



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Estudio comparado sobre el impacto medioambiental que
generan los materiales estructurales en la arquitectura.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Garcia Koutsoukos, Georgios

Tutor/a: Serrano Lanzarote, Apolonia Begoña

Cotutor/a: Villanova Civera, Isaac

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Estudio comparativo sobre el impacto medioambiental que generan los materiales estructurales en la arquitectura.

Alumno

Georgios García Koutsoukos

Tutores académicos

Begoña Serrano Lanzarote

Departamento de Mecánica de los medios continuos y teoría de estructuras.

Isaac Villanova Civera

Departamento de Mecánica de los medios continuos y teoría de estructuras.

Índice de contenidos

Tabla de abreviaturas	4
Resumen	5
Abstract.....	5
Palabras clave.....	5
1.Introducción.....	6
1.1. Motivación y justificación, descripción del trabajo	6
2.Contextualización de la situación de la construcción.....	9
2.1. Problemática de la energía.....	9
2.2.COP -28, Grandes Agendas Urbanas e Internacionales.....	12
2.3. Metodología para el análisis según la Unión Europea, Level(S).....	13
2.4. Metodología para el análisis según la Unión Europea, ACV.	14
2.5. Impacto medioambiental de la edificación	17
2.6. La industrialización de la madera	19
2.6.1. Los bosques forestales y su modernización, Los Montes Universales-Alto Tajo, España.....	21
3.Objetivos.....	23
4.Metodología y desarrollo.....	24
4.1. Estudio comparativo entre el acero y la madera estructural.....	24
4.1.1. Fase 1. Elaboración del proyecto.....	26
4.1.2. Fase 2. Realización del presupuesto, archivo bc3.....	27
4.1.3. Fase 3. Herramienta para la evaluación ambiental, TURIA.....	28
4.1.4. Fase 4. Informes de impacto ambiental y conclusiones.	29
5.Análisis de resultados.....	30
5.1. Resultados obtenidos con la herramienta TURIA, para el proyecto propuesto.....	30
6.Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	34
Bibliografía	36

Tabla de abreviaturas

ACV	Análisis del ciclo de vida
COP	Conference of the parties, conferencia de partes
CLT	Cross Laminated Timber, madera contra laminada.
TURIA	Toxicidad Uso de Recursos Impacto Ambiental.
ODS	Objetivos desarrollo sostenible
FSC	Forest Stewardship Council
UE	Unión Europea
UPV	Universitat Politècnica de Valencia
FEADER	Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural
IVE	Instituto Valenciano de la Edificación
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Sostenible
PERE	Energía primaria renovable ajena al propio material
PENRE	Energía primaria no renovable ajena al propio material.

Resumen

Mediante la presente investigación de Trabajo de Fin de Grado, se persigue destacar la relevancia de la incorporación de la madera estructural en la disciplina arquitectónica, considerándola como una respuesta alternativa a los emergentes paradigmas de sostenibilidad, circularidad e industrialización que se anticipan en el contexto europeo.

Este estudio se adentrará en una indagación focalizada en el análisis del impacto que tienen los sistemas de construcción contemporáneos, fundamentados en el empleo predominante del hormigón armado y acero estructural, contrastándolos con un sistema constructivo que privilegia la madera como material estructural.

Abstract

This dissertation aims to highlight the importance of incorporating structural wood in architectural design as a suitable response to emerging sustainability, circularity, and industrialization paradigms in the European context.

This study will conduct a thorough investigation focused on the analysis of the impact of contemporary construction methods, which are based on the predominant use of reinforced concrete and structural steel, contrasting them with a construction system that prioritises wood as the preeminent structural material.

Palabras clave

Metodología, investigación, Tricalc, Arquímedes, TURIA, estructura, madera, acero, construcción ligera, reutilización, impacto ambiental, sostenibilidad, archivos BC3, modelado estructural, indicadores ambientales, industrialización, construcción en seco, base de datos, resistencia de materiales, arquitecto, toma de decisiones, versatilidad, evaluación comparativa, ciclo de vida, eficiencia energética, proyecto residencial, normativa, descarbonización, circularidad de recursos, optimización energética, reforestación, manejo forestal sostenible.

1.Introducción.

1.1. Motivación y justificación, descripción del trabajo

La problemática de la energía y la búsqueda en la eficiencia es un tema que ha ido cogiendo importancia casi de manera exponencial a lo largo de los últimos años, prueba de ello es la implementación de términos como, sostenibilidad, huella de carbono, reciclaje, circularidad, etc., a nuestra habla cotidiana. La motivación principal sobre la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado es la convicción sobre las buenas oportunidades que se nos presentan con el uso de sistemas industrializados de madera y tratar de paliar la sensación general que yo mismo he tenido de “lanzarse al vacío” con la madera ya que esto es una sensación errónea. Como se irá descubriendo a lo largo de la investigación con ejemplos reales fuera de nuestro país y luego ilustrando las fortalezas de nuestro territorio para llevar a cabo un cambio en la industria maderera, que, por desgracia, no es la idónea, aunque contamos con las condiciones necesarias para serlo.

Como comentábamos anteriormente el comenzar a construir con madera estructural no es un salto al vacío, para nada, ya en Reino Unido llevan años trabajando con la madera estructural, en el caso de Julen Pérez, arquitecto en Londres, han realizado numerosas obras y nos ofrece una recopilación de los datos de varios de sus proyectos, todos ellos construidos.

Un proyecto que habla muy bien de estos sistemas es un edificio residencial de vivienda social de 9 plantas, que se construyó en 2007 donde la primera planta sí que era de hormigón, pero el resto de la estructura, muros, forjados, núcleos rigidizadores y cubierta se realizaban con CLT. En estas obras pudieron observar que se generaron menos residuos al tratarse de piezas prefabricadas, las obras eran mucho más silenciosas que la obra tradicional ya que es una construcción en seco y el uso de herramientas que se usan para trabajar la madera son más sencillas. En relación con el transporte de los materiales se redujo en un 80%, reduciendo no solamente la huella de carbono sino respetando el tráfico de la zona.

El construir ligero, es construir sostenible y es ahí otro punto fuerte de la madera, donde tienen la mitad de resistencia al hormigón, pero pesando una quinta parte de lo que pesa este, lo que le da el estatus, en nuestra opinión de *joya tecnológica*, como dice Julen. En total se hizo una estimación de que a lo largo de toda la construcción se ahorró unas 1152 Toneladas de CO2 a la atmosfera. Este mismo sistema constructivo lo repitieron a mayor escala con el proyecto de *Dalston Works*, donde se construyó 121 viviendas con CLT, con 3500m2 de oficinas y 10 plantas, hicieron el cálculo de cuanto habría pesado este mismo proyecto, pero con hormigón y la diferencia de peso es muy significativa, hormigón hubiera pesado 10.000 Toneladas de hormigón y en madera solamente fueron 1920 Toneladas. Todos estos datos nos muestran los beneficios que tienen los sistemas industrializados de madera frente a otros más tradicionales, no solo a nivel ambiental sino, en cuanto a facilidad de montaje, tiempos de entrega, uso de transportes y molestias debido al ruido o tráfico en el vecindario.

Existe la falsa creencia de que en nuestro país no contamos con la capacidad para llevar a cabo esta transición con éxito como se han hecho en los países nórdicos o Reino Unido, ¿pero es esto verdad? Podemos adelantar que esta afirmación no es del todo correcta y la prueba de ello es la gran industria maderera que se está desarrollando en el norte de Italia, un país con unas características geográficas, climáticas y sociológicas muy similares a las nuestras. En nuestro territorio ya se han puesto en marcha proyectos en zonas específicas para el desarrollo de estos bosques forestales y las conclusiones extraídas son muy positivas en diferentes niveles, económico y social.

Entonces, ¿qué nos aporta el hecho de construir con sistemas industrializados de madera, porque deberíamos hacer un esfuerzo en desarrollar nuevas técnicas constructivas? Pues bien, en este Trabajo de Fin de Grado vamos a desarrollar un análisis comparativo de un mismo proyecto con dos hipótesis diferentes. La hipótesis número uno, será la que presenta una

estructura de vigas y pilares de acero mientras que la hipótesis número dos contará con una estructura de madera. Nos centraremos en la estructura ya que suele ser el elemento más pesado en un proyecto, lo que supone un mayor consumo de recursos.

Para llevar a cabo esta comparación usaremos la herramienta TURIA, esta herramienta nos ayudará a evaluar el impacto ambiental pormenorizado que genera cada elemento que actúa en nuestro proyecto. Esta evaluación tiene en cuenta los indicadores ambientales descritos en las UNE, como toxicidad de los materiales, uso de los recursos, impacto ambiental y potencial de reciclado, estos nos ayudarán a clarificar los pros y los contras de cada una de las hipótesis que antes hemos mencionado. Con los datos que nos proporcionan estas herramientas somos nosotros como arquitectos los que tenemos que tomar unas decisiones u otras, respaldándonos en los indicadores obtenidos.

Tenemos estudios que demuestran los beneficios que se presentan en los sistemas por ejemplo de paneles de CLT, en edificios en altura comparándolos con sistemas más tradicionales de hormigón armado, como es el caso de "Comparative life cycle assessment of cross laminated timber building and concrete building with special focus on biogenic carbon", desarrollado por *Julie Hansted Andersen, Nana Lin Rasmussen, Morten Walbech Ryberg* se llevó a cabo un ACV de dos edificios de apartamentos de mediana altura, de características similares, donde se emplearon como principales materiales estructurales el hormigón y la madera contra laminada, respectivamente.

El edificio construido con CLT evidenció la menor puntuación en impacto ambiental en 11 de las 18 categorías evaluadas, incluyendo el referido al calentamiento global. La energía operativa se identificó como el principal contribuyente al impacto total, seguido de cerca por los efectos derivados de la energía incorporada en los materiales, incluido su fin de vida útil.

Una evaluación sobre las transformaciones forestales necesarias para satisfacer las proyecciones futuras de construcción de nuevos edificios hasta el año 2060 reveló que aproximadamente el 3% de la superficie forestal mundial actual sería requerido. Este porcentaje se mostró esencialmente independiente del material de construcción seleccionado, dado que el principal impulsor de la transformación forestal fue el uso de energía durante la vida útil del edificio. Con esto entendemos, que la atención debe enfocarse principalmente en la reducción de la deforestación vinculada a la generación de dicha energía, en lugar de aquella derivada de la producción de materiales de construcción.

La *Tabla 1* presenta una comparación relativa a la superficie forestal requerida para los edificios construidos con CLT y hormigón. Globalmente, la cantidad total de superficie forestal transformada a lo largo del ciclo de vida de ambos edificios difiere en un factor de 1,1, siendo el edificio de CLT aquel que supone la transformación de una mayor superficie forestal, estimada en 47,5 m² por cada m² de superficie construida. No obstante, es importante señalar que la mayor parte de esta transformación forestal es resultado del consumo energético durante la operación del edificio. En este sentido, la variación del factor es de 0,8, presentando un impacto mayor en el edificio de hormigón en comparación con el de CLT.

La disparidad más significativa entre ambos edificios se evidencia en el apartado de materiales, donde el impacto del edificio de CLT supera notablemente al del edificio de hormigón, con una diferencia en el factor de 7,1. Este fenómeno se atribuye al mayor empleo de materiales derivados de la madera en el caso del edificio construido con CLT. Al considerar la transformación forestal estimada para ambos edificios en relación con la superficie forestal global en el año 2020, se puede prever que para cumplir las necesidades futuras de construcción utilizando CLT o hormigón requeriría aproximadamente el 3% y el 2,8% de la superficie forestal mundial, respectivamente. Sin embargo, es crucial destacar que únicamente el 0,8% y el 0,1% de esta superficie forestal necesaria se atribuye a los materiales de construcción en el caso del CLT y el hormigón, respectivamente. En contraposición, la mayor parte de esta superficie forestal requerida está asociada a las demandas energéticas, las cuales están sujetas a las

particularidades de las redes de calefacción y electricidad, independientemente de los materiales de construcción utilizados.

Todo esto nos debería de servir como hoja de ruta para una futura transición hacia sistemas de construcción más eficientes y comenzar a implementar herramientas como TURIA, para apoyarnos en una base de datos de confianza y contrastada que nos ayude a justificar nuestras decisiones.

Tabla 1, Comparación relativa a la superficie forestal requerida para los edificios construidos con CLT y hormigón.

Direct forest transformation for the Concrete and CLT building per m² building floor area and scaled to match the future building construction in 2060. The table also shows a comparison with the global forest area in 2020 and the share of global forest area needed for future building construction in 2060 based on the required forest transformation estimated for the CLT and the Concrete building.

	Forest transformation per m ² building area [m ² /m ²]		Total Forest transformation for fulfilling future new build demand [km ²]		Factor variation (CLT/Concrete)	Percent share of available forest area (i.e. 4.06 × 10 ⁷ km ²) needed for new buildings [%]	
	Concrete building	CLT building	Concrete building	CLT building		Concrete building	CLT building
Materials	1.7	11.9	4.37 × 10 ⁴	3.10 × 10 ⁵	7.1	0.1%	0.8%
Energy	42.2	35.6	1.10 × 10 ⁶	9.26 × 10 ⁵	0.8	2.7%	2.3%
Total	43.9	47.5	1.14 × 10 ⁶	1.24 × 10 ⁶	1.1	2.8%	3.0%

2.Contextualización de la situación de la construcción.

2.1. Problemática de la energía.

Como hemos mencionado anteriormente, el sector de la construcción es el responsable del 36 % de las emisiones de gases de efecto invernadero y el 40 % del consumo de energías. Por ello es necesario poner el foco en estudiar y reducir estos valores. De estas emisiones de carbono totales un 11%, casi un tercio, recae solamente en los materiales, por ello la base de la sostenibilidad proviene de cómo somos capaces de utilizar los materiales.

Gráfico 1, elaboración propia.



Este sector es de gran importancia para los países pertenecientes a la Unión Europea ya que representa el 5.5 % del PIB de la Unión Europea y maneja unas cifras de 25 millones de personas en más de 5 millones de empresas, además en relación con las materias primas necesarias para llevar a cabo las construcciones, solo en Europa se encuentran 430.000 empresas que manejan un volumen de unos 800.000 millones de euros. Principalmente se tratan de empresas locales, que acarrear un gran impacto social y económico en sus respectivas regiones. Esto implica que el proceso de industrialización y regeneración del sector es necesario para que siga siendo competente a distintos niveles.

El 11 de julio de 2023, Europa dio un paso importante hacia un futuro más sostenible en la construcción con la aprobación de regulaciones que establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Estos proyectos como LEVEL(S), no solo buscan simplificar y unificar los requisitos técnicos en toda la Unión Europea, sino que también tienen un objetivo fundamental, abordar los desafíos medioambientales en la industria de la construcción. Para ello se está trabajando en una normativa común y en como eliminar las barreras para la circulación de productos de construcción en el mercado interior, usando soluciones digitales para reducir la carga administrativa y tener una base de datos de los principales productos y materias.

Por otro lado, llevando a cabo esta regeneración del sector estamos afrontando directamente los objetivos de los ODS, como indica Alison Smale, secretaria general Adjunta de Comunicaciones Mundiales, Departamento de Información Pública, los ODS definen el mundo al que aspiramos. Constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo.

Las naciones unidas, redactoras de las ODS califican estos objetivos como de principal preocupación, y con esta nueva metodología hacemos frente a cinco de ellos que son, la acción por el clima (13), una industria de innovación e infraestructura (9), ciudades y comunidades más sostenibles (11), energía asequible y no contaminante (7) y producción y consumo responsable (12).

Con todo esto se pretende impulsar la utilización de materiales más sostenibles y a promover prácticas de construcción respetuosas con el medio ambiente. Además, se fomenta la reutilización y el reciclaje de productos de construcción, lo que reduce la generación de residuos y contribuye a la economía circular.

En un momento en que la construcción representa una parte considerable de las emisiones de carbono, estas regulaciones son un paso significativo hacia la mitigación del cambio climático. Promoviendo la eficiencia energética en los edificios, lo que tiene un impacto directo en la reducción del consumo de energía y las facturas de energía para los ciudadanos.

Gráfico 2, Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015).



Respecto a la energía necesaria que se utiliza para confeccionar los materiales de construcción actuales en la *Tabla 02*, podemos observar claramente que en el proceso de generar cada uno de los materiales, en cuanto a materia de energía se refiere, es muy diferente dependiendo de cada material, dependiendo de su naturaleza y el proceso para generarlo.

Si nos vamos al acero, podemos observar que cuesta 60 veces más que producir madera, y el hormigón 4 veces más, son diferencias más que notables que nos ponen en perspectiva de lo que se está consumiendo, solo en nuestro sector.

Actualmente en España nos encontramos en el Plan Nacional de Energía y Clima 2021-2030 con los objetivos principales de:

- Reducir al menos el 23% de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto el año 1990.
- Elevar la cuota de renovables en el consumo de energía final por encima del 42%.
- Mejorar la eficiencia energética en al menos un 39,5%.
- 74% de energía renovable en la generación eléctrica.

En el BOE10 encontramos la Ley 7/2021 del 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, en el artículo 8.2 que especifica:

“Los materiales de construcción utilizados tanto en la construcción como en la rehabilitación de edificios deberían tener la menor huella de carbono posible a fin de disminuir las emisiones totales en el conjunto de la actuación o del edificio.”

Tabla 02: Energía aproximada necesaria para la fabricación de diversos materiales. Tabla extraída de, Eficacia estructural y energética de la madera como material de construcción, Francisco Arriaga, Dr. Arquitecto.

Material	Energía necesaria para fabricar 1 Tn en Julios x10 ⁹	Toneladas de petróleo equivalentes
Acero	60	1.5
Titanio	800	20
Aluminio	250	6
Vidrio	24	0.6
Ladrillo	6	0.15
Hormigón	4	0.1
Compuestos de fibra de carbono	4000	100
Madera de abeto	1	0.025
Polietileno	45	1.1

Podríamos pensar si todo son beneficios porque no está más normalizado el uso de la madera como un material principal, pues bien existen varias barreras que dificultan su implementación, como el desconocimiento por parte de los técnicos y la desconfianza de la sociedad a estos grandes cambios y alejarse de la tradición. Otro aspecto controvertido es el aspecto económico ya que es una industria que requiere un alto coste inicial, debido al escaso tejido industrial, aunque como toda industria en crecimiento cuando la tecnología avance y los costes disminuyan la adopción de estos sistemas aumentara considerablemente. Todas estas barreras han de ser abordadas desde una perspectiva legislativa que apoye dichos cambios y confíe en los avances tecnológicos, estas políticas ya se están poniendo en marcha con las grandes agendas urbanas promovidas por organismos internacionales que persiguen objetivos en común y se celebran reuniones para afrontar las distintas problemáticas, como es el caso de las COP.

2.2.COP -28, Grandes Agendas Urbanas e Internacionales.

Otros movimientos que se han hecho en el ámbito internacional para afrontar esta problemática energética son las COP, en el año 2023 se celebró la COP- 28, una conferencia anual de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, un evento donde se reúnen tanto representantes civiles como el sector privado incluso organizaciones internacionales, en este evento se han presentado unos 200 países.

Germán Granda y Camilla Kauer, responsables de “clúster de cambio climático” de la organización de Foretica, una organización centrada en la sostenibilidad y responsabilidad social nos señalan que;

Desde 2015 Las COP, se han centrado en tres objetivos:

- Limitar el aumento de la temperatura media mundial a 1,5°C.
- Adaptarse al cambio climático y aumentar la resiliencia.
- Alinear los flujos de financiación con “una senda hacia bajas emisiones de gases de efecto invernadero y desarrollo resiliente al clima”.

Este año la hoja de ruta que va a seguir se, viene guiada por cuatro aspectos, que son:

- Aceleración de la transición energética de manera justa, equitativa y ordenada, con el objetivo de reducir las emisiones antes de 2030.
- Transformación de los mecanismos de financiación destinados a la lucha contra el cambio climático, mediante el cumplimiento de compromisos anteriores y el establecimiento de un nuevo marco para acuerdos financieros.
- Colocación de la naturaleza, las personas, sus vidas y medios de subsistencia en el epicentro de las acciones climáticas.
- Promoción de una COP inclusiva que fomente la participación de todas las partes interesadas.

Estas agendas, nos sirven para poner en magnitud que es lo que está sucediendo y como nos tenemos que preparar, para que el día de mañana podemos enfrentarnos a todas las exigencias y a nuevas maneras de afrontar la construcción. Cabe destacar que estas reuniones acuden los representantes de todos los países, organizaciones internacionales y empresas, son de una relevancia importante y suelen ser precursoras de hacia dónde se van a dirigir las políticas ecológicas y sociales futuras.

2.3. Metodología para el análisis según la Unión Europea, Level(S)

Level(s), concebido como un marco unificado y un sistema de terminología común de la Unión Europea para la evaluación de la sostenibilidad en edificios residenciales y de oficinas, se erige como una herramienta aplicable desde las etapas iniciales del diseño conceptual hasta la culminación del ciclo de vida previsto para el edificio. Su enfoque principal reside en el análisis del comportamiento medioambiental, y, en paralelo, facilita la evaluación de aspectos fundamentales relacionados con la salud, el bienestar, el coste del ciclo de vida y los potenciales riesgos futuros asociados con el comportamiento edilicio.

Con esta metodología se aspira a proporcionar una terminología unificada para la discusión sobre la sostenibilidad de los edificios. Enfocado principalmente a equipos de diseño de proyectos, ya sean ingenieros, arquitectos, asesores, etc.; clientes e inversores, como pueden ser promotores inmobiliarios o gestores y por último, también está dirigido a responsables de elaboración de políticas públicas, ya sean nacionales, regionales y locales.

Esta terminología común tiene como objetivo posibilitar la implementación de medidas que contribuyan de manera más directa con los objetivos en la política medioambiental europea. Su estructura se compone de dos elementos fundamentales:

Macroobjetivos: Un conjunto global de objetivos especificados respecto el marco Level(s) que contribuyen a alcanzar los objetivos establecidos por las políticas de la Unión Europea. Estos objetivos abarcan áreas cruciales como la energía, el uso de materiales, la gestión de residuos, el agua y la calidad del aire en interiores.

Indicadores básicos, Un conjunto de dieciséis indicadores estandarizados, acompañados por una metodología simplificada de ACV, que pueden emplearse para medir el desempeño de los edificios y su contribución específica a cada uno de los macroobjetivos establecidos.

Esta metodología se enfoca no solo a la sostenibilidad ambiental sino a otros pilares muy influyentes a la hora de diseñar y construir como la salud, el bienestar y la economía.

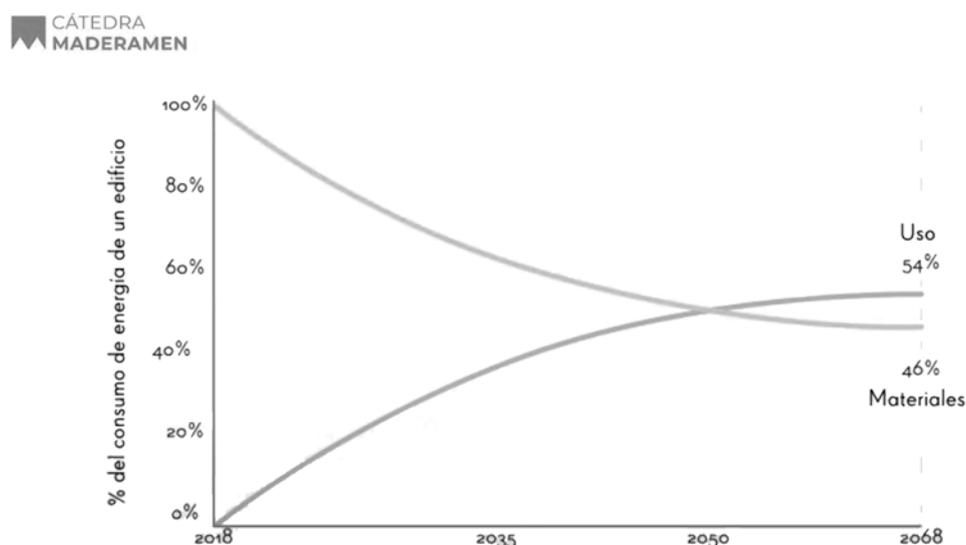
En este sentido Level(s) señala unos indicadores y parámetros que sirven para cuantificar la capacidad de ser sostenible de un edificio durante su ciclo de vida. Para ello se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Su comportamiento ambiental.
- La salud y el bienestar.
- El coste del ciclo de vida y el valor.
- Los posibles riesgos para el comportamiento futuro.

2.4. Metodología para el análisis según la Unión Europea, ACV.

Según el gráfico extraído de la conferencia de Julen Pérez, un 54 % del consumo energético de un edificio a lo largo de su vida útil proviene del uso que se produce debido a su uso, electricidad, gas etc., eso quiere decir que el sobrante 46 % se centra en el coste energético debido a los materiales. Hoy en día, la legislación energética se centra en reducir el consumo en su fase de uso, cuando se entra a vivir, cuando es en la fase de construcción donde se produce casi la mitad del consumo total. Como señala Julen, “se trata más de ser suficiente que eficiente”, para conseguir con el mínimo impacto dar respuesta a lo que se pide, que es la definición de sostenibilidad.

Gráfico 3, La línea del carbono (2015-2035), Cátedra Maderamen



Es necesario referir el origen de las normas ISO, antes de entrar en materia. Dentro de la gestión ambiental y, debido a la creciente preocupación por el medio ambiente y por cómo afecta las organizaciones y sus actividades debido a los requisitos exigidos y necesidades de las partes interesadas. María Belén Padin, señala, “La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) fue invitada a participar en la Cumbre para la Tierra, organizada por la Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en junio de 1992 en Río de Janeiro, Brasil. Ante tal acontecimiento, ISO se compromete a crear normas ambientales internacionales, después denominadas, ISO 14000”.

La norma ISO 14001:2015, en relación con su propósito ambiental, ha sido formulada con el objetivo de: “proporcionar a las organizaciones un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas.”

ISO 14001:2015 es una norma certificable, sin embargo, una organización la puede utilizar en su totalidad o en determinados fragmentos con el propósito de mejorar su desempeño ambiental o gestionar sus responsabilidades ambientales, constituyéndose en un pilar de sostenibilidad.

El ACV es la herramienta de gestión ambiental principal cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica y sistemática el impacto originado por un proceso durante su ciclo de vida completo. En la normativa UNE ISO 14040, se define como una técnica que trata los aspectos medioambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida de un material mediante una recopilación de inventario con su posterior evolución de impactos potenciales y la interpretación de los resultados, un sistema muy similar al que se va a usar para este estudio.

Toda la normativa mencionada además de la ISO 14000 se utilizan para trabajar con estos ACV y se basan en los mismos principios de sostenibilidad ambiental con una base científica conseguida a través de estos indicadores.

Esta metodología ACV se centra en estudiar el impacto que tiene cada uno de los materiales que componen el edificio, como hemos mencionado previamente, no solo se va a estudiar cuánto consume tu edificio cuando ya ha sido construido y está en uso, sino cuánto va a consumir desde la extracción de las materias primas en la fase de fabricación del producto hasta su fin de vida, pasando por su fase constructiva y su fase de uso, lo que se denomina coloquialmente de la cuna a la tumba, que hasta ahora era donde se centraban todos los estudios de consumo energético.

El desarrollo de acuerdo con la UNE-EN ISO 14040 debe cumplir con las cuatro etapas que se desarrollan en la metodología:

- Etapa 1. Definir el objetivo y alcance del ACV, se detallará que amplitud o profundidad se le quiere determinar al estudio, así como señalar el motivo de este.
- Etapa 2. Análisis de inventario de Ciclo de Vida, en esta fase se identificará y cuantificará el consumo de recursos naturales y emisiones de residuos y otros componentes negativos provocados por el producto que se está analizando.
- Etapa 3. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida, con los resultados obtenidos en la etapa anterior se evaluará los potenciales impactos ambientales generados por el consumo de residuos y la emisión de productos nocivos generados.
- Etapa 4. Interpretación, durante esta fase se extrae toda la información pertinente

El propio de Ciclo de Vida de cada material o componente está compuesto a su vez por diferentes fases, para tener en cuenta cada una de las fases, esta metodología las separa en tres grandes bloques, fabricación del producto (A), uso del producto (B) y fin de vida (C). En cada fase se tendrán en cuenta marcadores como el transporte a fábrica y obra, reparación, mantenimiento, energía y agua operacional, derribos y gestión de residuos. Cabe destacar que nosotros con TURIA conseguiremos analizar hasta la fase A5.

Cada una de estas fases tiene asociada a ella unas características, principalmente el consumo de materias primas y energía y emisión de residuos es lo que nos permite hacer ese balance para poder determinar en qué fase del ciclo se ha de intervenir con mayor rapidez.

El ámbito de aplicación de esta herramienta va más allá de investigadores y personal que esté relacionado con este sector, la claridad y la fácil comprensión de los datos permite que la administración desarrollar nuevas políticas ambientales a largo plazo favoreciendo la conservación de los recursos, establecer criterios de valoración y evaluación para su posterior detección de necesidades y además poder informar al público con información sencilla, clara y concisa de las características y estados ambientales de su región.

El ACV completo se divide en tres fases, **A, B, C** en función de donde se encuentre cada material:

Tabla 03, Fases del Análisis del ciclo de vida.

Fabricación del producto: A1 - A3	
	- Extracción de materias primas (A1)
	- Transporte a fábrica (A2)
	- Fabricación (A3)
Proceso de construcción: A4 - A5	
	- Transporte del producto (A4)
	- Proceso de instalación del producto y construcción (A5)
Uso del producto: B1 - B7	
	- Uso (B1)
	- Mantenimiento (B2)
	- Reparación (B3)
	- Sustitución (B4)
	- Rehabilitación (B5)
	- Uso de la energía operacional (B6)
	- Uso del agua operacional (B7)
Fin de vida: C1 - C4	
	-Transporte (C2)
	- Gestión de residuos para reutilización, recuperación y reciclaje (C3)
	- Eliminación final (C4)

2.5. Impacto medioambiental de la edificación

Según la OCDE, un indicador es “un parámetro, o el valor resultante de un conjunto de parámetros, que ofrece información sobre un fenómeno, y que posee un significado más amplio que el estrictamente asociado a la configuración del parámetro”.

Si lo adaptamos a nuestro ámbito, los indicadores ambientales nos transcriben en qué estado está los principales componentes ambientales, como la calidad del agua, del aire, el uso de recursos naturales, generación de residuos, entre otros. Con estos datos en la mano nos facilita la labor de análisis para cumplir el propósito de informar a los diferentes agentes intervinientes en el proceso, en nuestro caso en el sector de la construcción, y ayudar a evaluar la eficacia de las diferentes decisiones que se hayan tomado.

Los indicadores ambientales son fundamentales para la evaluación de los diferentes sistemas constructivos que vamos a comparar, por diversas razones.

- Nos cuantifican la evolución de un factor ambiental a lo largo del tiempo, de esta manera nos permite prever ciertos problemas, comparar tendencias y sobre todo medir progresos.
- Son una buena herramienta comunicativa ya que nos permite transcribir de manera sencilla y comprensible datos complejos.
- Miden los impactos, en nuestro caso el impacto que tienen ciertas acciones sobre el medio ambiente, esto es esencial para priorizar acciones de prevención de daños.
- Facilitan la toma de decisiones, como se va a ir mencionando más en adelante, la posibilidad de medición y cuantificación de estos indicadores nos otorgan argumentos y datos suficientes para apoyar ciertas decisiones que se vayan a tomar.

Los indicadores ambientales están ligados a los ODS anteriormente mencionados y facilitan la información sobre los avances producidos en todos ellos.

Con todo esto podríamos decir que los indicadores ambientales nos ilustran la magnitud del impacto medioambiental, que se trata de la alteración que se sufre en un ecosistema debido a la intervención del ser humano. Este impacto, generalmente suele ser negativo y desencadena un desequilibrio ecológico que provoca grandes daños en el medioambiente produciendo fenómenos que hoy en día ya estamos sufriendo, como las grandes sequías, seguidas de las lluvias torrenciales. Todo esto sumado al consumo excesivo de energía que está provocando que estemos sobreexplotando nuestros recursos naturales.

En el sector de la construcción, se establecen vidas útiles de los edificios hasta los 100 años, lo que quiere decir que las intervenciones que solemos hacer suelen ser de larga duración, por lo que estas intervenciones deben tener el menor impacto posible. Por estas razones cuando se construye no solo afecta al ámbito más próximo sino en mucha mayor escala. Siendo necesario por estas razones su estudio desde la extracción de los materiales, hasta su propia demolición.

No existe un número exacto de tipos de indicadores ambientales, se podría decir que existen tantos indicadores como problemas asociados a dicha problemática. Los factores implicados en este sector son principalmente cuatro, es difícil calcular el impacto producido, pero si se puede realizar un estudio aproximado, para conocer donde se puede reducir en mayor grado el impacto. Los tres factores que ocupan una mayor repercusión son la utilización del terreno, el uso de los materiales y el consumo de energía.

El primero de ellos, respondería a la pregunta, *¿Cómo intervenimos en el terreno?* Podemos partir de la premisa que, normalmente, construir ligero es construir sostenible, ya que se interviene poco en el terreno sin cambiar en excesiva medida la permeabilidad de los suelos, el impacto visual y la superficie utilizada.

En segundo lugar, contamos con el uso de los materiales, teniendo en cuenta la cantidad de energía necesaria en su extracción, su procesamiento en la industria, los desechos que se producen, el transporte durante todo el proceso que producen gases de efecto invernadero y consumo de energía extra, la solución a este problema nos viene con la arquitectura vernácula propia de cada región, donde se construía con lo que se tenía más próximo, además de energía ahorraremos muchos costes.

El consumo de energía, que hemos mencionado ya anteriormente, pudiendo separar en energía que ha consumido a la hora de que se construyese el edificio y la energía consumida por el uso del edificio a lo largo de su vida útil, generalmente estas repartidas un 50-50% pero la normativa actual se centra en reducir este último, dejando toda la fase de construcción a decisión del proyectista o la constructora.

Por último, tenemos la generación de residuos, no solo los producidos por la industria sino los escombros que provienen de su demolición, aguas residuales o contaminación del aire.

Cabe destacar, que para el análisis de estos factores se encuentra la metodología de ACV, que sirve para cuantificar todos los aspectos ambientales y junto con la normativa UNE-EN-ISO14040 y UNE-EN ISO14044, se establecen las etapas en el ciclo de vida de la construcción, las cuales indicaremos más en adelante.

La primera preocupación que nos puede surgir a la hora de plantear esta conversión del sector es si la industria española está preparada para este cambio y si los bosques forestales españoles son aptos o si están preparados para soportar la industria maderera y de ser así no como se debería gestionar para que no sufran un acoso persistente como ha sucedido con otros recursos naturales. Podemos adelantar que, frente a la creencia errónea de que España no tiene una superficie forestal suficiente, podemos decir que somos el tercer país de la unión europea con más superficie boscosa, la cual esta infrutilizada.

2.6. La industrialización de la madera

Para llevar a cabo construcciones en madera, se necesita contar con una industria competitiva para no tener que importar piezas del extranjero, lo cual iría en contra de este ejercicio de reducción de gases de efecto invernadero.

La madera tiene un alto grado de industrialización, esto quiere decir que, se puede transformar en una amplia variedad de productos en función de las necesidades que tenga el mercado. La madera necesita ser industrializada para obtener un producto final de calidad.

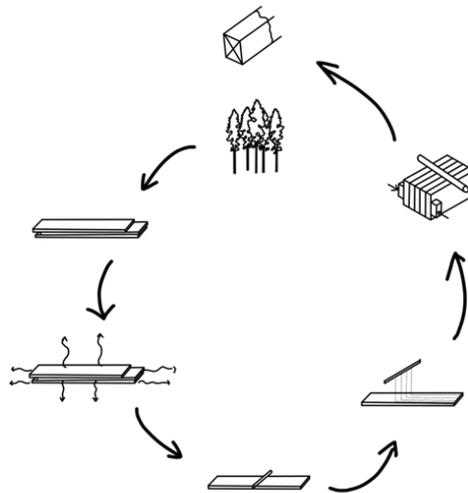
Como veremos a continuación España cuenta con grandes superficies (*ver plano de masas forestales en el Anexo*), a pesar de los grandes incendios que han provocado grandes deforestaciones, de masas forestales. Estas masas se dirigen principalmente a la fabricación de muebles y piezas de pequeño formato. Estamos construyendo mesas con una madera que es de calidad y nos serviría para construir a una escala mucho mayor, estamos infravalorando nuestra madera.

Es importante conocer que los aserraderos, es el eslabón más débil de este tejido industrial. Lamentablemente estos han quedado anticuados ya que la gran mayoría no cuentan con los recursos para incorporar la mecánica necesaria para llevar a cabo la transformación de la madera en un producto final.

El proceso mínimo que se ha de realizar es ser descortezados, cortados y clasificados para después extraer el agua de su interior, este proceso de sacado es el que genera más problemas ya que si no se hace con las herramientas necesarias esa madera no podrá tener el carácter de madera estructural que es el necesario para poder usarla en la construcción. Aunque según afirma el Dr. Arquitecto Francisco Arriaga en su artículo Eficacia estructural y energética de la madera como material de construcción "" el mayor avance en los últimos años ha sido el obtenido a través de la mejora genética donde se producen variedades de crecimiento rápido en maderas comerciales además como resultado de investigaciones es posible reducir los tiempos de secado en coníferas a veinticuatro horas a un costo muy reducido.

Estos avances suponen un gran cambio en el paradigma de la construcción en relación con la eficiencia energética a nivel global. Por ello es necesario un impulso a los aserraderos para poder completar todo el ciclo de la industrialización de la madera y tener una industria a la altura de nuestras posibilidades.

Gráfico 04, Proceso de la industria maderera, elaboración propia.



La primera parte de este proceso industrial, como hemos mencionado, es la obtención de la materia prima, conoce que para poder explotar los bosques de una manera sostenible primero hay que cuidarlos y modernizarlos, como se ha hecho en el caso de los Montes Universales del Alto-Tajo.

Como señala el periodista Ángel Luis de Santos, en su artículo “España no es la “mancha marrón” del mapa de Europa: este el Rankin de países por superficie de bosque”. Esta afirmación surge a través de un estudio de la Comisión Europea donde hacen una comparación de las masas forestales de los Países Miembros y podemos observar que España es el tercer país con más superficie boscosa con 18.572,17 hectáreas, y el séptimo puesto cuando se compara con su superficie total con un 36,7 % de la superficie total que es ocupada por bosques forestales.

Esto nos coloca a la altura de Países como Suecia, Finlandia, Francia y Alemania, lugares en los que las construcciones en madera ya llevan años implantándose, como sistemas constructivos alternativos.

Tabla 04, Datos básicos sobre los bosques de la Unión Europea (EU-27, 2020)

Estado miembro UE-27	Bosques/ superficie arbolada(1 000 hectáreas, 2020)	Proporción de bosques en la superficie total (%) (2020)	Valor añadido bruto/superficie forestal (EUR/hectárea) (2020)	Personas empleadas en la silvicultura(1 000 unidades de trabajo anuales) (2020)
Austria	3 889,6	46,4	194	21,1
Bélgica	689,3	22,5	136	2,2
Bulgaria	3 896,00	35,1	51	21,9
Croacia	1 940,00	34,3	116	14,4
Chipre	172,64	18,6	13	0,5
Chequia	2 677,09	33,9	341	21,2
Dinamarca	689,3	16,1	340	6,0
Estonia	2 438,4	53,8	110	6,2
Finlandia	22 409,0	66,2	181	21,2
Francia	17 421,9	31,7	166	29,0
Alemania	11 468,00	32,1	107	39,0
Grecia	3 901,8	29,6	15	9,2
Hungría	2 053,01	22,1	116	18,5
Irlanda	799,14	11,4	48	2,8
Italia	9 566,13	31,7	221	38,0
Letonia	3 410,79	52,8	144	17,8
Lituania	2 202,19	33,7	96	8,6
Luxemburgo	88,70	34,2	94	0,3
Malta	0,46	1,5	0,0	0,0
Países Bajos	369,50	9,9	457	3,0
Polonia	9 464,20	30,3	181	71,8
Portugal	3 340,71	36,2	245	15,0
Rumanía	6 981,62	29,3	223	52,4
Eslovaquia	1 951,49	39,8	256	24,6
Eslovenia	1 185,13	58,5	228	6,2
España	18 572,17	36,7	54	11,0
Suecia	27 980,0	62,5	110	41,0
EU-27	159 558,29	38,6	146	502,6

2.6.1. Los bosques forestales y su modernización, Los Montes Universales-Alto Tajo, España.

Los bosques forestales de madera estructural en España representan un recurso natural invaluable con un potencial significativo que, lamentablemente, se encuentra subutilizado. La región valenciana alberga una variada gama de especies arbóreas, como el pino carrasco y el pino insigne, que son ideales para la producción de madera estructural. A pesar de esta riqueza, la explotación sostenible y la industria de transformación de madera no han alcanzado su máximo potencial. Según la AEIM, Asociación Española de Industria de la madera, en el litoral mediterráneo, Comunidad Valenciana y Catalunya se encuentra el 33% de empresas asociadas a ellos que trabajan con madera industrializada

Este desaprovechamiento tiene consecuencias en términos de desarrollo económico y sostenibilidad, ya que los bosques podrían desempeñar un papel crucial en la construcción sostenible y la mitigación del cambio climático a través de la madera como recurso de construcción de bajo impacto ambiental.

Han surgido iniciativas a través de proyectos como *GO PRORURAL* donde "el objetivo es incentivar la producción de recursos maderables de calidad a la vez que se protegen las masas forestales, generando desarrollo y empleo en zonas gravemente afectadas por el fenómeno de despoblamiento rural".

Esta iniciativa se ha centrado en los Montes Universales-Alto Tajo y se centran modernizar el aprovechamiento de las masas forestales para su posterior uso en el sector de la construcción, más concretamente en la fabricación de productos estructurales. Este proyecto ha generado desarrollo y empleo a través del potencial forestal se ha establecido un modelo de negocio sostenible habiéndose contrastado la viabilidad técnica económica, ambiental y social del modelo. Como se ha comentado anteriormente dejando de lado los beneficios ecológicos y económicos que ha aportado a la región, resuelve también la problemática de la despoblación en el medio rural, generando un medio de vida a través de un empleo y el retorno de personal cualificado.

Las conclusiones que han obtenido con el proyecto *GO PRORURAL* son:

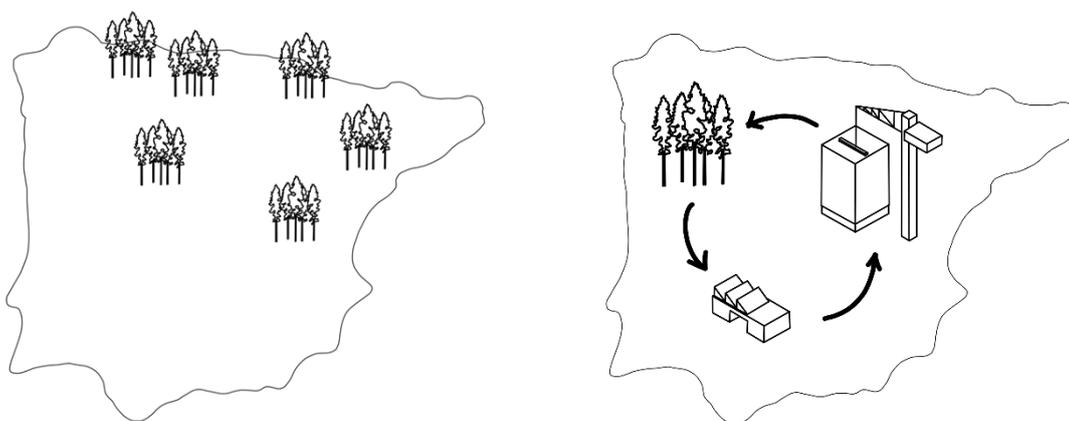
- El potencial de la industria en función de la calidad de la madera, este proyecto ha sido en colaboración con 2 ayuntamientos y han podido fabricar 5400 metros cúbicos anuales de Madera Laminada Encolada. Esta capacidad productiva se dispararía de manera exponencial si se tiene en cuenta todo el territorio, con una colaboración de más de 50 ayuntamientos.
- La caracterización mecánica y las características físico-mecánicas de esta madera, mediante un sistema de mediciones de la frecuencia de vibración, se confirman unas propiedades mecánicas excelentes, con una resistencia media superior a la de las coníferas presentes en España. Lo que hacen a estas maderas ideales para productos estructurales como vigas laminadas o tableros contra laminados.
- La viabilidad económica del modelo de negocio. Con una inversión inicial de 1,7 millones de euros se ha puesto en marcha una planta de fabricación de madera laminada para obtener hasta 4500 m³/año, que, al precio actual de mercado, ofrecería una rentabilidad en menos de 5 años.
- El capital natural de los Montes Universales-Alto Tajo, la calidad de la madera en esta región es muy alta y en los análisis que se hicieron se ponían de manifiesto la infravaloración y el escaso aprovechamiento de los recursos de la comarca.

- La minimización del impacto medioambiental.
- La certificación de la gestión forestal FSC.
- Identificación de servicios del ecosistema o beneficios ambientales en las zonas del proyecto verificados por FSC. Se ha verificado las mejoras en la conservación de especies, en concreto especies rapaces y flora amenazada, así como una mejora de las cuencas hidrográficas que purifican y regulan los flujos del agua.
- Medición de la Huella Social y contribución a los ODS de la fabricación de productos de madera. A través, de este ecosistema maderero se impulsan el desarrollo local, mejorando las condiciones de vida de la región.
- La fabricación de modo sostenible de productos de origen forestal contribuirá al cumplimiento de los ODS, especialmente al logro del Objetivo 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), así como Objetivo 15 (Protección y conservación del medio terrestre).

Cabe destacar que este proyecto ha sido financiado al 80% por el Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural (FEADER). Con un montante total de la ayuda 562.281 euros.

Con este proyecto se puede observar que la modernización de los bosques forestales es completamente rentable y es un modelo que funciona en diferentes escalas, nos puede servir como una estrategia común a seguir entre los diferentes puntos de la región donde tengamos las masas forestales apropiadas.

Gráfico 05 y 06, Principales masas forestales, y ciclo de la madera en España, Elaboración propia.



Podemos concluir, en referencia al grado de industrialización y capacidad de los bosques que el primero de estos factores falta por desarrollarlo y que a día de hoy no tenemos los equipamientos tecnológicos en los aserraderos necesarios para tener una industria competente, sin embargo, en el segundo factor podemos decir que España tiene una capacidad forestal superior a la que se tiene por creencia general y que ya hay diferentes proyectos que han demostrado su viabilidad y los beneficios tanto ecológicos como sociales.

3.Objetivos.

Una vez conocidas cuales son las intenciones con relación a la materia normativa y futuras implantaciones que se aplicaran en un futuro próximo desde la UE y la situación de la industria maderera a nivel de bosques forestales y modernización de la industria vamos a centrarnos en cómo conseguir esa información clara que nos va a permitir tomar decisiones respecto a nuestros proyectos.

Con este estudio comparativo se van a plantear dos hipótesis estructurales para un mismo proyecto, donde el único factor diferencial va a ser la materialidad de la estructura, siendo estos acero y madera.

Una vez tengamos un primer predimensionado de los componentes estructurales de ambos proyectos, en una fase inicial ya podremos tantear cierta información, en materia de impacto ambiental, que nos ayude a marcar el camino que queremos para nuestro proyecto. Extraeremos mediante la herramienta de TURIA estos indicadores ambientales y capacidad de circularidad entre otros, para conocer el impacto real de cada una de las dos estructuras.

Con ello pondremos en perspectiva el coste ambiental de los sistemas industrializados de la madera y otros sistemas más tradicionales como el acero. Mediante esta información podremos cuantificar con datos numéricos cual es el consumo de recursos necesario y cuantas emisiones se generan para construir cada tipología y con ello facilitar la elección de una tipología estructural u otra.

El objetivo que se persigue, aparte de dar a conocer el impacto en referencia a los materiales de construcción es proponer una nueva idea de concebir la arquitectura, teniendo en cuenta factores que normalmente quedan abandonados y son de gran importancia. Se trata de poder demostrar de manera más transparente cuales son las ventajas y desventajas de cada material y conseguir construir de una manera más eficiente y sin hacer un uso desorbitado de los recursos. No se pretende de derrocar al acero o al hormigón, sino de poner en encima de la mesa otras soluciones, conocer de primera mano todas las opciones existentes y a través de estas herramientas poder tomar la decisión más acorde.

4. Metodología y desarrollo.

4.1. Estudio comparativo entre el acero y la madera estructural.

El proceso metodológico de este estudio se basa en un enfoque iterativo, estructurado en cuatro fases principales, donde la selección y el uso adecuado de diversas herramientas tecnológicas juegan un papel crucial. Cada una de estas herramientas se ha elegido por su capacidad para facilitar la toma de decisiones en las diferentes etapas del proyecto, demostrando la versatilidad requerida en la práctica arquitectónica. Como cualquier otro trabajo de investigación lo primero que debemos hacer es hacer una recopilación de información y datos sobre los cuales nos vamos a centrar, lo que nos permitirá empezar con un cierto bagaje y no desde una tabula rasa.

Una vez contemos con esa información que nos irá acompañando a lo largo de todo el estudio y que se irá haciendo más extensa a medida que avancemos podemos empezar con la primera fase, esta consiste en conocer y diseñar el sistema estructural del proyecto. En este caso, se trata de un edificio residencial en la huerta de Valencia, concebido bajo los principios de edificación ligera. Aplicando dicha idea de ligereza a la hora de construir, el profesor Bellmunt postula que los forjados del porvenir deben cumplir una serie de criterios: ser livianos (*representando un 20% del total de la carga*), de concepción simple, autoportantes al máximo, sometidos a procesos de industrialización, erigidos mediante sistemas de construcción en seco, poseer rigidez estructural (*para la adecuada transmisión de cargas horizontales y verticales con mínima deformación*), facilitar la instalación de servicios, ser susceptibles de reparación, tener capacidad de reciclaje, garantizar una larga durabilidad (superior o equivalente a la vida útil del edificio en su conjunto).

Esto apoya la idea de construir ligero y nos da una visión de lo que deberían de ser las próximas generaciones de estructuras, generalmente las estructuras más livianas son las que una vez han cumplido su función pueden desmontarse y reciclar la materia para transformar en otra pieza diferente, en la tabla de resultado podemos observar que el potencial de reutilización de los elementos de construcción en seco, que generalmente son más ligeros, tienen un potencial de reutilización de un 80.5 % para el acero y de un 99,6% para la madera, unas cifras que las estructuras tradicionales de hormigón no puede alcanzar.

Con estos principios, se diseñará el sistema estructural, en este caso al ser un edificio que cuenta con un sótano y dos alturas, se decide que la planta sótano se realice con hormigón mientras que las plantas superiores con un sistema porticado de pilares y vigas de madera. Para los forjados se plantean con paneles contrachapados y una capa de compresión con malla electrosoldada conectados mediante un conector a las viguetas de madera para colaborar conjuntamente. Con todo ello se procede a hacer un modelo estructural, en nuestro caso usando la herramienta de Tricalc.

El segundo paso, es la creación de un archivo **BC3**, un formato estándar de intercambio de información utilizado en la industria de la construcción. Este archivo se elabora con el software **Arquímedes**, que permite gestionar y cuantificar cada uno de los elementos necesarios, que llamaremos partidas, para construir las estructuras modeladas en Tricalc.

Dicho archivo de intercambio lo realizaremos con las partidas que provienen de la Base de datos de la Construcción proporcionada por el IVE. Es importante destacar que se ha de trabajar con dicha base de datos mencionada anteriormente ya que sino TURIA no reconoce el origen de la información y los resultados no contarán con el 100% de confianza. Es decir, cuántos menos datos procedentes de dicha base, el porcentaje de confianza disminuirá y así saldrá reflejado en el informe, en la esquina superior derecha.

Con esta base de datos construiremos cada uno de los dos archivos que contendrán todos los componentes de cada una de las dos estructuras, acero y madera. Dicho software nos permite introducir todas las partidas necesarias para construir el proyecto, en nuestro caso y con

el objetivo de hacer la comparación de una manera más clara y concisa nos centraremos solo en la materialidad de los elementos principales tanto de las vigas como de los pilares. De esta manera la comparación que haremos no estará distorsionada por otras partes de la estructura como la cimentación.

La tercera fase consistirá en cotejar dichos archivos, donde en cada uno de ellos se encuentran nuestras estructuras desgranadas. Para obtener los informes que queremos obtener necesitaremos entrar en la página del IVE ya acceder a la herramienta TURIA, que mas adelante se explicara en detalle, por el momento y para continuar con el proceso, necesitamos saber que TURIA recibirá cada uno de los dos archivos, por separado y te generara un informe con las mediciones de impacto ambiental.

La cuarta y última fase consiste en saber interpretar y leer estos informes que se generan que al final serán sobre los cuales, el arquitecto o el técnico ha de saber interpretar y utilizar esa información para justificar ciertas decisiones.

Como otros tantos procesos de investigación se trata de un proceso iterativo, de ensayo y error, en este caso en particular, tuvimos que hacer varias aproximaciones a través de tablas de predimensionado de elementos, así como hacer varios modelos, con la cimentación y sin ella, para darnos cuenta de que manera la información se comprendía de una manera más sencilla.

La capacidad del técnico, en este proceso, debe mostrar una gran versatilidad, no solo en el manejo de estas herramientas sino también en la toma de decisiones informadas basadas en los resultados obtenidos. La capacidad para transitar entre diferentes softwares, interpretar los datos generados y ajustarse a las necesidades del proyecto, refleja la competencia técnica y la adaptabilidad que se requieren en la profesión. El proceso de iteración, característico de la investigación arquitectónica, demanda constantes ajustes y reevaluaciones, evidenciando que la toma de decisiones es un ejercicio dinámico y continuo.

Gráfico 07, metodología del trabajo de investigación, elaboración propia.



4.1.1. Fase 1. Elaboración del proyecto.

Planos en el anexo

Este proyecto situado sobre la huerta norte de Valencia en *Camí del Farinós 105*, se diseñó con una estructura porticada de acero, cerramientos y cubierta de chapa metálica, con la intención de que fuese un edificio liviano que no generase un gran impacto sobre la huerta. Es por esto por lo que es un proyecto ideal para llevar a cabo esta comparación ya que este cambio en los materiales se puede ver de una manera muy clara. Un edificio de investigación, con almacenamiento de semillas, laboratorios y oficinas, con una capacidad de 1740 metros cuadrados. La ubicación de nuestro proyecto es importante ya que más en adelante cuando vayamos a introducir la ubicación en TURIA se cuantificarán las emisiones respecto al transporte de materias desde las casas comerciales y aserraderos más cercanos.

El sistema porticado será transformado, sustituyendo el acero por soportes de madera laminada y vigas de madera laminada encolada. Este proceso podría ir un paso más allá, cambiando el sistema de paneles metálicos en fachada, por paneles compuestos de madera, las particiones interiores de yeso por tableros ligeros de madera incluso para las carpinterías que habitualmente se eligen de PVC o aluminio podríamos conseguir una mejora de las prestaciones si fuesen de madera.

Con esto podemos ver que todos los elementos del proyecto pueden ser susceptibles de estudio para mejorar su impacto ambiental, además de esto se conocen todas las medidas pasivas, la orientación los elementos que nos producen sombras, tanto voladizos como elementos verdes más que además absorben el calor generado y mejoran el confort del espacio.

Un correcto aislamiento tanto en fachada como en cubierta, unas ventanas acordes con el aislamiento que necesitamos, así como captadores fotovoltaicos de energía, sistemas de geotermia etc., todo en su conjunto nos ayudara a conseguir una mejora en la eficiencia energética.

En este estudio nos vamos a centrar solo en el aspecto estructural y en cómo se construye, ya que es el elemento más pesado en un proyecto y por ello es la fase en la que más recursos energéticos se consume. No tendría sentido hacer este estudio con una estructura de hormigón armado ya que las diferencias serian demasiado amplias y perderíamos la perspectiva general, además es un sistema constructivo que difícilmente se asemeja a una construcción en seco como lo es la del acero o la madera. Por ello, es más interesante hacer la comparación con una estructura metálica ya que ambos sistemas son en seco, con un grado alto de industrialización y con un sistema constructivo muy similar.

4.1.2. Fase 2. Realización del presupuesto, archivo bc3.

Mediante la Base de datos de la Construcción proporcionada por el IVE, que se actualiza cada año, podemos realizar un archivo con información de cada componente de la estructura, sea una viga, un soporte, una zapata etc. Este proceso nos servirá para conocer el proceso de cómo se pase de tener un proyecto dibujado a un proyecto ya redactado por nosotros, en un archivo bc3, que nos permitirá introducirlo en TURIA para ver los indicadores ambientales y facilitarnos a los arquitectos la toma de decisiones, conociendo detalladamente toda la información proveniente de cada material.

Siguiendo este sistema se puede ir aún más allá, con esos mismos datos podemos hacer diferentes suposiciones de sistemas constructivos y con esta herramienta vamos a tener la capacidad de conocer el sistema que tenga un menor impacto y poder trabajar con el sistema que escojamos desde una fase muy temprana en nuestro proyecto, facilitándonos la labor de diseño. Ya desde una fase muy temprana del proyecto, desde la Base de Datos del IVE cuando seleccionamos diferentes sistemas constructivos podemos ya empezar a conocer diferentes valores de emisiones según el tipo de sistema, lo que nos facilita como arquitectos o técnicos competentes a la elección de un sistema u otro.

Como ya hemos indicado nos vamos a centrar solo en el apartado estructural, y para elaborar este presupuesto nos vamos a centrar concretamente en cuatro capítulos, denominaremos capítulos a cada grupo de elementos que definen un conjunto. Los cuatro capítulos que vamos a incluir en el presupuesto son acondicionamiento del terreno (AM), cimentaciones (EC), elementos estructurales (EE) y elementos de cubierta (EQ).

Partiremos de la premisa que tanto el capítulo de AM como el de las cimentaciones será el mismo para cada una de las dos estructuras y la diferencia entre ambos presupuestos será principalmente en los elementos estructurales como soportes y vigas, así como el sistema utilizado para las cubiertas. Para poner más en contraste cada uno de los materiales que estamos comparando, el acero y la madera, se ha hecho este mismo proceso eliminando el apartado de cimentación y acondicionamiento del terreno, de esta manera tenemos una comparación más directa entre los dos materiales que nos ocupan.

Este proceso es el que nos va a ocupar más tiempo, ya que tenemos que transcribir los datos que en nuestro caso nos proporciona nuestro programa de cálculo (Tricalc) que nos va a dar la cantidad de cada material que se encuentra en nuestra estructura, como podemos ver en las *tablas resumen de las mediciones* en el anexo. Como ya hemos mencionado anteriormente, para que TURIA nos indique el 100% de confianza todas las partidas de nuestro presupuesto han de ser pertenecientes al banco general de precios del IVE, sino este porcentaje podría verse disminuido.

En los anexos podemos observar los archivos que se han ido generando primero en Arquímedes, después el presupuesto que hemos generado por capítulos y que posteriormente lo exportaremos a un formato bc3 para introducirlo en TURIA. El cual nos generara unos indicadores de impacto ambiental de nuestra estructura que son los que explicaremos a continuación.

Ver anexo

4.1.3. Fase 3. Herramienta para la evaluación ambiental, TURIA.

TURIA es la herramienta que nos permitirá evaluar el impacto ambiental que generan los proyectos arquitectónicos. Será en este momento donde utilizaremos el archivo bc3 que hemos generado en el apartado anterior para que sea “evaluado”. Esta herramienta actúa como sistema de medición de impacto y nos genera un “Informe de evaluación ambiental del proyecto” con los indicadores ambientales que nombraremos a continuación, en las fases de su ciclo de vida correspondientes a A1-A2-A3-A4 y A5.

Los indicadores que vamos a obtener son los siguientes:

Para evaluar **la toxicidad** de los materiales contamos con:

- Inocuidad, representa el impacto toxicológico de los materiales que conforman el proyecto, es decir, productos contaminantes, nocivos, biodegradables, reactivos y peligrosos, definidos en diferentes normativas y ponderados.
- Ecotoxicidad del agua dulce, evalúa el grado de toxicidad de sustancias químicas o contaminantes en lagos, ríos u arroyos.
- Humana sin efectos cancerígenos.
- Humana con efectos cancerígenos.

Para evaluar el **uso de recursos**, contamos con:

- Huella hídrica, cuantifica el “uso neto de recursos de agua dulce”, es decir el agua que se consume o se retira de fuentes naturales, menos la cantidad que se devuelve posteriormente.
- Materiales consumidos, distinguiendo entre materia prima virgen y contenido reciclado.
- Energía embebida total, no la consumida para su producción, distinguiendo entre renovables y no renovables. Este indicador será también decisivo y el más complejo de entender, por ello más adelante se explicará más afondo. TURIA nos hace la comparación en porcentaje de la energía consumida que es renovable ya que es bien sabido los beneficios que tienen el uso de fuentes de energía renovables.

Para evaluar el **impacto ambiental**, nos centraremos en:

- El carbono secuestrado o descarbonización es un indicador porcentual del CO2 secuestrado respecto al total del proyecto.
- Potencial de calentamiento global se expresa el balance entre el CO2 emitido por todos los gases de efecto invernadero y el capturado por los productos forestales de producción controlada. Podemos prever que este será uno de los indicadores que marcará más diferencia dado las características intrínsecas de la madera.

Para evaluar los **materiales y productos del proyecto** contamos con:

- Potencial de reutilización de cada uno de los materiales. Este indicador está relacionado con la circularidad de los materiales y recursos desde su fase de extracción hasta su capacidad de regenerarse y volver a incorporarse al ciclo de vida de los materiales.

Además, se tiene en cuenta la eficiencia y gestión de los materiales para evitar el agotamiento de las fuentes de materias primas. Esto quiere decir que, TURIA valora nuestro proyecto como un futuro banco de materiales, cuando este termine su vida útil.

En este último apartado contamos con tres columnas de datos, en la primera podemos ver las toneladas de cada material empleado, las otras dos siguientes columnas competen al potencial perteneciente a su circularidad, medido en toneladas que nos cuantifican cuantas son potencialmente reutilizables y, por último, el porcentaje de circularidad de los recursos perteneciente al total. En esta tabla se puede ver que tanto el acero como la madera son material con un gran potencial de reutilización con valores cercanos al 90% en contraposición del escaso 3 % que maneja el hormigón. Por ello, parece que la comparativa tiene más sentido entre estos dos materiales, acero y madera, ya que tienen características similares.

4.1.4. Fase 4. Informes de impacto ambiental y conclusiones.

Una vez hayamos generado los informes sobre el impacto ambiental que generan cada una de nuestras estructuras, se procede a su lectura y comprobación de las hipótesis realizadas. En este caso se han extraído los datos más relevantes y se han reescrito en las tablas de resultados que se muestran en el siguiente punto. Es importante, que nuestra labor vaya más allá de la lectura de los datos, esta es compleja y necesita ser entendida en profundidad ya que tiene en cuenta diversos factores, como la energía propia de los materiales, los recursos que consumen, incluso los gastos de transporte, por ello hay que conocer la terminología y el ámbito de análisis de cada indicador.

5. Análisis de resultados.

En este apartado extraeremos los valores numéricos de ambas evaluaciones para hacer una comparación y comprobar que los datos concuerdan con nuestras hipótesis. Un buen primer baremo de control es conocer cuanto kg de material se ha consumido para los m² existentes, ya que podemos intuir si se han hecho correctamente las mediciones. Como podemos observar para la misma superficie construida el acero es más pesado que la de madera, lo cual encaja en nuestras hipótesis ya que el acero es un material mucho más pesado que la madera, si nos saliese una estructura más ligera de acero que la de madera, sería un indicador de que las mediciones son erróneas.

5.1. Resultados obtenidos con la herramienta TURIA, para el proyecto propuesto.

La hoja de resultados obtenidos de TURIA se presenta en el anexo, bajo la referencia "doc. Resultados de TURIA".

Tabla06. Comparativa de resultados de ambas estructuras. En las hojas de resultados en el anexo ilustra los resultados obtenidos por el programa Turia, a partir de esos datos se ha sintetizado los valores que más nos interesan para extraer nuestras conclusiones.

Indicadores ambientales	Estructura de acero	Estructura de madera
Materiales consumidos	1.139,85 kg/m²	726,60 kg/m²
Productos inocuos	96%	96%
Contenido reciclado	23%	18%
Huella hídrica	20 m ³ /m ²	18 m ³ /m ²
Energía embebida total en el material.	2.213MJ/m²	5.372 MJ/m²
Energía renovable	291 MJ/ m ² , 11%	3525 MJ/ m ² , 68%
Energía no renovable	1922MJ/m ² , 89%	1847 MJ/ m ² , 32%
Potencial de calentamiento global	161,96 kg CO₂eq/m²	--86,52 kg CO₂eq/m²
Descarbonización	1%	159%
Circularidad de los recursos	11%	25%

Como hemos ido adelantando, el capítulo de cimentación es complicado ya que al ser el mismo para ambas estructuras, a pesar de la ligereza de la madera que se traduce en secciones ligeramente menores en la cimentación de la estructura de madera, hemos considerado que era información redundante. Con lo cual, hemos decidido prescindir de ella en ambas estructuras de manera que no interfiera en los datos que manejaremos y distorsionen las evaluaciones finales.

Tabla07. Comparativa de resultados de ambas estructuras **sin contar la cimentación**.

Indicadores ambientales	Estructura de acero	Estructura de madera
Materiales consumidos	825,26 kg/m2	373,09 kg/m2
Productos inocuos	97 %	98%
Contenido reciclado	31 %	25%
Huella hídrica	9 m3/m2	10 m3/m2
Energía embebida total en el material.	2300 MJ/ m2	4806 MJ/m2
Energía renovable	287 MJ/ m2, 12%	3445 MJ/ m2, 71%
Energía no renovable	2013 MJ/ m2	1361 MJ/ m2, 29%
Potencial de calentamiento global	140,52 CO2eq/m2	--137,61 kg CO2eq/m2
Descarbonización	1%	245%
Circularidad de los recursos	16 %	44%

En las hojas de resultados en el anexo ilustra los resultados obtenidos por el programa Turia, a partir de esos datos se ha sintetizado los valores que más nos interesan para extraer nuestras conclusiones. Esta diferenciación de tablas se ha hecho para clarificar la información y poder comparar de manera más directa el acero y la madera.

El presente estudio ha permitido evidenciar la superioridad de la madera estructural sobre otros materiales convencionales, como el acero, en términos de impacto ambiental dentro del sector de la construcción en España. A través de un análisis comparativo y utilizando herramientas de evaluación ambiental como TURIA, se ha demostrado que la madera no solo ofrece ventajas en términos de reducción de emisiones de carbono, sino también en la eficiencia energética durante la fase de construcción y el ciclo de vida de los edificios. Conociendo los datos, lo que significan y el porqué de esos números podemos “cuantificar” cuánto le cuesta al medio ambiente que nosotros, como técnicos decidamos optar por una materialidad u otra. Una cuestión que hasta la fecha en gran medida venía derivada por corrientes estéticas u motivaciones meramente económicas.

Llegados aquí, con todo lo mencionado y con los datos que hemos extraído del informe ambiental del proyecto, expuestos en la tabla 07. “Comparativa de resultados de ambas estructuras **sin cimentación**” y como habíamos adelantado previamente dadas las características intrínsecas de la madera, el indicador más destacado es el de Impacto ambiental. Cabe destacar que estos datos son según la base de datos actual donde se cuenta con una industria que todavía no está consolidada. Una de las conclusiones más relevantes es que la madera, especialmente en su forma industrializada, presenta un menor impacto ambiental en al menos 11 de las 18 categorías evaluadas en estudios de ciclo de vida. Esto incluye una contribución significativamente menor al calentamiento global, un factor crítico considerando las metas de reducción de emisiones establecidas por la Unión Europea para 2030. Estas características

convierten a la madera en un material estratégico para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y las metas de descarbonización del sector. Además, la capacidad de España para adoptar sistemas de construcción en madera ha sido subestimada. Como se menciona en el documento, las condiciones geográficas y climáticas del país son favorables para el desarrollo de una industria maderera robusta, similar a la de países como Italia. Esto sugiere que, con la correcta implementación de políticas y la modernización de las prácticas forestales, España podría no solo satisfacer su demanda interna de madera, sino también posicionarse como un líder en la construcción sostenible a nivel europeo.

Los resultados obtenidos en este estudio también resaltan la importancia de la industrialización de la madera en la construcción, lo que se traduce en una disminución significativa de residuos relacionados con su transporte, al tener una fuente de materias primas más próxima lo que conlleva una mayor eficiencia en la ejecución de las obras. Este aspecto es especialmente relevante en el contexto arquitectónico actual donde prima la necesidad de reducir la huella de carbono de las ciudades.

Según los informes que hemos generado el indicador más claro y dispar que hemos obtenido, el potencial de cambio climático total y grado de descarbonización, el acero cuenta con un potencial de **140,52 kg CO₂eq/m²**, mientras que la madera cuenta con un valor de **-137,61 kg CO₂eq/m²**, como hemos indicado en el apartado donde se explicaban los indicadores, este valor surge del balance de emisiones de gases y la captación biogénica, llevada a cabo por los bosques forestales. Pues bien, el acero no es capaz, dada su naturaleza de absorber ningún tipo de gas de efecto invernadero, por lo que únicamente puede producirlos, de ahí que el grado de descarbonización sea de un **1%**. Sin embargo, la madera sí es capaz de absorber estos gases, es más, podemos deducir que absorbe más gases de los que genera por eso nos sale el valor en negativo y con ello un grado de descarbonización del **245%**.

En relación con el uso de recursos, es importante observar que cantidad de material se ha consumido por m², para la estructura de acero contamos con **825,26 kg/m²**, mientras que para la madera el peso de nuestra estructura se reduce hasta **373,09 kg/m²**, para la misma superficie, 1740 m². En este indicador es donde la ligereza de la madera sale a relucir, en comparación con el acero.

Para poder valorar los indicadores de energía embebida, es necesario conocer la terminología que usa TURIA a la hora de mencionar las diferentes "clases" de energía. Como se puede ver en los informes generados, nos indica la energía embebida como el total de la suma de **PERT Y PERNT**. Desgranando estos acrónimos, **PE**-Energía primaria, **R/NR**- Renovable/No renovable y **T**-Total, podemos deducir que el indicador que nos proporciona TURIA es una simple suma, pero esto nos puede llevar a error, como fue mi caso en una primera instancia, ya que no conocía el origen de ese total que nos indica. Pues bien, el cálculo que se hace es el siguiente;

$$PERE=PERT-PERM \text{ y } PENRE=PENRT-PENRM,$$

siendo PERT y PENRT lo que se nos indica en los informes.

Completando la terminología. La energía ajena a la propia del material, por ejemplo, la necesaria para su procesamiento, se indica con una **E**, mientras que la propia que sí que pertenece a la naturaleza del material, se presenta con la letra **M**. Poniéndole palabras a las expresiones, nos dice que a la energía total **T**, se le va a restar la propia del material **M**, y con ello obtendremos la energía que no pertenece a la naturaleza intrínseca del material **E**.

$$E=T-M$$

Lo que sucede entonces, es que por las propiedades que tiene la madera frente al acero, esta contiene mucha energía en su interior, **M**, de ahí su buen aislamiento tanto térmico como acústico, y su poder de combustión, y consume muy poca energía en su procesamiento por lo que la **E**, es muy baja, estas características en el acero son completamente inversas, con escasa energía propia, **M**, y con necesidad de mucha energía para su procesamiento, **E**.

Con todo esto, pasamos a leer la suma de energía total embebida, para la madera nos sale el valor de **4806MJ/m²** y para el acero de **2300 MJ/m²**, lo que se podría decir que la madera “sale perdiendo” si no conoces de donde salen dichos números. Pero lo que nos viene a indicar es que la madera cuenta por naturaleza, con más energía en su interior que el acero, lo cual no es perjudicial para el medio ambiente, sin embargo, el acero necesita mucha más energía externa ajena a la suya propia para su procesamiento y esta sí que es dañina. Es por esta razón, por la cual si simplemente comparamos los datos sin conocer su origen podría parecer que la madera consume mucha más energía que el acero y esta concepción es errónea.

Con lo cual, según TURIA para la estructura de madera se ha consumido una mayor cantidad de energía, **4806 MJ/m²** y para la estructura de acero **2300 MJ/m²**. Ahora bien, si comparamos que porcentaje de esa energía procede de fuentes renovables, únicamente un 12%, proviene de dichas fuentes para la estructura de acero y un 71%, **3445 MJ/ m²**, para la madera. El mayor consumo de energía por parte de la madera se produce principalmente en las fases A1-A2-A3 que recordemos que corresponde a; extracción de materias primas (A1), transporte a fábrica (A2) y fabricación (A3), en esta fase se consume alrededor del 80-90% de la energía total.

Cabría destacar que TURIA está en continua actualización para facilitar la transmisión de información y a raíz de esta investigación con mis tutores, los desarrolladores de esta herramienta, se está planteando la creación de un nuevo indicador ambiental, ajeno a este sistema de siglas, que nos indica la energía incorporada y que sería la suma de **PERE** y **PENRE** de esta manera con una simple resta se podría obtener **PERM** y **PENRM**, y hacer esta comparación de una manera más sencilla, comparando únicamente la energía necesaria extra que se aporta para el procesamiento de cada material, desgranando más la información.

Terminando con los datos, en los indicadores pertenecientes a la circularidad de los recursos, la estructura de madera cuenta con un grado de **44%** mientras que el acero con un grado de **16%**, estos porcentajes vienen distorsionados por diversos factores como, el hormigón necesario para los forjados o los diferentes pasadores que sirven para llevar a cabo las uniones entre la madera, sin embargo TURIA nos saca el porcentaje total de cada elemento, tanto la madera como el acero al ser materiales ligeros y con sistemas de construcción en seco tienen más de un 90% de circularidad.

6. Conclusiones y futuras líneas de investigación.

En líneas generales, podemos concluir que la madera se destaca como un material valioso en la mitigación del cambio climático, incluso considerando que su procesamiento puede requerir un mayor consumo energético. Este aspecto se ve equilibrado por el hecho de que la energía necesaria para el crecimiento de la madera proviene de una fuente renovable, la luz solar. Esta perspectiva subraya la importancia de una planificación integral en los proyectos de construcción, donde todos los aspectos se aborden simultáneamente para evitar soluciones ineficientes que puedan generar sobrecostos y complicaciones durante la ejecución. Por ejemplo, en lo referente a las estructuras, aplazar decisiones cruciales sobre su integración o la elección de materiales puede derivar en dificultades y sobrecostos que podrían evitarse con una planificación más coherente y anticipada.

Por otra parte, se identifica una necesidad urgente de ampliar la investigación en áreas como la optimización de los procesos de producción de madera y la evaluación del impacto a largo plazo de su uso masivo en la construcción. Es esencial continuar desarrollando herramientas de evaluación como TURIA para asegurar decisiones informadas y alineadas con las metas ambientales nacionales e internacionales. El cambio de paradigma en el sector no se va a producir de un día para otro, es un cambio a gran escala y que no solo los arquitectos debemos llevar a cabo, la propia sociedad ha de estar informada y conocer todo lo que hay detrás de cada proyecto, en cuanto a materia de residuos e impacto ambiental, pero esa capacidad de informar y ser transparente sí que debe nacer de nosotros, como arquitectos, para ello necesitamos seguir trabajando en varios aspectos como la optimización energética en cada fase del ciclo de vida, explorando nuevas formas de reutilizaciones de piezas o secciones de madera taladradas o que presentan alguna imperfección y no puede destinarse al ámbito estructural pero puede ser aprovechada en otra fase del proyecto o incluso en otro proyecto completamente distinto. Por ello es necesario tejer esa red entre diferentes organismos para el aprovechamiento total de todos los recursos, sin generar apenas residuos o materia sobrante que hoy en día sería desperdiciada.

Como todo gran cambio y como hemos mencionado al principio de dicho trabajo, este proceso debe ser respaldado por una normativa a la altura de las circunstancias y estar bajo revisión continua para elaborar una política pública y normativas que promuevan el uso de la madera en la construcción en edificios de cierta envergadura y en contextos urbanos. Estas políticas podrían incluir estudios sobre las barreras regulatorias actuales, así como incentivos para la adopción de la madera en la construcción, tal y como se está haciendo para la adaptación de las viviendas actuales para reducir el rendimiento energético, con ayuda de los fondos Next Generation.

A pesar de los desafíos relacionados con su procesamiento, la madera parece la solución más viable para llegar a los objetivos establecidos desde la UE en materia de emisiones, ya estamos viendo desde los despachos que estos apuestan por hacer uso de estos nuevos sistemas constructivos en edificios de gran envergadura. Pese a ello, es necesario continuar con la investigación y optimizando las prácticas relacionadas con su uso, al tiempo que se fomenta la adopción de políticas públicas que impulsen su integración en proyectos de concurso público y en la rehabilitación post-desastres. La cooperación entre organismos y una normativa sólida son claves para avanzar hacia un modelo de construcción que no solo sea más eficiente y sostenible, sino que también aporte esa frescura a nuestros barrios y ciudades, depurando así la imagen de ciudades congestionadas y asentando las bases para unas ciudades más saludables.

Todo proyecto arquitectónico comienza con un análisis del entorno, con un programa de necesidades, conociendo que es lo que te pide el proyecto y cuáles son sus limitaciones, todo este proceso creativo que hemos ido desarrollando no ha de cambiar ya que es nuestro factor diferencial como arquitectos. Estas nuevas corrientes no se han de adoptar como "verdades únicas" y las decisiones que tomemos no deben depender únicamente de las cifras sino en un

entendimiento más transversal, más humano y creativo que dependerá de nuestro propio contexto y principios de diseño. En un principio era el lápiz y el papel, más en adelante aparecieron los primeros ordenadores y programas de diseño, y el arquitecto ha sabido implementarlo en su manera de trabajar haciendo todas estas herramientas suyas, haciendo crecer la profesión. Pues al igual que se hizo con estas herramientas, somos los arquitectos los que debemos seguir haciendo que la profesión evolucione implementando nuevos programas y maneras de ver la arquitectura y que gracias a los avances tecnológicos están a nuestra disposición, en un momento donde parece que la tecnología nos lleva ventaja y somos nosotros los perseguidores. Durante el transcurso de este trabajo buscando y recopilando información, me he dado cuenta de la envergadura de estas cuestiones que hay detrás de cada decisión en las fases iniciales de un proyecto, que desde la perspectiva de un estudiante pueden parecer meramente estéticas pero una vez el proyecto pasa a construirse existe una responsabilidad por parte del arquitecto sobre todo lo que implica construir de cierta manera. Por ello se me plantea la siguiente cuestión, ¿Estamos los arquitectos concienciados con lo que genera nuestros proyectos en materia de emisiones? ¿Estamos a merced de los avances tecnológicos o de nuestra creatividad? ¿En nuestra formación tenemos las herramientas para lograr ese equilibrio y esa transversalidad que tanto buscamos en un futuro?

Bibliografía

- CaLab - Casa laboratorio. (2023). Cátedra Maderamen: Repositorio de seminarios. Indicadores medioambientales, Joan Romero. <https://calab.es/catedra-maderamen-seminarios/>
- CaLab - Casa laboratorio. (2023). Cátedra Maderamen: Repositorio de seminarios. Construction Revolution, Julen Pérez Santisteban. <https://calab.es/catedra-maderamen-seminarios/>
- Consejo Europeo. (2023, 30 de junio). El Consejo adopta su posición respecto al Reglamento sobre Productos de Construcción. <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2023/06/30/council-adopts-position-on-the-construction-products-regulation/>
- Naciones Unidas. (2023, diciembre). COP 28, La acción por el clima no puede esperar. <https://www.un.org/es/climatechange/cop28>
- Muñoz Serrano, C. (2022, enero). Estudio del impacto ambiental de un edificio: Estrategias para alcanzar un escenario de impacto ambiental nulo o positivo. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/365605/TFG_Carlos_Mu%C3%B1oz_Serrano.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Andersen, J. H., Rasmussen, N. L., & Ryberg, M. W. (2021). Comparative life cycle assessment of cross laminated timber building and concrete building with special focus on biogenic carbon. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111604>
- Arriaga, F. (n.d.). Eficacia estructural y energética de la madera como material de construcción. *AITIM*. https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_3780_10095.pdf
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2021). Level(s): el marco común de la UE de indicadores básicos de sostenibilidad para edificios residenciales y de oficinas, *Manual del usuario n.º 1: Presentación del marco común Level(s) (versión 1.1)*.
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (n.d.). <https://c2ccertified.org/>
- Instituto Valenciano de la Edificación. (2023, julio). Base de datos de construcción. <https://bdc.f-ive.es/BDC23/1>
- Construction21. (2022, enero 13). Análisis del ciclo de vida. <https://www.construction21.org/data/sources/users/4714/analisis-del-ciclo-de-vida.pdf>
- Sustant. (2022, enero). Ecoetiquetas, Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y Declaración Ambiental de Producto (DAP). <https://sustant.es/ecoetiqueta/>

- Forética, Clúster Cambio Climático. (n.d.). COP28: Las agendas se preparan para la conferencia más ambiciosa frente al cambio climático. <https://foretica.org/cop28-las-agendas-se-preparan-para-la-conferencia-mas-ambiciosa-frente-al-cambio-climatico/>
- Instituto Valenciano de la Edificación. (2024). Informe de evaluación ambiental de proyecto TURIA.
- Milicevic, V. (2023, octubre). La Unión Europea y los bosques.
- De Santos, Á. L. (2022). España no es la “mancha marrón” del mapa de Europa: Este es el ranking de países por superficie de bosque. La Razón.
- Haya Leiva, E. (2016). Análisis de Ciclo de Vida. Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental. https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/teoria_acv_mig_ma1.pdf
- Bámaca, et al. (2004). Contenido del carbono en los productos y residuos forestales generados por el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biósfera.
- Gu, H., Nepal, P., Arvantiis, M., & Alderman, D. (2021). Carbon Impacts of Engineered Wood Products in Construction. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99193>
- Passarelli, R. (2018). The Environmental Impact of Reused CLT Panels: Study of a Single-Storey Commercial Building in Japan. World Conference on Timber Engineering.
- Pilathottathil, S. N., & Rauf, A. (2024). Barriers to the Use of Cross-Laminated Timber for Mid-Rise Residential Buildings in the UAE. Sustainability.