33 %	1,41 %	73,23 %	DA Wood - Pine - softwood, 2 rows

Ilustración 30. Datos del Almacenamiento de carbono biogénico kg CO<sub>2</sub>.

## Mejora material

La plataforma OneClick permite elegir en su sitio web materiales alternativos una vez analizados el impacto de los valores iniciales. El objetivo es valorar el rendimiento de cada material y buscar alternativas más sostenibles.

En la ilustración siguiente, a modo de ejemplo, se sustituyen las chapas de acero galvanizadas en caliente por unas chapas de acero galvanizadas onduladas con revestimiento de aglomerado (Francia), o por perfiles metálicos de acero galvanizado ligeros españoles, reduciéndose el consumo de 2,1 Ton CO<sub>2</sub> hasta 0.4.

No.	Nombre completo		Clasificación de rendimiento:	GWP CO <sub>2</sub> / KG
Current	Hot-dip galvanized steel sheets, recommended sheet steel thickness range: 0.4-3.0 mm (0.015-0.12 in), zinc coating: 20 µm (78) ?		180 / 299  Ver el ranking completo:	2.782
1.	Corrugated galvanized steel sheets with chipboard facing, 23.5 kg/m2, ép. 0.75mm et 0.88mm (L'ENVELOPPE METALLIQUE DU BATIMEN) ?		2 / 299  Ver el ranking completo:	0.4

Ilustración 31. Gráfica de alternativas sostenibles. Elaboración propia

## Resultados y análisis de inventario

La cuantificación de resultados y análisis de inventario del ciclo de vida es la segunda parte de la metodología. Los resultados son obtenidos a partir del cálculo de Oneclick LCA en su página web, la cual usamos como herramienta y son los estimados que arroja el edificio a lo largo de su ciclo de vida 50 años.

Tras varias simulaciones y alternativas se obtienen los resultados siguientes:

SECCIÓN	CATEGORÍA DE RESULTADO	CALENTAMIENTO GLOBAL KG/CO <sub>2</sub>
A1-A3	Producto de construcción	1,80E+05
A4	Transporte a la construcción	1,68E+03
B1-B5	Mantenimiento y reemplazo	5,89E+03
B6	Uso de energía en servicio	3,18E+05
B7	Uso de agua en servicio	1,50E+03
C1-C4	Etapas de fin de vida	1,56E+04
D	IMPACTOS EXTERNOS	-3,74E+05
A5	Material de desecho	-1,17E+04
D	instalación de Materiales	-9,31E+04
D2	Energía exportada	-2,69E+05

Tabla 2. Resultados finales, totales de emisiones de gases

Un total de 523 Toneladas CO<sub>2</sub> emitidas. Los valores en rojo son los relacionados con el consumo de energía, tanto material como de explotación y uso.

## Huella de Carbono

Uno de los primeros índices y resultados que encontramos es el *Índice de referencia de carbón de la Unión Europea* o EU Carbon Benchmark<sup>13</sup>, este es una especie de etiqueta que nos da la referencia del consumo energético de nuestro producto, en este caso la vivienda. Se alinea con el compromiso de la UE respecto al cambio climático, las bajas emisiones y los acuerdos de París. El Programa de Referencia de Carbón es una metodología de evaluación comparativa aplicada a la construcción de edificios calculadas en la plataforma One Click LCA<sup>14</sup>.

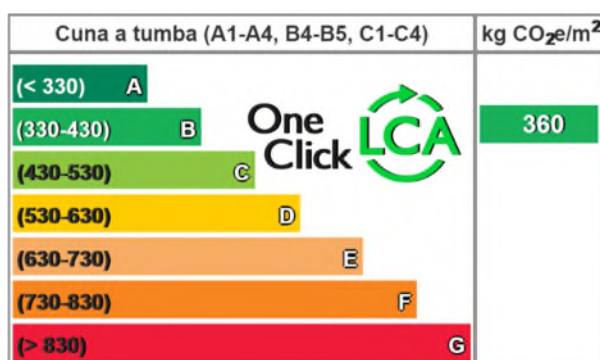


Ilustración 32. Gráfica de resultado. Índice carbón. EU Carbon Benchmark (Elaboración propia).

<sup>13</sup> Véase en Diario Oficial Unión Europea sobre índice carbono: [https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-climate-benchmarks-and-benchmarks-esg-disclosures\\_en](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-climate-benchmarks-and-benchmarks-esg-disclosures_en)

<sup>14</sup> <https://www.oneclicklca.com/construction/carbonheroes/>

En la tabla y gráfico siguiente se observa el carbono emitido en cada fase del ciclo de vida. Como se observa, la producción material abarca el 89%. Ver tabla 3 para más información.

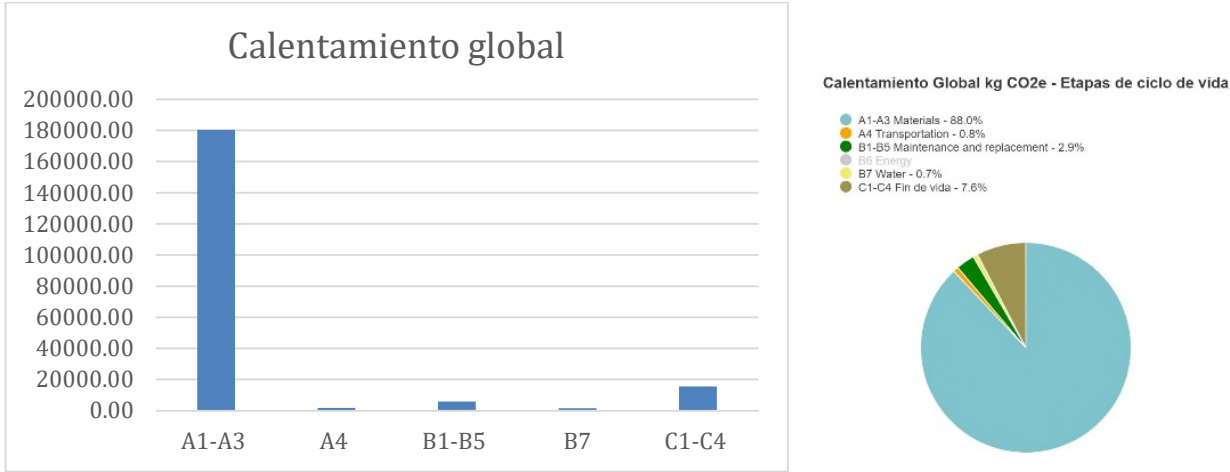


Ilustración 33. Gráfica de resultado. Carbono incorporado por etapa del ciclo de vida. (Elaboración propia)

CATEGORÍA	CALENTAMIENTO GLOBAL KG CO <sub>2</sub>
<b>A1-A3</b>	180345,08
<b>A4</b>	1676,17
<b>B1-B5</b>	5885,69
<b>B7</b>	1500,00
<b>C1-C4</b>	15563,27

Tabla 3. Carbono emitido, valores

La gráfica 35 y la tabla 4 destacan el peso de la estructura en la edificación y la ilustración 36 detalla el uso de energía consumida para producir estos elementos constructivos. Vale reiterar que el consumo de combustibles en relación con la fabricación material es muy asimétrico y reafirma la tabla 1 que explica el consumo de energía de la madera frente al acero, expresada en MJ. Siendo las estructuras portantes, fachadas y envolvente, en general, las que más consumen energía para su manufactura.

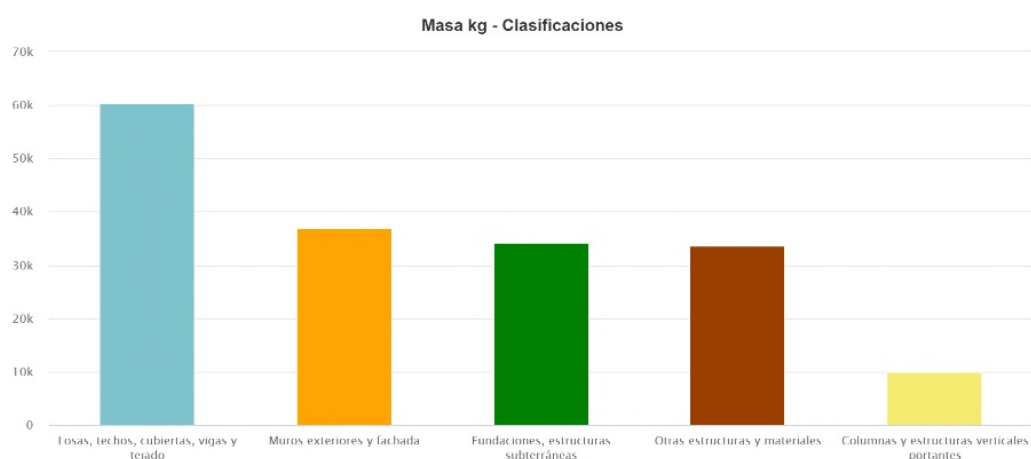


Ilustración 34. Gráfica de resultado. Material usado (kg) por estructura.

Categoría	Tons
Losas, techos, cubiertas, vigas y tejado	60.404
Muros exteriores y fachada	36.978
Cimentaciones, estructuras subterráneas	34.224
Otras estructuras y materiales	3.3541
Columnas y estructuras verticales portantes	9.972

Tabla 4. Valores por estructura de la edificación.

La siguiente ilustración muestra el impacto del uso de energías primarias, es decir, el relacionados con los combustibles fósiles, el agua, los recursos naturales y los valores de la energía utilizados para la construcción de nuestra vivienda y el consumo energético en MJ para producir los mismos. Podemos ver que para 34 T de cimentaciones se han consumido 384 KJ (10KWh) de energía, comparados con los 8 MJ(2.5MWh) de consumo de electricidad.

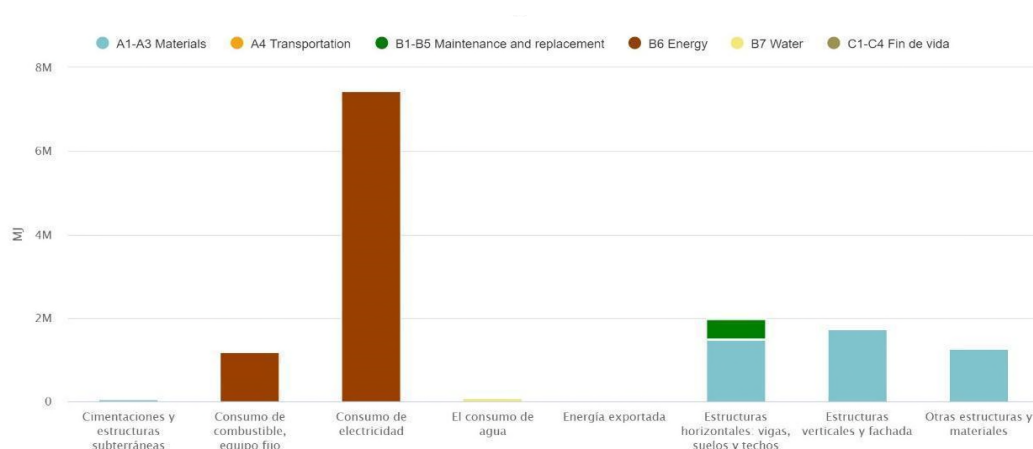


Ilustración 35. Gráfica de resultado. Impacto, Uso de energía primaria. Desglose.

## Retornar, reusar y reciclar

En esta sección, que va más allá del ciclo de vida y se denomina fase D, se añaden los resultados de la política de reciclaje y de reúso de los materiales adoptados, al ser la madera uno de los que mejor se adapta a su reutilización como materia prima. Entre esos resultados acentuamos: la cuantificación del ahorro energético, el carbono biogénico y la recirculación del edificio.

En la tabla siguiente los valores en verde son los beneficios más allá del ciclo de vida, reciclaje, mantenimiento, reúso y energía exportada por la instalación de paneles solares. Es destacable que en la fase A5 los materiales de desecho de obra han aportado un valor significativo de beneficios debidos al reciclaje.

D	IMPACTOS EXTERNOS	-3,74E+05
A5	Material de desecho	-1,17E+04
D	instalación de Materiales	-9,31E+04
D2	Energía exportada	-2,69E+05

Ilustración 36. Fase D. Valores de Emisiones de Carbono.

Esta ilustración explica la relación de los valores del reciclado, de las 194 Toneladas de nuestra vivienda logramos reciclar en la primera simulación hasta 34 Toneladas, o sea, un 60%.

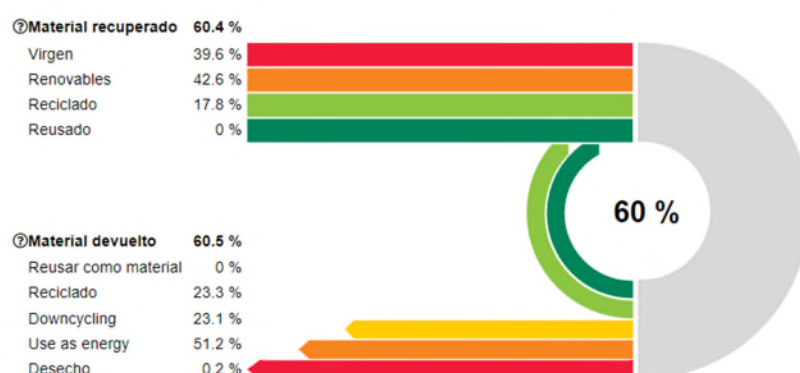


Ilustración 37. *Building circularity* o retorno de la edificación. Oneclick lca. Datos del modelo<sup>15</sup>

El almacenamiento del carbono biogénico alcanza las 110 Toneladas de CO<sub>2</sub> que evitan ser enviadas a la atmósfera y quedan durante todo el ciclo de vida acumuladas en nuestra vivienda. Las tablas e ilustraciones siguientes muestran los valores numéricos y

<sup>15</sup> <https://www.oneclicklca.com/construction/building-circularity/>

en modo gráfico, los valores de almacenamiento de energía, desglosados en elementos constructivos.

También es posible deducir en caso de rehabilitación o desmonte de las estructuras, el peso de estos valores relacionados con tablas anteriores, donde podemos trazar estrategias de sostenibilidad y ampliar la vida útil de los materiales.

CATEGORÍA	KgCO <sub>2</sub>
Losas, techos, cubiertas, vigas y tejado	50401,19
Muros exteriores y fachada	43542,29
Columnas y estructuras verticales portantes	14672,56
Otras estructuras y materiales	1605,24
TOTAL	110221,28

Tabla 5. Datos de almacenamiento de carbón biogénico

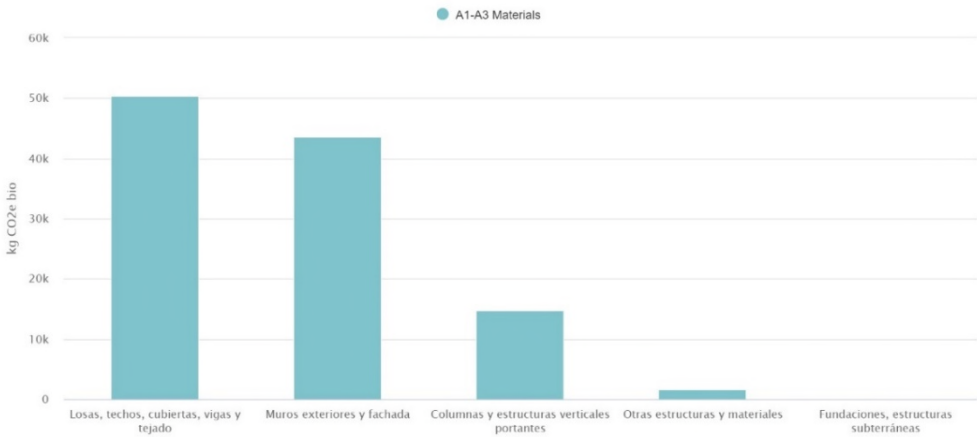


Ilustración 38. Resultados carbón biogénico de la vivienda. (Elaboración propia).

### Resultados y análisis del impacto ambiental

Como parte de la metodología de la ISO 14040, la parte final se enfoca en la evaluación de impactos e interpretación de resultados. Se realizan para tener una idea de la magnitud de los impactos que un producto tiene sobre el medio ambiente y la salud humana. Estos tienen importancia ya que ofrecen una idea real del alcance de una serie de indicadores, de manera que se pueden generar conclusiones y tomar decisiones acertadas al respecto. Todos estos valores han sido obtenidos en la plataforma One Click LCA.

## El potencial de calentamiento global (GWP)

Es una medida relativa de la cantidad de calor que atrapa un gas de efecto invernadero en la atmósfera. El potencial de calentamiento global se calcula en equivalentes de dióxido de carbono, lo que significa que el potencial de emisión de efecto invernadero se da en relación con el CO<sub>2</sub>. En la tabla siguiente se muestran los valores estimados por elementos constructivos, valores en relación con la tabla 2. La generación de CO<sub>2</sub> al manufacturar A1-A3 y la explotación del edificio. Apreciamos que los elementos portantes, fundaciones, comparados con otras estructuras su potencial es relativamente más bajo. Esto es debido a la baja energía que consumen estas estructuras para su manufactura.

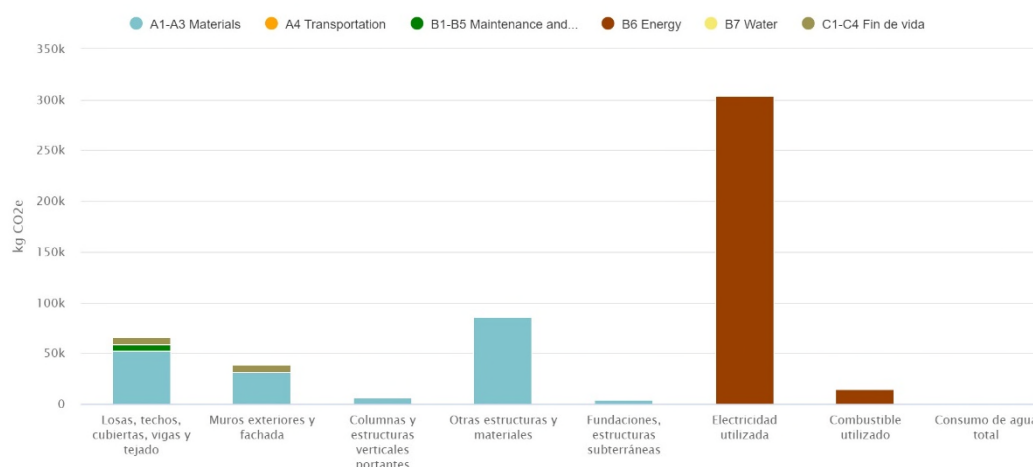


Ilustración 39. Gráfica de resultado. Potencial de calentamiento global (Elaboración propia)

## Potencial de generación fotoquímica de ozono

La radiación del sol produce productos de reacción agresivos, como el ozono, en presencia de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. La escala de potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP) cuantifica las capacidades relativas de los compuestos orgánicos volátiles (COV) para producir ozono troposférico (Jenkin, Derwent, & Wallington, 2017). Estos valores aumentan según el consumo de energía, los valores de las fases iniciales A1-A3 comparados con la energía consumida del edificio. Véase la siguiente ilustración:



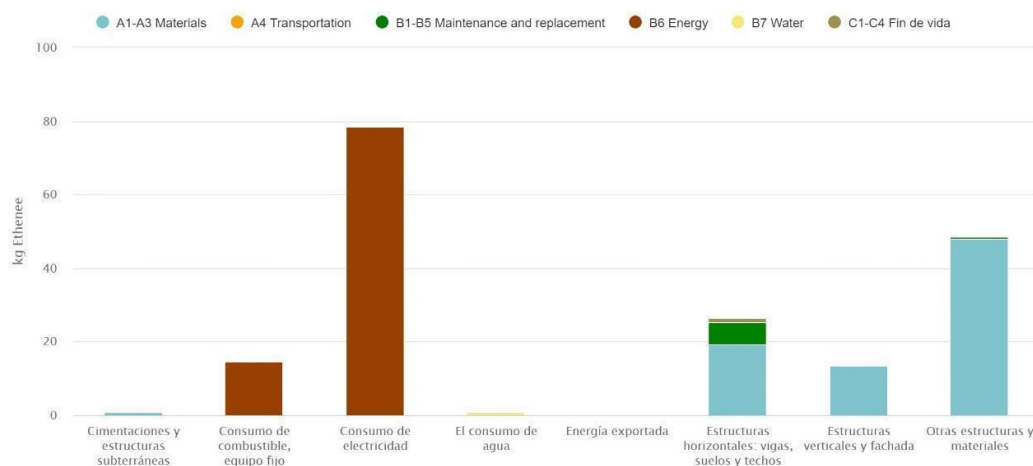


Ilustración 40. Gráfica de resultado. Impacto, *Photochemical ozone creation*, potencial de generación fotoquímica de ozono, (POCP). (Elaboración propia)

## Eutrofización

La eutrofización es el enriquecimiento de nutrientes en un lugar determinado. Puede ser acuático o terrestre. Todas las emisiones de nitrógeno y fósforo al aire, el agua y el suelo y de materia orgánica al agua se agregan en una sola medida. Recientemente se han dado casos de desastres ecológicos por el aumento de nutrientes en el agua y la temperatura del mar. Estos producen algas que envenenan la fauna acuática y destruyen el ecosistema.<sup>16</sup>

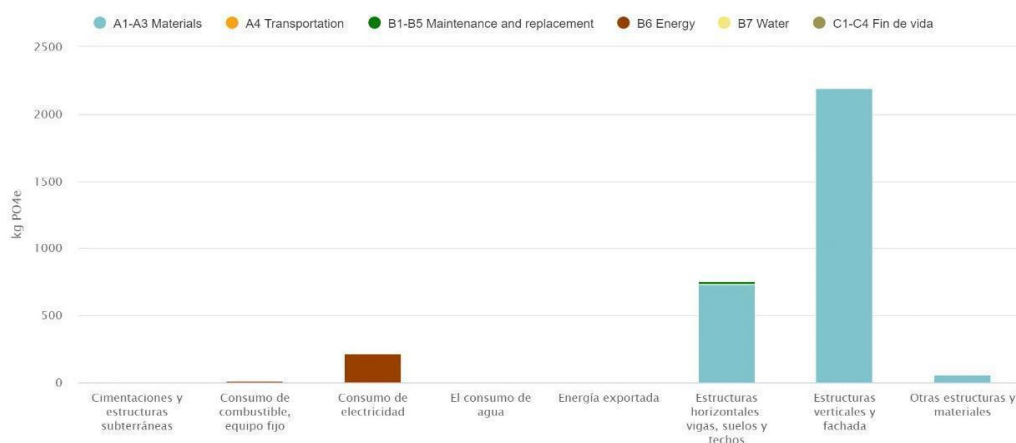


Ilustración 41. Gráfica de resultado. Impacto, Eutrofización (EP). (Elaboración propia)

<sup>16</sup> <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/mar-menor/problematika-actual.aspx>

## El potencial de agotamiento del ozono

El potencial de agotamiento del ozono representa un valor relativo que indica el potencial de una sustancia para destruir el gas ozono en comparación con el potencial del clorofluorocarbono-11, al que se le asigna un valor de referencia de 1, lo que da como resultado un estado de equilibrio de reducción total del ozono. En la gráfica a continuación destacamos otra vez que los mayores valores de este impacto son producidos por la energía consumida en fase de explotación y mantenimiento del edificio.

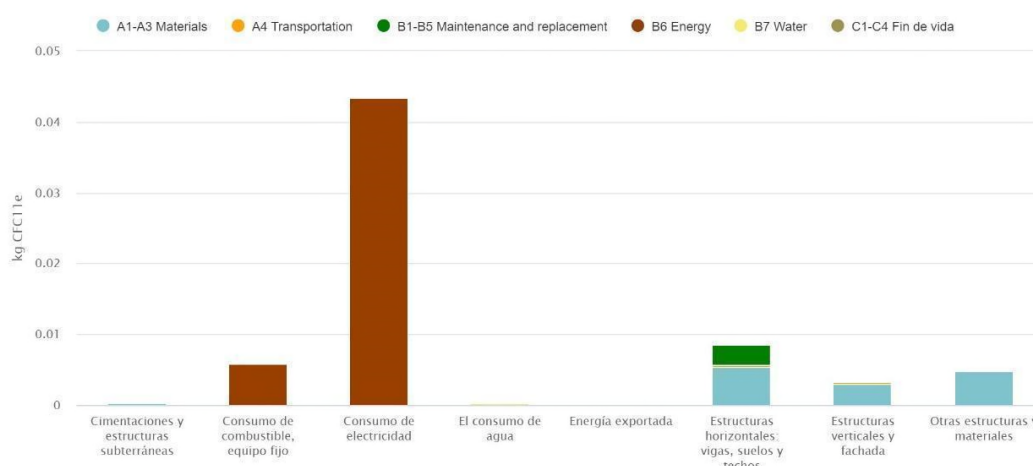


Ilustración 42. Gráfica de resultado. Impacto, *Ozone Depletion Creation* (ODP). El potencial de agotamiento del ozono (Elaboración propia)

## Acidificación

La acidificación de los suelos y las aguas se produce principalmente a través de la transformación de los contaminantes del aire en ácidos, lo que conduce a una disminución del valor del pH del agua de lluvia y la niebla de hasta 5,6 y menos. El potencial de acidificación se describe como la capacidad de ciertas sustancias para formar y liberar iones  $H^+$  y se expresa en equivalentes de dióxido de azufre. Como se observa, los valores mayores de la generación de dióxido de azufre están relacionados con la manufactura de elementos constructivos A1-A3:

(...) más de la mitad de las emisiones de óxidos de azufre que llegan a la atmósfera se producen por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón, petróleo y

por la industria metalurgia, debido a que el azufre reacciona con el oxígeno en el proceso de combustión, formando SO<sub>2</sub>.”<sup>17</sup>

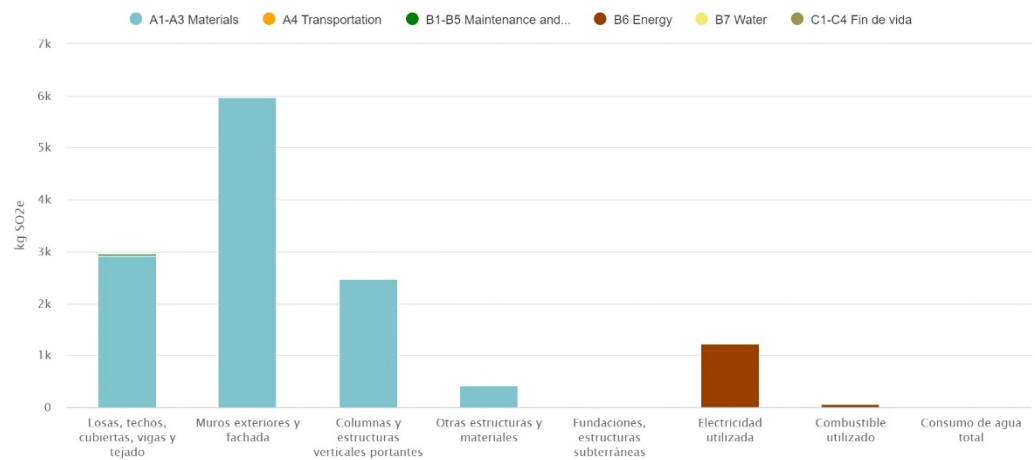


Ilustración 43. Gráfica de resultado. Impacto, Acidificación (AP). (Elaboración propia)

<sup>17</sup> <https://prtr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2007.html#:~:text=Efectos%20sobre%20la%20salud%20humana,absorbido%20por%20el%20sistema%20nasal.>

## 5. CONCLUSIONES

En este estudio se realizó un examen del ciclo de vida de una vivienda unifamiliar en madera apoyándonos en el software BIM y cálculos de LCA en la nube.

Se comprobó que las construcciones con materiales de origen biológico reducen el impacto medioambiental, si se comparan con las basadas en las de extracción de minerales, metales o químicas. El contenido de materiales reciclados se reduce en los tipos minerales y químicos, aunque la recirculación y el reciclaje bien enfocados son posible de alcanzar como buenas soluciones.

Es importante atacar la política de reconstrucción desde momentos del diseño, esto debe ser tomado en cuenta a la hora de nuestras propuestas de diseño.

El mayor impacto lo produce la energía consumida para la producción de materiales de construcción y a lo largo de su explotación o fase operacional, (A1+B6). En este caso, está cerca del 90% como lo justifican diversas fuentes consultadas, por ejemplo (Li et al., 2013). La huella ambiental adquiere mucha importancia en el contexto actual debido a su impacto en el mercado a largo plazo, a su vez, es más completo que el análisis de huella de carbono. El ejercicio se concretó en cuantificar la huella de carbono y el impacto ambiental desde las etapas iniciales hasta la demolición y cuantifica también los daños a la salud humana.

Los resultados han demostrado que se pueden reducir los impactos negativos apostando por materiales que consuman menos CO<sub>2</sub> al manufacturarse, como la madera y sus derivados; lo cual resulta en menos incidencias para la salud humana y el medioambiente. A esto contribuye también la incorporación de paneles solares para generación de energía eléctrica, la sustitución del gas para la combustión por fuentes alternativas y la recogida de agua de lluvia para riego de la parcela.

El resultado de los valores del carbono biogénico, el reciclaje y la recirculación de las materias detalladas en los resultados significa que podemos reutilizar más de un 60% de los materiales de la vivienda tras su final de ciclo, por lo que resulta muy importante la elección del material, teniendo en cuanto tanto la procedencia como su reciclaje o reutilización.

Al mismo tiempo, se destaca el impacto notable de la energía operacional, en la que deberían enfocarse los esfuerzos para la utilización de energías renovables. Reduciendo estos notablemente la huella de carbono y minimizando los impactos medioambientales.

Currently, reducing the demand for operational energy is the most important factor to be considered in creating buildings that have a low impact over their life cycles. Therefore, both the designers and policymakers should concentrate their efforts on reducing the operational energy requirements of buildings. (Ajayi, Oyedele, Ceranic, Gallanagh, & Kadiri, 2015, p.1)

Por tanto, queda demostrado que los edificios de madera producen menor impacto medioambiental y menos daños a la salud humana y al ecosistema que un edificio de hormigón.

Una política inteligente de recursos forestales es necesaria para favorecer la regeneración del medio ambiente y hacerlo compatible con los requerimientos de la industria de la edificación (Guardigli et al., 2011). Esta afirmación va en línea con la explotación de los recursos forestales para mantener el equilibrio del CO<sub>2</sub> como en el concepto de carbón biogénico.

El análisis de impactos y su interpretación en la metodología nos ayuda a comprender el alcance de los efectos tanto en el ecosistema como en la salud humana.

“uno de los factores para la salud humana resultante del agotamiento del ozono estratosférico sería un aumento del cáncer de piel.”(Karim, 2011)

## 6. RECOMENDACIONES

Si bien este trabajo no se enfoca en las recomendaciones sobre diseño sostenibles, se añaden algunos términos que podrían ayudar a reducir la huella de carbono de nuestras edificaciones.

- Reducir: Uso de hormigón, acero y cartón yeso y el uso de materiales contaminantes.
- Materiales de bajo consumo energético: Aislamientos, morteros y vidrios.
- Investigar las posibilidades del uso de aglomerantes con menos productos químicos.
- Reemplazar: Alfombras, equipos de consumo eléctrico.
- Eliminar el uso de muros de contención, elevando las edificaciones del suelo
- Alargar la vida de la edificación podría ayudar a una mayor acumulación de carbono.
- Utilizar fuentes renovables de energía operacional.
- Utilizar métodos de reciclaje del agua.
- Reducir: el transporte e implementar el uso de materiales locales
- Ampliar la vida útil de los materiales empleados.
- Investigar más acerca del carbono biogénico y la recirculación del edificio.
- Educar sobre una política más respetuosa con el medioambiente.
- Retomar el uso de la madera en las edificaciones, siendo una tendencia en la arquitectura actual.
- Implementar el uso del autoconsumo, invernaderos o huertas urbanas.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

Ajayi, S. O., Oyedele, L. O., Ceranic, B., Gallanagh, M., & Kadiri, K. O. (2015). Life cycle environmental performance of material specification: A BIM-enhanced comparative assessment. *Null*, 6(1), 14-24. DOI: 10.1080/2093761X.2015.1006708

Guardigli, L., Monari, F., & Bragadin, M. A. (2011). Assessing environmental impact of green buildings through LCA methods: A comparison between reinforced concrete and wood structures in the european context. *Procedia Engineering*, 21, 1199-1206. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2131

Häfliger, I., John, V., Passer, A., Lasvaux, S., Hoxha, E., Saade, M. R. M., & Habert, G. (2017). Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials. *Journal of Cleaner Production*, 156, 805-816. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.052

Jenkin, M. E., Derwent, R. G., & Wallington, T. J. (2017). Photochemical ozone creation potentials for volatile organic compounds: Rationalization and estimation. *Atmospheric Environment (1994)*, 163, 128-137. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.05.024

Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM* (1st ed. ed.). Indianapolis, Ind: Wiley. Retrieved from <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0827/2008008357-t.html>

Li, D. Z., Chen, H. X., Hui, E. C. M., Zhang, J. B., & Li, Q. M. (2013). A methodology for estimating the life-cycle carbon efficiency of a residential building. *Building and Environment*, 59, 448-455. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.09.012

Peng, C. (2015). Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on ecotect and building information modeling. *Journal of Cleaner Production*, 154, 407-420.

Karim, A. (2011). An overview on life cycle impact assessment (LCIA) methodologies:  
State of the art