

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA.
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA.
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS I

Estudio del impacto ambiental de la
madera como material de
construcción de viviendas
plurifamiliares de varias plantas.

Caso europeo.

Humberto Arreaza Rubín.
Director: Jaume Avellaneda Díaz-Grande

Barcelona, marzo de 2012.

Credencial de mérito para optar al título de Doctor en Arquitectura, Energía y Medio
Ambiente otorgado por la Universidad Politécnica de Cataluña.

Investigación financiada por la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela

Tabla de contenido

Lista de tablas.....	6
Lista de ilustraciones:	9
1. Objeto de investigación y marcos de referencia.	11
1.1. Objeto de investigación.....	13
1.1.1. Introducción.....	13
1.1.2. Planteamiento del problema:.....	16
1.1.3. Objetivos.	19
1.1.3.1. Objetivo General:	19
1.1.3.2. Objetivos Específicos:	19
1.1.4. Hipótesis:	20
1.2. Marcos de Referencia:	21
1.2.1. Marco metodológico.....	21
1.2.1.1. Delimitación y alcance de la tesis.....	21
1.2.1.2. Lineamientos generales de investigación.....	22
1.2.1.3. Procedimientos de elaboración de la tesis:	25
1.2.2. Marco conceptual.	28
1.2.2.1. Vivienda plurifamiliar de varias plantas construida con madera. Caracterización.....	28
1.2.2.2. Perfil de la producción y la transformación de la madera.....	38
1.2.2.3. Aspectos resaltantes de esta sección:	49
1.2.2.4. La madera como material de construcción:	56
1.2.2.5. Principales productos de madera empleados en la construcción:	61
1.2.2.6. Durabilidad de la madera.	75
2. Caracterización de impactos.....	85
2.1. Impactos del uso de la madera en la construcción de VPVP.	87
2.1.1. Breve introducción.	87
2.1.2. Emisiones de CO ₂	88
2.1.3. Energía Incorporada a la madera.....	93
2.1.4. Impacto por producción y uso de madera para construir VPVP.....	95
3. Cuantificación de los impactos considerados.	97
3.1. Impacto por emisiones de CO ₂ y energía incorporada.	99
3.1.1. Estudio muestra. Caracterización.	99
3.1.2. Cálculos y Resultados.....	101
3.1.2.1. Emisiones de CO ₂ por corte y aserrío.	101
3.1.2.2. Emisiones de CO ₂ por energía incorporada	104

3.1.2.3.	Emisiones por transporte y mantenimiento	105
3.1.3.	Balance físico de emisiones.....	106
3.1.4.	Balance general físico-energético de emisiones	107
3.1.5.	Aspectos resaltantes de esta sección:	110
3.2.	Selección de fuente de datos de impacto.....	112
3.2.1.	Consideraciones iniciales:	112
3.2.2.	Revisión de fuentes:.....	114
3.3.	Impacto por producción y consumo de la madera:	121
3.3.1.	Madera necesaria si aumenta su uso para la construcción de VPVP en Europa	121
3.3.1.1.	Proyección de uso de la madera en la construcción de VPVP. Consideraciones previas:.....	124
3.3.1.2.	Impacto de la construcción con madera sobre la dinámica productiva y ecológica europea.....	125
3.3.2.	Proyecciones al año 2050.....	129
3.3.3.	Aspectos resaltantes de esta sección:	138
3.4.	Evaluación del impacto de diferentes casos de VPVP:	141
3.4.1.	Consideraciones iniciales.....	141
3.4.2.	Presentación de los casos de estudio.	142
3.4.3.	Cálculos de impacto.	151
3.4.3.1.	Cálculo de cantidades de madera por caso.	151
3.4.3.2.	Cálculo de emisiones de CO ₂ de cada caso.	153
3.4.3.3.	Cálculo de energía incorporada de cada caso.	154
3.4.4.	Comparaciones:	156
3.4.4.1.	Comparación de cantidad de madera empleada en la construcción.....	156
3.4.4.2.	Comparación de emisiones de CO ₂	157
3.4.4.3.	Comparaciones de energía incorporada:.....	160
3.4.4.4.	Comparación de casos estudiados con caso testigo	163
3.5.	Estudio de incorporación específica de materiales.....	169
3.5.1.	Consideraciones iniciales.....	169
3.5.2.	Impacto de cada tipo de elemento de los edificios estudiados según sus materiales:	170
3.5.3.	Escenarios hipotéticos:.....	176
3.5.3.1.	Presentación de los escenarios.....	176
3.5.3.2.	Impacto de los escenarios considerados por área de construcción:.....	183
3.5.3.3.	Comparaciones entre los escenarios considerados.....	185
3.5.4.	Impacto de los escenarios considerados por elementos constructivos:	187
3.5.4.1.	Peso Unitario por elementos constructivos.....	188
3.5.4.2.	Energía incorporada unitaria por elementos constructivos:	190
3.5.4.3.	Emisiones de CO ₂ unitarias por elementos constructivos.	192
3.5.4.4.	Aspectos resaltantes de esta sección:	196
4.	Conclusiones.....	199
4.1.	Conclusiones generales:	201
4.1.1.	Producción de madera en Europa y su relación con la demanda para la construcción de VPVP... 201	
4.1.2.	Emisiones de CO ₂ generadas por la producción, transformación y uso de la madera.	202
4.1.3.	Otros impactos: Energía incorporada y madera empleada en los elementos constructivos.	204
4.1.4.	Cantidad de madera empleada en la construcción de VPVP.	205
4.1.5.	Durabilidad e impacto.....	206
4.2.	Acciones para minimizar el impacto de la madera como material de construcción principal de VPVP.....	207
4.2.1.	Acciones específicas a la construcción	207
4.2.2.	Otras consideraciones para la minimización del impacto del uso de la madera en general:	209
4.3.	Comentario final:	210

5.	Bibliografía	211
6.	Anexos.	217
6.1.	Tablas de producción mundial y europea de madera por tipos	218
6.2.	Tablas de uso y transformación de la madera por tipos.	219
6.3.	Ficha del edificio testigo. Proyecto 4, Sevilla.....	220
6.4.	Matriz de impacto del edificio testigo.	221
6.5.	Rendimiento de la madera como combustible.	226
6.6.	Proyecciones al 2050 de madera utilizada, emisiones de CO2 y energía incorporada según escenario.	228

Lista de tablas

Tabla 1. Perfil promedio de viviendas construidas con madera en Europa.....	28
Tabla 2. Elevación máxima de edificios de madera según sistema constructivo y tipo de cargas.	29
Tabla 3. Límite de plantas de estructuras de madera según normas contra incendios.	30
Tabla 4. Proporciones del aprovechamiento de la madera de un árbol	50
Tabla 5: Equivalencia del volumen de madera aserrada y destinada a pulpa en proporciones de rolliza industrial y rolliza bruta a escala mundial.....	52
Tabla 6: Flujo de transformación de la madera en Europa. (miles de m3).....	54
Tabla 7: Flujo de transformación de la madera en Europa	54
Tabla 8: Producción de madera rolliza. Comparación Europa Mundo. Miles de toneladas.....	55
Tabla 9: Relación entre el consumo promedio de madera/1000 hab entre Europa y el mundo...	59
Tabla 10: Aproximación al porcentaje de madera consumida en construcción en Europa.	59
Tabla 11: Dimensiones típicas de secciones de elementos de madera maciza (mm).....	62
Tabla 12. Períodos de reposición de elementos de fachada (mantenimiento)	80
Tabla 13. Comparación de impacto de la madera vs. otros materiales.....	87
Tabla 14: Relación de CO ₂ fijado, y humedad de la madera.....	89
Tabla 15: Fijación de CO ₂ por volumen y peso para maderas secas de distintas densidades	90
Tabla 16: Fijación de CO ₂ por volumen y peso para maderas secas de distintas densidades (cont.)	90
Tabla 17. Energía térmica incorporada	94
Tabla 18. Energía eléctrica incorporada.....	94
Tabla 19. Fijación de CO ₂ en la madera.....	101
Tabla 20. Fijación de CO ₂ por unidad de volumen y peso de madera.....	101
Tabla 21. Emisiones y almacenamiento de CO ₂ /m ³ de árbol procesado.....	102
Tabla 22. Emisiones de madera utilizada por desechos de corte y aserrío	102
Tabla 23. Emisiones atribuibles a los desechos de corte y aserrío.....	103
Tabla 26. Emisiones por energía incorporada al procesamiento de la madera.	104
Tabla 24. Energía eléctrica incorporada.....	104
Tabla 25. Energía térmica incorporada	104
Tabla 27. Emisiones atribuibles al transporte.....	105
Tabla 28. Emisiones por mantenimiento	106
Tabla 29. Almacenamiento de CO ₂ eq en elementos de la fachada.....	106
Tabla 30. Balance físico de emisiones.	107
Tabla 31. Balance general físico energético de emisiones.....	107
Tabla 32. Ejemplo de variación de datos de impacto en la bibliografía.....	115
Tabla 33. Datos de emisiones y energía incorporada. Berge.....	115
Tabla 34. Desglose de las fuentes de emisiones de CO ₂ . Porcentaje.	116
Tabla 35. Datos emisiones y energía incorporada desglosada valores. Dataholz	116
Tabla 36. Datos emisiones y energía incorporada. Energy Manual.	117
Tabla 37: Impacto del Kerto ^R de Finnforest.	118

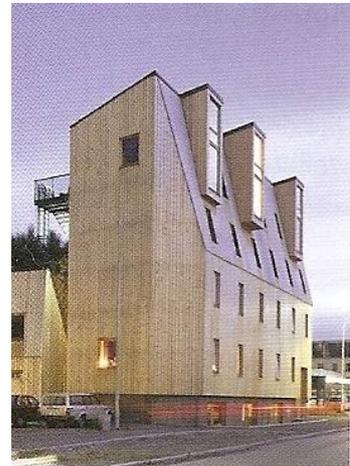
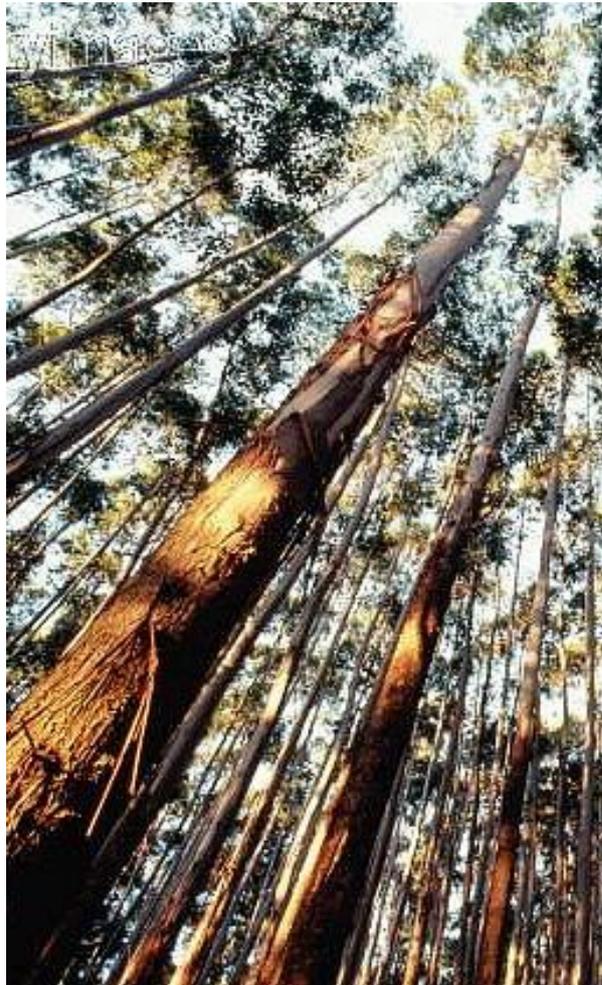
Tabla 38: Comparación de emisiones de CO ₂ de los productos de madera según diversas fuentes. (kgCO ₂ /Ton)	118
Tabla 39: comparación de energía incorporada en los productos de madera según diversas fuentes (MJ/Ton)	119
Tabla 40: Datos de impacto de referencia de los productos de madera considerados en los casos de estudio.	120
Tabla 41: Proyección al 2015 de nuevas viviendas construidas en Europa (miles)	122
Tabla 42: Porcentaje de viviendas construidas con madera en países de Europa.	123
Tabla 43: Área promedio aproximada de viviendas en países de Europa.....	123
Tabla 44: Proyección de Consumo de madera en la construcción de VPVP.	125
Tabla 45: Volumen de Madera rolliza industrial necesario para la construcción de viviendas... 126	
Tabla 46: Balance de la Madera Rolliza Industrial en Europa.	127
Tabla 47: Proyecciones de áreas forestales y producción de rolliza bruta 2050.....	127
Tabla 48: Proyección de la población europea al 2050.	130
Tabla 49: Viviendas nuevas por cada 1000 habitantes en Europa al 2015.....	130
Tabla 50: Proyección de nuevas viviendas al 2050.....	131
Tabla 51: Proyección del volumen de madera necesario para la construcción de VPVP al 2050.	132
Tabla 52: Proyección de madera rolliza industrial para la construcción de VPVP al 2050.....	132
Tabla 53: Posible evolución de la demanda de madera para la construcción de VPVP.	134
Tabla 54: Volúmenes y pesos de madera y derivados. Caso 1.....	151
Tabla 55: Volúmenes y pesos de madera y derivados. Caso 2.....	152
Tabla 56: Volúmenes y pesos de Madera y derivados. Caso 3.....	152
Tabla 57: Cálculo de emisiones caso 1.....	153
Tabla 58: Cálculo de emisiones caso 2.....	153
Tabla 59: Cálculo de emisiones caso 3.....	153
Tabla 60: Energía incorporada. Caso 1.....	154
Tabla 61: Energía incorporada. Caso 2.....	154
Tabla 62: Energía incorporada. Caso 3.....	154
Tabla 63: Resumen de impactos de los casos estudiados.	155
Tabla 64: Cantidad de madera empleada en cada caso según tipo.	156
Tabla 65: Cantidad total de madera empleada en cada caso.	156
Tabla 66: Emisiones de CO ₂ de cada caso estudiado.....	157
Tabla 67: Comparación energía incorporada en los casos estudiados.	160
Tabla 68: Resumen de impactos de los casos estudiados y testigo.....	165
Tabla 69: Caso 1. Resumen de peso de materiales.	170
Tabla 70: Caso 1. Resumen de impactos por área de construcción.	170
Tabla 71: Caso 1. Emisiones según tipo de elemento constructivo	171
Tabla 72: Caso 1. Energía incorporada por elemento constructivo.....	171
Tabla 73: Caso 2. Resumen de peso de materiales.	172
Tabla 74: Caso 2. Resumen de impactos por área de construcción.....	172
Tabla 75: Caso 2. Emisiones según tipo de elemento constructivo	172
Tabla 76: Caso 2. Energía incorporada por elemento constructivo.....	173
Tabla 77: Caso 3. Resumen de peso de materiales.	174
Tabla 78: Caso 3. Resumen de impactos por área de construcción.....	174
Tabla 79: Caso 3. Emisiones según tipo de elemento constructivo	175
Tabla 80: Caso 3. Energía incorporada por elemento constructivo.....	175
Tabla 81: Escenarios. Peso unitario por elemento constructivo.	188
Tabla 82: Escenarios. Energía incorporada por elementos constructivos.....	190
Tabla 83: Emisiones de CO ₂ unitarias por elementos constructivos.....	192
Tabla 84: Producción mundial de madera rolliza (10 ³ m ³).	218
Tabla 85: Producción mundial de madera RC (10 ³ m ³).	218
Tabla 86: Producción mundial de madera RNC (10 ³ m ³).	218
Tabla 87: Distribución de uso de la madera RC en Europa. (10 ³ m ³).....	219
Tabla 88: Flujo de madera RI en Europa (10 ³ m ³).	219
Tabla 89: Poder calórico medio de diversos combustibles (MJ/kg).....	226
Tabla 90: Relación entre PCM y emisiones de diversos combustibles	226
Tabla 91. Proyección de área de VPVP a construir en 2015 y 2050.	229

Tabla 92. Proyección de volumen de madera para la construcción de VPVP según escenario. 2015.....	229
Tabla 93. Proyección de volumen de madera para la construcción de VPVP según escenario. 2050.....	229
Tabla 94. Proyección de emisiones según escenario. 2015.....	230
Tabla 95. Proyección de emisiones según escenario. 2050.....	230
Tabla 96. Proyección de energía incorporada según escenario. 2015.....	230
Tabla 97. Proyección de energía incorporada según escenario. 2050.....	230

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Producción mundial de rolliza (10^3 m^3).....	39
Ilustración 2: Rolliza total por continente (2008)	40
Ilustración 3: Producción mundial de RNC (10^3 m^3).....	41
Ilustración 4: Producción de RNC por continente.....	41
Ilustración 5: Producción mundial de RC (10^3 m^3).....	43
Ilustración 6: Producción de RC por continente	43
Ilustración 7: Producción mundial de rolliza según tipo. 2008.....	44
Ilustración 8: Producción europea de rolliza según tipo. 2008.....	44
Ilustración 9: Producción europea de rolliza industrial según tipo. 2008.....	44
Ilustración 10: Producción de RC en Europa (10^3 m^3).....	46
Ilustración 11: Proporciones de uso de RC en Europa. 2008.....	46
Ilustración 12: Flujo de la madera rolliza industrial en Europa.....	48
Ilustración 13: Producción vs. Importación de RI en Europa. 2008.....	48
Ilustración 14: Esperanza de vida útil de edificios de diversos materiales.	76
Ilustración 15: Porcentaje de edificios demolidos por material según edad	76
Ilustración 16: Aprovechamiento y residuos del apeo de un árbol.	92
Ilustración 17: Energía utilizada para producir 1 m^3 de madera.	93
Ilustración 18: Construcción de la fachada. Emisiones según su origen ($\text{kg CO}_2/\text{m}^2$).....	108
Ilustración 19: Mantenimiento de la fachada. Emisiones según origen ($\text{kg CO}_2/\text{m}^2$).....	109
Ilustración 20: Emisiones de CO_2 . Construcción vs. Mantenimiento	110
Ilustración 21: Proyección de la situación forestal mundial para el año 2050.....	128
Ilustración 22: Demanda de Madera para VPVP.....	134
Ilustración 23: Porcentaje de demanda	134
Ilustración 24: Madera producida (10^6 m^3)	136
Ilustración 25: Madera consumida (10^6 m^3).....	136
Ilustración 26: Madera consumida (% prod).....	136
Ilustración 27: Viviendas nuevas (millones).....	136
Ilustración 28: Combinaciones de maderas en los casos de estudio (kg).	155
Ilustración 29: Comportamiento de los Distintos indicadores de emisiones.....	158
Ilustración 30: Emisiones totales de cada caso estudiado (kgCO_2)	158
Ilustración 31: Comportamiento de los indicadores de energía incorporada.	161
Ilustración 32: Energía incorporada total en cada caso estudiado (MJ).	161
Ilustración 33: Comparación de indicadores. Casos de estudio vs. Caso testigo.....	165
Ilustración 34: Diferencia entre indicadores. Casos de estudio vs. Caso testigo.....	166
Ilustración 35: Proporción de indicadores de casos estudiados vs. caso testigo.....	167
Ilustración 36: Caso 1 Impactos de elementos constructivos por área de construcción.	170
Ilustración 37: Caso 2 Impactos de elementos constructivos por área de construcción.	172
Ilustración 38: Caso 3 Impactos de elementos constructivos por área de construcción.	174
Ilustración 39: Escenarios. Peso unitario (kg/m^2).....	184
Ilustración 40: Escenarios. Energía incorp. (MJ/m^2)	184
Ilustración 41: Escenarios. Emisiones unitarias (kgCO_2/m^2)	184
Ilustración 42: Escenarios. Peso unitario por elemento constructivo.....	188
Ilustración 43: Escenarios. Energía incorporada por elementos constructivos.....	191
Ilustración 44: Emisiones de CO_2 unitarias por elementos constructivos	193
Ilustración 45: Poder calórico medio de diversos combustibles (MJ/kg)	227
Ilustración 46: Relación entre PCM y emisiones de diversos combustibles.....	227

1. Objeto de investigación y marcos de referencia.



Créditos imágenes página anterior, en sentido horario:

Bosque; tomado de: <http://www.flickr.com/photos/14580684@N08/3777479091/sizes/z/in/photostream/>

Tronco seccionado; foto Humberto Arreaza, Ecobuild 2009. Londres.

Tablero; tomado de: (Dataholz, 2008)

Edificio; tomado de: (Detail, 2006)

1.1. Objeto de investigación

1.1.1. Introducción

De manera intuitiva se percibe a la madera como un material de construcción que por naturaleza aporta sostenibilidad a los edificios en los que se le utiliza. En los últimos años se ha ido conformando una clara tendencia a promover el uso de la madera de forma cada vez más intensa en múltiples presentaciones entre ellas una gran variedad de productos destinados a la construcción de edificios.

Tal tendencia puede generar una demanda, explotación, transformación y utilización creciente de madera que en caso de no contar con una evaluación objetiva del impacto ambiental que esta situación puede llegar a producir, se podrían cometer errores que reduzcan o tal vez lleguen a eliminar el carácter sostenible de este material.

En vista de lo anterior, se ha propuesto un estudio del impacto ambiental que puede producir el uso de la madera como material de construcción tomando en cuenta variables e indicadores que permitan hacer una evaluación cuantitativa, lo más precisa posible, del la magnitud del impacto en el caso específico de la construcción de edificios de vivienda plurifamiliar de varias plantas (VPVP) en Europa.

Se ha escogido como ámbito de estudio el tema de las VPVP europeas debido a que se ha observado en los últimos años una importante tendencia a construir este tipo de edificios con madera de forma integral¹ en diversos países del continente europeo y en caso de consolidarse esta tendencia en el tiempo, se ha considerado necesario conocer objetivamente el impacto que una eventual construcción creciente de VPVP de madera podría tener en Europa.

Para desarrollar el estudio de impacto de la madera como material de construcción de VPVP se han seleccionado 4 variables de impacto: la relación entre la demanda de madera para la construcción y la disponibilidad del recurso en el tiempo; el impacto por emisiones de dióxido de carbono; el impacto por energía incorporada y la cantidad de madera utilizada en la construcción.

La primera variable se estudia haciendo una revisión de la cantidad de madera producida en Europa y los diferentes destinos que tal producción tiene para poder determinar qué proporción de la madera producida se destina a la construcción de VPVP relacionada con una aproximación a la cantidad de VPVP construidas en Europa, y así poder aproximarnos al diagnóstico de posibles conflictos por disponibilidad del recurso en el tiempo o por demanda del mismo por parte de otros sectores industriales. Este estudio se hace para el momento presente con proyecciones hacia posibles escenarios en los años 2015 y 2050.

El impacto por emisiones de CO₂ se estudia mediante el indicador de emisiones unitarias por área de construcción expresado en kgCO₂/m². Para cuantificar este indicador se hace un estudio piloto detallado de un m² de fachada construida con madera donde se consideran las emisiones generadas por los residuos de madera no aprovechados provenientes de los procesos de corte y apeado de árboles, de transformación de la madera en diferentes productos y las emisiones generadas por los combustibles o fuentes energéticas empleados en la transformación de la madera. También se consideran las emisiones por concepto de transporte y de resinas.

Además del estudio de la fachada, se toma referencia de variadas fuentes de información acerca de las emisiones de CO₂ y energía incorporada en la producción de diversas presentaciones de madera y productos derivados que normalmente se

¹ (estructura, cerramientos, acabados)

emplean en la construcción de VPVP. Entre las fuentes consideradas se seleccionó una que sirvió de referencia para el resto del estudio.

Una vez caracterizadas las variables de impacto y sus respectivos indicadores, se procedió a aplicarlos a casos de estudio seleccionados. Del estudio de tales casos se obtuvo un perfil comparado del impacto por emisiones, energía incorporada y cantidad de madera utilizada en la construcción. De igual manera, se comparó el impacto de los distintos elementos constructivos y se elaboraron escenarios hipotéticos de edificios de VPVP constituidos por diversas combinaciones de tales elementos constructivos con el fin de aproximarnos a las combinaciones más eficientes conjugando la minimización del impacto con la posibilidad de construir edificios de varias plantas resistentes a las solicitudes estructurales. Finalmente, se compararon los indicadores obtenidos en el estudio de casos con un caso de VPVP de construcción convencional²

Para concluir el estudio se presentan las conclusiones agrupadas por áreas temáticas rematando el texto con la propuesta de una serie de acciones para minimizar el impacto del uso de la madera como material principal de construcción de VPVP.

Se aspira que el desarrollo de este trabajo y la exposición de sus conclusiones puedan contribuir a hacer más objetiva la percepción de la madera como material de construcción sostenible mediante el reconocimiento de sus fortalezas, debilidades y la definición de las acciones requeridas para aumentar las fortalezas y minimizar las debilidades de este material renovable de forma que en un futuro próximo se pueda promover una explotación y uso cada vez más extendido, pero también cada vez más sostenible.

² Hormigón armado, bloques pesados de arcilla, acabados cerámicos, etc.

1.1.2. Planteamiento del problema:

La madera ha formado parte del hábitat construido desde las épocas más remotas hasta nuestros días. Tanto en los refugios más primitivos como en viviendas dotadas de la más alta tecnología, la madera ha estado y está presente de diversas formas y cumpliendo variadas funciones desde la estructural hasta la de acabados.

Dentro del paradigma de la sostenibilidad, la madera resalta como material de referencia pues se trata de un material natural, renovable, biodegradable, aislante térmico y acústico, además de formar parte del ciclo del carbono, razón por la cual existe la tendencia generalizada a concebir la madera como un material sostenible o ecológico, siendo tomada en cuenta a la hora de plantear acciones contra los peligros que implica el cambio climático global.

La importancia de la madera no solo como material de construcción, sino también en la elaboración de numerosos productos industriales ha requerido de una gran variedad de transformaciones que han abierto un importante campo de aplicaciones y usos para este material obtenido de los árboles. Las investigaciones e innovaciones tecnológicas aplicadas a la madera han sido dirigidas, en gran medida, a aumentar su durabilidad, puesto que siendo la madera un material natural y orgánico está expuesta a la acción de numerosos agentes bióticos y abióticos que pueden contribuir a que su vida útil, en general, sea muy inferior a la de otros materiales de construcción con aplicaciones equivalentes.

Paradójicamente, al aplicar más tecnología a la madera para aumentar su durabilidad y versatilidad, se disminuyen los atributos sostenibles y naturales de sus productos derivados los cuales contienen sustancias tales como insecticidas, fungicidas, hidrófobos, sales y resinas, entre otros, que en gran medida la desnaturalizan convirtiéndola en un material potencialmente contaminante, de dudoso reciclaje y de combustión no aconsejable debido a la posible emisión de gases tóxicos, además del impacto ambiental producido por el uso de tales sustancias y de la tecnología y procesos que tal uso requiere. Sin embargo, no todos las innovaciones aplicadas a la durabilidad y protección de la madera son “desnaturalizantes” ni se puede afirmar que toda la madera que pueda perder parte de su carácter natural sea perjudicial al ser humano o al ambiente.

Los elementos componentes de una edificación construida con madera no están expuestos a las mismas condiciones ambientales ni riesgos, ni a las mismas solicitaciones estructurales o exigencias de durabilidad, por lo tanto, no toda la madera utilizada para construir una edificación requiere el mismo nivel de transformación o “desnaturalización”, ni tendrá que producir el mismo grado de impacto.

En todos los procesos relacionados con el aprovechamiento de la madera como material de construcción, se generan residuos y se incorpora energía de diversas fuentes y con diversos fines (transformación, transporte, etc.). Parte de los residuos son aprovechados ya sea como insumos para la elaboración de productos derivados de la madera, como combustible, o para otros usos que generalmente acaban en la degradación al igual que los residuos no aprovechados, los cuales se convierten en fuentes de emisiones de CO₂. En cuanto a la energía incorporada, existe la tendencia a simplemente asumir que se le incorpora en una medida muy inferior que en el caso de otros materiales.

La construcción de edificios de varias plantas destinados al uso de vivienda, pueden consumir importantes volúmenes de este recurso, aún más si por razones de sostenibilidad o economía, son construidos principalmente con madera. En el caso de afianzarse en el tiempo la tendencia a construir edificios de madera de varias plantas, es muy probable que se eleve considerablemente la demanda de madera por parte del sector de la construcción en Europa, situación que podría generar presión sobre bosques y plantaciones forestales de conocidos riesgos ambientales.

Se hace necesario entonces conocer y manejar de la manera más objetiva posible la cuantía del impacto que la madera como material de construcción de edificios de viviendas plurifamiliares de varias plantas (VPVP) puede generar al menos en lo que respecta a emisiones de CO₂, energía incorporada y cantidad de material requerido para la construcción con el propósito de aproximarnos a un diagnóstico de las posibles debilidades de la madera de cara a la sostenibilidad de su uso y así lograr la mayor eficiencia posible en la utilización de los productos fruto de las modificaciones de la madera.

Al conocer los puntos débiles de la madera, se podrán plantear acciones efectivas para minimizar su posible impacto negativo, fortaleciendo su carácter positivo y finalmente poder promover el uso de la madera como material de construcción de VPVP sin el temor a que tal uso intensivo pueda contribuir a situaciones de insostenibilidad.

1.1.3. Objetivos.

1.1.3.1. Objetivo General:

Estudiar de manera cuantitativa el impacto del uso de la madera en la construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas tomando en cuenta la disponibilidad del recurso en el tiempo, el impacto de su transformación en diversos productos y del empleo de tales productos en la construcción con la finalidad de aproximarnos a la optimización de la sostenibilidad del uso de la madera como material de construcción.

1.1.3.2. Objetivos Específicos:

- Determinar la disponibilidad en el tiempo de la madera como material de construcción, tomando en cuenta los procesos silviculturales y la demanda de madera y sus derivados requerida para la construcción de viviendas comparada con la demanda de otras industrias.
- Determinar el impacto que produce la transformación de la madera en productos y el uso de estos en la construcción, tomando en cuenta las emisiones de CO₂, la energía incorporada a los diferentes productos y el impacto asociado a la durabilidad y a la cantidad de material utilizado para construir.
- Proponer estrategias de diseño, construcción, mantenimiento y criterios de durabilidad fundamentados en los principios de la sostenibilidad aplicables a las edificaciones construidas con los productos de madera considerados.

1.1.4. Hipótesis:

Si una utilización creciente de madera en la construcción de edificios de considerable tamaño como las viviendas plurifamiliares de varias plantas se efectúa contando con un diagnóstico objetivo de las fortalezas y debilidades que de cara a la sostenibilidad posee dicho material, se podrá minimizar fallas, aumentar fortalezas y por lo tanto optimizar y difundir el uso sostenible de la madera como material principal de construcción de edificios de varias plantas.

1.2. Marcos de Referencia:

1.2.1. Marco metodológico.

1.2.1.1. Delimitación y alcance de la tesis.

El ámbito de estudio de esta tesis es la cuantificación del impacto ambiental que puede generar el uso de la madera como material de construcción concretamente de viviendas plurifamiliares de varias plantas.

Para la cuantificación del impacto se toman en cuenta los elementos constructivos principales de un edificio construido integralmente de madera. Tales elementos son la estructura, en este caso paredes portantes y forjados de madera; cerramientos verticales, considerando el cuerpo principal de la fachada y superficie externa y las cubiertas en los casos de estudio que requieran su consideración.

En los cálculos de impacto no se consideran otros componentes del edificio tales como acabados, equipamiento ni cimientos debido a que se ha considerado que en muchas ocasiones tales elementos pueden ser comunes en edificios construidos con distintos tipos de materiales y por lo tanto incluirlos sería equivalente a imputar tales impactos a la madera como material, situación que desvirtuaría la percepción y las comparaciones.

Tampoco se consideran los revestimientos ni tratamientos para la durabilidad de las maderas como t3pico separado de estudio. Se considera que un estudio de impacto de revestimientos y tratamientos de madera por ejemplo de fachadas ameritar3a el desarrollo de otros campos de investigaci3n.

La meta perseguida por este trabajo consiste en estudiar de manera cuantitativa el impacto generado por el uso de elementos constructivos elaborados con madera y derivados de la madera en la construcci3n de edificios multifamiliares, de manera que el uso de estos materiales presente el menor impacto posible en lo concerniente principalmente a la cantidad de material empleado, a las emisiones de di3xido de carbono y a la energ3a incorporada.

El prop3sito de alcanzar la meta indicada es diagnosticar las debilidades y fortalezas de la madera y contribuir a la mayor eficiencia y sostenibilidad en su utilizaci3n como material de construcci3n.

1.2.1.2. Lineamientos generales de investigaci3n.

Para el caso especificado de viviendas plurifamiliares de varias plantas (VPVP) construidas con madera, se consideran por una parte los aspectos referidos al proceso de dise1o y construcci3n enfocada a la sostenibilidad y por otra, aspectos concernientes a la industria de la madera. Una adecuada gesti3n de ambos aspectos puede contribuir significativamente a una verdadera sostenibilidad de la madera como material de construcci3n.



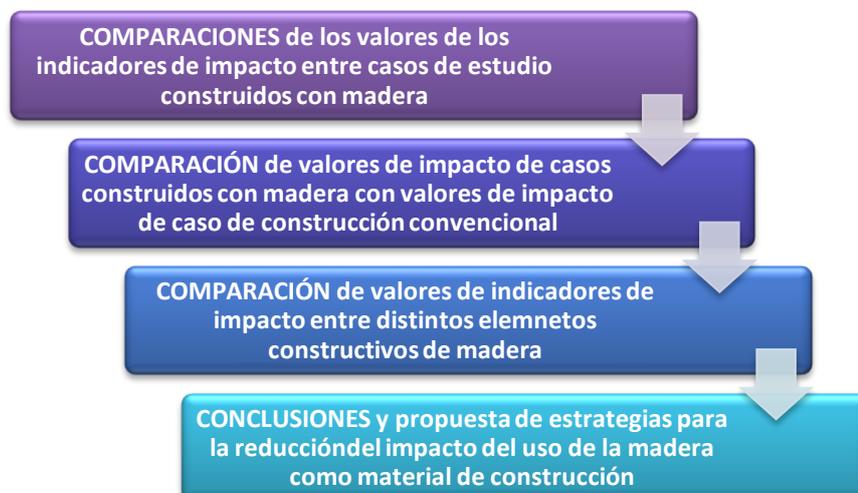
Para comenzar, se considerará el impacto que tiene tanto la producción, como el empleo de la madera en la construcción, en este caso de edificaciones de vivienda de varias plantas. También se analizan algunos aspectos concernientes a la industria Forestal y Maderera. Se contempla este tópico aunque no sea influenciado directamente por la arquitectura y la construcción, pues es indispensable considerar la disponibilidad del recurso en el tiempo y la demanda que puede tener la madera en el sector de la construcción, situación que estará relacionada con los niveles de producción y con la demanda de madera desde otros sectores industriales.



Posteriormente, se realizan cálculos del impacto de la utilización de la madera en la construcción de VPVP considerando como principales variables las referidas a las emisiones de CO₂ atribuibles a la producción, transformación y uso de la madera, a la energía incorporada y a la cantidad de madera necesaria para construir tales edificios, considerando también el impacto de los residuos de madera no aprovechados.



Para la correcta apreciación de los indicadores de impacto manejados en la tesis se harán comparaciones aplicando tales indicadores a varios casos de estudio de edificios de VPVP de madera, a un caso de construcción convencional y de forma más detallada al impacto que podrían presentar varios escenarios hipotéticos de distintas combinaciones de materiales de madera y derivados que se pueden emplear para la elaboración de los principales elementos constructivos de los edificios construidos con madera. Una vez valorados y comparados los indicadores se podrán elaborar las conclusiones de la tesis.



1.2.1.3. Procedimientos de elaboración de la tesis:

El proceso detallado de elaboración de la tesis constará de las siguientes etapas:

- Recopilación y elaboración de la información de base:

Se reunirán, procesarán y ordenarán todos los datos e información pertinente para poder alcanzar los objetivos y ejecutar los lineamientos generales de investigación previstos en la definición de la tesis. Con este fin se construirá un marco conceptual. Se caracterizará el impacto y se definirán las variables de impacto a ser consideradas y sus respectivos indicadores.

- Cuantificación del impacto:

Con base en los indicadores de impacto definidos, se elaborarán cálculos de cada uno de ellos en diferentes condiciones que puedan ser comparadas.

En cuanto al impacto por emisiones de CO₂, se presentará un estudio detallado de las emisiones atribuibles a la construcción de una unidad de superficie de paramento ciego de fachada de madera, se partirá desde la cantidad de carbono contenida por kg de madera; se considerarán las emisiones correspondientes a residuos de madera no aprovechados, a la generación de la energía incorporada en la transformación, de los productos que conforman la fachada, al transporte y a las resinas contenidas en algunos de los productos.

Una vez elaborado el estudio de la fachada, se compararán los resultados obtenidos con los datos contenidos en diversas fuentes de información con el fin de unificar datos según la mayor coincidencia con los resultados obtenidos y según la información de dichas fuentes sea lo más completa posible. De tales fuentes se extraerán datos de emisiones de CO₂ y de cantidad de energía incorporada a distintos productos de madera y sus derivados.

Luego de unificar la fuente de información acerca de los valores unitarios de los indicadores contemplados, se procederá a aplicar dichos indicadores a tres casos de estudio de VPVP de madera contruidos con distintos

materiales de madera o derivados. Para esto se comenzará por calcular la cantidad de madera, en volumen y peso, empleada en la construcción de una unidad de vivienda de cada uno de los casos; clasificándola según el tipo de presentación llegando a un indicador final de peso de madera por unidad de área de construcción (kg/m^2)

Con el manejo de los indicadores iniciales de emisiones de cada material expresados en kgCO_2/kg de material relacionados con el peso unitario de material se determinarán las emisiones unitarias por superficie de la vivienda expresadas en kgCO_2/m^2 .

De manera similar se procederá con respecto al impacto por energía incorporada obteniendo el indicador unitario expresado en MJ/m^2 .

También se calculará, sobre la base de información disponible y no aplicándola a los casos de estudio, el posible impacto que puede generar una demanda creciente de madera para la construcción de VPVP sobre la base productiva forestal europea y sobre la demanda de otros sectores industriales que emplean la madera como insumo, haciendo proyecciones de posibles situaciones de demanda de madera para la construcción de VPVP en el futuro.

- Comparación de indicadores de impacto:

Una vez calculados los indicadores de impacto de cada caso de estudio, se procederá a compararlos para tener una primera aproximación de cuales presentaciones de madera o derivados de ella generan el menor y el mayor impacto por cada edificio completo.

Luego se comparará el impacto generado por los casos de estudios contruidos con madera con los indicadores de impacto de un caso de VPVP contruido con estructura de hormigón armado y cerramientos pesados de bloques de arcilla.

Finalmente se compararán escenarios hipotéticos planteados recomblando elementos constructivos elaborados con diferentes combinaciones de presentaciones de madera y derivados, haciendo comparación entre los indicadores de impacto de cada escenario y también de cada elemento constructivo.

- Elaboración de las conclusiones:

Una vez comparados los indicadores de impacto desde los distintos puntos de vista considerados, se podrán elaborar conclusiones en la cuales se pueda establecer diferencias cuantitativas de impacto de distintas combinaciones de presentaciones de madera y elementos constructivos comparados entre sí y con el caso de construcción convencional, llegando a una evaluación objetiva de la fortalezas y las debilidades que la madera como material de construcción puede tener de cara a la sostenibilidad y también proponer una serie de acciones o estrategias a ser implementadas con el fin de agrandar dichas fortalezas y disminuir tales debilidades de la madera de forma que se pueda lograra una correcta difusión del uso de la madera como material de construcción en un futuro cercano.

1.2.2. Marco conceptual.

1.2.2.1. Vivienda plurifamiliar de varias plantas construida con madera. Caracterización.

La construcción de viviendas con madera como principal material de construcción en Europa se ha dado a gran escala en los últimos años principalmente en el caso de viviendas unifamiliares y únicamente en los países escandinavos en donde las casas de madera representan el 90% del total de viviendas unifamiliares construidas (García & De la Peña, 2003). También resulta muy extendido el uso de madera y tableros derivados de madera en la construcción de casas unifamiliares en Estados Unidos y Canadá.

En el caso de Europa, a manera de resumen, podríamos decir que los promedios de construcción de viviendas con madera son los siguientes:

Tabla 1. Perfil promedio de viviendas construidas con madera en Europa.

Región europea	% viviendas construidas con madera
Países escandinavos	90
Resto de Europa:	
Gran Bretaña	25
Alemania	20
Bélgica	15
Francia	10
Promedio ³	17,5

Fuente: (García & De la Peña, 2003)

La información contenida en la Tabla 1 se refiere principalmente a la construcción de viviendas unifamiliares. Las viviendas plurifamiliares construidas con madera, tradicionalmente han sido muy escasas y mucho menos frecuente el caso de edificios de varios pisos.

Una de las principales causas de la poca difusión de este tipo de edificios ha sido el carácter restrictivo de las normas de seguridad que habían sido impuestas en el

³ Cálculo propio basado en los datos de la tabla.

pasado, específicamente en lo que respecta a la seguridad contra incendios, razón por la cual en la mayoría de los casos, las viviendas plurifamiliares en madera no pasaban de los dos pisos de elevación.

Investigaciones y avances tecnológicos realizados en los últimos 25 años en lo referente a materiales y sistemas constructivos en madera han hecho posible la definición teórica de edificios de varios pisos (multi-storey buildings) los cuales, por convención se acepta que son aquellos que poseen más de dos pisos de elevación (Buchanan A. , 2008)

La capacidad portante de los sistemas constructivos desarrollados permitiría construir edificios bastante altos. Según documentos de Lignum-Lignatec (Meili, 2000), las construcciones con madera potencialmente pueden superar los 10 niveles sin mayores inconvenientes desde el punto de vista estático y de resistencia de las estructuras. Dependiendo del tipo de presentación de la madera y del sistema constructivo, la elevación máxima de un edificio en madera puede variar bastante como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Elevación máxima de edificios de madera según sistema constructivo y tipo de cargas.

Sistema constructivo	Elevación máxima en pisos para cargas verticales.
Entramado ligero de madera	5 a 8
Sistema porticado de LVL	15 a 25
	Elevación máxima en pisos para cargas laterales.
Paredes de madera contrachapada (plywood shear walls)	5 a 8
Paredes sólidas de LVL (LVL shear walls)	Más de 8
Marcos de madera resistentes a momento (timber moment resisting frames)	5 a 10
Resistencia a sismos de diafragmas de contrachapado para forjados.	15 a 25

Fuente: (Buchanan A. , 2008)

A pesar de que el desarrollo de la madera como material de construcción libera de limitaciones constructivas y estáticas, la mayor limitante para la altura de los edificios de madera han sido las normas de seguridad contra incendios, las cuales se han suavizado, permitiendo en el mejor de los casos llegar a cinco pisos (Lattke &



Imagen tomada de: (Peruarki. , 2011). Fotografía Will Pryce.

Edificio Stadthaus, Londres. 2009

Edificio de vivienda construido en el barrio londinense de Hackney, constituido en su totalidad por paneles contralaminados de madera provistos por la empresa KLH. Incluso el foso de ascensores está constuido con el material mencionado. Fue edificado en 2009, su construcción en sitio se completó en 11 meses con un equipo de cuatro carpinteros. Las piezas prefabricadas fueron hechas a la medida en planta.

Cuenta con diseño del arquitecto Andrew Waugh (Waugh Thistleton Architects). Posee un riguroso sistema de protección contra incendios.



Imágenes tomadas de:
http://www.balco.se/website1/1.0.1.0/116/2/?item=art_art-s1/115&group=art_art_grp-s1/3 y
<http://www.forestacion.gov.ar/>

Conjunto Lymnologen, Växjö, Suecia. 2009.

Este conjunto residencial está constituido por cuatro edificios de 7 plantas (seis de madera + PB en hormigón armado) con 67 apartamentos en cada edificio. Toda la estructura superior está constituida por elementos compuestos que constan de paneles contralaminados, contrachapados y madera serrada, hechos a medida en planta y transportados y ensamblados en sitio. Debido al clima fue construido bajo una cubierta levadiza que permitía trabajar con lluvia o nieve y proteger la madera de los agentes atmosféricos previamente a los acabados finales exteriores.



Imagen tomada de: (Detail, 2006)

Viviendas comunitarias Svartlamoen, Trondheim, Noruega. 2006.

Este edificio posee estructura de muros portantes de madera contralaminada tanto en el interior como en el exterior, donde a su vez están recubiertos por lamas verticales de madera sin tratamiento. Está constituido por dos bloques dispuestos en “L”, uno de los cuales presenta dos plantas y el otro cinco.

La estructura es toda prefabricada y pre dimensionada de manera exacta, condición que permitió que toda la estructura fuese ensamblada en el sitio en tan solo 10 días.

Fue aceptado para participar en el Premio Mies 2007.



Imagen tomada de: (Waldorf, 2005)

Proyecto Wälluden, Växjö, Suecia

Proyecto experimental de viviendas plurifamiliares construidas con madera de varias alturas, (3, 4 y 5 plantas) en la foto vemos los edificios de 4 y 5 plantas. Están elaborados íntegramente en madera combinando entramados de marcos compuestos con paneles de madera contralaminada logrando estructuras mixtas en la búsqueda de estructuras mixtas basadas en innovaciones sobre el tradicional sistema de marcos entramados de madera natural desarrollados por la empresa sueca Södra Timber.



Imagen tomada de:
http://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen_Wohnhaus_in_Berlin_von_Kaden_Klingbeil_eroeffnet_217581.html?bild=3



Imágenes tomadas de:
<http://natterer-bcn.com/web/berlin.htm>

Edificio e3, Berlín. 2008

Edificio construido en el centro de Berlín con estructura de pórticos de madera laminada encolada y forjados de paneles de madera contralaminada. Posee 7 plantas y estrictas medidas de seguridad contra incendios como la vía de escape unida con puentes al volumen principal y construida con hormigón armado. Proyectado por los arquitectos Kaden + Klingbeil, Berlín. (Jaeger, 2009)

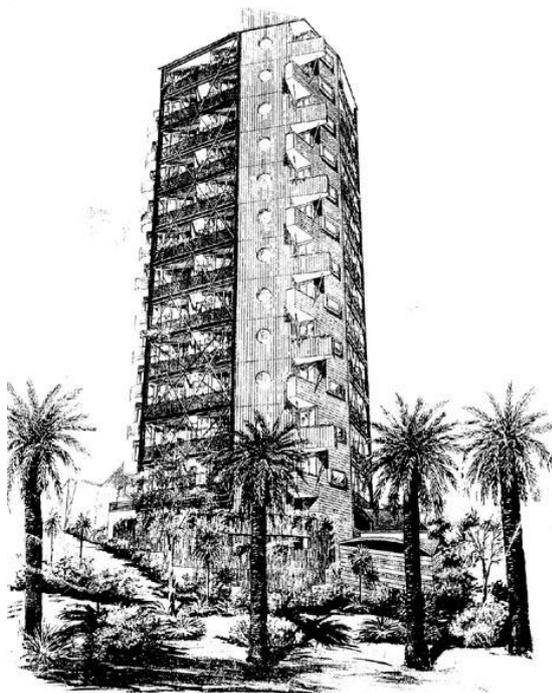


Imagen tomada de: (Moore, 2000)
<http://www.timberdesign.org.nz/files/Scotia%20Place.pdf>

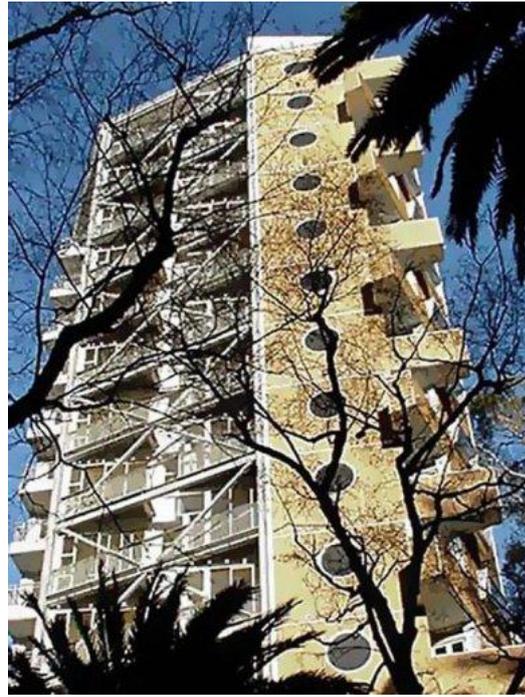


Imagen tomada de:
<http://www.citysales.co.nz/property/3357/metallica-scotia/>

Edificio Scotia Place, Auckland, Nueva Zelanda. 2000

Este edificio construido en Nueva Zelanda, posee estructura mixta con forjados de madera laminada y anillos concéntricos de “steel frame” capaces de soportar las cargas sísmicas y del viento. Su altura es de 12 plantas. Si bien no es en su totalidad de madera, resulta un ejemplo interesante pues la estructura mixta permite, según los autores, además de lograr un edificio en altura con todos los forjados y suelos de madera, “desarrollar el sistema estructural de mayor efectividad/costo que permita alcanzar las metas funcionales del edificio y además cumplir con los requerimientos impuestos por la normativa” (Moore, 2000) (traducción del autor).

Hemos revisado la tendencia que en los últimos años ha presentado la construcción de viviendas plurifamiliares de varios pisos construidas con madera como material principal. El desarrollo de nuevas presentaciones de madera y sus derivados, así como la innovación en sistemas constructivos han abierto muchas posibilidades para esta novedosa tipología edilicia, la cual se encuentra todavía en fase un tanto incipiente de experimentación e introducción en las ciudades europeas y también en Oceanía y Japón.

1.2.2.2. Perfil de la producción y la transformación de la madera.

En esta sección se muestra un perfil de la producción y la transformación de la madera en Europa. Para comenzar, con el objeto de considerar el contexto mundial, se presentan datos de la producción de madera a nivel mundial desglosándolos por continentes tomando como fuente de información los anuarios elaborados por la FAO (FAO yearbook), en su sección “FAO-forestry”. Posteriormente, se presentan los datos específicos a Europa.

Producción. Datos mundiales:

Se conoce como madera rolliza la producción bruta de madera, la que sale del bosque o la plantación, de la cual una porción se destina a combustible (leña) y otra se dirige al aserradero para su transformación (rolliza industrial) y de la cual se obtiene la madera aserrada, la madera destinada a la industria de la pulpa, de los cartones y el papel y los derivados de la madera tales como paneles aglomerados, contrachapados destinados a la construcción, producción de muebles y otros productos y pellets destinados a la generación de energía por quema de biomasa.

El objetivo de conocer la producción global y europea de maderas es poder realizar una aproximación a las proporciones de madera que se producen según su tipo y de usos que se les da a los distintos productos y subproductos provenientes de los árboles y poder por esta vía saber con cuánto recurso disponemos para la construcción de VPVP y plantear, en la medida de las posibilidades, proyecciones sobre la disponibilidad del recurso en el tiempo.

Para comenzar, se presentan las cifras de producción mundial de madera rolliza, para luego desglosarla en sus dos tipos principales: rolliza de coníferas (RC) y de no coníferas (RNC). La importancia del desglose radica en el hecho de que generalmente, las especies coníferas son de crecimiento más rápido, por lo tanto se privilegia su producción en bosques sostenibles o plantaciones ya que su rotación es más intensa, las no coníferas tienden a tener crecimiento menos rápido que las

coníferas por lo que su siembra en plantaciones es menor y su rotación menos intensa, debido a eso, se considera más sostenible la explotación de coníferas que de no coníferas.

Producción mundial de madera rolliza

Estos datos son la sumatoria de la madera rolliza conífera y no conífera. En la Ilustración 1, se observa un aumento sostenido de la producción entre los años 2002 y 2007 con una importante caída en 2008 a niveles del año 2004, probablemente debido a la crisis financiera internacional que comenzó en 2007. En cuanto a la participación de los distintos continentes, se observa en la ilustración 2, una repartición bastante equitativa de la producción entre las primeras 5 regiones con Asia (29%) como máximo productor y Latinoamérica y el Caribe (14%) como el menor productor y una producción mínima de 2% en Oceanía. La producción Europea representa el 19% de la producción mundial de madera rolliza bruta.

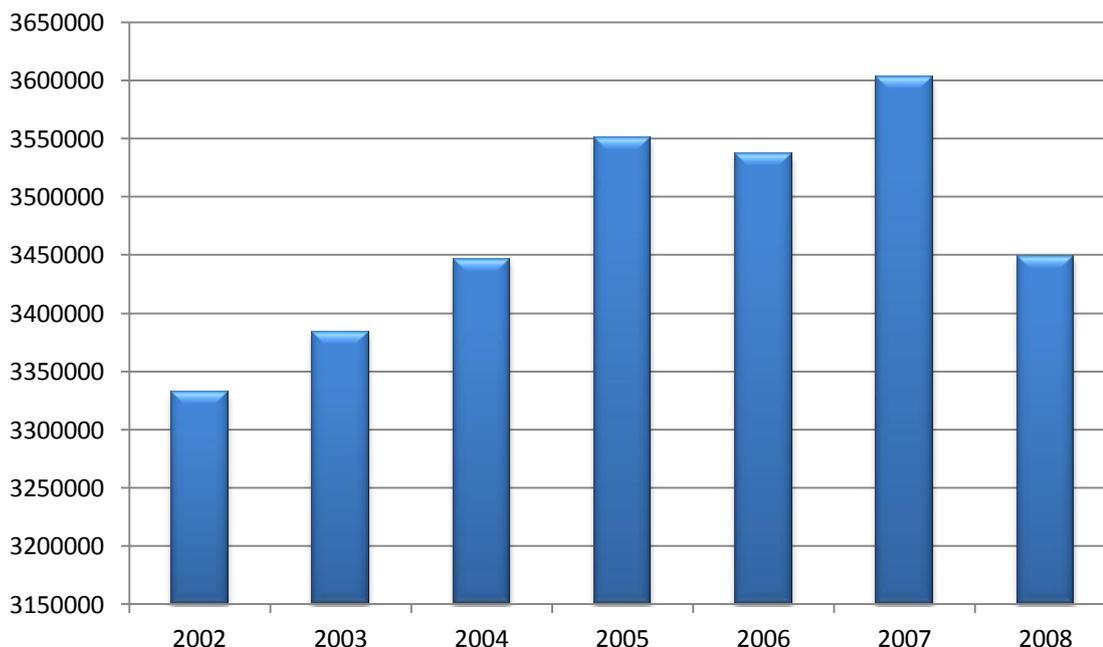


Ilustración 1: Producción mundial de rolliza (10³ m³)

Fuente: (FAO, 2008); (FAO, 2010)

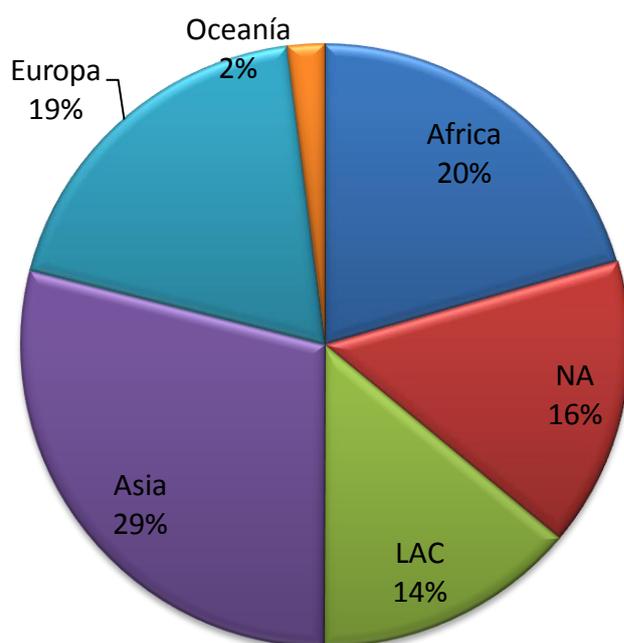


Ilustración 2: Rolliza total por continente (2008)

Producción mundial de madera rolliza no conífera (RNC)

En la Ilustración 3 se observa como la producción mundial de rolliza no conífera (RNC) aumentó de manera sostenida entre los años 2002 y 2007 y bajó ligeramente en 2008. La Ilustración 4 muestra como Europa y Norteamérica⁴ (NA) producen relativamente mucho menos rolliza no conífera que Asia, África o Latinoamérica y el Caribe (LAC), por lo tanto se puede asumir que la mayor parte de la rolliza no conífera producida en el mundo está constituida principalmente por maderas leñosas tropicales producidas en África, LAC y Asia

⁴ NA: Norteamérica en datos de la FAO-forestry incluye USA y Canadá, no incluye México.

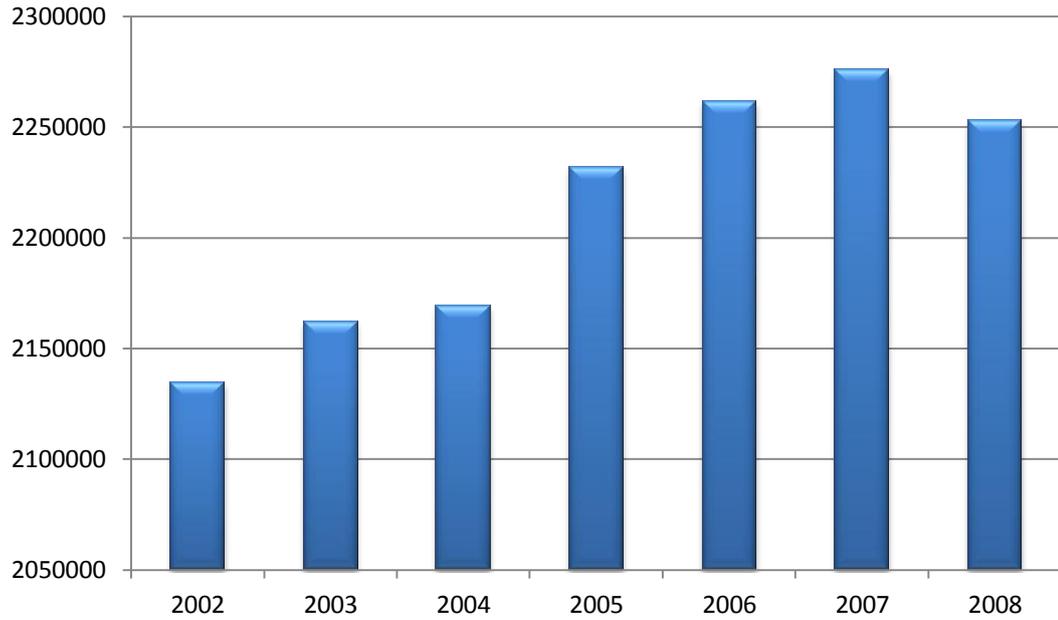


Ilustración 3: Producción mundial de RNC (10³ m³)

Fuente: (FAO, 2008); (FAO, 2010)

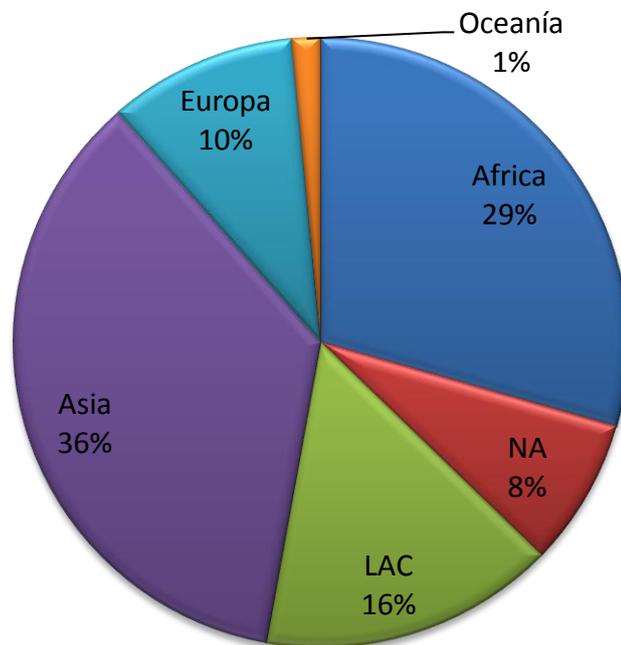


Ilustración 4: Producción de RNC por continente.

Producción mundial de madera rolliza conífera (RC).

Comparando las ilustraciones 1, 3 y 5 se percibe como el descenso en la producción total de rolliza (Ilustración 1) en los años 2006 y 2008 se debe básicamente al descenso en la producción de RC (Ilustración 3). Además se nota como la producción de RNC es menos inestable que la producción de RC, ya que solo presenta una leve reducción de un 1,01% entre los años 2007 y 2008 a diferencia de la RC que experimentó un descenso de 9,88% en el mismo período de tiempo.

Comparando las ilustraciones 4 y 6 se puede comprobar cómo los mayores productores de madera RC que son Europa con un 36% y Norteamérica con un 30%, son los menores productores de RNC y que por su parte, Asia, siendo el principal productor de madera rolliza, produce mucho menos rolliza conífera que Europa o Norteamérica.

Haciendo un contraste entre las ilustraciones. 3 y 5, se percibe claramente como la mayor parte de la madera rolliza producida en el mundo corresponde a madera rolliza no conífera. Esto constituye un hecho resaltante pues a efecto de la construcción de viviendas la mayor parte de las maderas que se emplean son coníferas, además que estas últimas, por ser de rápido crecimiento e intensa rotación en las plantaciones son especies de producción más sostenible que las RNC y por lo tanto, más recomendables para ser empleadas para la obtención de productos industriales derivados de la madera para uso a gran escala como es el caso de la construcción de viviendas.

En la Ilustración 7 se observa como la mayor parte de la madera rolliza producida en el mundo es de tipo no conífera (RNC), la cual corresponde a casi dos tercios de la producción total (65%) mientras que la madera rolliza conífera (RC) representa apenas un poco más de un tercio (35%) del total global. Esta situación es digna de atención pues a efectos de calcular el balance entre la madera que se utiliza para la construcción de viviendas y la madera que se produce, habría que prestar mayor atención a la producción de RC la cual es la madera menos producida y que como hemos visto en la Ilustración 5, en los últimos cinco años ha tendido a ser más fluctuante.

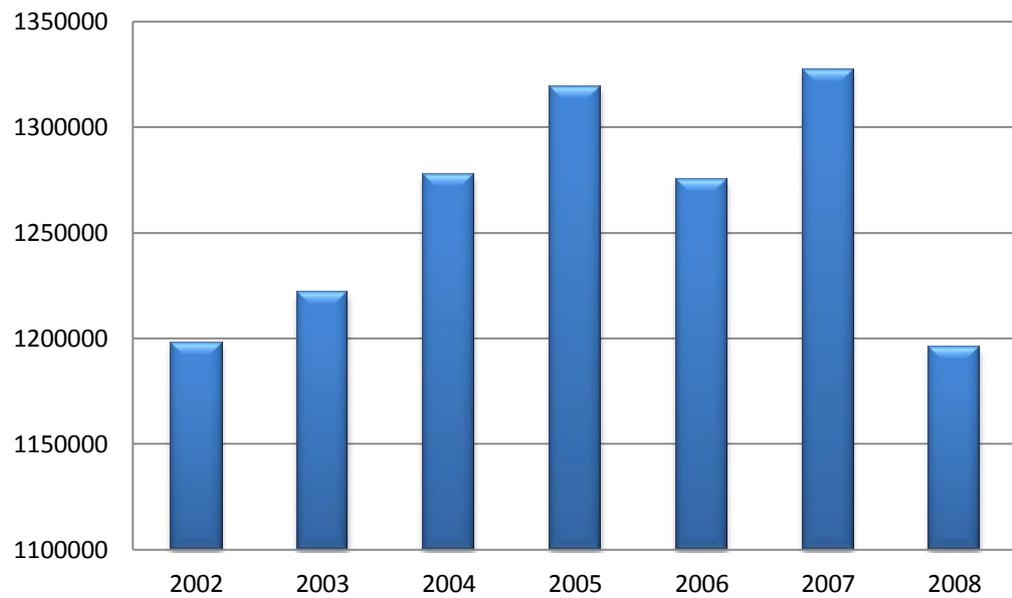


Ilustración 5: Producción mundial de RC (10³ m³).

Fuente: (FAO, 2010)

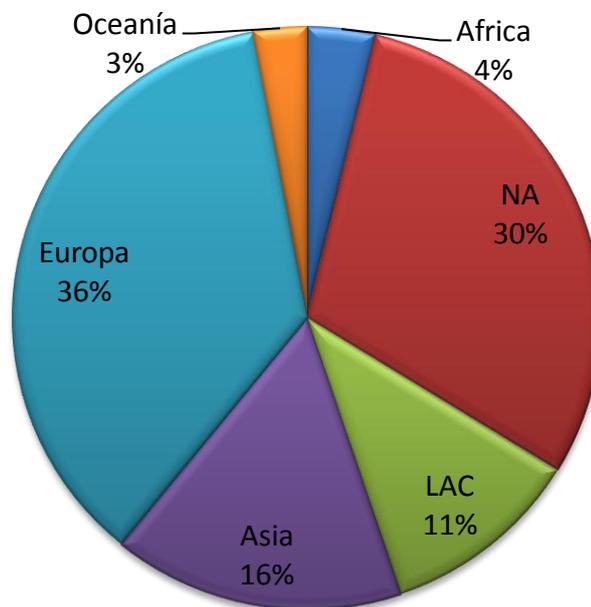


Ilustración 6. Producción de RC por continente

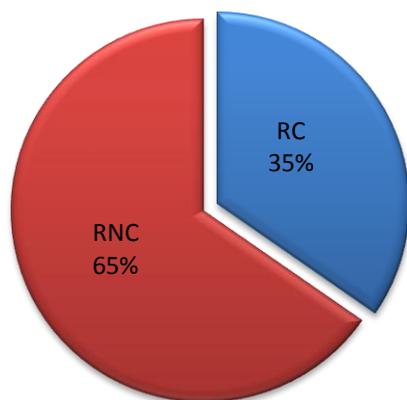


Ilustración 7: Producción mundial de rolliza según tipo. 2008.

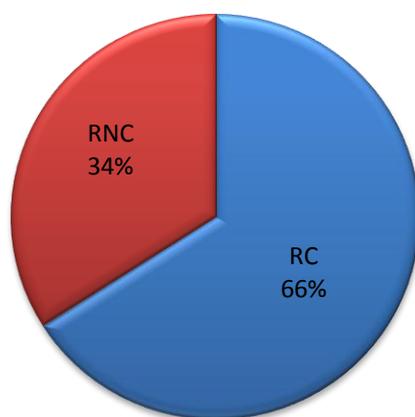


Ilustración 8: Producción europea de rolliza según tipo. 2008
Fuente: (FAO, 2010).

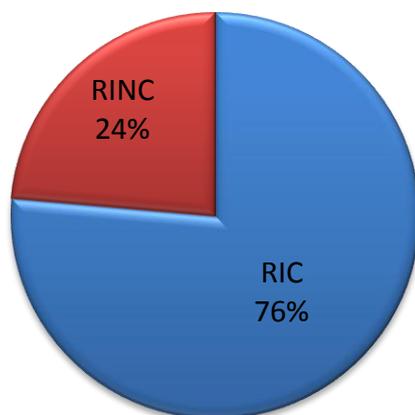


Ilustración 9: Producción europea de rolliza industrial según tipo. 2008.
Fuente: (FAO, 2010).

Producción. Datos Europeos:

Una vez conocidos los datos de producción mundial de madera, y de las relaciones entre la producción global y la europea, pasaremos a revisar la situación específica del continente europeo. Para esto, se muestra primero la información concerniente a la producción de madera rolliza conífera y no conífera, y en cuáles proporciones tal madera llega a transformarse en madera rolliza industrial, la cual se emplea en la obtención de madera aserrada, tableros, etc., productos que constituyen los insumos principales de la industria de la construcción.

Como puede apreciarse al comparar la Ilustración 8 con la Ilustración 7, la composición de la producción de madera rolliza en Europa presenta una tendencia inversa al promedio mundial. En el caso Europeo, $2/3$ de la producción corresponden a rolliza conífera (RC) y tan solo un tercio a rolliza no conífera (RNC). La proporción de coníferas con respecto a NC es más favorable aún en el caso de la madera rolliza industrial (RI), donde las coníferas (RIC) representan más de $3/4$ partes de la producción y las RNC apenas $1/4$ (Ilustración 9).

Tal situación se puede considerar favorable, pues indica que la mayor parte de las maderas destinadas al procesamiento industrial provienen de especies de rápido crecimiento y de rotación intensa tanto en bosque como en plantaciones, situación que favorece el manejo sostenible de la obtención de la madera empleada como material de construcción.

Con el fin de afinar la percepción de la situación de la producción de maderas útiles para construir en Europa, observemos lo que pasa específicamente con las maderas rollizas coníferas (RC). Tal como presentan los datos las estadísticas de la FAO, parte de la madera rolliza bruta se destina a la generación de energía y otra parte a la transformación industrial, la primera parte la denominaremos aquí energía y la segunda “rolliza industrial conífera” (RIC).

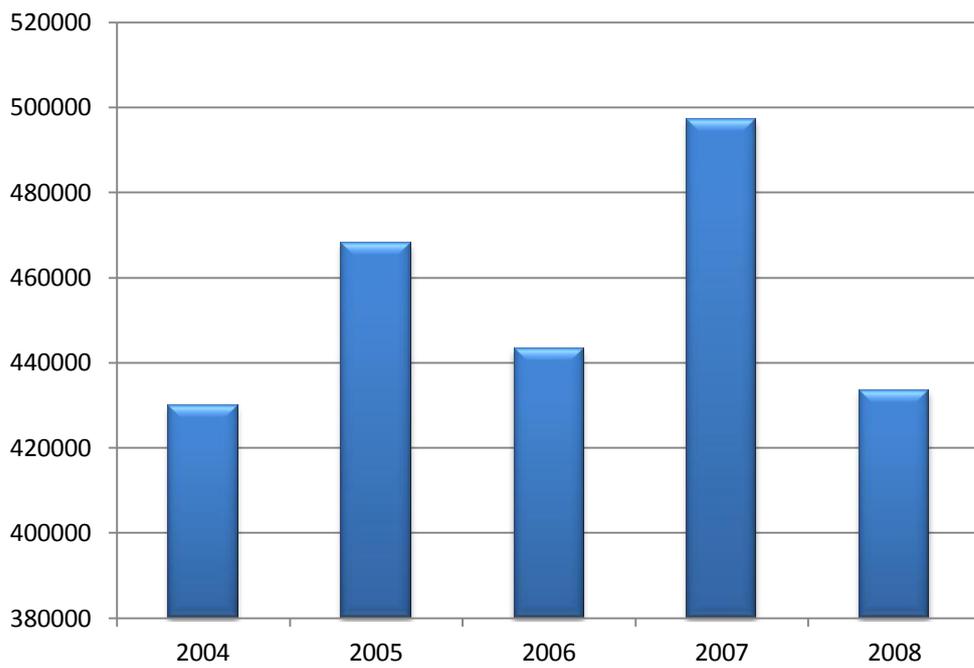


Ilustración 10: Producción de RC en Europa (10³ m³).

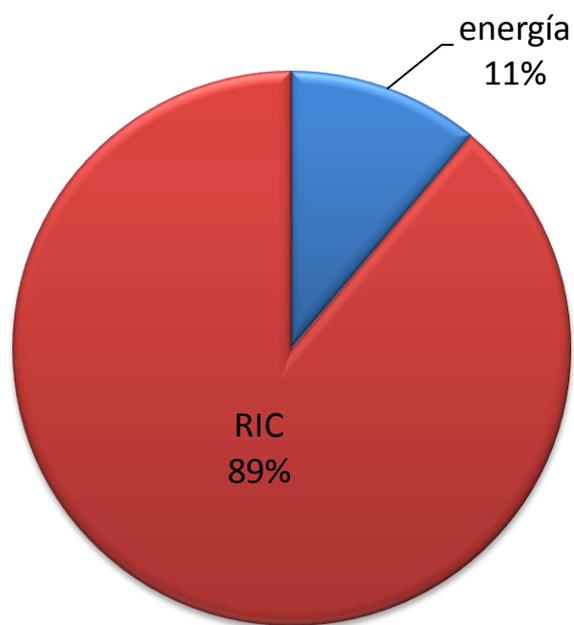


Ilustración 11: Proporciones de uso de RC en Europa. 2008

Como se puede apreciar en la Ilustración 11, en Europa hay un gran aprovechamiento de la RC con fines industriales, pues la RIC, representa cerca del 90% del total de RC producida, quedando para fuente energética alrededor del 10%, tal proporción se presenta de manera casi invariable en la última década a pesar de la fluctuaciones en la producción que podemos apreciar en la Ilustración 10, en la cual se aprecian variaciones de hasta 64MM de m³, como la ocurrida entre los años 2007 y 2008.

En lo que respecta a la capacidad de autoabastecimiento de madera RI en el continente europeo, se puede afirmar que es satisfactoria pues como se puede ver en la Ilustración 12, a lo largo de los últimos años invariablemente, la producción de madera RI, ha sido muy superior al volumen de madera importada, e incluso el volumen de RI exportada, permanentemente presenta un superávit con respecto al volumen importado. Se puede apreciar también que el volumen de madera consumida es inferior al de la madera producida.

Debido a lo anterior, se puede afirmar que el mercado europeo de la madera es un mercado autónomo pues depende poco de los recursos provenientes de otras latitudes y además no requiere de mayor volumen de madera que el de la producción propia para satisfacer la demanda interna del recurso.

Al hacer un balance entre el volumen de madera RI producida, consumida, importada y exportada, notamos que tiende a cero, es decir que generalmente no existen problemas de déficit del recurso, ni tampoco superávits importantes, lo cual podría considerarse un indicador de un mercado maderero organizado y equilibrado (Ver anexo 6.2).

El mercado europeo de la madera, en cuanto a la dinámica productiva y al tipo de recurso más producido y utilizado, se puede considerar un mercado con alto potencial de sostenibilidad, pues el recurso predominante es el proveniente de maderas coníferas las cuales, como hemos visto, tienen mejor rendimiento en plantaciones al ser de rápido crecimiento, situación que favorece su producción en explotaciones forestales sostenibles y certificables.

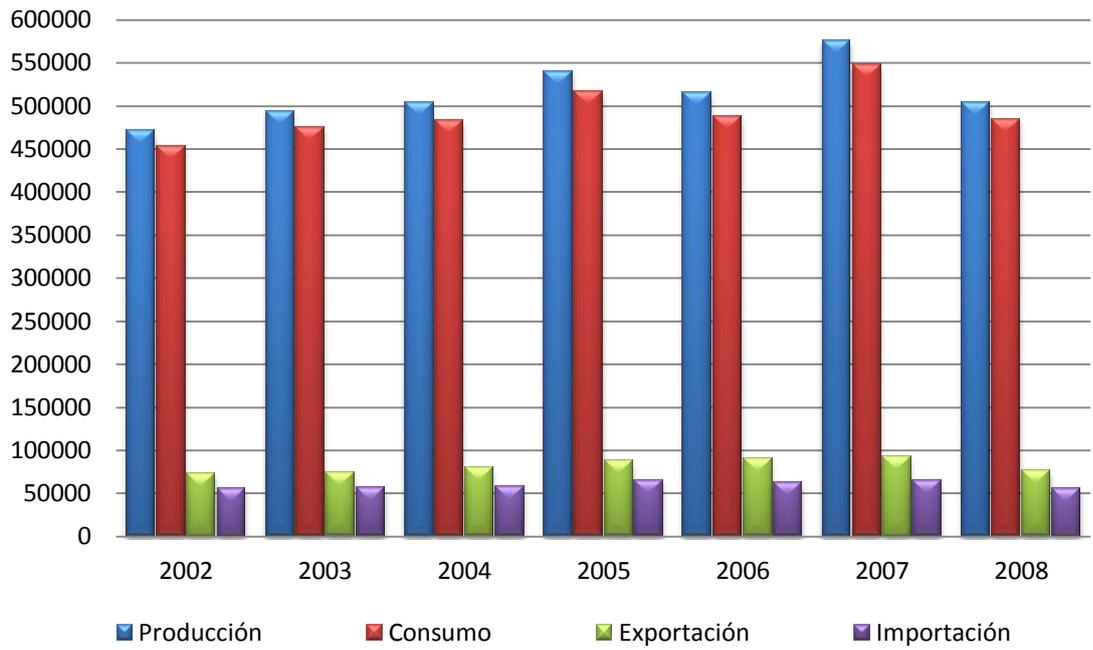


Ilustración 12: Flujo de la madera rolliza industrial en Europa.
 Fuente: (FAO. 2008): (FAO. 2010)

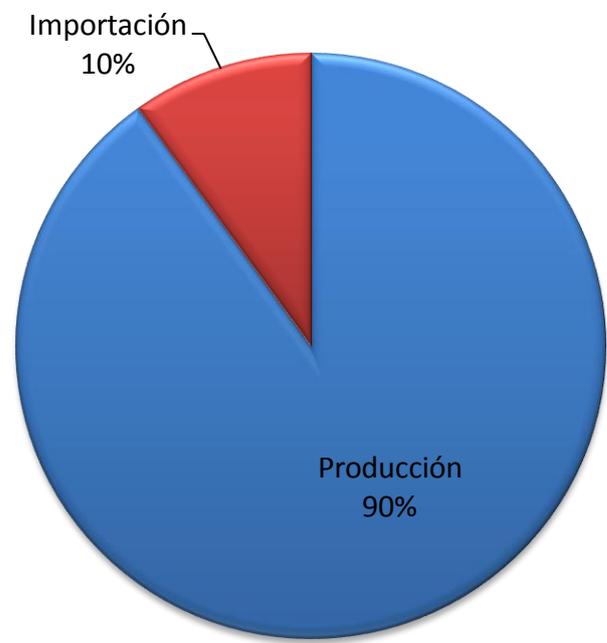


Ilustración 13: Producción vs. Importación de RI en Europa. 2008

1.2.2.3. Aspectos resaltantes de esta sección:

- La producción de madera rolliza conífera en Europa representa 2/3 del total de rolliza producida.
- Del total de rolliza conífera, alrededor del 90% tiene destino industrial y aproximadamente un 10% es empleado como combustible.
- Del volumen de rolliza industrial, $\frac{3}{4}$ corresponden a madera conífera y un $\frac{1}{4}$ a no conífera.
- La mayor parte del volumen de madera rolliza industrial consumido en Europa proviene de producción propia pues las importaciones de este tipo de madera representan en promedio un 10% con respecto a la producción.
- El mercado europeo de la madera depende poco del recurso externo.
- El mercado europeo de la madera luce bastante equilibrado y organizado al no presentar déficit ni superávits de recurso a lo largo de los años.

Producción y consumo de productos madereros

Año	Madera en rollo industrial (millones m3)		Madera aserrada (millones m3)		Paneles a base de madera (millones m3)		Papel y cartón (millones de Ton)	
	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo
2000	483	479	130	121	61	59	100	90
2005	513	494	136	121	73	70	111	101
2010	578	543	147	131	82	79	128	115
2020	707	647	175	151	104	99	164	147

TOMADO DE: (FAO, 2009)

Transformación. Datos Mundiales:



Foto María Helena Luengo.



Foto Humberto Arreaza.

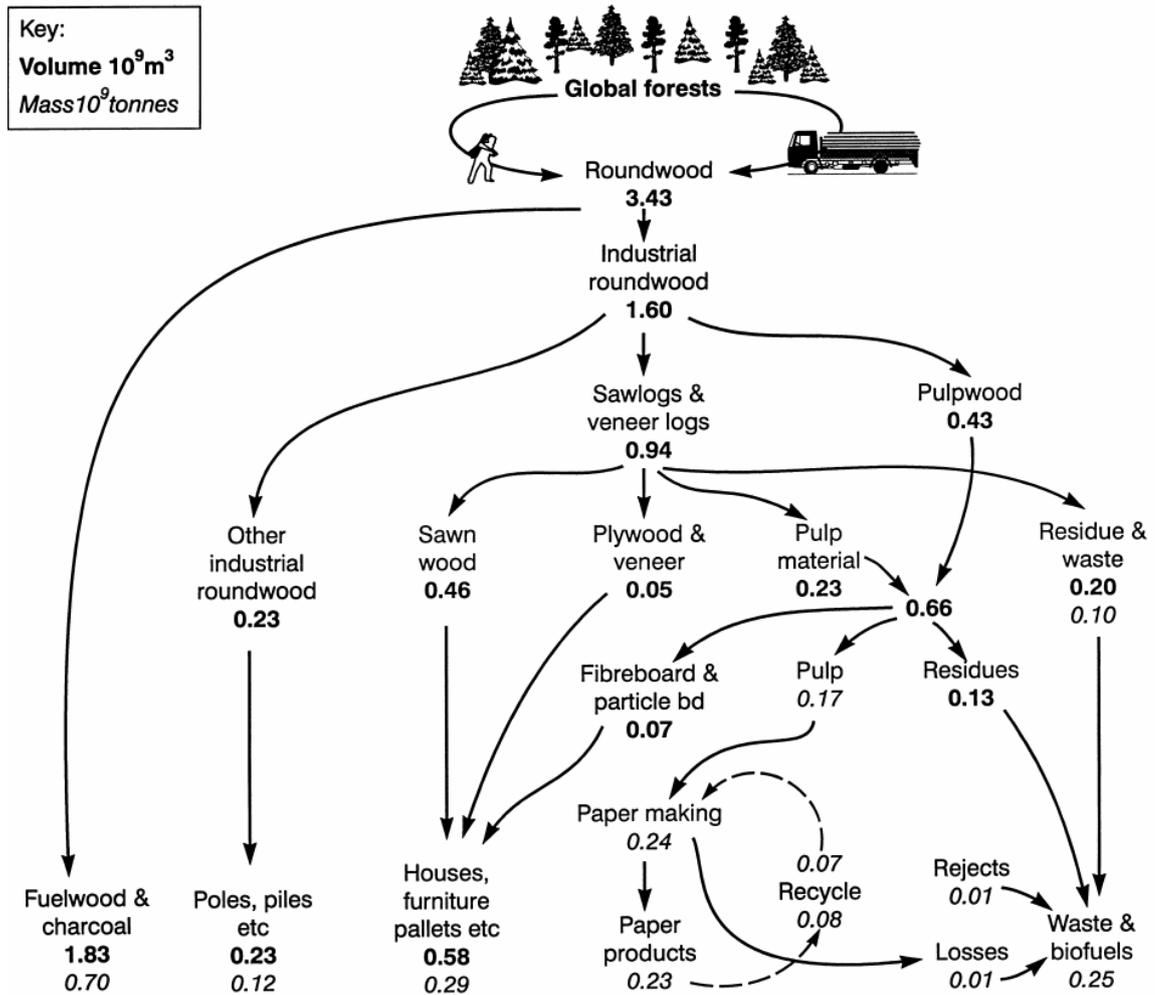
Desde que se corta el árbol hasta que se construye la edificación, la madera es sometida a numerosos procesos con el fin de transformarla y hacerla útil para la construcción. Todos estos procesos requieren de la utilización de maquinaria y generan residuos que en ocasiones pueden ser aprovechados pero en otras ocasiones no. Cada tipo de producto requiere de un conjunto específico de procesos y de maquinarias y según sea mayor el aprovechamiento que se obtenga del fuste del árbol, menores serán los residuos generados en el proceso. Para tener una aproximación a las cantidades que se aprovechan y que se desechan o reciclan se presenta la Tabla 4:

Tabla 4. Proporciones del aprovechamiento de la madera de un árbol

Productos del árbol	Proporción (%)
Dejado en el bosque	
Copa, ramas y follaje	23,0
Tocón (excluyendo raíces)	10,0
aserrín	5,0
Aserrío:	
Virutas, costeros y recortes	17,0
Aserrín y menudos	7,5
Pérdidas varias	4,0
corteza	5,5
Madera aserrada	28,0

Fuente: (FAO, 1992)

La producción y consumo de madera en el mundo cumple un flujo que responde a la diversidad de usos que se le da a la madera y el destino que tienen los productos y subproductos derivados de ella. Para aproximarnos a los volúmenes promedio de madera producida y consumida, consideraremos el siguiente flujograma global de la madera:



Tomado de: (Buchanan & Levine, 1999)

Según Buchanan y Levine (Buchanan & Levine, 1999), de la totalidad del volumen de producción mundial de madera rolliza bruta, aproximadamente el 53% se utiliza como combustible, alrededor del 47% restante se considera madera rolliza industrial.

Del volumen total de madera rolliza industrial producida en el mundo, casi el 60%, se destina al aserrío; un poco más de la cuarta parte, es producida especialmente para la industria de la pulpa y aproximadamente una séptima parte de la rolliza industrial, equivalente a poco menos del 15% del total de rolliza bruta se destina a otros usos tales como postes o pilas.

Si trasladamos las proporciones anteriores a su equivalente en madera rolliza bruta, el volumen total de madera rolliza industrial producida en el mundo destinada al aserrío equivale al 27,4%, el destinado a la industria de la pulpa, equivaldría al 12,5% y el volumen de rolliza industrial destinado a otros usos tales como postes y pilas corresponde a un poco menos del 7% de la rolliza bruta producida en el mundo. Lo podemos ver de manera esquemática en la siguiente tabla:

Tabla 5: Equivalencia del volumen de madera aserrada y destinada a pulpa en proporciones de rolliza industrial y rolliza bruta a escala mundial.

Concepto	Proporción equivalente en madera rolliza industrial	Proporción equivalente en madera rolliza bruta
Volumen mundial de madera aserrada	58,8 %	27,4%
Volumen mundial de madera destinada a industria de pulpa	26,9%	12,5%

De la madera destinada al aserrío, casi la mitad, equivalente al 28,7% de la rolliza industrial, se convierte en madera aserrada; una quinta parte se convierte en desperdicios, casi una cuarta parte se destina a la industria de la pulpa y un 5% se destina a la producción de contrachapados y hojas de chapa. Paralelamente, de la cuarta parte destinada a la industria de pulpa, alrededor de un tercio se destina a la producción de tableros de fibras y partículas.

Si sumamos el volumen de material que se destina a madera aserrada, contrachapados y tableros de fibras y partículas, obtenemos un total correspondiente a poco más del 60% de la madera rolliza industrial destinada al aserrío, equivalente a un 36% del total de la madera rolliza industrial y equivalente a su vez a casi el 17% del total de madera rolliza bruta producida a nivel mundial. Esta porción de la madera producida es la que se destina a la construcción de edificios, producción de mobiliario, pallets, etc.

Transformación. Datos Europeos:



Foto: Humberto Arreaza.

En el caso de Europa, existen algunas diferencias en cuanto a la proporción de madera rolliza bruta que se convierte en rolliza industrial. Según datos de la FAO (FAO, 2009), la producción Europea de madera rolliza industrial corresponde a un promedio que ronda el 80% del volumen de madera rolliza bruta producida en el continente. La diferencia de proporciones entre Europa y el promedio mundial se debe principalmente a que en otros países del mundo, especialmente en los menos desarrollados, el consumo de madera como combustible es mucho mayor que el europeo.

Las proporciones de uso de la madera rolliza industrial en Europa tienen aproximadamente las mismas tendencias que el promedio mundial. La afirmación anterior se puede considerar comprobada al comparar los datos de la tabla siguiente con los datos extraídos de la información obtenida de Buchanan y Levine.

Tabla 6: Flujo de transformación de la madera en Europa. (miles de m3)

PRODUCTO	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Prod. rolliza Europa	578789	608301	622157	689692	669977	728884
Prod. roll. ind. Europa	470346	492909	504436	540184	515542	576281
% ⁵	81,26	81,03	81,08	78,32	76,95	79,06
Prod. Aserrada Europa	127933	132212	138674	141757	145869	149036
% ⁶	27,20	26,82	27,49	26,24	28,29	25,86

fuelle: (FAO, 2009)

Con los datos de Buchanan y Levine se calcula que el volumen de madera aserrada mundial equivale a un promedio de 28,7% del volumen de madera rolliza industrial y en la Tabla 6 se observa que el volumen de madera aserrada producido en Europa equivale a un porcentaje que varía entre el 26,24% y el 28,29% de la madera rolliza industrial europea en el período comprendido entre los años 2002 y 2007 (FAO, 2009)

Según datos publicados por la FAO en 2010, en el año 2008, el perfil de transformación de la madera en Europa fue el siguiente:

Tabla 7: Flujo de transformación de la madera en Europa

Europa 2008	10 ³ m ³
rolliza bruta	657065
rollo industrial	504598
aserrada	137909
contrachapada y chapas	8872
tableros fibras y partículas	70253

Fuente: (FAO, 2010)

De acuerdo a la Tabla 7, se puede observar que de toda la madera rolliza bruta producida en Europa en el año 2008, un 76,8% se destinó a madera rolliza industrial y de esta última, un 27,33% se convirtió en madera aserrada, un 13,92% en tableros de fibras y partículas y el 1,76% se destinó a la producción de contrachapados y chapas.

Si sumamos el volumen de material que en Europa se destina a madera aserrada, contrachapados y tableros de fibras y partículas, obtenemos un total del 43,01% de la madera rolliza industrial, equivalente a un 33,03% del total de la

⁵ Porcentaje que representa el volumen de madera rolliza industrial en relación al volumen de rolliza bruta.

⁶ Porcentaje que representa el volumen de madera aserrada en relación al volumen de rolliza industrial.

madera rolliza bruta producida. Por lo tanto, un 43% de la madera rolliza industrial producida en Europa se destina a la construcción de edificios, producción de mobiliario, pallets, etc. Parte de esta porción (no determinada aún en ninguna estadística conocida por nosotros) se destinaría a la construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas (VPVP).

Con el fin de poder hacer posteriormente una aproximación del impacto de la construcción integral en madera de VPVP sobre la producción de madera, es necesario comenzar por determinar qué proporción de la madera rolliza bruta, representa la madera rolliza industrial:

Tabla 8: Producción de madera rolliza. Comparación Europa Mundo. Miles de toneladas

	2004	2005	2006	2007	2008
madera en rollo bruta mundial	3454573	3559400	3536803	3603155	3448644
madera en rollo industrial mundo	1661398	1709730	1661827	1703558	1556687
madera en rollo bruta Europa	622157	689687	670450	723953	657065
madera en rollo industrial Europa	504436	540179	515766	575869	504598

Fuente: (FAO, 2010)

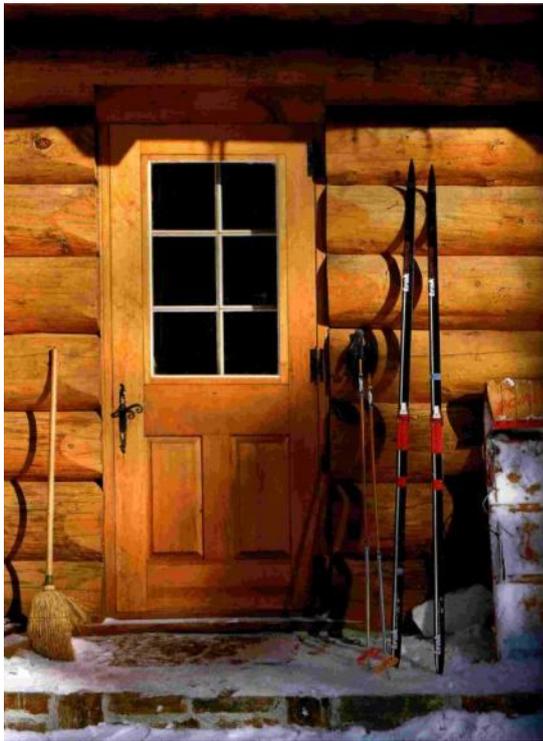
Según la Tabla 8, entre los años 2004 y 2008, la madera en rollo industrial producida en Europa, representó en promedio un 78,53% de la madera en rollo bruta europea y un 15% de la producción mundial de madera en rollo bruta; con mínimos de 76,93%⁷ (2006) y 14,58%⁸ (2006) y máximos de 81,08%⁷ (2004) y 15,98%⁸(2007) respectivamente.

Es importante conocer cuánta madera se produce y cuánta se consume según su presentación consiste en tener una noción clara de que el uso de la madera para construir puede tener un impacto sobre la capacidad productiva que tiene los bosques y plantaciones forestales de Europa y el mundo. En la sección 1.2.1, se presentan los cálculos del impacto que sobre la dinámica productiva y ecológica de la industria maderera europea podría tener una creciente demanda de la madera como material de construcción, en nuestro caso específico, de viviendas plurifamiliares de varias plantas.

⁷ Porcentaje de madera rolliza industrial europea en relación a la madera rolliza bruta europea

⁸ Porcentaje de madera rolliza industrial europea en relación a la madera rolliza bruta mundial

1.2.2.4. La madera como material de construcción:



Tomado de: <http://www.sierradelospadres.com.ar/tecnica3.htm>



Tomado de: (Detail, 2004).

Breve relación cronológica

La madera ha sido utilizada en la construcción de viviendas desde principios de la historia compartiendo un carácter protagónico junto con otros materiales naturales tales como la piedra, la arcilla cocida y la tierra cruda. Incluso, en aquellos lugares en donde la madera es un recurso muy abundante, las viviendas han sido construidas casi totalmente con madera.

En la medida que se fueron densificando los centros poblados y se construyeron edificios más grandes con madera, aumentaron paralelamente las solicitudes estructurales hacia este material natural y los potenciales riesgos resultantes de construir y habitar dichos edificios. En este sentido, las limitaciones de la madera en cuanto a resistencia, dimensiones y su carácter perecedero y combustible, comenzaron a hacer menos efectivo su uso frente a las crecientes exigencias quedando limitada a la construcción de viviendas unifamiliares de modestas dimensiones, principalmente ubicadas en la periferia de las ciudades o en el ámbito rural.

Incendios a gran escala en ciudades con muchas edificaciones de madera tales como Londres (1666) y Chicago (1871) unidos a la intensa difusión de materiales novedosos como el acero, el hormigón armado y el desarrollo de la ingeniería de la construcción, dieron como consecuencia el progresivo desuso de la madera como principal constituyente del cuerpo edilicio, pasando a segundo plano formando parte como mucho de cubiertas, entresijos en algunos casos y utilizada principalmente como material para acabados y equipamiento.

En las últimas décadas, se percibe un resurgimiento del uso de la madera como material estructural y de cerramientos. Han sido producidos nuevos materiales derivados de la madera como los ya conocidos tableros aglomerados y elementos de madera laminada, más recientemente los tableros de fibras orientadas (OSB en inglés), de chapa laminada (LVL en inglés), de madera contralaminada; vigas, viguetas y módulos compuestos y prefabricados de entresijos y cubiertas.



Tomado de:
http://www.icanfixupmyhome.com/Residential_Wood_Frame_Construction.html



Tomado de:
<http://www.vxu.se/td/bygg/trabyggstrategi/limnologen/bilder/>

Unidos a las nuevas y tecnificadas presentaciones de la madera y los nuevos materiales derivados de ella, han sido creados sistemas constructivos prefabricados e industrializados que responden a las avanzadas prestaciones de dichos productos tales como innovaciones desarrolladas en Europa sobre los tradicionales sistemas norteamericanos de ballon frame y platform frame, los sistemas masivos de madera desarrollados en los años 90 en Europa central; los novedosos sistemas prefabricados a medida con madera contralaminada hasta llegar a los más recientes sistemas de madera post tensada.

Los avances tecnológicos, tanto en los materiales como en los sistemas constructivos con madera permiten afrontar el diseño y construcción de edificios de varios pisos modernos y adaptados a los requisitos contemporáneos de espacialidad, funcionalidad, economía, seguridad y velocidad en la ejecución. En la última década del siglo XX y esta primera década del XXI, se han comenzado a diseñar y construir edificios de viviendas multifamiliares de varios pisos con estructura y cuerpo de madera en algunas ciudades de Europa del norte y central, Norteamérica y Oceanía y en los últimos años en Japón (Schmuelli & Kagami, 2009).

El consumo de madera para la construcción

Resulta difícil contar con información precisa acerca de qué cantidad de madera se emplea en la construcción, pues a pesar de contar con información bastante aproximada acerca de la cantidad de madera y derivados de la misma que se producen en Europa y de la cual una porción importante se emplea en construcción.

En la mayoría de las bases de datos acerca de dichos productos forman un conjunto los productos destinados a la construcción de cualquier tipo de edificio junto con madera para la industria de mobiliario, equipamiento y embalajes y no se cuenta con información acerca de las cantidades destinadas a cada renglón industrial. Aún más difícil resulta saber la cantidad de madera que podría estar destinada ahora o en el futuro a la construcción de VPVP.

El Dr. Andrew Buchanan, de la Universidad de Canterbury en Nueva Zelanda (Buchanan A. , 2006) ha calculado, mediante una extrapolación, el volumen de madera empleado en la construcción (de cualquier tipo de edificio incluyendo VPVP) y su conclusión es que podría estar alrededor del 3,5% del total de madera rolliza cosechada, lo que equivaldría al 8% del total de madera en rollo industrial. Dada la falta de estudios de este tipo en el ámbito europeo, podríamos tomar como promedio de referencia gruesa a efectos de evaluación los datos de la extrapolación de Buchanan ajustándolos a la diferencia existente entre Europa y el mundo en cuanto al volumen de madera consumido por cada 1000 habitantes (FAO, 2010).

La diferencia existente en el volumen de madera consumido por cada 1000 habitantes se muestra en la Tabla 9:

Tabla 9: Relación entre el consumo promedio de madera/1000 hab entre Europa y el mundo.

Tipo de madera	consumo/1000 hab. mundial	consumo/1000 hab. europeo	relación Europa/mundo
	m ³	m ³	
madera en rollo bruta	500	869	1,74
madera en rollo industrial	231	662	2,87

Fuente: (FAO, 2010)

Como se puede observar en la tabla anterior, el volumen promedio de madera consumida en Europa es 1,74 veces mayor que el mundial respecto a la madera en rollo cosechada y 2,87 veces mayor que el promedio mundial de consumo de madera en rollo industrial expresado en m³/1000 habitantes. Al hacer el ajuste del promedio mundial de consumo propuesto por Buchanan al consumo europeo, obtendríamos lo siguiente:

Tabla 10: Aproximación al porcentaje de madera consumida en construcción en Europa.

Tipo de madera	Madera consumida en construcción ⁹ (mundo)	relación Europa/mundo	Madera consumida en construcción en Europa
	%		%
	A	B	A x B
madera en rollo bruta	3,5	1,74	6,08
madera en rollo industrial	8,0	2,87	20,93

De acuerdo al cálculo realizado en la Tabla 10, podríamos tomar como referencia a grosso modo, y dada la carencia de otra información que en construcción se puede estar consumiendo actualmente en Europa un 6% de la madera en rollo bruta y un 20% de la madera en rollo industrial producida en el continente.

⁹ Según Buchanan, 2006.

Hasta aquí, hemos visto el perfil de la transformación de la madera considerando los volúmenes aproximados de material destinados a las distintas industrias que utilizan madera como insumo principal. A continuación se presenta un recuento de los principales productos que se obtienen de la transformación de la madera para la construcción de edificios, es decir a que se destina el 20% de la madera RI europea.

1.2.2.5. Principales productos de madera empleados en la construcción:

Una gran gama de productos se obtienen de la transformación de la madera, en esta sección del trabajo se muestra una selección de los principales productos derivados de los troncos de los árboles que pueden ser empleados en la construcción de la estructura y los cerramientos de edificios y que por lo tanto pueden ser utilizados en la construcción de VPVP.

Madera Maciza:



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

Al hablar de madera maciza nos referimos a listones, tablas, tablonés y madera cuadrada o perfilada, obtenida del tronco mediante labores de aserrío.

La madera maciza en la construcción puede ser empleada con funciones estructurales portantes, como elemento de cerramiento o acabados diversos como por ejemplo pavimentos. Normalmente se hace referencia a ella como madera serrada o aserrada.

Con el fin de mejorar sus propiedades puede ser sometida a secado artificial, cepillado y fresado entre otros procesos que no modifican sus características

naturales, pero si su acabado y comportamiento ante sollicitaciones ambientales. También para aumentar su durabilidad natural puede ser tratada con sustancias impermeabilizantes o que impidan el ataque de xilófagos.

Los elementos de madera natural maciza, serrada o aserrada presentan diversas dimensiones las cuales responden por una parte a las dimensiones del tronco original de árbol del cual provienen y por otra parte al tipo de maquinaria con el cual se procese y finalmente al uso al que estarán destinados los elementos resultantes del procesamiento.

En general pueden presentar longitudes que pueden ir desde menos de 1 metro hasta los 8 metros y secciones como las que vemos en la tabla siguiente:

Tabla 11: Dimensiones típicas de secciones de elementos de madera maciza (mm)

Altura	Anchura			
	60	80	100	120
120	●	●	●	●
160	●	●		
200	●	●	●	●
240	●	●		●

Tomado de: (Dataholz, 2008)

Las propiedades físicas de la madera maciza dependen de la especie de árbol de la cual proviene la madera y presentan los siguientes rangos de valores:

Peso específico:	entre 400 y 800	kg/m ³
Conductividad térmica:	entre 0,11 y 0,20	W/mK
Capacidad calórica:	2,5	kJ/kgK

Madera Laminada encolada:



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

La madera laminada encolada está compuesta por más de tres capas de madera desecada dispuestas con fibras paralelas y unidas entre sí mediante colas que deben cumplir los requisitos de la norma EN 301 para componentes con uso estructural.

Las especies más utilizadas para la producción de madera laminada encolada son en general coníferas. Se pueden fabricar elementos rectos o curvados y de dimensiones que no están limitadas a las de los troncos de los árboles, esto permite obtener elementos estructurales de cualquier dimensión. Los elementos de madera laminada encolada son especialmente útiles para cubrir grandes luces o soportar cargas elevadas.

Existen dos tipos principales de maderas laminadas encoladas: las homogéneas, cuyas láminas pertenecen todas a la misma clase resistente y las combinadas cuyas láminas externas pertenecen a una clase resistente diferente a la de las láminas internas.

Las dimensiones de los elementos de madera laminada encolada pueden alcanzar longitudes de hasta 50 metros y secciones con anchuras de hasta 260 mm de anchura y 500 mm de espesor (Dataholz, 2008).

Las propiedades físicas de las maderas laminadas encoladas dependen de las especies de las cuales provengan las maderas que la componen y presentan rangos de valores muy similares a los de las maderas macizas.

LSL, Laminated Strand Lumber.



Imagen tomada de: (Dataholz, 2010)

Se trata de elementos compuestos por virutas cuyas medidas están alrededor de 0,8 mm de espesor, 25 mm de anchura y hasta 300 mm de longitud las cuales se unen por colas quedando totalmente revestidas, hecho que permite a estos elementos resistir muy bien la intemperie siempre que no estén expuestos directamente.

En su presentación como perfiles lineales, las virutas están orientadas en el sentido longitudinal. En el caso de elementos laminares, algunas virutas están orientadas transversalmente. Los elementos lineales son útiles como vigas de forjados y cubiertas y los laminares como cerramientos.

Este tipo de elementos presentan longitud de hasta 10,7 m, anchura de hasta 2,4 m y su espesor varía entre 32 y 89 mm.

Las propiedades físicas de estos elementos son variables pues dependen de la especie de madera empleada en su producción y el tipo de cola utilizado, por lo tanto cada fabricante podrá dar una certificación particular a este respecto.

Es resaltante el hecho de que el LSL posee una cantidad bastante alta de cola, situación que hace que produzca un impacto ambiental mayor que otros productos derivados de la madera.

Viga de madera maciza bilama y trilama.



Imagen tomada de: (Dataholz, 2010)

Este tipo de elemento estructural está constituido por dos o tres láminas de madera serrada y cepillada entre sí longitudinalmente por “juntas en peine” encoladas. Su función es portante para la construcción de forjados o entrepisos.

Pueden llegar a medir hasta 13 m de longitud.

En el caso de las vigas bilama, su anchura varía entre los 8 y 16 cm y la altura entre 10 y 24 cm. Ejemplo de secciones serían 8 x 16 cm, 10 x 10 cm, 12 x 16, 12 x 24 cm, 14 x 20 cm.

En el caso de las vigas trilama la anchura varía entre 18 y 24 cm y la altura entre 18 y 22 cm. Ejemplo de secciones serían: 18 x 22 cm, 20 x 20 cm y 24 x 18 cm.

Las propiedades físicas de estos perfiles son las mismas que las de la madera laminada encolada.

Tableros contrachapados:



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

Los tableros de madera contrachapada están constituidos por al menos tres capas de chapas de madera de espesor máximo de 7 mm dispuestas con las fibras en ángulo recto entre ellas. Las chapas de madera se obtienen por “desenrollado” de la madera maciza de un tronco de árbol. El uso de los tableros de madera contrachapada en ambientes expuestos a la humedad como fachadas o secos como tabiquería interior depende del tipo de cola utilizada en su fabricación.

Las dimensiones de los tableros contrachapados pueden ser de entre 1,25 a 1,85 m de anchura, 2,2 a 2,5 m de longitud y de un espesor máximo de 40 mm.

Las propiedades físicas de los tableros de madera contrachapada dependen de las especies de las cuales provengan las maderas que la componen y presentan rangos de valores muy similares a los de las maderas macizas, pero en general suelen tener valores ligeramente superiores debido a la proporción de colas, estos pueden ser (Dataholz, 2008):

Peso específico:	entre 300 y 1000	kg/m ³
Conductividad térmica:	entre 0,09 y 0,24	W/mK
Capacidad calórica:	2,5	kJ/kgK

Tableros de madera maciza:



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

Los tableros de madera maciza están constituidos por láminas de madera cortada y cepilladas dispuestas en al menos tres capas en cuyo caso, las capas exteriores deben presentar dirección de fibras paralelas y la central dirección perpendicular a las externas. Esto minimizar las dilataciones y contracciones debidas a los cambios higrotérmicos. Tal tipo de tableros pueden ser muy convenientes para la construcción de fachadas. Las capas exteriores no deben tener un espesor menor a los 5 mm y las interiores no deben presentar espacios vacíos.

Pueden presentar anchuras entre 1,02 y 2,05 m; longitudes entre 4,0 y 5,0 m y espesores medios de entre 19 a 27 mm con máximos de hasta 42 mm.

Las propiedades físicas de los tableros de madera maciza dependen de las especies de árboles de las cuales provengan las maderas que la componen y presentan rangos de valores muy similares a los de las maderas macizas, pero en general suelen tener valores ligeramente superiores debido a una considerable proporción de colas, los rangos de valores son muy similares a los de los tableros de madera contrachapada (Dataholz, 2008):

Peso específico:	entre 300 y 1000	kg/m ³
Conductividad térmica:	entre 0,09 y 0,24	W/mK
Capacidad calórica:	2,5	kJ/kgK

Tableros contralaminados:



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

Los tableros de madera contralaminada están compuestos como mínimo por tres capas de tablas de madera unidas entre sí principalmente por colas aunque en algunos casos pueden presentar clavijas. Las fibras de las tablas de cada capa son paralelas entre sí y perpendiculares a las de las capas adyacentes. Es importante que las tablas de cada capa sean homogéneas en resistencia.

Estos tableros son muy similares a los tableros multicapas, la principal diferencia radica en que los tableros contralaminados suelen estar compuestos por elementos de mayor espesor.

El uso de los tableros contralaminados en la construcción de edificios es principalmente estructural pudiendo formar parte de muros portantes, forjados y cubiertas. Sus dimensiones pueden ser muy variadas y grandes alcanzando fácilmente los 16 m de longitud y pudiendo llegar hasta 30 m, anchura máxima de hasta 4,8 m y espesores desde 7 hasta 15 cm.

Las propiedades físicas de estos tableros dependen de la especie de madera y por lo tanto son muy similares a las de las maderas macizas.

Tablero Laminado (LVL)



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

Los tableros LVL están constituidos por láminas de abeto o de pino de hasta 6 mm de espesor, dispuestas entre sí con la fibras paralelas (ocasionalmente alguna lámina transversal) y unidas con resinas fenólicas.

Tienen función portante tanto en elementos laminares como lineales pues pueden ser utilizados en vigas y viguetas solamente cuando todas las capas poseen las fibras paralelas. También pueden ser utilizados como revestimiento. Resisten condiciones climáticas especiales.

Las dimensiones más comunes de los tableros LVL son las siguientes:

Longitud máxima: 26 m.

Anchura máxima: 2,5 m.

Espesor: 2,1 a 7,5 cm.

Las propiedades físicas de estos tableros dependen de la especie de madera y por lo tanto son muy similares a las de las maderas macizas. Sin embargo, suele tomarse como valor promedio de su peso específico 480 kg/m^3 .

Tableros OSB



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

El término OSB se refiere a las siglas en inglés de Oriented Strand Board, (tablero de virutas de madera orientadas). Están constituidos por virutas largas y estrechas de madera conglomeradas por cola con procesos de presión en caliente. La orientación de las virutas de las capas externas es paralela normalmente al lado longitudinal del panel.

Presentan buen desempeño a la flexión en la dirección de la orientación de las virutas, por lo que cumplen un buen papel resistente como alma de vigas compuestas. También pueden ser utilizados como elementos de cerramiento cumpliendo papel rigidizante en sistemas constructivos entramados de madera.

Las dimensiones más comunes de los tableros LVL son las siguientes:

Longitud: 2,5 a 5,0 m.

Anchura: 0,6 a 2,5 m.

Espesor: 0,8 a 4,0 cm.

Rango de valores de las propiedades físicas de los tableros de OSB :

Peso específico:	entre 640 y 680	kg/m ³
Conductividad térmica:	entre 0,12 y 0,13	W/mK
Capacidad calórica:	1,7	kJ/kgK

Perfiles “I Joist”



Los “I Joist” o perfiles compuestos en “I” están formados por un alma o red intermedia ubicada entre dos listones longitudinales ubicados arriba y abajo. El alma puede ser de madera contrachapada, madera laminada o de tableros OSB y los listones pueden ser de madera natural serrada o madera la minada.

Estos perfiles se desempeñan especialmente bien como viguetas de forjados. Su especial disposición en “I” los hace mucho más livianos que una vigueta de madera maciza o laminada, pueden cubrir luces mayores y la combinación y de materiales y la disposición de sus elementos los hace muy resistentes a las cargas de flexión.

Las dimensiones de estos perfiles son muy variables y versátiles pues sus componentes como por ejemplo el OSB no están sujetos a las dimensiones de los troncos de los árboles, pudiendo llegar a tener hasta 10 m de longitud y alturas variables entre 22 y 40 cm.

Dado que pueden estar constituidos por diversos materiales, sus propiedades físicas dependerán de las propiedades de los materiales que los constituyan.

Tablero MDF.

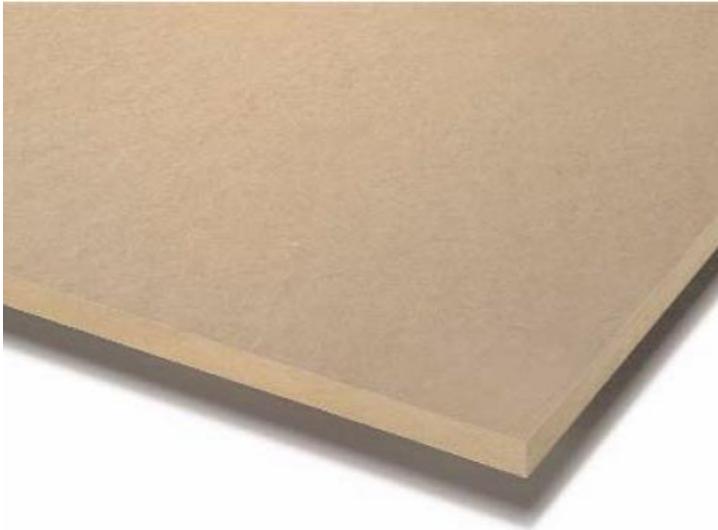


Imagen tomada de: (Dataholz, 2010)

Se trata de tableros fabricados en seco con adhesivos sintéticos. Agregando aditivos químicos a los adhesivos se puede obtener paneles MDF tratados para aumentar su resistencia al fuego, a la humedad y al ataque de xilófagos. Su nombre obedece a las siglas en inglés de Tableros de fibras de mediana densidad (Medium Density Fibreboards)

Existe un tipo especial de tableros MDF que al ser permeables al vapor no retienen la humedad ambiental.

Sus dimensiones promedio son las siguientes:

Longitud: 2,5 – 2,8 m.

Anchura: 67, 5 – 125 cm.

Espesor: entre 13 y 15 mm.

Las propiedades físicas de los tableros de MDF presentan los siguientes rangos de valores:

Peso específico:	entre 400 y 700	kg/m ³
Conductividad térmica:	entre 0,10 y 0,16	W/mK
Capacidad calórica:	1,7	kJ/kgK

Tablero de partículas aglomeradas con cemento:



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

Los tableros de partículas aglomeradas con cemento están compuestos por virutas de madera u otras fibras vegetales y cemento como aglomerante. Pueden poseer un único estrato o más cuando poseen aislantes, por ejemplo.

Pueden emplearse en paredes no portantes internas y también externas pues son resistentes a la intemperie, insectos y hongos. También pueden ser usados como aislamiento térmico y acústico.

Los valores más usuales de sus dimensiones son los siguientes:

Longitud: 3,2 m

Anchura: 1,25 m

Espesor: 0,8 a 4 cm

Las propiedades físicas estos tableros presentan los siguientes rangos de valores:

Peso específico:	entre 1200 y 1280	kg/m ³
Conductividad térmica:	entre 0,2 y 0,23	W/mK
Capacidad calórica:	2,0	kJ/kgK

Tableros de partículas:



Imagen tomada de: (Dataholz, 2008)

Estos tableros están formados por virutas de madera conglomeradas con cola. Pueden contener agentes hidrófugos, insecticidas y fungicidas.

Son producidos por prensado en caliente y por lo general las virutas externas son menores en tamaño que las internas.

Pueden ser utilizados de muchas maneras, las cuales pueden ser portantes o no portantes, según el tipo de panel

Los valores más usuales de sus dimensiones son los siguientes:

Longitud: 2,8 a 5,5 m

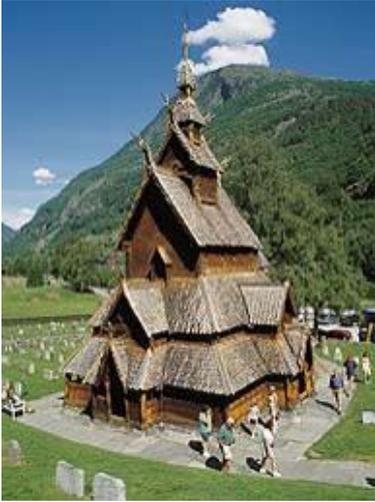
Anchura: 2,07 m

Espesor: 0,6 a 4 cm

Las propiedades físicas estos tableros presentan variados rangos de valores según el tipo de panel. En general los rangos de valores son los siguientes (Dataholz, 2008):

Peso específico:	entre 300 y 900	kg/m ³
Conductividad térmica:	entre 0,07 y 0,18	W/mK
Capacidad calórica:	2,5	kJ/kgK

1.2.2.6. Durabilidad de la madera.



Iglesia de Borgund, Noruega¹⁰.

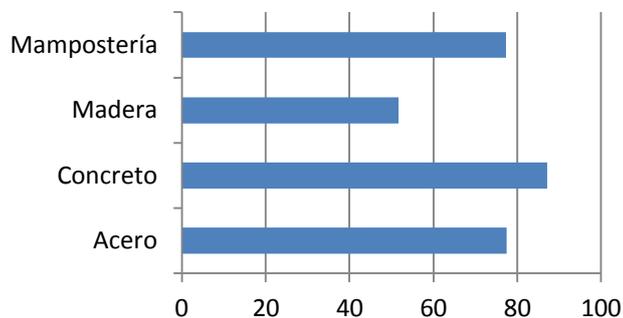


Edificio central del santuario de Ise, Japón¹¹

¿Cuántos años puede durar un edificio construido con madera?

Con el objeto de tener una aproximación a la durabilidad¹² máxima de un edificio construido con madera, se presentan los siguientes gráficos tomados de un estudio de durabilidad de edificaciones en Nueva York, Estados Unidos. En la Ilustración 14 se presenta la referencia de esperanza de vida útil empleada en el estudio y en la

Ilustración 15, el porcentaje de edificios demolidos, según el material de sus estructuras agrupados por edades.



¹⁰ Data del año 1180 y se considera que está prácticamente inalterada. Tomado de: <http://www.visitnorway.com>

¹¹ Permanece en su emplazamiento desde el siglo 3 antes de Cristo y se reconstruye cada 20 años. Tomado de: http://www.corsodireligione.it/religioni/shintoismo/shinto_12.htm

¹² Se presume que el criterio de durabilidad aplicado en este estudio se refiere a la obsolescencia.

Ilustración 14: Esperanza de vida útil de edificios de diversos materiales.
Tomado de: (O'Connor, 2004)

Según la Ilustración 14, una edificación construida con madera tiene una esperanza de vida útil en promedio de casi 52 años. La madera corresponde al grupo de edificaciones con menor esperanza de vida útil en comparación con edificios construidos con hormigón (concrete), mampostería (masonry) y acero (steel) en ese orden.

Lo anterior nos da una referencia general de la durabilidad posible de la madera como material de construcción, pero en la

Ilustración 15, proveniente del mismo estudio, podemos hacer observaciones más específicas pues agrupa los tres materiales comparados por edades y así podemos ver qué porcentaje de los edificios demolidos está construido con cada uno de los materiales considerados.

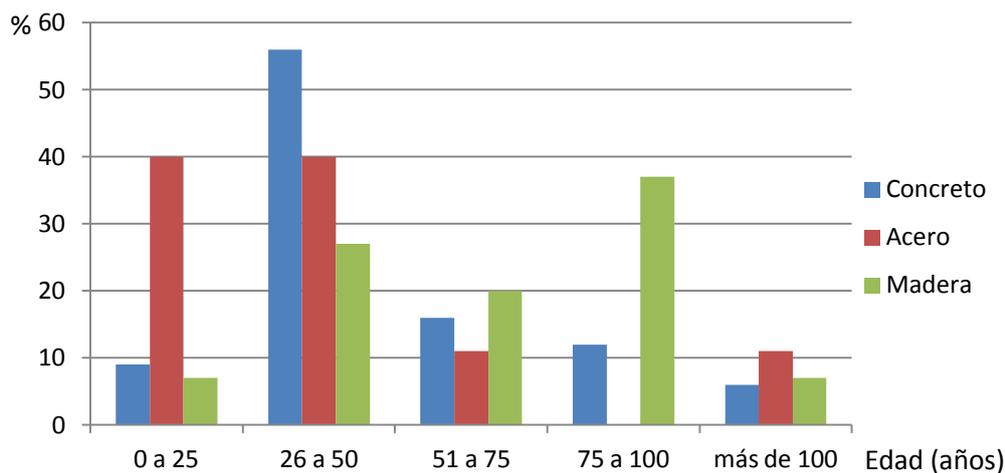


Ilustración 15: Porcentaje de edificios demolidos por material según edad
Tomado de: (O'Connor, 2004)

Se puede ver que entre los edificios demolidos de menos de 50 años, aquellos construidos con madera constituyen el grupo más pequeño, esto puede interpretarse de dos maneras: primera, que los edificios de madera pueden llegar a ser más duraderos que los de hormigón o acero; segunda, que en los cincuenta años precedentes al estudio se han construido menos edificios de madera que de los otros dos materiales, sin embargo, en cualquiera de los dos escenarios podríamos decir que la madera compite en buenas condiciones hasta ese rango de edad.

En el caso de las edificaciones demolidas entre las edades 51 a 100 años, el porcentaje de edificios de madera demolidos es mayor que el de edificios de

hormigón o acero, situación que puede indicarnos que las edificaciones construidas con estos dos últimos materiales llegan en mejores condiciones a esas edades y no necesitan ser demolidas o que tal vez sencillamente no llegan a esas edades porque fueron demolidas previamente y por último, en el grupo de más de cien años las edificaciones de madera demolidas dejan de ser nuevamente las de mayor porcentaje del grupo.

Existe una variedad de posibles interpretaciones a los gráficos tomados del estudio en cuestión, pero hay una lectura general que luce constante, la madera como material de construcción tiene la suficiente durabilidad para estar presente en edificaciones cuya vida útil alcanza incluso hasta los cien años y en muchas que llegan hasta los 75 años por lo que se puede aceptar como hipótesis de trabajo asignar una durabilidad promedio alrededor de 60 años a los edificios construidos con madera.

El anterior estudio nos permite tener una idea aproximada de la durabilidad de los edificios de madera, sin embargo, esta condición depende de muchas variables que pueden ser muy diferentes según el lugar, el clima, el tipo de madera empleado en la construcción del edificio, el diseño y el mantenimiento. También existen diversos criterios para definir la durabilidad de un edificio como pueden ser la obsolescencia física, cuando el edificio pierde su capacidad física para cumplir la función para la cual fue construido o la obsolescencia económica, cuando resulta más rentable económicamente demoler y volver a construir que continuar prestando mantenimiento al edificio, incluso, podrían existir criterios filosóficos o espirituales para definir la durabilidad como es el caso del templo de Ise en Japón el cual es reconstruido cada 20 años por razones religiosas aunque se encuentre en perfecto estado.

Si bien se ha considerado la durabilidad de las edificaciones hasta su derribo, en este trabajo se considera la durabilidad física de la madera como material y el impacto de la misma desde su explotación hasta la construcción del edificio y no hasta el derribo del mismo, pues las estrategias de derribo o deconstrucción de un edificio pueden ser muy variadas y no siempre responden al material con el que ha sido construido ni a las consideraciones de diseño del mismo.

La durabilidad física de un material depende del comportamiento que el mismo tenga debido a las consecuencias que sobre él producen los agentes atmosféricos y bióticos presentes en el ambiente que lo rodea y los cambios que sobre las características originales del material producen tales acciones.

Los agentes ambientales que afectan en mayor medida a la madera son: la humedad, la luz, los cambios de temperatura. Además de agentes ambientales, están los agentes bióticos u organismos que se alimentan de la madera (xilófagos). Las características de nuestro interés afectadas por estos son principalmente: la integridad física del material, su resistencia mecánica y su comportamiento térmico.

Generalmente, la durabilidad de la madera, ante la acción de los agentes citados, ha dependido en gran medida de sustancias selladoras, impermeabilizantes, tóxicos contra xilófagos, colas y lacas. Sin embargo, tal tipo de sustancias, a pesar que alargan notablemente la vida útil de cualquier elemento de madera, generan problemas tales como toxicidad, dificultades para el reciclaje de la madera y alto nivel de energía incorporada con las consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero.

Otra acción que ha sido muy empleada para garantizar la durabilidad de las maderas es la selección de las mismas dando preferencia a las de mayor dureza en lugar de las blandas o también la preferencia de maderas tropicales costosas y de lento crecimiento en lugar de coníferas más económicas y de crecimiento más rápido provenientes principalmente de regiones templadas.

El uso de maderas de mayor dureza como estrategia para la durabilidad de las edificaciones, a la luz de la sostenibilidad debería ir perdiendo vigencia pues si bien una madera de caoba tropical puede ser mucho más duradera que una de abeto o pino, tarda mucho más tiempo en formarse y por ende en recuperarse los bosques, además de las importantes emisiones de CO₂ debidas al transporte internacional y el incremento de energía incorporada en el procesamiento de la madera a causa de su menor trabajabilidad, sin dejar a un lado los graves problemas medioambientales ocasionados por la degradación de bosques tropicales.

El uso de maderas blandas y menos duraderas, como por ejemplo las coníferas, podría llegar a ser más sostenible debido a la fácil y económica reposición del material, su rápido crecimiento y rotación en bosques certificados en comparación

con otras maderas más duras procedentes de bosques naturales sobreexplotados. Estas maderas blandas garantizan además un constante e intenso ciclo de carbono que requiere de árboles que estén fijando y almacenando de forma constante y veloz el carbono contenido en el CO₂ del aire.

La reposición de partes en las edificaciones con una periodicidad más intensa que la acostumbrada (debido al uso de sustancias “menos conservantes” pero ambientalmente amigables) en la cual las partes deterioradas se destinan en mayor medida al reciclaje y en menor medida al vertedero, puede contribuir de manera importante a las fijaciones de CO₂ y a la disminución del efecto invernadero e incluso, podría llegar a contribuir a la durabilidad ya no de cada pieza de madera sino de la edificación de madera en su conjunto la cual se “renovaría” periódicamente de forma similar a la renovación celular constante de un organismo vivo.

Es indudable que para lograr esta meta se requiere de una nueva postura y cultura ante la conjunción de los conceptos de durabilidad y mantenimiento de las edificaciones.

En virtud de lo anterior, se podría proponer una forma de mantenimiento más sostenible por ejemplo para las fachadas de madera, ya que son los elementos de la edificación más expuestos al deterioro, basado en dos estrategias complementarias:

Por una parte el uso de recubrimientos y conservantes orgánicos y biodegradables, no tóxicos ni contaminantes y de baja energía incorporada y por otra parte la reposición periódica de partes deterioradas debido a la menor efectividad de las sustancias orgánicas en comparación con las químicas convencionales, pero que permiten el reciclaje sin peligro de contaminación ni toxicidad.

Estas estrategias complementarias se podría fortalecer con el uso en fachadas de maderas coníferas algo más duras como por ejemplo el Alerce, en los casos que esto resulte ambiental y económicamente viable.

La propuesta de mantenimiento por reposición de partes podría contemplar los siguientes períodos y las siguientes superficies de reposición dependiendo del tipo de elemento de madera y su vulnerabilidad frente a los agentes atmosféricos, basados en el mantenimiento por reposición que se le podría dar a una fachada de madera expuesta a agentes atmosféricos, según Bösch (Bösch, 2000) :

Tabla 12. Períodos de reposición de elementos de fachada (mantenimiento)

Elemento	Vulnerabilidad	Período de reposición
Lamas	muy alta	c/10años
Rastreles	alta	c/20 años

Además de la protección o transformación de la madera, la selección del tipo de madera y las estrategias sostenibles de mantenimiento, la durabilidad de los elementos constructivos de un edificio de madera se ve complementada con correctas estrategias de diseño y construcción tales como la suficiente separación de los elementos de madera del suelo o fuentes de humedad, la existencia de cámaras de aire ventiladas para evitar condensaciones en el interior de fachadas y paredes expuestas a humedad, la protección de las fachadas ante la acción de agentes atmosféricos como lluvia, sol, vientos fuertes o nieve y en general, todas las previsiones necesarias para evitar que la madera sufra humedecimientos o secamientos excesivos que la deterioran o que favorecen el ataque de agentes bióticos como hongos o insectos.

Las medidas de diseño y construcción pueden ser de gran utilidad para garantizar una buena durabilidad que dependa menos de sustancias químicas o del uso de maderas duras. Entre las medidas más importantes a considerar tenemos las siguientes (Kolb, 2008):

- Aislar del terreno los suelos y elementos inferiores de la edificación construidos con madera.
- Diseño de fachadas y cubiertas que permitan el rápido drenaje de aguas de lluvia
- Incluir cámaras de aire ventiladas detrás de los elementos de madera expuestos a la humedad atmosférica.
- Evitar el uso de elementos horizontales de madera expuestos a la intemperie.
- Proteger los materiales de madera de las condiciones atmosféricas durante su transporte y almacenamiento en la obra.
- Colocar sellos aislantes alrededor de vanos y en las juntas entre distintos componentes.
- Ejecutar una apropiada supervisión del proceso constructivo y el correcto desempeño de la mano de obra, especialmente en elementos de difícil acceso una vez finalizada la construcción tales como sellos, aislantes, etc.

En general, si se cumplen las recomendaciones antes expuestas, se puede minimizar el uso de sustancias tóxicas para la conservación de los cerramientos de madera y de esta forma conferirles mayor durabilidad mediante estrategias inteligentes aplicadas al diseño y la construcción de las edificaciones.

Otro aspecto que puede comprometer la durabilidad de un edificio de madera es el hecho de que nuestro material es altamente combustible, por lo tanto un edificio aún nuevo, en caso de verse sometido a un incendio puede desaparecer en un lapso de tiempo bastante corto.

Sin embargo, el hecho de que un edificio vea comprometida su durabilidad por el fuego obedece principalmente a factores de riesgo que a la misma naturaleza del material, por lo tanto, aún siendo la madera un material combustible, tales factores de riesgo pueden ser minimizados considerablemente mediante la aplicación de estrategias de prevención y seguridad, la mayoría de las cuales están plasmadas en las normas vigentes de seguridad contra incendios.

La mayoría de las normas de seguridad contra incendios en edificios construidos con madera establecen reglas de diseño y construcción fundamentadas en un indicador que mide la combustión de la madera como lo es la “curva estándar de tiempo-temperatura” definida en la norma ISO 834, la cual establece la resistencia en tiempo que debe tener un aislamiento que proteja a la madera frente a incrementos constantes de temperatura al estar expuesta al fuego de un incendio (Östman, Jurgen, & Norén, 1997)

Las normas buscan establecer los lineamientos principales que deben considerarse a la hora de diseñar y construir edificios de madera con el objeto que se garanticen las siguientes condiciones (Hartl & Halswanter, 1997):

- Que se garantice la capacidad portante de la estructura por el tiempo suficiente para que el edificio pueda ser evacuado.
- Que la generación y extensión del fuego pueda ser limitada.
- Que el diseño del edificio favorezca una salida rápida de los ocupantes
- Que el diseño del edificio favorezca el fácil acceso de los equipos de rescate

Para determinar la resistencia al fuego de los elementos que conforman el edificio, estos se clasifican según la función de cada uno, las cuales son: función

portante, función de integridad ante gases y llamas y función de aislamiento para evitar el calentamiento. Según tales funciones, las normas establecen el tiempo mínimo que cada elemento debe resistir las llamas y se comprobará si los elementos que conforman el diseño del edificio cumplen con dichos parámetros.

Otro criterio de clasificación es el previsto en el CTE que clasifica los elementos del edificio según su ubicación; sea en plantas de sótano o plantas sobre rasante. Según este criterio, se establece para edificios de VPVP construidos con madera, las plantas de sótano deben resistir a la acción del fuego como mínimo 120 minutos, las plantas sobre rasante hasta 15 m de altura deberán resistir como mínimo 60 minutos y en el caso de alturas de hasta 28 m, 90 minutos (Vega, Llinares, & Villagrà, 2010).

En cuanto a la presentación de la madera y su resistencia al fuego, una de las consideraciones principales es la referida a la sección transversal de los elementos, en este sentido, mientras mayor sea la sección transversal, la resistencia de los elementos de madera será mayor pues la velocidad de carbonización de las maderas en general presenta valores alrededor de 0,065 a 0,07 mm/min.

Según lo anterior, un edificio construido con entramado de elementos pequeños de madera resistirá menos al fuego que otro que esté construido con paneles de contralaminado y este a su vez resistirá menos que otro que esté construido con pórticos de pilares y vigas de madera maciza o laminada de grandes secciones transversales.

Como podemos observar, el tema de la resistencia de la madera al fuego tiene menos relación con la capacidad de la madera para durar a lo largo de los años que con situaciones de emergencia relacionadas con el fuego que de igual manera pueden afectar a edificios construidos con materiales diferentes a la madera.

Sin embargo, se puede afirmar que los edificios construidos con madera tomando en cuenta previsiones para resistir incendios serán edificios cuyos elementos contarán con tratamiento y protección, previsiones de ventilación, aislamiento material y espacial que además de favorecer la resistencia al fuego, permiten que la madera se encuentre en mejores condiciones ambientales que favorecerán la durabilidad.

Como hemos visto, la durabilidad de la madera como material de construcción es una condición que depende de múltiples variables tales como tratamientos, aditivos, estrategias de mantenimiento, calidad de la madera empleada, estrategias de diseño y construcción y prevención de siniestros entre las más importantes.

Dado el énfasis de este trabajo en el impacto del uso de la madera como material de construcción, es menester considerar la relación de la durabilidad de la madera con la minimización del impacto ambiental. Tal relación se puede expresar mediante las siguientes premisas fruto de la discusión precedente:

- Mientras más durable sea un edificio, la madera que lo constituye permanecerá como sumidero de carbono durante más tiempo
- Mientras más cantidad de madera que esté en condiciones que favorezcan su durabilidad posea el edificio, mayor será la importancia de este como sumidero.
- Mientras mayor cantidad de madera de rápido crecimiento sea empleada en la construcción de VPVP, se favorecerá la formación constante de madera nueva en bosques y plantaciones y por lo tanto una mayor fijación de CO₂ atmosférico en la madera.
- En la medida que la madera sea más natural, será más reciclable y por lo tanto permanecerá más tiempo como sumidero de carbono, pues tardará en ir al vertedero, y requerirá menos incorporación de energía por concepto de transformación.
- Mientras menor sea el volumen de madera que sea sustituida dentro de las labores de mantenimiento, menor riesgo habrá de producir emisiones de CO₂ por concepto de degradación de la madera.
- Mientras mayor sea el volumen de madera sustituida por mantenimiento destinada al reciclaje, el carácter de sumidero de carbono de la madera se prolongará en el tiempo.
- En virtud de los dos puntos anteriores se debe favorecer el uso de mayores volúmenes de madera en aquellos elementos del edificio más protegidos y por lo tanto más duraderos tales como la estructura y menores volúmenes en los elementos más expuestos a los agentes generadores de deterioro, tales

como fachadas que pueden requerir ser sustituidos a lo largo de la vida útil del edificio.

- La sustitución periódica de partes deterioradas de poco volumen, tales como fachadas cuyas maderas sean reciclables, podría contribuir a la mayor durabilidad de la edificación a pesar de que a lo largo de toda su vida útil no presente los materiales iniciales del momento de su construcción.
- En la medida que sean tomadas en cuenta estrategias de diseño y construcción que impidan la acción directa sobre la madera de agentes agresivos de tipo atmosférico o biótico, mayor será la durabilidad y por lo tanto menor el impacto.

2. Caracterización de impactos.



Imagen página anterior; tomada de:
<http://www.flickr.com/photos/caranord/1484115398/sizes/z/in/photostream/>

2.1. Impactos del uso de la madera en la construcción de VPVP.

2.1.1. Breve introducción.

Como se ha mencionado anteriormente, la madera en comparación con otros materiales tiende a tener un impacto menor al utilizarla en la construcción. Se han realizado estudios con respecto a estas comparaciones tales como el “Análisis del ciclo de vida de la madera como material alternativo” publicado por el gobierno vasco (Nekazaritza, 2009). De este interesante estudio se ha extraído a manera ilustrativa la siguiente información:

Tabla 13. Comparación de impacto de la madera vs. otros materiales.

	Energía primaria total	Emisiones de GEI
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS		
Madera vs. hormigón	-33%	-79%
Madera vs. PVC	-44%	-45%
Madera vs. aluminio	-50%	-47%
Madera local vs. Madera exótica	-22%	-25%
INDUSTRIA DEL MUEBLE		
Aglomerado vs. vidrio	-62%	-60%
Estantería madera vs acero galvanizado	-6%	-37%

Fuente: (Nekazaritza, 2009)

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el uso de la madera en la construcción puede ser muy conveniente a efectos de reducir el impacto de la construcción de viviendas. En este estudio de busca determinar en qué medida,

tal reducción de impacto puede ser aprovechada al máximo identificando los puntos débiles que el uso de la madera presenta actualmente, para lo cual, consideraremos las emisiones de CO₂, la energía incorporada en la madera y la cantidad de madera que puede ser empleada en la construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas.

En esta sección del trabajo, se caracterizarán tales indicadores de impacto considerados y en la siguiente, se cuantificarán los mismos para posteriormente, pasar a realizar estudios de casos y comparaciones.

2.1.2. Emisiones de CO₂

La madera y el ciclo del carbono.

La madera contiene carbono, el cual forma parte de la glucosa que constituye la celulosa y parte de la hemicelulosa de la pared celular. Se habla de fijación de dióxido de carbono (CO₂) en la madera al hacer referencia a la cantidad de CO₂ que el árbol necesitó tomar de la atmósfera para mediante la fotosíntesis fijar el carbono en la pared celular y liberar el oxígeno de regreso al aire.

Ahora bien, la pared celular de la madera no solo posee glucosa (contenedora del carbono fijado), sino también otras sustancias, razón por la cual, un kg de madera contendrá bastante menos que un kg de carbono: por cada kg de carbono contenido en la pared celular de la madera, el árbol requiere fijar 3,667 kg de CO₂ atmosférico, pero cada kg de madera contiene en sus paredes celulares aproximadamente 0,444 kg de Carbono, por lo tanto para formar 1 kg de madera, el árbol requiere tomar de la atmósfera aproximadamente 1,63 kg de CO₂ ($1,63 / 0,444 = 3,667$) (Carazo, 2006).

Es bueno aclarar que al hacer referencia a la pared celular de la madera, no se toma en cuenta la humedad contenida en la madera y estos valores corresponderían a una madera con un CH¹³ de 0%. Cualquier madera procesada, útil para construir y por lo tanto “seca” siempre contiene un CH que ronda una proporción promedio del 12% a diferencia de la madera recién cortada que puede contener humedad en un

¹³ CH: contenido de humedad.

rango de entre 40 y 50% en peso según la especie, el origen y la época de corte, en estos casos resulta obvio que el contenido de carbono por kg de madera húmeda será notablemente menor pues está siendo sumado el peso del agua excedente.

Para ilustrar la afirmación anterior se presenta la siguiente tabla, en la cual el CO₂ eq fijado por tonelada de madera seca es el producto del peso seco de la madera por la cantidad de CO₂ necesaria para que el árbol produzca un kg de madera (1,63 kg de CO₂) y el contenido de carbono por tonelada de madera seca es el cociente entre el contenido de CO₂ y la cantidad de CO₂ necesaria para fijar un kg de carbono en la pared celular de la madera.

Tabla 14: Relación de CO₂ fijado, y humedad de la madera.

peso madera	Porcentaje humedad	Peso de agua	peso de madera Seca 0%	CO ₂ eq.
kg	%	kg	kg	kg/t mad. Anhid.
1000	12	120	880	1434,40
1000	45	450	550	896,50
1000	0	0	1000	1630,00

Fuente (Carazo, 2006).

Para el caso de hacer referencia al contenido de CO₂ por volumen de madera, deja de ser importante la humedad y pasa a serlo la densidad de la madera. En este caso, a mayor densidad, mayor contenido de carbono y por consiguiente de CO₂ fijado.

En las siguientes tablas, se parte de un volumen constante de 1m³ de madera y se toman en cuenta en cada caso densidades diferentes y humedad fija de 12% que en promedio se considera el nivel de humedad apto para la comercialización e industrialización de la madera. Se presenta el cálculo de contenido de madera anhidra por metro cúbico de según la humedad y densidad de cada caso para, basándonos en la fijación de CO₂ para la madera anhidra, calcular el CO₂ fijado en cada m³ de madera. Luego, mediante el factor que nos permite convertir un m³ de madera en una tonelada (1000/densidad) se consigue el CO₂ fijado en una tonelada de madera. Finalmente, a partir de la relación CO₂:C = 3,667, se calcula el contenido de carbono por volumen y por peso de madera.

Tabla 15: Fijación de CO2 por volumen y peso para maderas secas de distintas densidades

vol madera	densidad	humedad	peso madera	peso agua	Peso madera anhidra/m3 12%	fijación CO2 eq	CO2 eq fijado
	A	B	C	D	E=C-D	F	G= E x F
m3	kg/m3	%	kg (kg/m3)	kg (kg/m3)	kg mad anh/m3	kgCO2/kg mad. Anh.	kg/m3 de mad. según CH
1	400	12	400	48	352	1,63	573,76
1	450	12	450	54	396	1,63	645,48
1	500	12	500	60	440	1,63	717,20
1	600	12	600	72	528	1,63	860,64
1	800	12	800	96	704	1,63	1147,52
1	1500	0	1500	0	1500	1,63	2445,00

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 16: Fijación de CO2 por volumen y peso para maderas secas de distintas densidades
(cont.)

vol madera	CO2 eq fijado	conversión a tonelada	CO2 eq fijado	carbono contenido
	G	H= 1000/A	I = G x H	K = I x 3,667
m3	kg/m3 de mad. 12%		kg/Ton mad. 12%	kg/Ton mad. 12%
1	573,76	2,50	1434,40	391,16
1	645,48	2,22	1434,40	391,16
1	717,20	2,00	1434,40	391,16
1	860,64	1,67	1434,40	391,16
1	1147,52	1,25	1434,40	391,16
1	2445,00	0,67	1630,00	444,51

Fuente: Elaborado por el autor.

En las tablas anteriores se puede observar que la densidad de la madera influye directamente sobre la cantidad de carbono contenido por volumen de madera, pero no lo hace a efectos de la cantidad de carbono por tonelada de madera, la cual es igual en todos los casos, esto se debe a la sencilla razón de que una madera más densa tendrá menos volumen por tonelada y viceversa. Esta relación entre volumen y peso es lo que se presenta en la tabla como “conversión a tonelada” que no es más que el cociente entre el peso de una tonelada y la densidad de la madera. Dicho factor de conversión se convierte en un “igualador” del contenido de carbón por tonelada de cualquier tipo de madera. Se puede afirmar entonces que una tonelada de madera, independientemente de su densidad, tendrá la misma cantidad de carbono a un mismo nivel de humedad.

Según el IPCC (1996), el contenido promedio de carbono de las coníferas expresado en kg, es del 50% de la biomasa (IPCC, 1996 citado por (Bámaca & otros, 2004). La biomasa (kg) es a su vez el producto del volumen de la madera natural por la densidad de la misma.

Resulta importante saber cuánto carbono hay en la madera, pues debido a que la madera es un material perecedero, de una u otra forma, dicho carbono terminará en la atmósfera combinado con oxígeno como CO₂. El tiempo que tomará esto en suceder dependerá del tipo de material derivado del árbol y del uso que dicho material reciba, por ejemplo, se ha considerado que el carbono contenido en los residuos destinados a combustible y a desperdicios tardará como mucho un año en ser emitido a la atmósfera, los productos de papel pueden tardar hasta tres años y los productos de madera sólida como la utilizada para construir edificaciones, hasta 40 años en promedio (Buchanan & Levine, 1999).

Se puede apreciar el potencial que tiene la madera como sumidero de carbono y por lo tanto como fijadora de CO₂ atmosférico. Otros materiales tales como el acero, el hormigón y los plásticos contienen carbono en su cuerpo físico, pero comparados con la madera, su papel como sumideros de carbón es inferior.

También hemos visto que no todos los productos derivados de los árboles tienen la misma importancia en la capacidad de la madera como potencial sumidero de carbono. Según Buchanan y Levine (Buchanan & Levine, 1999) en promedio mundial para el año 1993 de 3430 millones de m³ de madera cosechada, solamente unos 580 millones de m³ (16,9% de la cosecha mundial) fueron destinados a la construcción de viviendas, mobiliario y paletas de embalaje, es decir, tardarán como máximo 40 años en degradarse en el caso de las viviendas, menos tiempo en el caso de mobiliario y mucho menos en el caso de paletas. El resto de los usos es de vida notablemente menor y por lo tanto producirán emisiones de CO₂ en períodos de tiempo bastante reducidos (de uno a tres años).

Además de lo anterior, Es necesario considerar que la madera en rollo cosechada (roundwood) no representa el total de biomasa contenida en el bosque, sino que es el resultado de las labores previas de apeo y recolección que implican una serie de desperdicios considerables que a su vez producirán emisiones de CO₂ en períodos muy cortos. Ejemplo de esto lo podemos ver en el esquema siguiente donde se muestra como en el campo se quedan residuos materiales que representan hasta el 42% del volumen del árbol, los cuales se degradarán y comenzarán a emitir CO₂ en pocos días posteriores al apeo.

También se observa como los residuos del aserradero pueden superar fácilmente el 20% de la madera en rollo (madera en troza) y acercarse al 30%. Este tipo de residuos se procura aprovechar como fuente de energía lo que sustituye el uso de energía fósil, pero que no deja de producir emisiones de CO₂ a la atmósfera en períodos de tiempo que pueden ser, en muchos casos, inferiores a tres semanas.

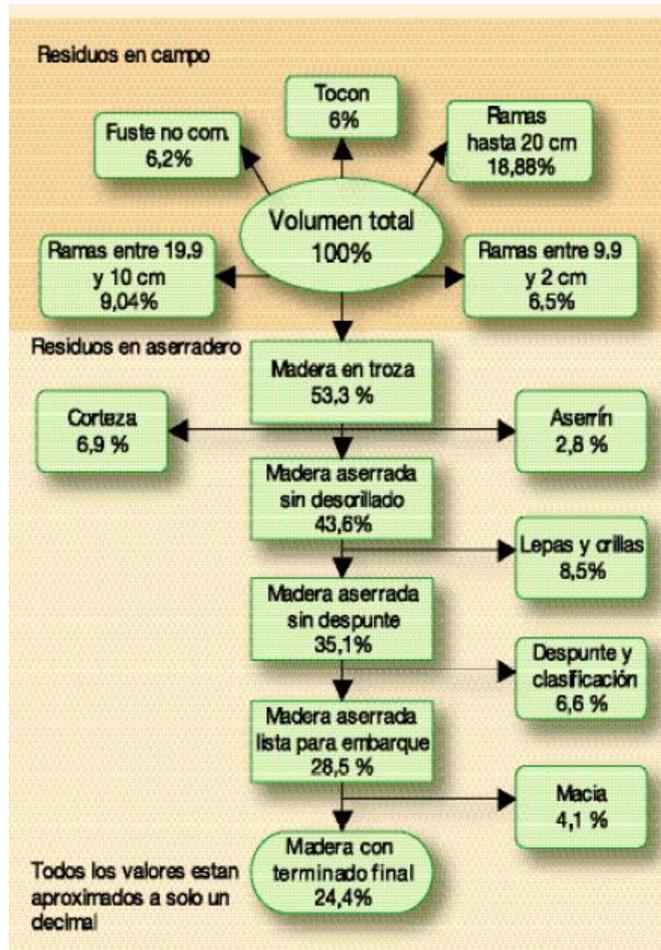


Ilustración 16: Aprovechamiento y residuos del apeo de un árbol.

Tomado de: (Bámaca & otros, 2004)

En general, se puede asumir que cada kg de madera no aprovechado y que por lo tanto se descomponga, potencialmente estará en capacidad de emitir a la atmósfera su contenido de alrededor de 400 gr de carbono, el cual, al hacer reacción con el oxígeno del aire se convertirá en aproximadamente 1,6 kg de CO₂.

2.1.3. Energía Incorporada a la madera

Se entiende por energía incorporada, la cantidad de energía de diverso origen y calidad que es necesario emplear para elaborar un producto. El término plantea de manera simbólica que dicho producto “lleva dentro de sí” una determinada cantidad de energía y por lo tanto las consecuencias del uso de tal energía son atribuibles al producto.

La energía incorporada está estrechamente relacionada con las emisiones de CO₂, por lo tanto y para poder realizar los cálculos pertinentes en este trabajo, es necesario conocer en qué cantidades y proporciones se incorpora la energía a la producción y transformación de madera y cómo se origina la energía, sea por quema de combustibles, fósiles u orgánicos, por procesos nucleares o de fuentes ambientales como la energía solar o eólica, las cuales se consideran como no contaminantes. La figura 1 es un esquema que muestra la cantidad de energía empleada en la producción de un metro cúbico de madera aserrada y las proporciones de su empleo.

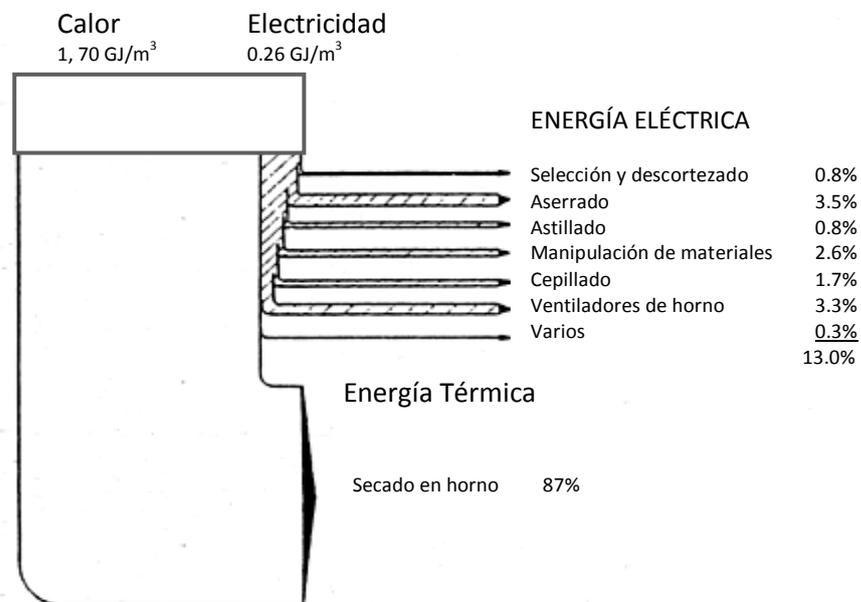


Ilustración 17: Energía utilizada para producir 1 m³ de madera.
Fuente (FAO, 1992)

La energía incorporada en la transformación de la madera, comúnmente se ha clasificado en energía eléctrica y energía térmica, según las fuentes energéticas y los procesos en los cuales se emplee tal energía. La energía eléctrica se emplea en la maquinaria para el procesamiento (corte, lijado, etc). La energía térmica se usa en los hornos de secado y en el prensado y encolado de productos.

Para la generación de electricidad y energía térmica, se consideran las fuentes de energía (combustibles) según los datos de la Comisión Nacional de Energía de España, mostrados en la Tabla 18 y Tabla 17 (Comisión Nacional de Energía, 2007), (The engineering tool box, 2007). Se consideran consumos de 0.26 GJ/m³ (electricidad) y 1.7 GJ/m³ (energía térmica) en el caso de lamas y montantes y consumos de 0.675 GJ/m³ (electricidad) y 3.825 GJ/m³ (energía térmica) en el caso de la madera contra-laminada (FAO, 1992)

Tabla 18. Energía eléctrica incorporada

Fuente energética (tipo)	participación %	emisión CO2 kg CO2/GJ
Fuel-Gas	3,2	535,00
Renovables	27,7	0,00
Carbón	22,5	261,10
Nuclear	16,8	0,00
Biomasa	8,2	79,760
Ciclo combi.	20,7	95,90
Otras	0,9	N.D.
	100,0	

Tabla 17. Energía térmica incorporada

Fuente energética (tipo)	participación %	emisión CO2 kg CO2/GJ
Gasóleo	6,0	66,72
Gas	80,0	63,94
Carbón	6,0	261,10
Biomasa	8,0	79,760
	100,0	

Además de que el empleo de energía ya se toma como un impacto, debido a que la energía en si misma resulta escasa, el otro aspecto a considerar es la generación de la energía útil para los procesos de transformación en lo cual, aún en nuestros días, el empleo de combustibles que al ser quemados producen emisiones de CO₂ sigue siendo importante pues las fuentes energéticas alternativas que no producen emisiones como la eólica y solar aún no presentan un uso extendido por razones principalmente económicas y otras como la nuclear, si bien no emiten CO₂, son contaminantes en emisiones radiactivas dañinas para la salud y requieren de controles estrictos y delicados los cuales, en caso de haber fallas imprevistas pueden generar catástrofes.

Por tal razón, se considera en este estudio que la incorporación de energía presenta un doble impacto: el uso mismo de la energía y las emisiones de CO₂ asociadas al uso de la energía. A efectos de la cuantificación del impacto por emisiones de CO₂ asociadas a la incorporación de energía en los procesos de transformación de la madera, veremos más adelante como las fuentes de información tomadas como referencia incluyen tal impacto en los valores globales de impacto asignados a cada producto obtenido de la transformación.

De tal manera, el impacto por incorporación de energía considerado en este estudio se referirá al requerimiento energético total para la obtención de los diferentes productos de madera y derivados. Esto puede guiarnos a futuras discusiones como por ejemplo; la cantidad de energía requerida en relación a la posible escasez de la misma o la cantidad de energía renovable no emisora de CO₂ que sería necesario generar para suplir la demanda energética para la transformación de la madera y la obtención de materiales de construcción.

2.1.4. Impacto por producción y uso de madera para construir VPVP

Uno de los aspectos a considerar en lo que respecta a la sostenibilidad del uso de la madera como material de construcción es la posible influencia que sobre la disponibilidad del recurso en el futuro pueda tener una demanda creciente de madera para la edificación de VPVP. Se parte de considerar que si se comienzan a construir con madera como material principal muchos edificios de viviendas de varias plantas, probablemente aumentaría la demanda de madera por parte del sector de la construcción, por lo tanto podría llegar a existir una mayor presión sobre la producción de madera y la capacidad de los bosques y plantaciones productivas que la suplen y tal vez conflictos de abastecimiento de madera con otros sectores industriales. Las preguntas que han motivado la realización de esta parte de la investigación serían las siguientes:

En el caso de que se comience a utilizar un volumen importante de madera para la construcción de VPVP, podríamos plantear algunas interrogantes básicas acerca del posible impacto que tal utilización creciente podría generar, entre ellas:

- ¿Estaría en capacidad la industria maderera europea de suplir esta demanda creciente?
- ¿Hasta qué punto podría esta demanda impactar la dinámica ecológica y productiva de los bosques y plantaciones de madera en Europa?
- ¿Surgirían conflictos de difícil manejo con otros sectores industriales europeos que dependen del aprovisionamiento de madera para su cabal funcionamiento?

De estas tres preguntas se intenta responder con la mejor aproximación posible las dos primeras, pues la tercera, aún siendo relevante, escaparía al ámbito de estudio de esta tesis.

Con el fin de considerar la primera pregunta, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

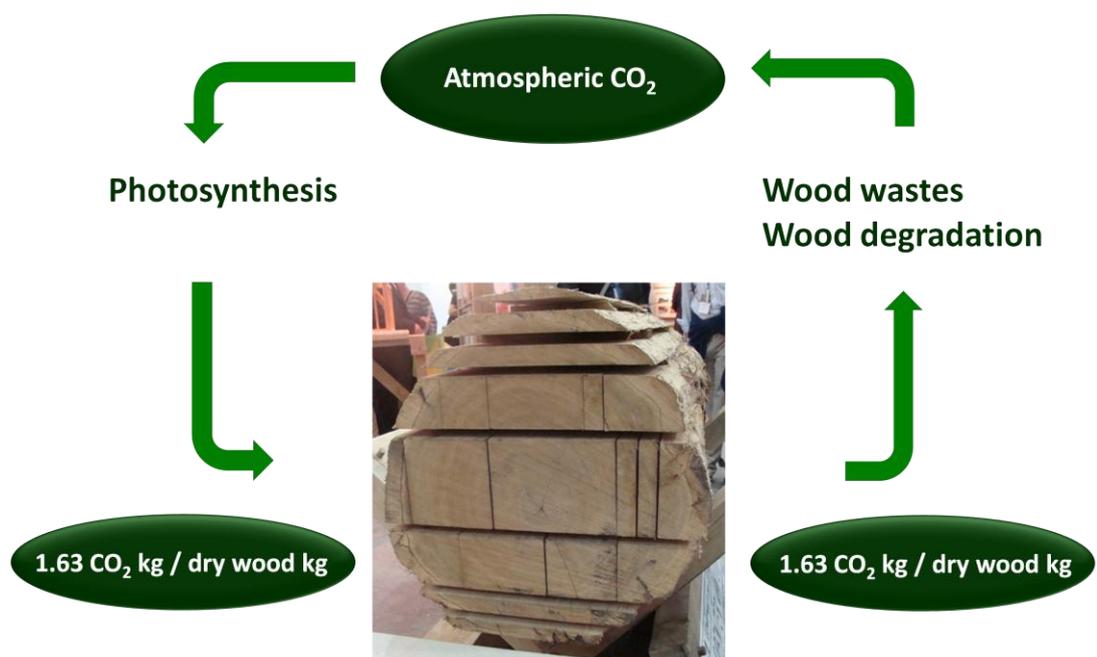
- Los niveles de producción y consumo de madera en Europa
- El flujo de la producción de madera hacia diferentes sectores industriales, incluyendo el sector de la construcción, específicamente de viviendas.
- Cuantificar cuánta madera requeriría el sector de la construcción si se intensifica su uso para la edificación de VPVP.

En cuanto a la segunda pregunta, habría que considerar:

- El balance existente entre producción y consumo de madera en Europa
- La influencia que sobre dicho balance podría tener una mayor utilización de madera en el sector de la construcción
- La capacidad real que tiene los bosques y plantaciones de madera europeos para suplir un eventual aumento de demanda de madera para la construcción de VPVP.

Es necesario tomar en cuenta los aspectos arriba señalados para realizar cálculos que permitan determinar el alcance del impacto contemplado. Tales cálculos y su respectiva discusión se presentan en la sección 3.3

3. Cuantificación de los impactos considerados.



Elaboración propia.

3.1. Impacto por emisiones de CO₂ y energía incorporada.

3.1.1. Estudio muestra. Caracterización.

Como primera aproximación a la cuantificación del impacto por emisiones de CO₂ y de energía incorporada de la madera utilizada en la construcción de VPVP, se plantea el estudio muestra de un m² de fachada ciega en un edificio de viviendas que a la vez forma parte de los casos de estudio considerados más adelante en este trabajo.

Se ha asumido que la fachada de Madera se encuentra en un edificio construido en Cataluña con Madera importada desde Austria o Alemania, parte de la cual recibirá el procesamiento final en su destino y el resto será importada en elementos hechos a la medida (madera contralaminada). Se consideró transporte terrestre en todas las etapas, en camiones madereros cuyas emisiones promedio por consumo de combustible son de 2.66 kgCO₂/l (Comisión Nacional de Energía, 2007) considerando el viaje de retorno. Las cargas de Madera consideradas son de 25 m³

entre el bosque y el aserradero , de 40 m³ para el transporte internacional y 10 m³ para la distribución local. El mantenimiento de la fachada se plantea bajo la estrategia de sustitución periódica de partes deterioradas.

Los residuos de procesamiento de la madera se calcularon con base en los datos presentados en la Tabla 20 y Tabla 21. Se calculó la cantidad de carbono emitido por degradación y quema de residuos así como también el carbono en forma de CO₂ equivalente fijado en la parte aprovechada de la madera del árbol, partiendo de los datos presentados en la Tabla 22 y considerando el uso de madera conífera seca con densidad promedio de 450kg/m³.

Las emisiones por energía incorporada en la transformación de la madera fueron calculadas a partir de información acerca de los combustibles empleados en la generación de electricidad en Cataluña y en la producción de calor en los aserraderos para las labores de secado, prensado y encolado. En el caso de la madera contralaminada se consideró el uso de resinas de resorcina con densidad de 1,2 t/m³ y emisiones de 1,57 tCO₂/m³ de resina (Infomadera, 2007). Las emisiones provenientes del mantenimiento de la fachada, como obedecen a la reposición de piezas, su cálculo fue una repetición resumida de los cálculos antes descritos adaptados a las cantidades de madera destinadas al mantenimiento. Posteriormente se realizaron los dos balances:

Balance físico: Este balance implica la consideración de la totalidad del almacenamiento de carbono y las emisiones por concepto de residuos y desperdicios del corte del árbol y el aserrío de la madera, sin incluir emisiones por energía incorporada ni por transporte.

Balance general físico-energético: Tuvo como insumo el balance físico al cual se agregaron todas las emisiones por concepto de energía incorporada y transporte tanto para el caso de la madera empleada en la construcción como en la madera destinada al mantenimiento de la fachada.

Los balances se realizaron siguiendo el esquema de un balance financiero contemplando en columnas paralelas los ingresos, egresos y saldos que se denominaron almacén, emisión y balance respectivamente. La peculiaridad de estos balances es que los ingresos ocurren todos en un solo momento, en el árbol vivo, y los egresos pueden ocurrir en numerosas ocasiones.

3.1.2. Cálculos y Resultados

3.1.2.1. Emisiones de CO₂ por corte y aserrío.

Nos hemos basado en los datos contenidos en la Tabla 19 para calcular la cantidad de de CO₂ fijado en una madera estructural seca. Esto permite determinar el potencial de emisiones que esa madera puede tener en caso de ser quemada o degradada.

Tabla 19. Fijación de CO₂ en la madera

Peso	densidad	Volumen	Fijación	Fijación
Kg	Kg/m ³	m ³	t CO ₂ eq/t (tree)	tCO ₂ /m ³ (tree)
1000	450	2,22	1,434	0,645

La fijación de dióxido de carbono expresado en toneladas de CO₂ por tonelada de árbol viene de la Tabla 20 y la fijación por volumen de árbol es el cociente entre la fijación de CO₂ por tonelada entre el volumen de una tonelada el cual a su vez es el cociente del peso entre la densidad considerada. A partir de estos datos, se puede construir la siguiente tabla de contenidos equivalentes de CO₂ en los diferentes productos y subproductos obtenidos del aserrado del árbol para la obtención de madera estructural:

Tabla 20. Fijación de CO₂ por unidad de volumen y peso de madera

Stage	Vol. obtenido de 1 m ³ de árbol		fijación	Fijación de CO ₂	Destino del sub-producto	Relac. m ³ :ton	Fijación de CO ₂ por peso de árbol.
	% ¹	m ³	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /m ³			kgCO ₂ /ton
Dejado en el bosque:							
Copas, ramas y follaje	23	0,23	645,48	148,46	Degradació	2,22	329,91
Tocón sin raíces	10	0,1	645,48	64,55	Degradació	2,22	143,44
Aserrín de tala	5	0,05	645,48	32,27	Degradació	2,22	71,72
Aserrío:							
Virutas y recortes	17	0,17	645,48	109,73	Reciclaje	2,22	243,85
Aserrín y menudos	7,5	0,08	645,48	48,41	Reciclaje	2,22	107,58
Pérdidas varias	4	0,04	645,48	25,82	Reciclaje	2,22	57,38
Corteza	5,5	0,06	645,48	35,50	incineración	2,22	78,89
Madera aserrada	28	0,28	645,48	180,73	Constructio	2,22	401,63
totales	100	1		645,48			1434,4

1 Fuente: (FAO, 1992)

Se considera que para la obtención de madera de los rastreles y de las lamas se aserrará la madera del árbol en elementos más pequeños que en una madera estructural, por lo que se aprovechará más madera y se generarán menos residuos. En el caso de la madera contralaminada, serán aún menores las secciones de corte e igualmente, menores los residuos (Kolb, 2008).

Se considera que para obtener madera de uso estructural, se aprovecha 28% de la madera del árbol, en el caso de los elementos de escuadrías menores como rastreles, se aprovecha hasta un 38% y en el caso de la madera contralaminada hasta un 49,5% de la madera del árbol, por lo que siguiendo el esquema de cálculos de la Tabla 20, obtenemos los siguientes datos de “almacenamiento” y emisiones de CO₂ en los dos tipos de madera presentes en la fachada estudiada comparados con la madera estructural:

Tabla 21. Emisiones y almacenamiento de CO₂/m³ de árbol procesado

Tipo de madera	Sumidero madera	Sumidero reciclaje	emisiones
	kgCO ₂ eq/m ³ (árbol)	kgCO ₂ eq/m ³ (árbol)	kgCO ₂ eq/m ³ (árbol)
Madera estructural	180,73	158,14	307,6
Rastreles y capa exterior	245,28	106,5	293,7
Madera contralaminada	319,5	35,5	290,46

Las emisiones consideradas en la Tabla 21 corresponden al procesamiento de un metro cúbico de árbol del cual se obtiene una cantidad de madera y otra cantidad de material reciclado que pueden ser por ejemplo tableros aglomerados. Cada uno de los dos tipos de productos contiene un stock de CO₂ equivalente. Para saber las emisiones correspondientes a la madera que utilizaremos en la fachada es necesario repartir las emisiones totales entre los productos obtenidos según el porcentaje que representa cada uno. Así se determinarán las emisiones correspondientes por m³ de madera utilizada. Ese resultado se refleja en la Tabla 22 y la Tabla 23. Se denomina cuota de emisiones.

Tabla 22. Emisiones de madera utilizada por desechos de corte y aserrío

Tipo de madera	Cuota de emisiones	Volumen obtenido del árbol	Emisiones por m ³ de madera
	kgCO ₂ eq	(m ³)	kgCO ₂ eq/m ³
Montantes y lamas	204,78	0,38	538,89
Madera contralaminada	261,41	0,495	528,10

Tabla 23. Emisiones atribuibles a los desechos de corte y aserrío

Elemento	Emisiones por vol. de madera	Volumen/ área	Emisiones por área de fachada
	kgCO ₂ /m ³	m ³ /m ²	kgCO ₂ /m ²
Lamas	538,89	0.05	26.94
Montantes	538,89	0.005	2.69
Madera contralaminada	528,10	0.1	52.81

3.1.2.2. Emisiones de CO₂ por energía incorporada

Ahora consideraremos la incorporación de energía en el procesamiento de la madera. La energía eléctrica se emplea en la maquinaria para el procesamiento. La energía térmica se usa en los hornos de secado y en el prensado y encolado de productos.

Para la generación de electricidad y energía térmica, se consideró el uso de combustibles según los datos de la Comisión Nacional de Energía de España, mostrados en la Tabla 25 y la Tabla 24 (Comisión Nacional de Energía, 2007), (Infomadera, 2007). Se consideraron consumos de 0.26 GJ/m³ (electricidad) y 1.7 GJ/m³ (energía térmica) en el caso de lamas y montantes y consumos de 0.675 GJ/m³ (electricidad) y 3.825 GJ/m³ (energía térmica) en el caso de la madera contralaminada (FAO, 1992).

Tabla 25. Energía térmica incorporada

Fuente energética	participación	emisión CO ₂
(tipo)	%	kg CO ₂ /GJ
Gasóleo	6,0	66,72
Gas	80,0	63,94
Carbón	6,0	261,10
Biomasa	8,0	79,760
	100,0	

Tabla 24. Energía eléctrica incorporada

Fuente energética	participación	emisión CO ₂
(tipo)	%	kg CO ₂ /GJ
Fuel-Gas	3,2	535,00
Renovables	27,7	0,00
Carbón	22,5	261,10
Nuclear	16,8	0,00
Biomasa	8,2	79,760
Ciclo combi.	20,7	95,90
Otras	0,9	N.D.
	100,0	

La Tabla 26 muestra los datos de emisiones expresados por volumen de material y por superficie de fachada.

Tabla 26. Emisiones por energía incorporada al procesamiento de la madera.

Elemento	emisiones eléctrica	emisiones térmica	total emisión por elemento	vol. /m ² fachada	Emisiones por área de fachada
	kg CO ₂ /m ³	kg CO ₂ /m ³	kg CO ₂ /m ³	m ³ /m ²	kg CO ₂ /m ²
lamas	26,59	131,24	157,83	0,05	7,89
rastreles	26,59	131,24	157,83	0,01	1,58
contralaminada	69,02	295,30	364,32	0,1	36,43
Totales:	122,20	557,78	679,98	0,16	45,90

3.1.2.3. Emisiones por transporte y mantenimiento

El transporte internacional (trayecto 2) se realiza principalmente por vía terrestre en camiones que utilizan combustible diesel y que cargan volúmenes de producto de alrededor de 40 m³ de madera. En el caso de elementos aserrados de medianas dimensiones, se considera el transporte desde el bosque al lugar del primer procesamiento (trayecto 1) y desde un lugar de segundo procesamiento o almacenamiento hasta la obra (trayecto 3). En el caso de madera contralaminada, por tratarse de elementos prefabricados a medida según las especificaciones de cada obra, no existirá el trayecto 3 pues de la planta de origen (Ej. Alemania) se transportan directamente a la obra por vía terrestre.

Se plantean consumos de combustible diesel de 0.34 l/km para los trayectos 1 y 2 y de 0.27 l/km para el trayecto 3, la longitud de los trayectos es de 100, 3800 y 250 km respectivamente. En todos los casos, las distancias de los trayectos se consideran duplicadas pues el camión hará el recorrido con carga desde el origen al destino (ida) y vacío desde el destino hasta el origen (vuelta). Las emisiones del diesel se consideran de 2.66 kgCO₂/l (The engineering tool box, 2007).

Tabla 27. Emisiones atribuibles al transporte

Elemento	emisión unitaria	Volumen/ superficie	emisión por superficie
	kgCO ₂ /m ³	m ³ /m ²	kgCO ₂ /m ²
laminas de madera	107.22	0.05	5.36
rastreles de madera	107.22	0.005	0.54
contralaminado	89.53	0.1	8.95
total	14.85		

Los cálculos de emisiones provenientes del mantenimiento incluyeron emisiones por concepto de residuos de silvicultura y procesamiento; por concepto de energía incorporada y por transporte siguiendo las mismas pautas consideradas para la construcción por primera vez. En el cálculo de emisiones se consideró toda la vida útil de la edificación, la cual se calcula en aproximadamente 40 años (O'Connor, 2004).

Las partes de madera consideradas para el mantenimiento por reposición fueron las lamas de recubrimiento por ser las más expuestas y vulnerables, y en segundo lugar los rastreles. La madera contralaminada, por constituir la estructura de la fachada y por presentar protección química que le confiere mayor resistencia a los agentes de deterioro, no será sustituida en toda la vida útil.

Tabla 28. Emisiones por mantenimiento

Elemento	emisión por volumen de madera	Vol./superficie	Reposición	emisión por superficie de fachada
	kgCO2/m3	m3/m2	(veces)	kgCO2/m2
residuos lamas	538,89	0.05	2	53,89
Residuos rastreles	538,89	0.005	1	2,69
Energía lamas	157,83	0.05	2	15,87
Energía rastreles	157,83	0.005	1	0,79
Transporte lamas	107,22	0.05	2	10,72
Transporte rastreles	107,22	0.005	1	0,54

3.1.3. Balance físico de emisiones

El balance físico de emisiones fue calculado tomando en cuenta las emisiones generadas por residuos de corte y procesamiento. Se denomina balance físico porque se refiere a las emisiones procedentes del cuerpo físico de la madera.

Primero se calculó la capacidad de sumidero de CO₂eq de cada elemento de la fachada. La Tabla 29 muestra el almacenamiento y la Tabla 30 muestra el balance físico.

Tabla 29. Almacenamiento de CO₂eq en elementos de la fachada.

Elemento	Sumidero por volumen	Volumen/ superficie	Sumidero por
	kgCO2/m3	m3/m2	kgCO2/m2
Lamas	-645.5	0.05	-32.28
Rastreles	-645.5	0.005	-3.23
contralaminada	-645.5	0.1	-64.55

Tabla 30. Balance físico de emisiones.

Concepto	Sumidero	emisión	balance
	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²
Hasta el momento de la construcción			
Residuos lamas	-32.28	26.94	-5.33
Residuos rastreles	-3.23	2.69	-0.53
Residuos contralaminada	-64.55	52.81	-11.74
Mantenimiento			
Residuos lamas	-64.55	53.89	-10.66
Residuos rastreles	-3.23	2.69	-0.53

3.1.4. Balance general físico-energético de emisiones

El balance general físico-energético de emisiones fue realizado según lo expuesto en la metodología. La Tabla 31 muestra los resultados.

Tabla 31. Balance general físico energético de emisiones.

Concepto	Sumidero	emisión	balance
	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²
Hasta el momento de la construcción			
Residuos lamas	-32.28	26.94	-5.33
Residuos rastreles	-3.23	2.69	-0.53
Residuos contralaminada	-64.55	52.81	-11.74
Energía lamas	0,00	7.89	7.89
Energía rastreles	0,00	0.79	0.79
Energía contralaminada	0,00	34.84	34.84
Resinas contralaminada	0,00	1.57	1.57
Transporte lamas	0,00	5.36	5.36
Transporte rastreles	0,00	0.54	0.54
Transporte contralaminada	0,00	8.95	8.95
Mantenimiento			
Residuos lamas	-64.55	53.89	-10.66
Residuos rastreles	-3.23	2.69	-0.53
Energía lamas	0,00	15.78	15.78
Energía rastreles	0,00	0.79	0.79
Transporte lamas	0,00	10.72	10.72
Transporte rastreles	0,00	0.54	0.54
TOTAL BALANCE:			58.97
SUMATORIA DE EMISIONES POR ENERGÍA			60.09
BALANCE SI EL 100% DE LA ENERGÍA FUESE RENOVABLE			-1.12

El balance físico-energético constituye un resumen de todas las emisiones y sumidero de CO₂ de los componentes de la fachada estudiada. Tomando los datos contenidos en la Tabla 31, podemos conocer también la distribución de emisiones de CO₂ según su origen considerando las emisiones provenientes de residuos de apeo y transformación, las generadas por la energía incorporada, transporte y resinas contenidas en los tableros. También se consideran las emisiones hasta el momento de la construcción y las generadas por el mantenimiento basado en la sustitución periódica de piezas deterioradas. Las emisiones están expresadas en kg de CO₂ por unidad de área de fachada.

Como se puede observar en la Ilustración 18, la mayor cantidad de emisiones hasta el momento de la construcción de la fachada provienen de los residuos de la madera por concepto de apeo y transformación, luego siguen en importancia las emisiones provenientes de la generación de la energía incorporada en la transformación de la madera¹⁴ y finalmente, las emisiones producidas por transporte¹⁵ y las resinas contenidas en los tableros de madera contralaminada.

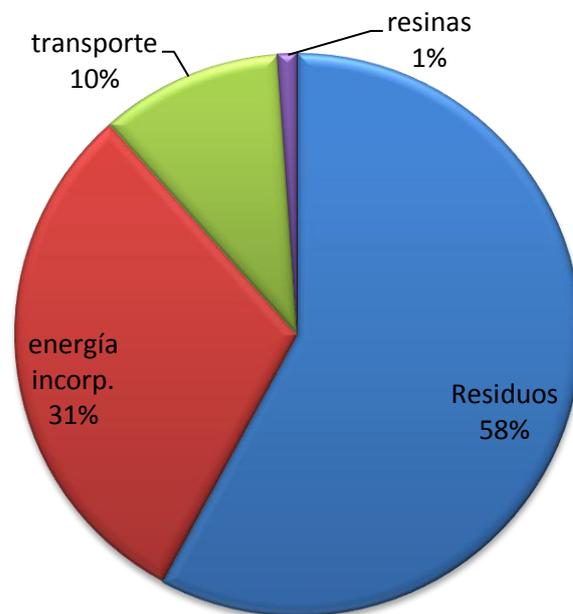


Ilustración 18: Construcción de la fachada. Emisiones según su origen (kg CO₂/m²)

¹⁴ Según combustibles o fuente energética empleados en la generación de energía eléctrica de acuerdo a datos de CNE, España.

¹⁵ El transporte es de tipo terrestre dentro del territorio europeo.

En cuanto a las emisiones producidas por mantenimiento bajo la estrategia propuesta de sustitución periódica de partes deterioradas (Ilustración 19), se observa como la proporción de emisiones provenientes de residuos aumenta, pues a los residuos generados por la producción de las nuevas piezas de madera incorporadas, se suma una parte de la madera deteriorada sustituida que no podrá ser reciclada debido a su mal estado. En este caso no hay emisiones de CO₂ originadas en resinas pues se supone que los tableros de madera contralaminada no serán sustituidos y la sustitución se hará solamente de piezas de madera natural las cuales no contiene resinas.

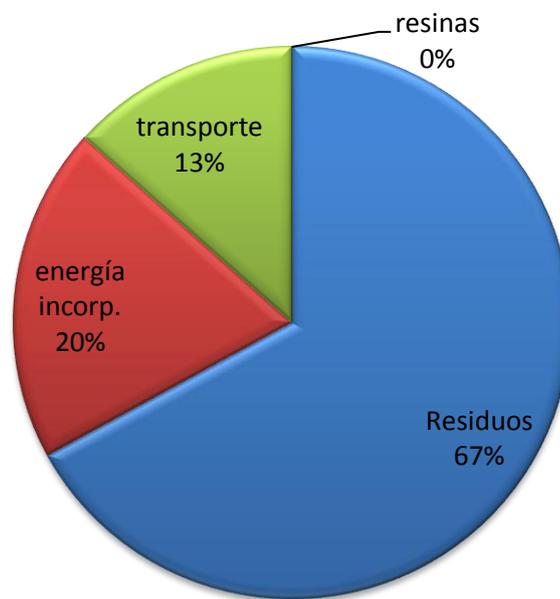


Ilustración 19: Mantenimiento de la fachada. Emisiones según origen (kg CO₂/m²).

Finalmente, se puede observar en la Ilustración 20, la proporción de emisiones generadas por la construcción y el mantenimiento de una fachada de madera construida según lo considerado en este estudio. Se nota que las emisiones atribuibles al mantenimiento serían considerablemente altas pues representan casi el 40% del total de emisiones plasmadas en la Tabla 31 concernientes al balance general de emisiones.

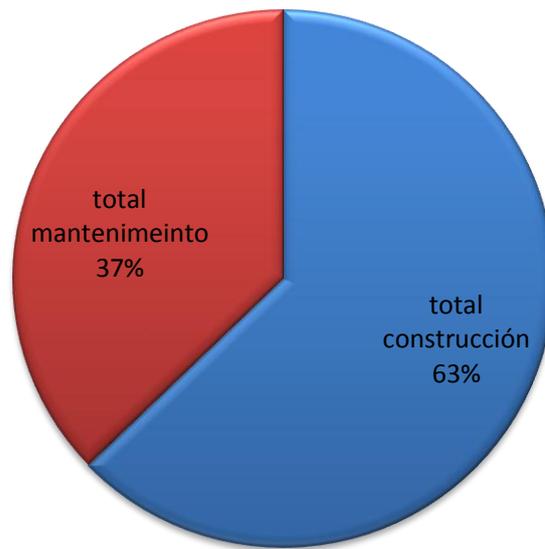


Ilustración 20: Emisiones de CO₂. Construcción vs. Mantenimiento (kg CO₂/m²).

3.1.5. Aspectos resaltantes de esta sección:

En el balance físico de emisiones, o emisiones atribuibles al carbono contenido en el cuerpo de la madera, se puede observar un valor de signo negativo hasta el momento de la construcción, que significa que las emisiones de CO₂ son menores que el almacenamiento de carbono. En esta etapa, la madera se puede considerar un sumidero neto de carbono.

Se observa que la mayor cantidad de emisiones de CO₂ en el balance físico son causadas por los residuos del corte del árbol y del procesamiento de la madera, de los cuales los primeros son menos controlables que los segundos pues se deben a las porciones del árbol que no aprovecha la industria forestal.

Si se lograra disminuir la cantidad de residuos no aprovechados de manera que no se degraden o se quemen se lograría que el balance físico de emisiones llegue a tener un valor absoluto mayor que el obtenido.

El balance físico-energético de emisiones es de signo positivo, es decir, las emisiones superan la capacidad de almacenamiento de carbono de la madera y esta deja de ser un sumidero neto. Sin embargo, si se sustituyera toda la energía incorporada por energía 100% renovable, el balance puede tener signo negativo, pero con un valor absoluto muy bajo. Esto muestra que el peso de las emisiones físicas (provenientes de residuos de madera) y las emisiones energéticas es muy similar.

Para que la fachada estudiada pudiese ser un sumidero neto de carbono, además de contar con energía 100 % renovable, sería indispensable reducir significativamente la cantidad de residuos en el procesamiento de la madera.

La capacidad de fijación de carbono en la madera es una capacidad limitada pues obedece a procesos fisiológicos del árbol los cuales son difíciles de controlar por el ser humano. La posibilidad de generar emisiones es muy amplia y debería ser más controlada.

Es necesario esquemas de procesamiento de la Madera que minimicen la cantidad de residuos y que funcionen con energías no emisoras de CO₂. Pensar que la madera como material de construcción es sostenible por naturaleza podría convertirse en su principal debilidad de cara a la sostenibilidad.

Hasta aquí hemos considerado únicamente la madera contralaminada a efectos de la cuantificación de los impactos por concepto de emisiones de CO₂ y energía incorporada, con cálculos propios basados en información proveniente de diversas fuentes.

3.2. Selección de fuente de datos de impacto.

3.2.1. Consideraciones iniciales:

Debido a que serán estudiados varios casos de edificios de VPVP contruidos con presentaciones de madera distinta al contralaminado, es necesario contar con datos de impacto por emisiones y energía incorporada. Sin embargo, debido a lo extenso que sería hacer cálculos equivalentes a los anteriores para cada uno de los productos de madera derivados de ella empleados en la construcción de los edificios a estudiar, se recopilarán dichos datos de las fuentes existentes de información relacionada con el tema.

El objetivo de esta sección es revisar en algunas de las principales fuentes de datos acerca del impacto de los productos de madera y sus derivados empleados en la construcción de edificios de varias plantas y seleccionar luego un conjunto coherente de datos de impacto a ser utilizados en los cálculos a realizar en los casos de estudio.

Las fuentes de información tomadas en cuenta son:

- Las ediciones de 2001 y 2009 del libro “The Ecology of Building Materials” de Björn Berge.
- La base de datos europea sobre productos de madera “Dataholz”
- La información de libro “Energy Manual”
- Información acerca de tableros contralaminados de la empresa finlandesa Finnforest.
- Los cálculos acerca de los tableros contralaminados presentados anteriormente.

En cuanto a los datos por concepto de emisiones de CO₂, se intenta conseguir información acerca de las distintas fuentes de emisiones tales como transformación, transporte, y emisiones provenientes de las distintas fuente de energía.

Numerosos autores presentan los datos acerca de emisiones de CO₂ de los diferentes productos de madera en términos de balance, es decir, el resultado de sumar todas las emisiones asociadas al material y restarlas a la cantidad de carbono contenida en la celulosa del producto.

En muchos casos, tal balance es de signo negativo, condición que indica que son menores las emisiones de CO₂ que el CO₂ eq. fijado en el material. En otros casos no se especifica si se trata de un balance y hay casos en los cuales se presenta la cantidad total de emisiones sin considerar el carbono contenido y el balance.

Dada la dispersión de datos en este sentido y la dificultad de comprobar cuantas emisisones son imputables a residuos no reciclables o si se consideran los residuos de la silvicultura, se procurará, a efectos de los cálculos considerar la totalidad de las emisiones imputables a los procesos de producción, de transformación, energía incorporada y transporte dejando el balance como un output externo a este trabajo el cual podría considerar lo siguiente:

$$\text{BEM}^{16} = (\sum E_{P, Tn, Ei, Tp} - \text{CO}_2 \text{ eq PME}) - \text{CO}_2 \text{ eq MF}$$

(A) - (B)

- BEM : Balance de Emisiones de la explotación de la madera
- $\sum E_{P, Tn, Ei, Tp}$: Sumatoria de emisiones por producción de madera, transformación, fuentes de energía incorporada y transporte.
- CO₂ eq PME: Dióxido de carbono eq. fijado en los productos de madera existentes.
- CO₂ eq MF: Dióxido de carbono eq. fijado en la madera en formación

¹⁶ El miembro "A" de la ecuación se refiere al balance de emisiones que existiría entre el CO₂ eq fijado en los productos derivados de la transformación de la madera y el CO₂ emitido en los proceso de transformación de los mismos. El miembro "B" se refiere a la cantidad de CO₂ que anualmente es fijada en los árboles en crecimiento en bosques y plantaciones forestales del mundo. Si el miembro "A" posee signo negativo, se trata de una situación beneficiosa pues serán menores las emisiones que la cantidad de CO₂ fijado en los productos en este caso, la suma algebraica del BEM tendría signo negativo lo que indicaría que la madera como material industrial actuaría como sumidero neto de carbono. En caso contrario, la madera no estaría actuando como sumidero neto de carbono. En todo caso sería requisito indispensable que el valor absoluto del segundo miembro sea mayor que el del primer miembro.

La realización de un balance como el propuesto arriba, implicaría un estudio global en el cual habría de incluirse toda la madera en producción, toda la madera transformada y todas las emisiones de todos los productos de madera obtenidos por la transformación. Tal balance supera con creces el alcance de nuestro estudio.

Respecto a la energía incorporada, muchos autores diferencian el origen de la energía especificando si se trata de fuentes fósiles o renovables. En este sentido es necesario tomar en cuenta varios aspectos entre los principales los siguientes:

- No toda energía renovable es no contaminante, pues por ejemplo, la energía proveniente de la quema de residuos de madera o derivados de la misma producen emisiones de CO₂ incluso mayores que las de los combustibles fósiles debido al menor potencial calórico de la madera. La ventaja de los derivados de la madera como fuente de energía es que son renovables y los combustibles fósiles no lo son.
- El perfil de la proporción de energía fósil y energía renovable, en todo caso es un promedio que no en todos los casos se cumplirá de la misma manera, incluso, en algunos casos es posible que la totalidad de la energía empleada en la producción y transformación de la madera sea 100% de origen fósil o con una proporción mayor al promedio de energía renovable.
- Considerando lo anterior, a efectos de los cálculos de la cantidad de energía incorporada a los distintos productos, se procurará tomar en cuenta el total de energía requerida independientemente del origen de la misma pues se trata de la energía requerida y no del potencial contaminante del uso de la energía, el cual estaría incluido en las emisiones de CO₂ provenientes de la energía.

3.2.2. Revisión de fuentes:

A continuación se presenta la información contenida en cada una de las fuentes seleccionadas, luego serán comparadas, para finalmente seleccionar el conjunto de datos a ser empleados en los cálculos de impacto por emisiones de CO₂ y energía incorporada.

1. The Ecology of Building Materials:

Según Björn Berge, las emisiones imputables a la producción de diversos derivados de la madera tomando en cuenta solo el impacto básico sin considerar el carbono almacenado en la madera y la energía incorporada en dichos productos ha variado notablemente en los últimos 9 años, así podemos ver la diferencia existente entre los datos publicado por el mismo autor en el año 2000 y en el año 2009 en el siguiente cuadro (Berge, 2001), (Berge, 2009).

Tabla 32. Ejemplo de variación de datos de impacto en la bibliografía

Fuente: The ecology of building materials						
	Emisiones CO2		Variación	Energía incorporada		Variación
	gCO2/kg		%	MJ/kg		%
	2000	2009	2009-2000	2000	2009	2009-2000
Madera sin tratar seca al aire	116	300	259	3	16,5	550
Madera laminada	230	700	304	4	21	525
Tableros porosos con betún	468	1400	299	18	38	211
Tableros duros	766	1500	196	15	40	267

Tales diferencias no obedecen necesariamente a que las emisiones o la energía incorporada hayan aumentado, sino muy probablemente a que el nivel de precisión en la estimación de los datos ha aumentado y en las fechas anteriores, las estimaciones por el hecho de ser menos exactas proponían valores menores que los que se manejan más recientemente. Otros derivados con sus respectivas estimaciones de emisiones de CO₂ y energía incorporada presentados por Berge en su última edición son los siguientes (Berge, 2009)

Tabla 33. Datos de emisiones y energía incorporada. Berge.

Material	Impacto básico	
	Emisiones de CO2	Energía incorporad
	gCO2/kg	MJ/kg
madera sin trat. secada al horno	550	19
madera contrachapada	750	25
tableros porosos proceso húmedo	1600	40
tableros porosos proceso seco	1300	36

2. Dataholz:

Según Dataholz, el perfil de emisiones de CO₂ de varios productos derivados de la madera sin realizar balance considerando el carbono contenido en la misma sería el siguiente:

Tabla 34. Desglose de las fuentes de emisiones de CO₂. Porcentaje.

PRODUCTO	emisiones	transfor	colas	energía térmica	energía eléctrica	transporte	otros
	kg CO2 eq/ton	%	%	%	%	%	%
tablero contrachapado cola PF	538	44	30	10	15	1	0
madera laminada encolada	202	19	11	6	34	26	4
LVL	470	51	20	11	17	1	0
tablero contralaminado	236	6,5	25,5	24	36	8	0
OSB 3 cola MUPF/PMDI	296	4,5	41,5	10	23,5	16,5	4

Fuente (DATAHOLZ, 2009)

Los porcentajes corresponden a la contribución que cada uno de los conceptos de emisiones tiene sobre las emisiones totales sin contar el CO₂ eq. fijado en la madera, los valores de tales contribuciones porcentuales cuya sumatoria es el total de emisiones se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 35. Datos emisiones y energía incorporada desglosada valores¹⁷. Dataholz

PRODUCTO	transfor.	colas	energía térmica ¹⁸	energía eléctrica ¹⁹	transporte	otros	total
	kg CO2 eq/ton						
tablero contrachapado cola PF	236,72	161,4	53,8	80,7	5,38	0,00	538
madera laminada encolada	38,38	22,22	12,12	68,68	52,52	8,08	202
LVL	239,7	94	51,7	79,9	4,7	0,00	470
tablero contralaminado	15,34	60,18	56,64	84,96	18,88	0,00	236
OSB 3 cola MUPF/PMDI	13,32	122,84	29,6	69,56	48,84	11,84	296

¹⁷ Dataholz presenta este tipo de información para diversos productos derivados de la madera, en valores, porcentajes y gráficos. En estas tablas se incluye solamente la información referida a algunos de los productos de manera orientativa.

¹⁸ El impacto por emisiones de CO₂ de las fuentes energéticas está incluido en estos valores.

¹⁹ Idem.

Según esta fuente, la contribución de la energía térmica es inferior a la de la energía eléctrica al contrario de los datos de la FAO considerados en los cálculos propios presentados anteriormente.

3. Energy Manual:

Esta publicación presenta las cifras referidas a las emisiones de CO₂ en términos de balance de emisiones. Los datos referidos a la energía incorporada están desglosados en energía de origen fósil y de origen renovable. Los datos se presentan en la Tabla 36:

Tabla 36. Datos emisiones y energía incorporada. Energy Manual.

Impacto	Producto:				
	Madera natural seca al horno	Tablero LVL	Tablero OSB	Tablero Contrachapado	Madera laminada Encolada
Emisiones kgCO ₂ /kg	-792	-636	-839	-648	-662
Energía incorporada MJ/kg	T= 22491 F= 1353 R= 21138	40346 T 9651 F 30695 R	33987 T 7408 F 26579 R	27916 T 6086 F 21830 R	37523 T 7695 F 29828 R

T: Total de la energía incorporada

F: Energía incorporada de origen fósil

R: Energía incorporada de origen renovable.

4. Finforest:

De la empresa finlandesa Finforest se presentan datos únicamente referidos a la producción del material “Kerto”, presentado en tableros tipo LVL el cual posee una densidad de 525 kg/m³. los valores significativos para la energía incorporada están desglosados en energía de origen fósil y de origen renovable y tanto estos como los de emisiones de CO₂, están expresados por unidad de volumen y por unidad de peso como los vemos a continuación: (Kairi, Zimmer, & Wegener, 1999)

Tabla 37: Impacto del Kerto^R de Finnforest.

Energía Incorporada		
Tipo de energía incorporada	MJ/m3	MJ/ton
Energía incorporada total	3450,84	6573,85
Energía incorporada fósil	499,82	952,16
Energía incorporada renovable	2951,02	5621,69
Emisiones CO2		
	kgCO2/m3	kgCO2/ton
Total emisiones CO2	32,30	61,53

En el caso del Kerto^R de Finnforest, el 14,5% de la energía incorporada es de origen fósil y el 85,5% de origen renovable, básicamente de la quema de residuos de madera proveniente de la transformación de la misma.

Comparación de datos de las fuentes revisadas:

Para realizar la comparación de los datos se han hecho dos tablas en las cuales se incluyen todas las fuentes consideradas. En la primera tabla (Nº 37) se comparan los datos de emisiones de CO2 y en la segunda (38) los datos de energía incorporada.

Tabla 38: Comparación de emisiones de CO2 de los productos de madera según diversas fuentes. (kgCO2/Ton)

Fuente	Producto					
	Madera natural seca horno	Tablero contralaminado	Tablero LVL	Tablero OSB	Tablero Contrachapado	Madera laminada Encolada
Cálculos propios ²⁰ (FAO-	714,23	1467,33	----	---	---	---
Dataholz ²¹	95	236	470	296	538	202
Berge ²²	550	---	1500	1600	750	700
Finnforest ²³	---	---	61,53	---	---	---
Calkins ²⁴	179		262		750	505
Energy Manual ²⁵	-792	---	-636	-839	-648	-662

²⁰ (Arreaza, 2009)

²¹ (DATAHOLZ, 2009)

²² (Berge, 2009)

²³ (Matti Kairi, 1999)

²⁴ (Calkins, 2009)

²⁵ (Hegger, 2008)

Tabla 39: comparación de energía incorporada en los productos de madera según diversas fuentes (MJ/Ton)

Fuente	Producto					
	Madera natural seca horno	Tablero contralaminado	Tablero LVL	Tablero OSB	Tablero Contrachapado	Madera laminada Encolada
Cálculos propios ²⁶ (FAO-	4351,2 T 3842,15 F 509,05 R	9990 T 8773 F 1217 R	---	---	---	---
Dataholz	13506 T 1381 F 12125 R	26346 T 4604 F 21742 R	36057 T 8658 F 27399 R	22210 T 4868 F 17342 R	38521 T 11115 F 27406 R	22975 T 3335 F 19640 R
Berge	19000 T	---	40000 T	40000 T	25000 T	21000 T
Finnforest	---	---	6574 T 952 F 5622 R	---	---	---
Calkins	9436 T	---	10431 T	---	15000 T	20440 T
Energy Manual	22491 T 1353 F 21138 R	---	40346 T 9651 F 30695 R	33987 T 7408 F 26579 R	27916 T 6086 F 21830 R	37523 T 7695 F 29828 R

Como se puede observar en las dos tablas anteriores, la diversidad de valores entre las fuentes es bastante grande. Dado que se requiere seleccionar valores únicos de referencia para realizar los cálculos de impacto de los casos de estudio, es necesario fijar criterios de selección.

3.2.3. Selección de las fuentes de referencia:

En cuanto a la selección de los datos de emisiones de CO₂, el criterio aplicado fue la cercanía de los valores de emisiones de CO₂ a los de los cálculos propios que fueron realizados partiendo del peso molecular del carbono y su contenido en la pared celular de la celulosa de la madera relacionándolo con el volumen, peso y densidad de la madera.

En este sentido, se seleccionaron los datos de emisiones de Berge cuyo valor de emisiones para la madera natural seca al horno y el de los tableros LVL se aproximan bastante a los de la madera natural seca al horno y tablero contralaminado obtenidas en los cálculos propios.

Si bien LVL y tablero contralaminado no son exactamente el mismo producto, como ya hemos visto en la caracterización de los productos de madera, tienen muchas semejanzas en composición y procesos de producción, por lo tanto se acepta la similitud de valores entre ambos como coincidencia y además se aprovecha tal similitud para asignarle un valor aproximado al tablero contralaminado el cual no presenta valor en la la base Dataholz.

Los datos del Energy Manual referidos a las emisiones de CO2 son muy completos pero están expresados en término de balance sin detallar la información tomada en cuenta para tal balance y además ya hemos fijado anteriormente el criterio de no hacer este tipo de balance a efecto de los cálculos.

En cuanto a la selección de datos de energía incorporada se seleccionó la base de datos de Dataholz por dos razones; primero que asigna valores para todos los productos considerados y en segundo lugar presenta bastante coincidencia con los datos de Energy Manual, los cuales también son muy completos. Además, en ambos casos se desglosa la energía incorporada según su origen.

En virtud de lo anterior, los datos de impacto de los distintos productos de la madera a ser empleados en los cálculos de impacto de los casos de estudio serán los contenidos en la Tabla 40:

Tabla 40: Datos de impacto de referencia de los productos de madera considerados en los casos de estudio.

IMPACTO	Producto					
	Madera natural seca horno	Tablero contralaminado	Tablero LVL	Tablero OSB	Tablero Contrachapado	Madera laminada Encolada
Emisiones kg CO2 eq/Ton (1)	550	1550 *	1500	1600	750	700
Energía incorporada total MJ/Ton (2)	13506	26346	36057	22210	38521	22975
Energía Incorporada Fósil MJ/Ton (2)	1381	4604	8658	4868	11115	3335
Energía Incorporada Renovable MJ/Ton (2)	12125	21742	27399	17342	27406	19640

(1) (Berge, 2009); (2) (DATAHOLZ, 2009); * aproximación.

3.3. Impacto por producción y consumo de la madera:

3.3.1. Madera necesaria si aumenta su uso para la construcción de VPVP en Europa.

Como se ha comentado en el marco conceptual, no existen estadísticas de cuántas viviendas plurifamiliares de varias plantas (VPVP) se construyen anualmente en Europa ni tampoco de cuánta madera se utiliza en su construcción, la causa principal de esto es que construir viviendas de este tipo aún constituye una novedad dentro del ámbito europeo.

Sin embargo, con el fin de hacer algunas proyecciones aproximadas de cuánta madera sería necesaria se plantea lo siguiente:

- Estudiar varios casos de VPVP contruidos con madera en Europa, cuantificar el volumen y peso de madera empleada y elaborar un promedio que se podría tomar como promedio europeo.
- Observar cuantas VPVP se construyen actualmente en los países de mayor tradición de construcción con madera (Escandinavia, por ejemplo), las proyecciones para los próximos años y tomar este perfil como el escenario promedio de mayor utilización de madera para la construcción de VPVP en Europa.

En cuanto al primer punto considerado, podemos partir de los datos elaborados en el estudio de casos considerados en esta tesis. De tal estudio que será presentado más adelante se desprenden los siguientes datos:

- Volumen unitario mínimo: 0,144 m³/m²
- Volumen unitario máximo: 0,302 m³/m²
- Volumen unitario promedio: 0,231 m³/m²

Según lo anterior, podríamos aproximarnos a decir que en una VPVP construida con madera, se utiliza un promedio de 0,23 m³ de madera por m² de construcción.

En cuanto al segundo punto, para comenzar, se toman como base las más recientes proyecciones de Euroconstruct para la construcción de viviendas en Europa, se consideran datos recientemente publicados acerca del porcentaje de VPVP construidas con madera en Suecia y se hace referencia al área promedio europea de las viviendas plurifamiliares. A partir de lo anterior, se puede calcular entonces una proyección de la cantidad de madera necesaria para la construcción de VPVP en madera en Europa hasta el 2015. Se considera que después de esa fecha es difícil hacer proyecciones fiables.

Según datos de Euroconstruct, la cantidad proyectada de viviendas a ser construida en Europa en los próximos años será la siguiente:

Tabla 41: Proyección al 2015 de nuevas viviendas construidas en Europa (miles)

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nuevas viviendas (miles)	2553	2421	1908	1461	1461	1491	1521	1551	1581

Fuente: (EUROCONSTRUCT, 2010)

Contamos con datos acerca de la cantidad promedio de madera que se emplea por área de vivienda y también tenemos información acerca de proyecciones de cantidad de viviendas a construir en Europa. Para poder elaborar proyecciones de la cantidad de madera que se puede llegar a necesitar para construir las VPVP de

madera en Europa, es necesario conocer cuál porcentaje de las viviendas proyectadas podría ser construido con madera:

Tabla 42: Porcentaje de viviendas construidas con madera en países de Europa.

Región europea	% viviendas construidas con madera
Países escandinavos	90
Resto de Europa:	
Gran Bretaña (máximo)	25
Francia (mínimo)	10
Promedio ²⁷ (resto de Europa)	17,5

Fuente: (García & Peña, 2003)

Los datos de la Tabla 42 se refieren principalmente a la construcción de viviendas unifamiliares. En países con gran tradición de construcción con madera como Suecia, el porcentaje de VPVP construidas con madera ha tenido un incremento rápido en los últimos años, pasando del 2% en 2001 al 15% en 2009 (Kimmo, 2010).

En cuanto a los promedios de área de la vivienda y de número de habitantes por vivienda en Europa, también es imprecisa la información, razón por la cual y a efectos de elaborar una aproximación basada en información fidedigna, se han tomado datos de tres países que pueden servir para hacer un promedio aproximado, como es el caso de España, Francia y Reino Unido. Se consideran los siguientes datos:

Tabla 43: Área promedio aproximada de viviendas en países de Europa.

País	Promedio de habitantes por vivienda	Área promedio de vivienda por persona	Área promedio por vivienda
	Hab/viv.	m ² /hab	m ² /viv.
Reino Unido ²⁸	2,36	32,0	75,52
España ²⁹	2,9	35,3	102,37
Francia ³⁰	2,3	34,1	78,43
Promedio propuesto	2,52	33,8	85,44

²⁷ Cálculo propio.

²⁸ <http://lta.reuters.com/article/businessNews/idLTASIE5AT09M20091130>, 2004

²⁹ <http://www.consumer.es/web/es/vivienda/2005/04/24/141438.php>, 2004

³⁰ http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/IP1001.pdf, 2004; <http://unfccc.int/resource/docs/natc/france2.pdf>, 1997.

3.3.1.1. Proyección de uso de la madera en la construcción de VPVP. Consideraciones previas:

Debido a que, en nuestro caso de estudio, la única fuente fidedigna acerca de la cantidad de viviendas a ser construidas en Europa en el futuro (EUROCONSTRUCT) ha provisto información solamente hasta el año 2015, las proyecciones se pueden hacer por un período relativamente corto, hasta ese año.

Considerando que la estructura formal y espacial de las viviendas no experimentará cambios significativos en tal período, se utilizará el área promedio calculada anteriormente como un dato constante.

En cuanto al consumo unitario de madera (CUM) empleado en la construcción de las viviendas, se considera que este podría aumentar, por tal motivo, se partirá del promedio calculado presentado en la sección anterior como dato inicial ($0,231 \text{ m}^3/\text{m}^2$) y como dato final se propone el valor máximo presente en los casos de estudio considerados ($0,302 \text{ m}^3/\text{m}^2$) cuyos cálculos podrá ser apreciado en la sección 0.

En referencia al porcentaje de VPVP construidas con madera (VCM), entendiéndose que el porcentaje presente en Suecia es superior a la media Europea, se podría tomar dicho 15% como el porcentaje máximo que podría llegar a representar la construcción de VPVP en Europa en 2015 y tomando como promedio inicial para el año 2007, el mínimo de 2% presente en Suecia en 2001.

A partir de las consideraciones y datos anteriores, se puede proponer una proyección de la madera que sería necesaria para construir VPVP en Europa en un escenario de aumento del uso de la madera en las construcciones de viviendas y del porcentaje de VPVP construidas en madera. Tal proyección se presenta en la siguiente tabla de datos.

Tabla 44: Proyección de Consumo de madera en la construcción de VPVP.

año	VN	APV	CUM	MPV	VCM	MCV
	viviendas nuevas ³¹	Área promedio por vivienda	consum unit de madera	vol madera por vivienda	vivi. const. con madera	madera neces. const vivienda
		m2/viv	m3/m2	m3	%	m3
2007	2.553.000	85,44	0,231	19,74	2,00	1007752,84
2008	2.421.000	85,44	0,240	20,49	3,63	1798659,80
2009	1.908.000	85,44	0,249	21,25	5,25	2128933,04
2010	1.461.000	85,44	0,258	22,01	6,88	2210915,59
2011	1.461.000	85,44	0,267	22,77	8,50	2827662,65
2012	1.491.000	85,44	0,275	23,53	10,13	3551881,15
2013	1.521.000	85,44	0,284	24,29	11,75	4340390,39
2014	1.551.000	85,44	0,293	25,04	13,38	5195408,35
2015	1.581.000	85,44	0,302	25,80	15,00	6119152,99

Crecimiento de los datos de CUM y VCM $X_n = X_{n-1} + ((2015-2007)/8)$

$MPV = APV * CUM$

$MCV = VCM/100 * VN * MPV$

Como se puede apreciar en la Tabla 44, el aumento del porcentaje de VPVP construidas con madera pasando de un 2% a un 15% es sumamente significativo, pues aunque en 2015, según Euroconstruct, se construirán casi un millón menos de viviendas, el consumo de madera podría aumentar 6 veces pasando de poco más de un millón de m³ en 2007 a más de seis millones de m³ en 2015.

Queda contestar la segunda pregunta planteada al inicio de esta sección, para lo cual es necesario traducir los volúmenes de madera consumidos en la construcción de vivienda en función de la madera rolliza industrial y madera rolliza bruta necesaria para obtener tales volúmenes de madera aserrada y derivados de madera.

3.3.1.2. Impacto de la construcción con madera sobre la dinámica productiva y ecológica europea.

Según datos de INCAFUST (Gener, 2010), por cada m³ de madera rolliza industrial, se pueden obtener entre 0,3 y 0,5 m³ de madera aserrada dependiendo del destino de la misma, donde el menor rendimiento ocurre al producir maderas de grandes dimensiones y el mayor rendimiento al producir maderas laminadas

³¹ Fuente: (EUROCONSTRUCT, 2010)

encoladas. Dado que en la construcción de viviendas se emplea una mezcla de maderas de diversas dimensiones y de derivados de la madera, se considera utilizar un rendimiento promedio de 0,4 m³ de madera aserrada por cada m³ de madera rolliza industrial, o el equivalente: para producir un metro cúbico de madera aserrada para la construcción, se necesita consumir 2,5 m³ (FAR)³² de madera rolliza industrial.

Según lo anterior, para satisfacer una demanda creciente de madera para la construcción de viviendas en los próximos años, sería necesario contar con los siguientes niveles de producción de madera rolliza industrial (MRI).

Tabla 45: Volumen de Madera rolliza industrial necesario para la construcción de viviendas.

Año	MCV	FAR	MRI
	madera neces. const vivienda	factor aserrada vs. Rolliza	rolliza industrial necesaria
	m ³		m ³
2007	1007752,84	2,5	2519382,10
2008	1798659,80	2,5	4496649,49
2009	2128933,04	2,5	5322332,61
2010	2210915,59	2,5	5527288,99
2011	2827662,65	2,5	7069156,61
2012	3551881,15	2,5	8879702,87
2013	4340390,39	2,5	10850975,99
2014	5195408,35	2,5	12988520,88
2015	6119152,99	2,5	15297882,48

En la Tabla 45, se puede observar que basándonos en la proyección de nuevas viviendas hasta el año 2015, las demandas máximas de madera para la construcción, requerirían una producción máxima de madera rolliza industrial de entre 12,9 y 15,3 millones de metros cúbicos entre los años 2014 y 2015.

Es necesario comparar entonces la demanda con la producción. Para hacer la comparación, se tomarán en cuenta los datos aportados por la FAO referidos a la producción, consumo, exportación e importación de madera rolliza industrial en Europa mostrados en la tabla siguiente en la cual además se hace un balance de los datos para diagnosticar posibles déficits o excedentes del material en el continente:

³² FAR: Factor Aserrada vs. Rolliza. Es la relación de proporción entre la cantidad de madera rolliza industrial necesaria para producir un m³ de madera aserrada y el volumen de esta última obtenido.

Tabla 46: Balance de la Madera Rolliza Industrial en Europa.

Rolliza industrial	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Producción (10 ³ m ³)	470346	492909	504436	540184	515542	576281
Consumo (10 ³ m ³)	453483	475629	483644	517012	486866	546947
Exportación (10 ³ m ³)	72898	73876	79449	88526	91112	92341
Importación (10 ³ m ³)	56036	56596	58657	65353	62437	63007
Balance (10 ³ m ³)	1	0	0	-1	1	0

Fuente: (FAO, 2008); (FAO, 2009)

Si consideramos solamente la producción de madera rolliza industrial europea sin incluir la importación, tenemos que para el año 2007, la madera rolliza industrial requerida para la construcción de viviendas habría representado un **0,44** % del total de la producción europea. Esta misma demanda máxima en el año 2015 de 15,3 millones de m³, representaría un 2,7% del consumo total de madera en 2007. Si consideramos que seguramente la producción de madera rolliza industrial en 2015 será mayor que la de 2007, dicho porcentaje seguramente será considerablemente menor.

Según un estudio realizado en conjunto entre el Banco Mundial y WWF (World Wildlife Foundation), para garantizar la sostenibilidad del planeta, sería necesario considerar para el 2050 un esquema forestal que contemple no solamente la producción sostenible de la madera, sino también la preservación de la biodiversidad y la participación comunitaria, según tales premisas el panorama sería el siguiente:

Tabla 47: Proyecciones de áreas forestales y producción de rolliza bruta 2050.

Tipo de Área Forestal	superficie 10 ⁹ ha	producción 10 ⁹ m ³
Áreas protegidas	1,2	0,0
Bosques comunitarios y privados	1,2	0,3
Bosques secundarios manejados	0,5	1,2
Plantaciones manejadas	0,1	1,0
TOTAL	3,0	2,5

Tomado de: (WWF, 2008)

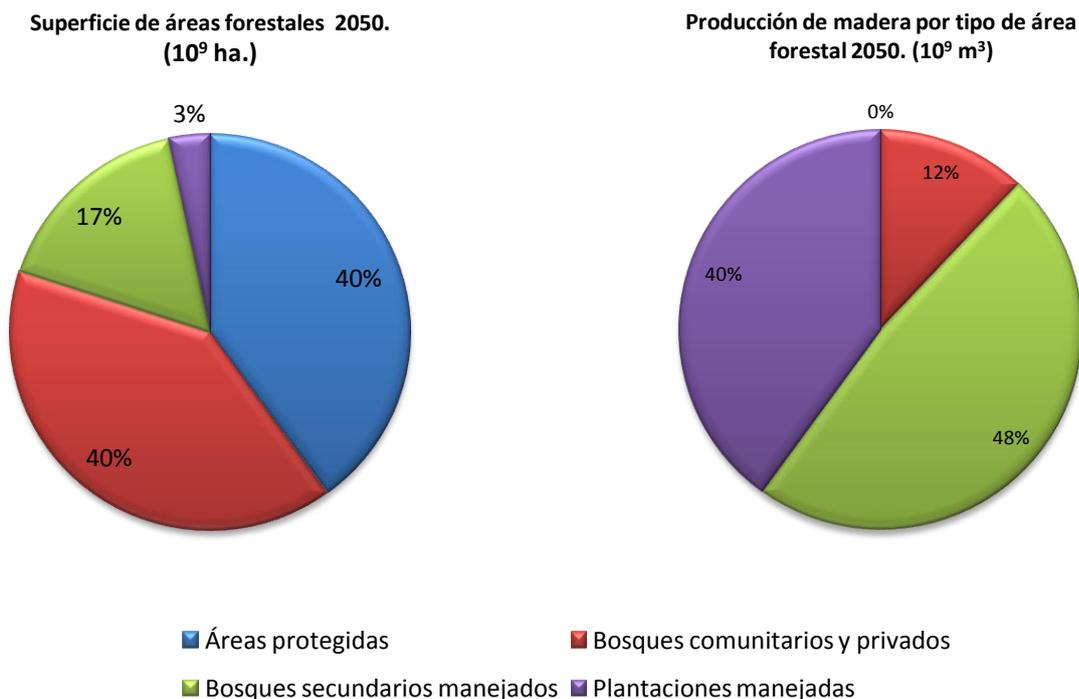


Ilustración 21: Proyección de la situación forestal mundial para el año 2050
 Fuente: (WWF, 2008)

De acuerdo al gráfico y a la tabla anteriores, en 2050 no se podría pasar de una producción anual de 2500 millones de metros cúbicos de madera rolliza bruta ($2,5 \times 10^9 \text{ m}^3$, Tabla 47), es decir muy inferior a la actual que ronda los 3600 millones de m^3 , esto implicaría una disminución de la producción mundial de madera del orden del 30% en 40 años, o su equivalente, 3,81% cada 5 años, si esta proyección se cumpliera, en el año 2015 en Europa, se debería producir un máximo de 550 MM m^3 de madera rolliza industrial y la demanda calculada de 15,3 MM m^3 representaría alrededor de un 2,78% de de dicha producción, este porcentaje sería ligeramente mayor que el de la demanda de 2007.

Si consideramos un escenario en el que por razones de sostenibilidad se privilegie el uso de madera rolliza industrial de tipo conífera (RIC), el porcentaje de madera consumida en la construcción de VPVP variaría de la siguiente manera: Según lo visto en el marco conceptual, en Europa, del total de madera rolliza industrial (RI), aproximadamente el 75% corresponde a madera RIC y el 25% restante a madera rolliza industrial no conífera. Si consideramos que en la

construcción de VPVP se emplearía solamente madera RIC, el volumen total disponible de madera RIC, sería de 412 MM de m³ y en este caso, la cantidad de madera consumida en la construcción de VPVP (15,3 MM de m³), representaría un 3,7% del total de madera RIC.

En ambos escenarios contemplados, la demanda de madera para la construcción de VPVP, implicaría una porción bastante pequeña de la producción de madera rolliza industrial y aparentemente no comprometería la sostenibilidad del uso de la madera como material de construcción en un escenario de aumento de la demanda de la misma al menos hasta el año 2015.

3.3.2. Proyecciones al año 2050

Se plantean proyecciones de construcción de viviendas hasta el año 2050 partiendo del supuesto que luego de la crisis 2007-2011, la construcción de viviendas en Europa responderá a partir del 2015 al crecimiento-decrecimiento poblacional y no a tendencias especulativas del mercado inmobiliario. Para esto, se relaciona la proyección de viviendas a construir hasta 2015 con la cantidad de viviendas por 1000 habitantes elaborada con las proyecciones de variación poblacional de la ONU obteniendo así una proyección de construcción de viviendas en Europa hasta el año 2050 que luego se relaciona con la cantidad de madera necesaria para construir tales viviendas.

En las proyecciones realizadas anteriormente, hemos comentado que la cantidad de viviendas que normalmente ha sido construida en Europa en los últimos años no responde necesariamente a la población del continente sino a un conjunto complejo de variables económicas y de especulación de mercado que han producido desequilibrios importantes que entre otras consecuencias han contribuido a desencadenar la crisis financiera internacional desde el año 2007.

Tal crisis ha impactado sobre la cantidad de viviendas construidas de una manera importante. Se podría afirmar que en los próximos años, el promedio de construcción de nuevas viviendas en Europa podría ocurrir en respuesta a la necesidad de nuevas viviendas, a la renovación necesaria del parque actual y a la

rehabilitación de viviendas existentes en lugar de obedecer a las especulaciones de mercado. Las proyecciones de vivienda a realizar con el fin de estudiar el consumo de madera en el año 2050, podrían hacerse entonces con base en las proyecciones de población de las Naciones Unidas que son las siguientes:

Tabla 48: Proyección de la población europea al 2050.

año	proyección población ONU
2015	734000000
2020	732952000
2025	729264000
2030	723373000
2035	716190000
2040	708489000
2045	700191000
2050	691048000

Fuente: (United Nations, 2009)

Teniendo como base las proyecciones de vivienda al 2015 (EUROCONSTRUCT, 2010), se puede definir junto con las proyecciones de población de la ONU el indicador de número de viviendas nuevas por mil habitantes

Tabla 49: Viviendas nuevas por cada 1000 habitantes en Europa al 2015

año	proyección viviendas EUROCONSTRUCT	proyección población ONU	viv/1000 hab.
2015	1.581.000	734000000	2,154

Fuente: (EUROCONSTRUCT, 2010); (United Nations, 2009).

Si se toma en cuenta que en los años anteriores al 2007, el índice de viviendas nuevas por cada 1000 habitantes en Europa fue notablemente superior a este calculado en la Tabla 49 y a efectos de hacer una proyección de vivienda con el fin de estudiar el consumo de madera hacia el 2050, podríamos considerar el posible escenario en el que este índice calculado para el 2015, por ser tan bajo se mantuviese sin notables variaciones hasta el 2050, aún más considerando que las proyecciones de población de las Naciones Unidas (United Nations, 2009), plantean que la población disminuirá.

En todo caso, tal proyección sería el escenario más exigente a efectos de la demanda de madera pues el índice de viviendas/1000 hab. podría disminuir y entonces la construcción de viviendas nuevas será menor que la prevista y por lo tanto, menor la demanda de madera. El propósito es saber que pasaría en el escenario de mayor exigencia posible.

Con base en las consideraciones anteriores, se plantea el siguiente escenario de viviendas nuevas a construir en Europa:

Tabla 50: Proyección de nuevas viviendas al 2050.

año	proyección población ONU (1)	relación viv/población	nuevas viviendas(2)
2020	732952000	2,154	1578743
2025	729264000	2,154	1570799
2030	723373000	2,154	1558110
2035	716190000	2,154	1542638
2040	708489000	2,154	1526051
2045	700191000	2,154	1508177
2050	691048000	2,154	1488483

Fuente: (1) (United Nations, 2009); (2) (EUROCONSTRUCT, 2010)

Con estas proyecciones se podría calcular siguiendo el mismo criterio aplicado anteriormente, la cantidad de madera que sería necesaria para construir las viviendas previstas.

Debido a la inexistencia de bases de datos preestablecidas respecto al consumo de madera por vivienda y el porcentaje de VPVP construidas en su totalidad con madera, es difícil hacer proyecciones de tales datos más allá del año 2015, sin embargo, con el fin de poder tener una idea de lo que podría suceder, se proponen tendencias de crecimiento conservadoras, en este caso, se considera que, de continuar el posible auge de la construcción de VPVP con madera considerado anteriormente, entre los años 2020 y 2050 las variables podrían modificarse de la siguiente manera:

- El consumo unitario de madera por área de vivienda nueva (CUM) podría aumentar en términos conservadores en un 10%, lo que equivaldría a un crecimiento quinquenal de 1,6%
- El porcentaje de VPVP construidas con madera (VCM) podría duplicarse con respecto al valor proyectado para 2015, llegando a un 30% del total de VPVP construidas, lo que equivaldría a un crecimiento quinquenal promedio de 5%

En otro orden de ideas, se considera que dada la fuerte reducción poblacional, en términos conservadores, el área promedio por vivienda (APV) podría reducirse entre los años 2020 y 2050 en un 20%, correspondiente a una reducción promedio quinquenal de 3,33%. Esta reducción implicaría que en 2050 el área promedio de las viviendas construidas podría ser muy similar al promedio de área mínima contemplado en las normativas europeas actuales (Sheridan, 2003) .

Según las consideraciones expuestas, la proyección al año 2050 del volumen de madera necesario para la construcción de VPVP se obtendría de la siguiente manera:

Tabla 51: Proyección del volumen de madera necesario para la construcción de VPVP al 2050.

año	VN	APV	CUM	MPV	VCM	MVC
	nuevas viviendas	área promedio por vivienda	consumo unit. de madera	vol madera por vivienda	vivi. const. con madera	madera neces const viviendas
		m ² /viv.	m ³ /m ²	m ³	%	m ³
2020	1578743	85,00	0,302	25,67	17,50	7092106,71
2025	1570799	82,17	0,307	25,23	19,58	7760476,68
2030	1558110	79,33	0,312	24,76	21,67	8357825,34
2035	1542638	76,50	0,317	24,26	23,75	8887617,47
2040	1526051	73,67	0,322	23,73	25,83	9355264,16
2045	1508177	70,83	0,327	23,17	27,92	9757141,97
2050	1488483	68,00	0,332	22,59	30,00	10087274,1

Traduciendo lo anterior a madera rolliza industrial, obtendríamos lo siguiente:

Tabla 52: Proyección de madera rolliza industrial para la construcción de VPVP al 2050

Año	MVC	FAR	MRI
	madera necesaria para Construir viviendas	factor aserrada vs. Rolliza	rolliza industrial necesaria
	m ³		m ³
2020	7092106,71	2,5	17730266,78
2025	7760476,68	2,5	19401191,69
2030	8357825,34	2,5	20894563,34
2035	8887617,47	2,5	22219043,67
2040	9355264,16	2,5	23388160,41
2045	9757141,97	2,5	24392854,92
2050	10087274,05	2,5	25218185,13

Según la Tabla 52, para el año 2050, en el contexto del escenario planteado, se podría llegar a un consumo alrededor de 25,2 millones de m³ de madera rolliza industrial. Nuevamente consideraremos dos escenarios; el primero sobre el total de madera RI y el segundo, solamente sobre el total de RIC.

Hasta este punto, la relación entre la disponibilidad de la madera como recurso y su consumo para la construcción de VPVP, la hemos considerado sobre la explotación bosques y plantaciones, según los esquemas productivos manejados hasta el presente.

Según algunos organismos internacionales avocados al estudio de la sostenibilidad del planeta, como por ejemplo la “Fundación para la vida silvestre mundial” (Wildlife Worldwide Foundation – WWF- en inglés), es necesario comenzar a considerar los bosques y plantaciones forestales no solo como fuente recursos madereros sino también como base primordial de la biodiversidad, tanto de especies forestales como de otras especies de flora y fauna. Tal enfoque en caso de ser seguido en el futuro implicaría una reducción en la explotación forestal y la producción mundial de madera.

En 2050, según lo propuesto por WWF, no se podría pasar de una producción anual de 2500 millones de metros cúbicos de madera rolliza bruta, es decir muy inferior a la actual que ronda los 3600 millones de m³, esto implicaría una disminución de aproximadamente un 30,5%.

En términos europeos, como se aprecia en la tabla siguiente, eso significaría pasar de una producción de 576 millones de m³ de madera RI a 385 millones de m³ en 2050 y si se trata de RIC, se pasaría de 432 MM de m³ a 289 MM de m³. Dentro de este panorama, la demanda de 25,2 millones de m³ de madera rolliza industrial para la construcción de VPVP, representaría alrededor de un 6,6% del total de la producción europea de RI o en su defecto un 8,7% del total europeo de producción de RIC.

Tabla 53: Posible evolución de la demanda de madera para la construcción de VPVP.

Tipo de Madera	2007			2015			2050		
	Producción 10 ⁶ m ³	demanda construcción VPVP		Producción 10 ⁶ m ³	demanda construcción VPVP		Producción 10 ⁶ m ³	demanda construcción VPVP	
		10 ⁶ m ³	%		10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³		%	10 ⁶ m ³
RI	576,00	2,51	0,44	550,00	15,30	2,78	385,00	25,20	6,55
RIC	432,00	2,51	0,58	412,50	15,30	3,71	288,75	25,20	8,73

La Ilustración 22 muestra la evolución que según las proyecciones realizadas podría presentar el volumen demandado de madera para la construcción de VPVP y el siguiente gráfico (Ilustración 23) muestra lo que ocurriría con el porcentaje de dicha demanda si lo calculamos sobre la producción total europea de RI o RIC respectivamente.

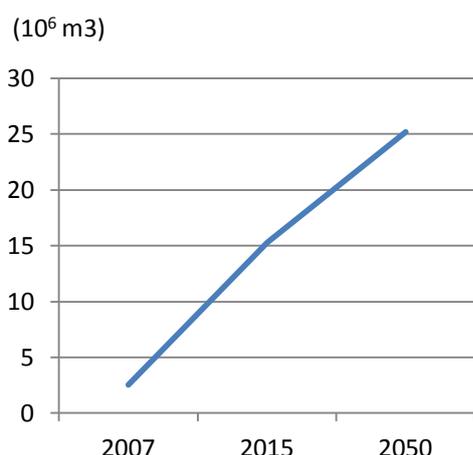


Ilustración 22: Demanda de Madera para VPVP.

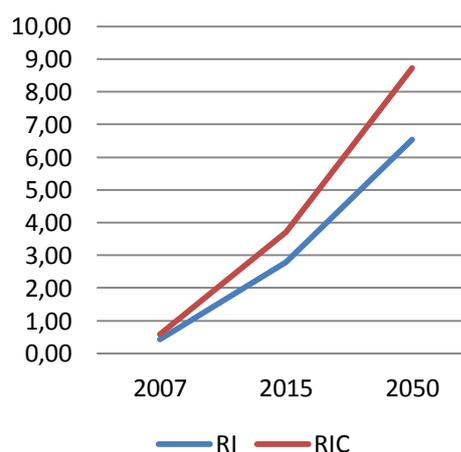


Ilustración 23: Porcentaje de demanda según tipo de madera.

En la Ilustración 22, se puede observar que según las proyecciones realizadas, el volumen de madera que demandaría la construcción de VPVP se elevaría considerablemente en los próximos cuarenta años pues aumentaría al menos 25 veces en el período considerado entre 2007 y 2050, sin embargo, la tendencia de la curva es hacia aumentos cada vez menores.

En cuanto al porcentaje que representaría tal demanda con respecto al volumen producido de RI o RIC, el aumento sería aún más notable pues pasa de valores por debajo de 1% hasta un valor máximo de casi 9% con una tendencia que se

aproxima a una curva exponencial, razón por la cual, a pesar de que el máximo porcentaje obtenido es inferior a un 10%, es difícil predecir si un aumento en la demanda de madera para la construcción de VPVP en Europa, podría tener un impacto fuerte sobre la dinámica productiva y del mercado europeo de la madera en los próximos 40 años produciendo conflictos con otros sectores industriales cuyo insumo es la madera RI.

Si en este momento consideramos el ajuste hecho a las extrapolaciones de Buchanan, (sección 38) apreciaremos que del 6,55% de la madera RI producida en Europa correspondería a un tercio de la demanda de madera por parte de todo el sector de la construcción europeo el cual demandaría alrededor de un 21% del total de la madera RI producida en Europa. Tomando en cuenta que esta demanda correspondería a un tercio de las VPVP construidas, habría que considerar que 2/3 de las VPVP europeas, más el resto de las construcciones (unifamiliares, servicios, educacionales, institucionales, comerciales, etc) se repartirían los 2/3 restantes de la demanda total del sector de la construcción. De ser así se podría percibir un desequilibrio y un posible conflicto por demanda de madera dentro del sector de la construcción.

Como se puede apreciar en los números de la Tabla 53, de cumplirse las estimaciones de un mayor uso progresivo de madera en la construcción de VPVP y de un mayor porcentaje de tal tipo de edificios construidos con madera, a pesar de que la cantidad de viviendas nuevas construidas se proyecta que disminuirá debido a la reducción de población prevista en el continente, el porcentaje de madera RI producida destinado a la construcción de VPVP podría llegar a ser más del doble del que se destinó en 2007 y el volumen de madera consumida podría llegar a ser 10 veces mayor al observado en ese mismo año inicial.

Tal fenómeno se puede observar de forma gráfica en las dos siguientes ilustraciones, en las cuales podemos apreciar por qué aumenta el porcentaje de madera RI destinada a la construcción de VPVP.

Las causas de tal aumento son: por una parte se prevé una reducción en la producción de madera debido a previsiones medioambientales enfocadas a la biodiversidad, (Ilustración 24) y por otra parte, podría haber un aumento en el

consumo de madera en la construcción de VPVP debido a las ventajas que este material tiene sobre otros de cara a la sostenibilidad (Ilustración 25).

Ilustración 24: Madera producida (10^6 m^3)

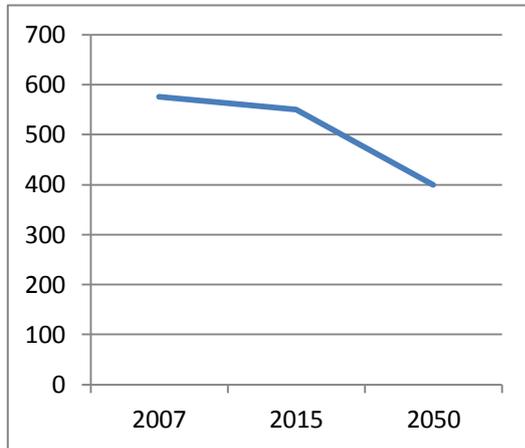


Ilustración 25: Madera consumida (10^6 m^3)

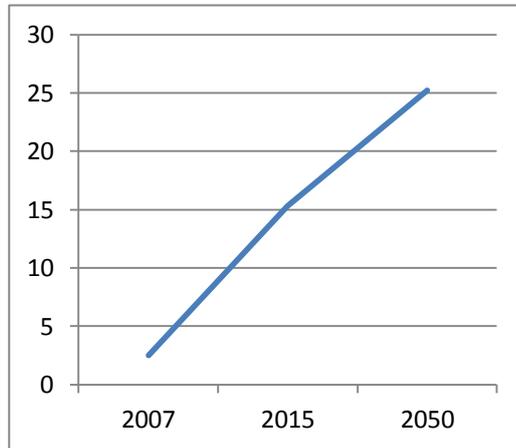


Ilustración 27: Viviendas nuevas (millones)

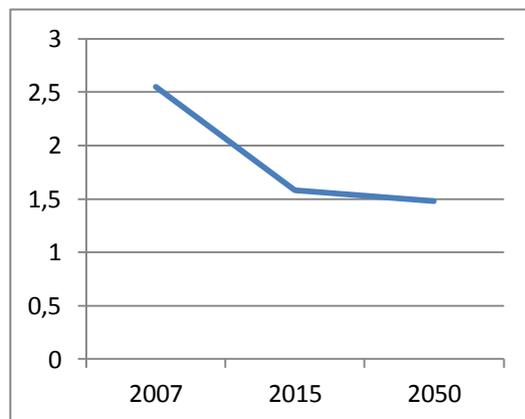
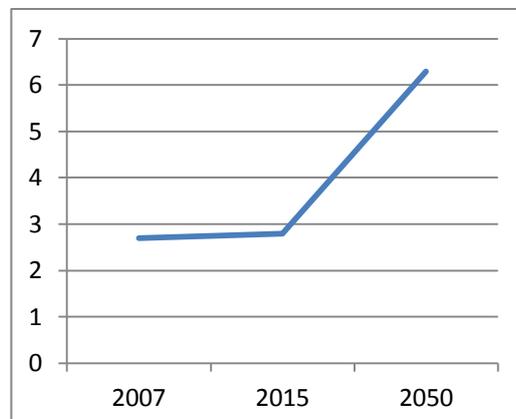


Ilustración 26: Madera consumida (% prod)



En los dos gráficos anteriores, se puede apreciar de qué manera, de cumplirse las consideraciones anteriores podría aumentar el porcentaje de madera RI consumida en la construcción de VPVP (Ilustración 26) a pesar de la reducción de la cantidad de viviendas nuevas a ser construidas en el período de proyecciones considerado (Ilustración 27).

Bajo la premisa de que la madera presenta mejores prestaciones medioambientales que otros materiales de construcción y que debido a las innovaciones técnicas aportadas a nuestro material, este puede tener mejores prestaciones constructivas y de seguridad que en épocas pasadas, se prevé que podría haber un acentuado aumento del uso de la madera para la construcción de VPVP en Europa y otras partes del mundo.

Un aumento como el previsto en este trabajo, pasando de un 2,7% de consumo de la madera RI producida a un 6,6%, aparentemente no tendría porque producir mayores conflictos sobre la producción de madera en Europa y la demanda de este material por parte de otros sectores industriales europeos cuyo insumo principal es la madera.

Sin embargo, este escenario aparentemente no conflictivo ocurre considerando que la cantidad de viviendas a ser construida en el futuro será la prevista en este trabajo, que se cumplirán las proyecciones de población de la ONU, y que el porcentaje de madera empleado en la construcción de los edificios de VPVP serán los previstos en nuestras estimaciones.

En caso de que la construcción de VPVP fuese menor que el estimado seguramente no existirá conflicto alguno, pero en caso de que llegue a ser mayor, probablemente podría ocurrir algún conflicto pues dentro de ese aparentemente modesto 6,6% máximo ya se requerirían algunos ajustes, debido a que pasar de 2,7% a 6,3% implica un crecimiento acumulado porcentual del 133% en un período de tiempo de 43 años.

Seguramente algunos sectores industriales tendrían que asumir el aumento de la demanda de madera para la construcción de VPVP, situación que podría generar desde conflictos fácilmente asumibles hasta conflictos considerables de difícil solución dependiendo en gran medida de la cantidad de viviendas que se construyan con madera, como también de adecuadas políticas ambientales que probablemente requerirían de algunas medidas de control enfocadas por ejemplo a la redistribución de cuotas de demanda de madera en los distintos sectores industriales.

Es de esperar que en el futuro próximo y de cara a los retos que plantea la sostenibilidad en general, el uso de la madera como insumo industrial sea definido por premisas tales como garantizar el rol de los productos derivados de la madera

como sumideros de carbono. Dentro de tal escenario, la construcción de VPVP debería salir favorecida sobre otras industrias como por ejemplo la del papel.

La dificultad para hacer proyecciones mucho más precisas y fiables acerca de este tópico que puede ser muy importante para evaluar la sostenibilidad del uso de la madera, está en la ausencia de estadísticas acerca del uso de la madera como material de construcción y de la cantidad de VPVP que se puedan estar construyendo en Europa.

Sin embargo, y dado el carácter conservador de los resultados obtenidos en medio de escenarios hipotéticos exigentes, no es posible demostrar que un aumento considerable en la construcción de VPVP en madera produciría una sobreexplotación de la base forestal europea y generaría conflictos importantes con otras industrias que utilicen la madera como insumo principal.

3.3.3. Aspectos resaltantes de esta sección:

- La construcción de VPVP de madera en Europa es una tendencia incipiente y aún en fase experimental. No se cuenta con estadísticas acerca de la cantidad de viviendas construidas ni de los recursos consumidos en la construcción de este tipo de viviendas.
- El aumento de la construcción de VPVP de madera en Europa llegando al 15% del total de VPVP construidas podría generar una demanda de madera de hasta un 2,78% del total de la madera RI y un 3,71% de la madera RIC en 2015.
- El aumento de la construcción de VPVP de madera en Europa llegando al 30% del total de VPVP construidas podría generar una demanda de madera de hasta un 6,55% del total de la madera RI y un 8,73% de la madera RIC en 2050.
- Una demanda del 7% de la madera RI para la construcción de VPVP de madera en Europa en el año 2050, podría representar el 30% del total de madera RI demandado por todo el sector de la construcción. Esto podría producir conflictos internos en el sector de la construcción.

- Se considera que los aumentos previstos de demanda de madera para la construcción de VPVP no necesariamente tendrían que producir conflictos de mercado de la madera con otros sectores industriales ni sobreexplotación de la base productiva forestal europea, sin embargo, resulta difícil, en los momentos actuales, elaborar proyecciones más precisas en el tiempo.
- La mayor dificultad para hacer proyecciones precisas y determinantes radica en la carencia de una base estadística precisa acerca de la construcción de VPVP y del consumo preciso de madera en los diferentes ramos del sector de la construcción en Europa y en otros sectores industriales europeos cuyo insumo principal es la madera.
- Se podría llegar a una evaluación más categórica acerca del impacto de la cantidad de madera empleada en la construcción de VPVP si se pudiesen hacer proyecciones precisas de su uso en el tiempo.

3.4. Evaluación del impacto de diferentes casos de VPVP:

3.4.1. Consideraciones iniciales.

El objetivo de esta sección del trabajo consiste en cuantificar el impacto de la construcción de tres casos que reflejan distintas combinaciones de maderas o derivados de madera. En los tres casos la madera o sus derivados forman parte de las estructuras y los cerramientos.

A efectos de los cálculos, fueron utilizados los datos seleccionados en la sección 0. Tales datos fueron aplicados al inventario de cantidades de madera de los tres casos estudiados con el fin de cuantificar el impacto de cada caso hasta su construcción. Las variables de impacto cuantificadas son: peso unitario de madera empleada en la construcción, expresado en kg/m^2 ; emisiones unitarias de dióxido de carbono, expresadas en kgCO_2/m^2 y energía incorporada unitaria expresada en MJ/m^2 .

Para comenzar, se definen las medidas de cada apartamento tipo: altura de entresuelo, longitud lateral y ancho de fachadas. Luego, se calculan las áreas de vanos de fachadas con el fin de definir posteriormente el área de madera presente en los paramentos opacos de cada fachada. También se calcula el área de las paredes medianeras que separan un apartamento de otro, y de los forjados o entresuelos superiores e inferiores.

Finalmente y con base en las dimensiones básicas, se calculan los volúmenes y pesos de la madera presente en cada apartamento tipo, para proceder luego al cálculo de las variables de impacto especificadas.

A continuación se presenta se hace una presentación de cada uno de los casos con una descripción resumida acerca de su ubicación, año de construcción, imágenes y dimensiones, para luego mostrar los cálculos mencionados anteriormente.

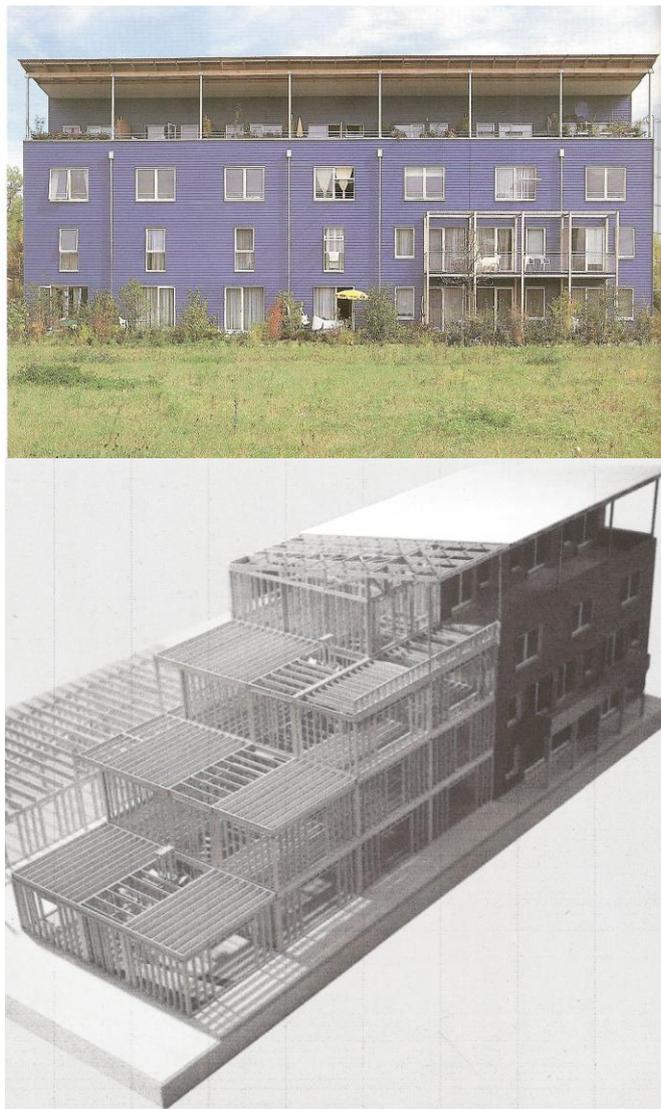
3.4.2. Presentación de los casos de estudio.

Caso 1: Edificio de Vivienda en Múnich. 1997.

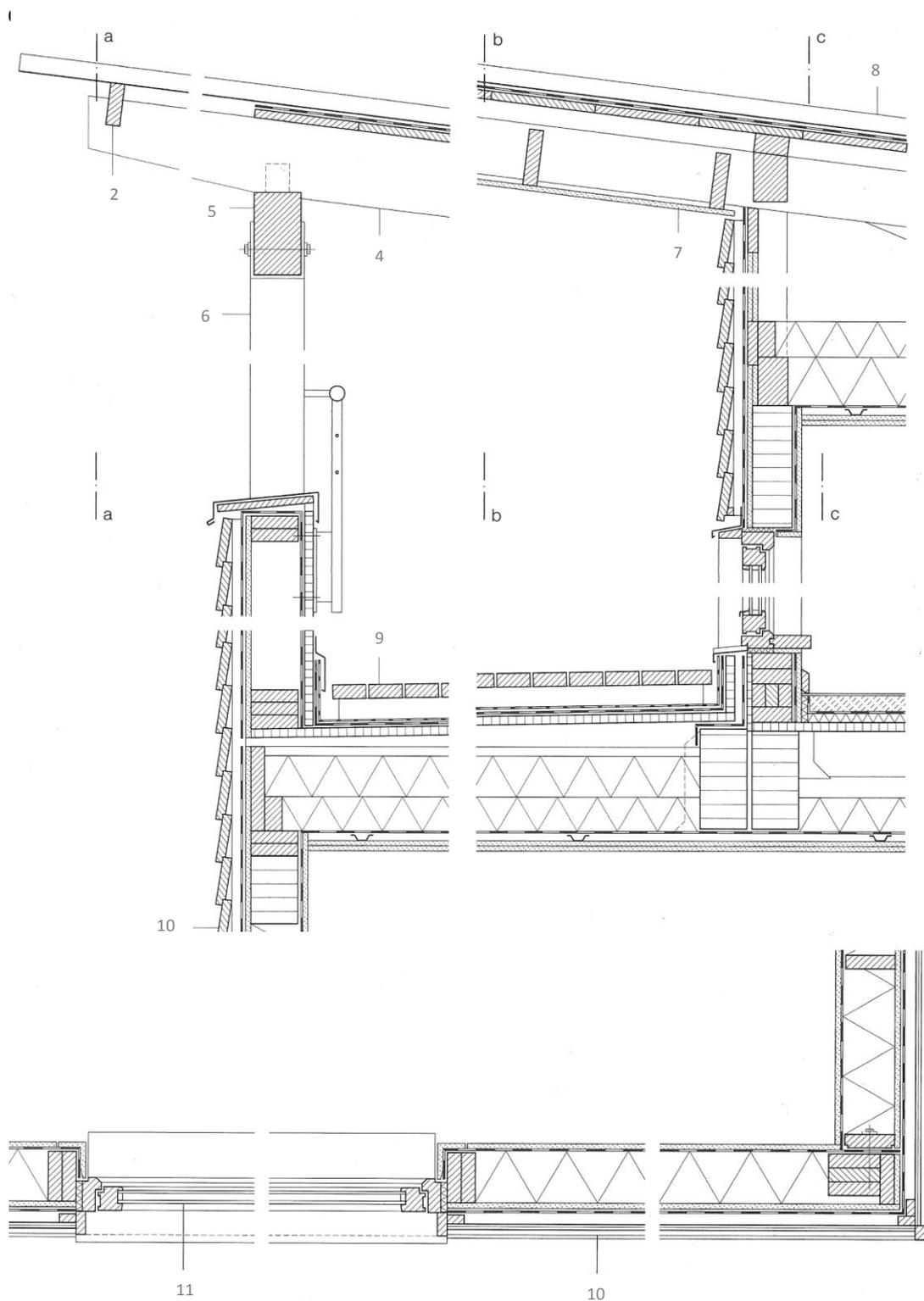
Prototipo desarrollado en la búsqueda de viviendas de bajo costo en Alemania. Este edificio de cuatro plantas está construido en su totalidad con el sistema “platform frame” desde la primera planta. Diseñado por el arquitecto Herbert Meyer-Sternberg.

Se trata de apartamentos dúplex. El edificio no posee sótano, los servicios comunes y depósitos fueron ubicados en un edificio aparte a lo largo de la fachada posterior.

Luego de un año de uso el veredicto de los usuarios fue positivo, sin embargo, se propuso que los posteriores desarrollos similares fuesen hechos de tres plantas y no de cuatro.



Imágenes tomadas de: (Detail, 1997)



Imágenes tomadas de: (Detail 1997)

Legenda:

- 2 Cuartones de madera 60X140 mm
- 4 Viga de madera 60x220 mm
- 6 Columna tubular acero diam. 140 mm
- 7 Panel cartón yeso 15 mm.
- 8 Cubierta aislante compuesta: láminas corrugadas aluminio, capa difusora de humedad, aislantes y difusores de humedad.
- 9 Tablas de 40x95 mm sobre tejido protector y capa de sellado sobre tablero de partículas.
- 10 Pared externa: lamas de madera de 22x145 mm, rastreles de 24x48 mm, postes de madera de 40x140 mm, aislante.
- 11 Marco abatible de madera con vidrio doble.

Caso 1: Edificio de Vivienda en Múnich. 1997. 4 plantas. Platform frame.

Dimensiones básicas

	metros
altura entrepiso	2,80
lado apto tipo 1,2	10,00
frente y detrás (fachadas)	5,20
Altura total piso	5,60

Áreas de vanos:

Elemento	lado (m)	alto (m)	área vano (m ²)
ventana p1 f front	1,10	1,90	2,09
ventana p2 f front	2,00	1,60	3,20
puerta p1 trasera	2,00	2,10	4,20
vent p1 trasera	1,00	1,00	1,00
ventana p2 trasera	1,20	1,20	1,44
ventana p2 trasera	1,20	1,20	1,44

Áreas de superficies de madera:

Fachadas	área fachada (m ²)	% vanos (%/100)	área madera (m ²)
f.f p1	14,56	0,14	12,47
f.f p2	14,56	0,22	11,36
f.t p1	14,56	0,36	9,36
f.t p2	14,56	0,20	11,68
totales	58,24	---	44,87

Paredes Medianeras	lado (m)	alto (m)	área pared (m ²)
pared medianera 1	10,00	5,60	56,00
pared medianera 2	10,00	5,60	56,00
total			112,00

Área de forjados	Profund. (m)	frente (m)	área suelo (m ²)
planta 1	10,00	5,20	52,00
Planta 2	10,00	5,20	52,00
techo	10,00	6,50	65,00
Total área de construcción⁽¹⁾			104,00

Legenda:

f.f= fachada frontal

f.t= fachada trasera

p1= planta 1

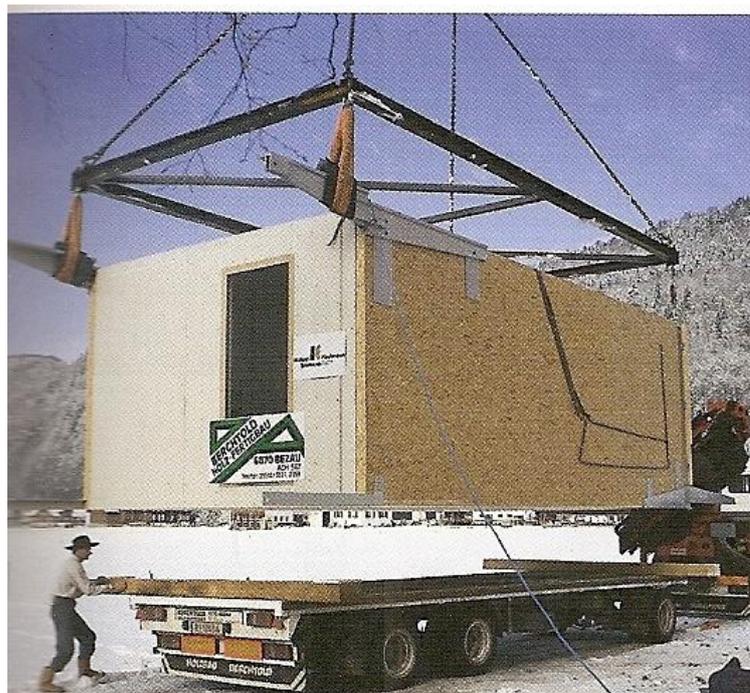
p2= planta 2

(1) =se toma en cuenta solamente la sumatoria de las áreas de piso consideradas, sin sumar el techo.

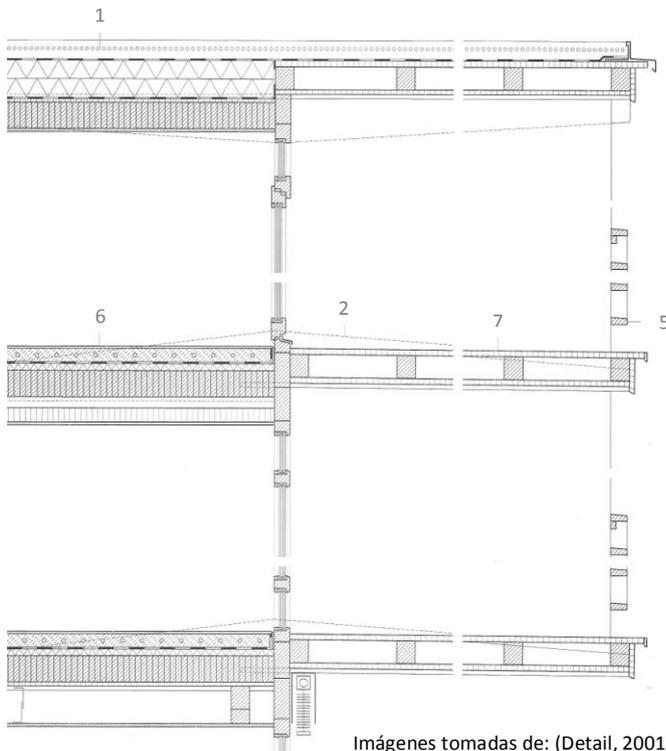
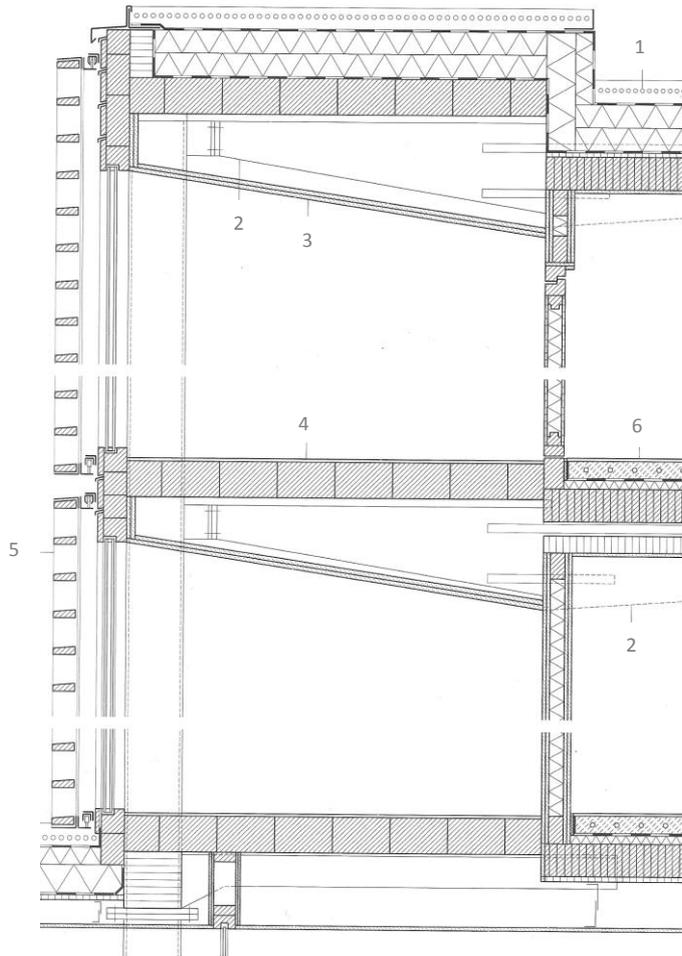
Caso 2: Extensión de Hotel en Bezau, Austria. 2001

Se trata de la extensión de un hotel de alta demanda que requería de una construcción muy veloz. La solución a tal requerimiento fue la de una serie de “contenedores” prefabricados de madera que se pudiesen colocar uno encima del otro. Las cajas de 7,50 x 4,00 m son auto portantes, por lo que no se requiere de ninguna estructura adicional.

Las cajas y las terrazas, una vez en el terreno, fueron ensambladas en dos días y luego de un mes, la extensión de ocho habitaciones más áreas comunes y de servicios estuvo en condiciones de recibir huéspedes.



Imágenes tomadas de: (Detail, 2001)



Imágenes tomadas de: (Detail, 2001)

Leyenda:

- 1 Cubierta: cama de grava 50 mm. Capa selladora de plástico. Aislante térmico 160 mm. Barrera de vapor. Tablero OSB 15 mm. Panel de yeso 12,5 mm.
- 2 Aleta de acero con bridas de conexión soldadas.
- 3 Panel de yeso resistente al fuego 2x15 mm.
- 4 Suelo corredor: parquet de cerezo americano 10 mm. Vigas de madera blanda 200x125 mm
- 5 Protector solar deslizante: lamas de abeto plateado 80x28 mm en marco de perfiles de aluminio.
- 6 Suelo interior: parquet de cerezo americano 10 mm. Suelo radiante calefactor 60 mm. Aislante acústico de impacto. Entarimado de madera 115 mm. Cavity 50 mm. Tablero laminado de chapas 60 mm. Panel de yeso 12,5 mm.
- 7 Suelo balcón: Tablero laminado de chapas 26 mm. Cuarterones de madera blanda 80x100 mm. Tablero laminado de chapas 20 mm.

Caso 2: Extensión de Hotel en Bezau, Austria. 2001.

Dimensiones básicas:

	metros
altura entrepiso	2,6
lado apto tipo 1,2	7,5
frente y detrás (fachadas)	3,9

Áreas de vanos:

Elemento	lado (m)	alto (m)	área vano (m ²)
ventana p1 f front	3,9	2,6	10,14
ventana p2 f front	0,00	0,00	0,00
puerta p1 trasera	0,8	2,10	1,68
vent p1 trasera	0	0,00	0,00
ventana p2 trasera	0,00	0,00	0,00
ventana p2 trasera	0,00	0,00	0,00

Áreas de superficies de madera:

Fachadas	área fachada (m ²)	% vanos (%/100)	área madera (m ²)
f.f p1	10,14	1	0
f.f p2	0	0	0
f.t p1	10,14	0,17	8,46
f.t p2	0	0	0
totales	20,28	---	8,46

Paredes Medianeras	lado (m)	alto (m)	área pared (m ²)
pared medianera 1	7,5	2,6	19,5
pared medianera 2	7,5	2,6	19,5
total			39

Área de suelo	frente (m)	profund (m)	área suelo (m ²)
planta 1	3,9	7,5	29,25
balcón	3,9	2	7,8
pasillo	3,9	1,5	5,85
entrepiso	Mitad de planta 1 pues hay 2		14,63
total			57,53

Leyenda:

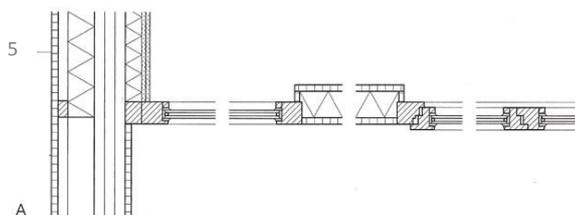
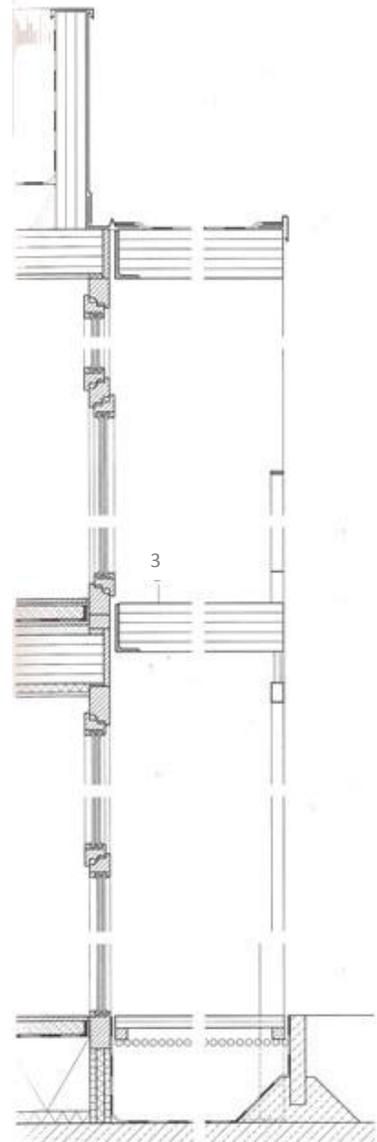
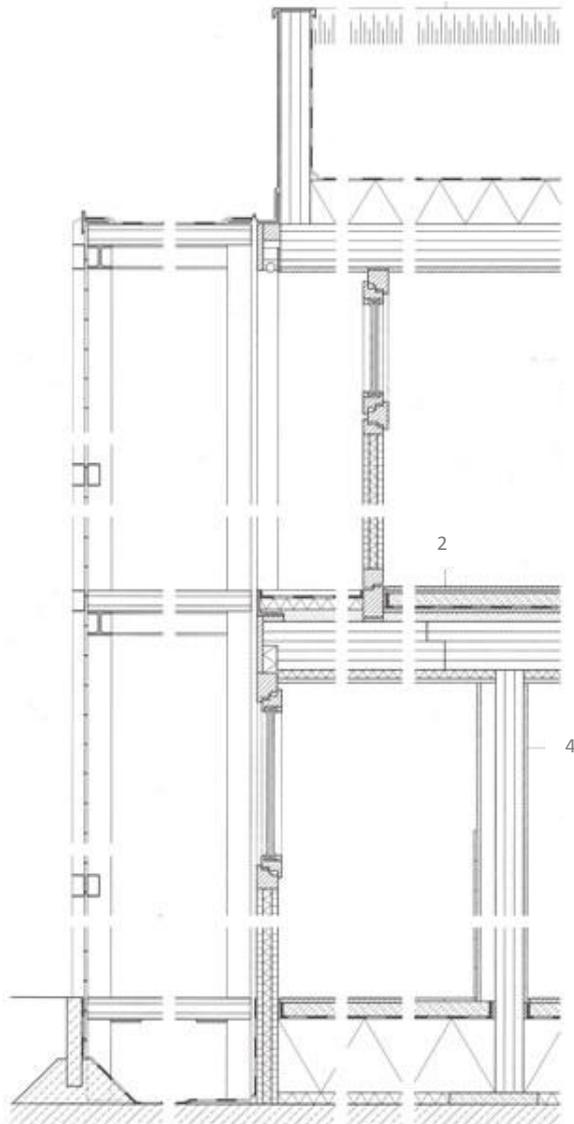
f.f= fachada frontal
 f.t= fachada trasera
 p1= planta 1
 p2= planta 2

Caso 3: Housing Block, Merano:

Edificio de 4 plantas construido con paneles prefabricados de madera maciza de gran escala dispuestos de manera de lograr una gran rigidez estructural y solidez. Diseñado por los arquitectos Holzbox Tirol y Anton Höss, de Innsbruck, quienes propusieron la estructura de manera que pueda elevarse hasta 10 plantas o más. Los paneles que lo constituyen, además de ser fáciles de ensamblar, proveen masa de almacenamiento térmico.



Imágenes tomadas de: (Detail, 2004).



Imágenes tomadas de: (Detail, 2004).

Leyenda:

2. Suelo: parquet 13 mm. Capa de separación 2 mm. Durmiente de la capa de separación 45 mm. Aislante acústico de impacto 15 mm. Capa de gravilla 30 mm. Paneles madera laminada 162 mm. Aislante acústico 28 mm. Panel yeso 15 mm.

3. Paneles madera laminada 160 mm.

4. Pared interna: Panel de yeso 12,5 mm. Paneles madera laminada 94 mm. Rastreles 50 mm. Panel de yeso 12,5 mm.

5. pared externa: Tablero de alerce 19 mm. Rastreles 30 mm. Aislante 80 mm. Panel laminado 94 mm. Tablero de Madera 19 mm.

Caso 3: Housing Block, Merano:

Dimensiones básicas: metros

altura entepiso	2,80
lado apto tipo 1,2	9,50
frente y detrás (fachadas)	6,00

Áreas de vanos:

Elemento	lado	alto	área vano
	(m)	(m)	(m ²)
puerta p1 f f	1,00	2,10	2,10
ventana p2 f f	0,00	0,00	0,00
puerta p1 trasera	2,50	2,10	5,25
vent p1 trasera	2,50	2,10	5,25
ventana p2 trasera	0,00	0,00	0,00
ventana p2 trasera	0,00	0,00	0,00

Áreas de superficies de madera

Fachadas	área fachada	% vanos	area madera
	(m)	(m)	(m ²)
f.f p1	16,80	0,13	14,7
f.f p2	0,00	0,00	0
f.t p1	16,80	0,63	6,3
f.t p2	0,00	0,00	0
totales	33,60		21,00

Paredes Medianeras	lado	alto	área pared
	(m)	(m)	(m ²)
pared medianera 1	9,50	2,80	26,60
pared medianera 2	9,50	2,80	26,60
total			53,20

Área de forjados	frente	profund	área suelo
	(m)	(m)	(m ²)
planta	6,00	9,50	57,00
balcón	6,00	1,60	9,60
total			66.60

Leyenda:

f.f= fachada frontal
 f.t= fachada trasera
 p1= planta 1
 p2= planta 2

3.4.3. Cálculos de impacto.

3.4.3.1. Cálculo de cantidades de madera por caso.

Tabla 54: Volúmenes y pesos de madera y derivados. Caso 1

Elemento/tipo de madera		cantidad	e	a	l	vol. unit	vol. Total	densidad	peso
			(m)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(kg/m ³)	(kg)
FACHADAS									
aserrada	Mont. Vert. Largos p 1, f.f.	11	0,04	0,14	2,45	0,01372	0,151	450	67,91
	Mont. Vert. Largos p 2, f.f.	6	0,04	0,14	2,45	0,014	0,082	450	37,04
	Mont. Vert. cortos b p 2, f.f.	5	0,04	0,14	0,50	0,003	0,014	450	6,30
	Mont. Vert. cortos a p 2, f.f.	5	0,04	0,14	0,50	0,003	0,014	450	6,30
	marco vent vert p 1, f.f.	2	0,04	0,14	1,90	0,011	0,021	450	9,58
	marco vent hrzt p 1, f.f.	2	0,04	0,14	1,10	0,006	0,012	450	5,54
	marco vent vert p 2, f.f.	2	0,04	0,14	1,60	0,009	0,018	450	8,06
	marco vent hrzt p 2, f.f.	2	0,04	0,14	2,00	0,011	0,022	450	10,08
	tablillas solape p1, f.f.	6	0,022	0,145	5,2	0,017	0,100	450	44,79
	tablillas solape p1, f.f.	32	0,022	0,145	2,05	0,007	0,209	450	94,17
	tablillas solape p2, f.f.	9	0,022	0,145	5,2	0,017	0,149	450	67,18
	tablillas solape p2, f.f.	26	0,022	0,145	1,6	0,005	0,133	450	59,72
	listones soporte solape ff	10	0,024	0,048	2,45	0,003	0,028	450	12,70
	listones soporte solape ff	0	0,024	0,048	0	0,000	0,000	450	0,00
	listones soporte solape ff	6	0,024	0,048	2,45	0,003	0,017	450	7,62
	listones soporte solape ff	5	0,024	0,048	0,50	0,001	0,003	450	1,30
	listones soporte solape ff	5	0,024	0,048	0,50	0,001	0,003	450	1,30
	Mont. Vert. Largos p 1, f.t	8	0,04	0,14	2,45	0,014	0,110	450	49,39
	Mont. Vert. cortos p 1, f.t	3	0,04	0,14	1,00	0,006	0,017	450	7,56
	Mont. Vert. Largos p 2, f.t	7	0,04	0,14	2,45	0,014	0,096	450	43,22
	Mont. Vert. cortos b p 2, f.t	4	0,04	0,14	1,00	0,006	0,022	450	10,08
	Mont. Vert. cortos a p 2, f.t	4	0,04	0,14	0,50	0,003	0,011	450	5,04
	marco puerta vert p 1, f.t	2	0,04	0,14	2,10	0,012	0,024	450	10,58
	marco puerta hrzt p 1, f.t	1	0,04	0,14	2,10	0,012	0,012	450	5,29
	marco vent vert p 1, f.t	2	0,04	0,14	1,00	0,006	0,011	450	5,04
	marco vent hrzt p 1, f.t	2	0,04	0,14	1,00	0,006	0,011	450	5,04
	marco vent vert p 2, f.t	4	0,04	0,14	1,00	0,006	0,022	450	10,08
	marco vent hrzt p 2, f.t	4	0,04	0,14	1,00	0,006	0,022	450	10,08
	tablillas solape p1, f.t	13	0,022	0,145	5,20	0,017	0,216	450	97,04
	tablillas solape p1, f.t	9	0,022	0,145	3,20	0,010	0,092	450	41,34
	tablillas solape p1, f.t	8	0,022	0,145	2,20	0,007	0,056	450	25,26
	tablillas solape p2, f.t	10	0,022	0,145	3,00	0,010	0,096	450	43,07
	listones soporte solape f.t	8	0,024	0,048	2,45	0,003	0,023	450	10,16
	listones soporte solape f.t	3	0,024	0,048	1,00	0,001	0,003	450	1,56
	listones soporte solape f.t	7	0,024	0,048	2,45	0,003	0,020	450	8,89
	listones soporte solape f.t	4	0,024	0,048	1,00	0,001	0,005	450	2,07
	listones soporte solape f.t	4	0,024	0,048	0,50	0,001	0,002	450	1,04
	tablas cubre viga "I"	4	0,04	0,14	5,20	0,029	0,116	450	52,42
	tablas cubre forjado a	1	0,04	0,24	5,20	0,050	0,050	450	22,46
	tablas cubre forjado b	1	0,05	0,1	5,20	0,026	0,026	450	11,70
	tablas columna comp. f.f	8	0,04	0,14	5,60	0,031	0,251	450	112,90
	tablas columna comp. f.t	8	0,04	0,14	5,60	0,031	0,251	450	112,90
Laminada	vigas frontales longitudinales	2	0,16	0,3	5,20	0,250	0,499	455	227,14
PAREDES MEDIANERAS									
aserrada	Mont. Vert. Largos p 1	44	0,04	0,14	2,45	0,01372	0,60368	450	271,66
	Mont. Vert. Largos p 2	44	0,04	0,14	2,45	0,01372	0,60368	450	271,66
	tablas columna compuesta	16	0,04	0,14	5,60	0,03136	0,50176	450	225,79
Laminada	vigas transversales	2	0,16	0,3	10,00	0,48	0,96	455	436,80
TABIQUERIA INTERNA									
aserrada	montantes (3/ml) p 1 10,6 ml	31,8	0,04	0,14	2,45	0,014	0,436	450	196,33
	montantes (3/ml) p 2 10,0 ml	30	0,04	0,14	2,45	0,014	0,412	450	185,22
FORJADO ENTREPISO									
aserrada	listones transversales centro	6	0,04	0,14	2,5	0,014	0,084	450	37,80
Agglomerados	Contrachapada	1	0,045	5,20	10,00	2,34	2,34	450	1053,0
	Vigas compuestas "I" c/0.4 m.								
	listón superior	20	0,06	0,05	5,2	0,0156	0,312	460	143,52
	listón inferior contrachapado	20	0,06	0,05	5,2	0,0156	0,312	460	143,52
	alma OSB	20	0,04	0,225	5,2	0,0468	0,936	650	608,40
FORJADO TECHO									
aserrada	listones transversales centro	8	0,04	0,14	2,5	0,014	0,112	450	50,40
	Contrachapada	1	0,045	5,20	10,00	2,34	2,34	460	1076,4
	Vigas compuestas "I" c/0.4 m.								
Agglomerados	listón superior	23	0,06	0,05	5,2	0,0156	0,3588	460	165,05
	listón inferior contrachapado	23	0,06	0,05	5,2	0,0156	0,3588	460	165,05
	alma OSB	23	0,04	0,225	5,2	0,0468	1,0764	650	699,66
	TOTALES						14,787		7101,2

Tabla 55: Volúmenes y pesos de madera y derivados. Caso 2.

Elemento/tipo de madera		cantidad	e	a	l	vol. unit	vol. Total	densidad	peso
			(m)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(kg/m ³)	(kg)
FACHADAS									
aserrada	Paral puerta balcón	2	0,04	0,07	2,1	0,006	0,012	450	5,292
	Travesaño sup. puerta vent.	1	0,04	0,07	3,90	0,011	0,011	450	4,914
	Travesaño inf. puerta vent.	1	0,04	0,07	3,00	0,008	0,008	450	3,78
	Estruct. Vert. Puerta balcón	2	0,04	0,07	2,1	0,006	0,012	450	5,292
	Estruct. horiz. Puera balcón	2	0,04	0,07	0,9	0,003	0,005	450	2,268
	Verticales marco balcón	2	0,07	0,145	2,6	0,026	0,053	450	23,751
	Horiz. Marco balcón	2	0,07	0,145	3,9	0,040	0,079	450	35,6265
	soporte hztl sup. Tabique	1	0,05	0,09	3,9	0,018	0,018	450	7,8975
	soporte hztl inf. Tabique	1	0,05	0,09	3,9	0,018	0,018	450	7,8975
	marco hztl puerta tras	1	0,07	0,05	0,9	0,003	0,003	450	1,4175
	marco vert puerta tras	2	0,07	0,05	2,1	0,007	0,015	450	6,615
	estructura vertical puerta	2	0,07	0,04	2,1	0,006	0,012	450	5,292
	estructura horiz. Puerta tras	2	0,07	0,04	0,9	0,003	0,005	450	2,268
	refuerzo interno vert puerta	2	0,05	0,05	2,1	0,005	0,011	450	4,725
refuerzo interno hztl puerta	2	0,05	0,05	0,9	0,002	0,005	450	2,025	
PAREDES MEDIANERAS									
aserrada	Entarimado de madera	2	0,115	2,60	7,50	2,243	4,485	450	2018,25
aglomerados	Tablero tricapa OSB	2	0,06	2,60	7,50	1,170	2,340	650	1521
FORJADO PISO									
aserrada	parquet	1	0,01	3,90	7,50	0,293	0,293	450	131,625
	entarimado	1	0,115	3,90	7,50	3,364	3,364	450	1513,68
aglomerados	Tablero tricapa OSB	1	0,06	3,90	7,50	1,755	1,755	650	1140,75
FORJADO ENTREPISO									
aserrada	parquet	1	0,010	3,90	7,50	0,293	0,293	450	131,625
	Tablones apilados	1	0,115	3,90	7,50	3,364	3,364	450	1513,68
aglomerados	Contrach. tres capas	1	0,060	3,90	7,50	1,755	1,755	500	877,5
FORJADO BalcÓN									
aserrada	Viga	5	0,100	0,08	3,90	0,031	0,156	450	70,2
aglomerados	Tablero tricapa	1	0,020	2,00	3,90	0,156	0,156	650	101,4
	Tablero tricapa enolado	1	0,026	2,00	3,90	0,203	0,203	650	131,82
FORJADO PASILLO									
aserrada	Parquet cerezo	1	0,010	2,00	3,90	0,078	0,078	450	35,1
	Entablado pino	7	0,125	2,00	3,90	0,975	6,825	450	3071,25
TOTALES							19,481		12376,94

Tabla 56: Volúmenes y pesos de Madera y derivados. Caso 3

Elemento/tipo de madera		cantidad	e	a	l	vol. unit	vol. Total	densidad	peso
			(m)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(kg/m ³)	(kg)
FACHADAS									
Madera natural	---	0	0	0	0	0,000	0,000	450	0,00
contralaminada	pared ciega pasillo	1	0,094	3,1	-0,17	2,63	0,767	500	383,63
	armario	1	0,094	1,25	-0,17	2,63	0,309	500	154,69
	pared ciega	1	0,094	1,5	-0,17	2,63	0,371	500	185,63
	pared peq. Balcón	1	0,094	0,8	-0,17	2,63	0,198	500	99,00
PAREDES MEDIANERAS									
Madera natural	---	0	0	0,00	0,00	0,000	0,000	450	0,00
contralaminada	pared	2	0,094	9,50	2,63	2,351	4,703	500	2351,27
FORJADO PISO									
Madera natural	parquet	1	0,013	6,00	9,50	0,741	0,741	450	333,45
contralaminada	entarimado	1	0,164	6,00	9,50	9,348	9,348	500	4674,00
FORJADO BalcÓN									
Madera natural	---	0	0	0,00	0,00	0,000	0,000	450	0,00
contralaminada	entarimado	1	0,013	1,60	6,00	0,125	0,125	500	62,4
Totales							16,56		8244,07

3.4.3.2. Cálculo de emisiones de CO₂ de cada caso.

Tabla 57: Cálculo de emisiones caso 1.

Elemento		peso (ton)	Emisiones kgCO ₂ /ton	Emisiones elemento kgCO ₂
FACHADAS				
Madera natural	total	1,14	550,00	629,09
Madera laminada	total	0,23	700,00	159,00
PAREDES MEDIANERAS				
Madera natural	paredes	0,77	550,00	423,01
Madera laminada	paredes	0,44	700,00	305,76
TABIQUERÍA INTERNA				
Madera natural	paredes	0,38	550,00	209,85
FORJADO ENTREPISO				
Madera natural	Listones transv.	0,04	550,00	20,79
	contrachapada	1,05	750,00	789,75
Aglomerados	Viga compuesta "I"			
	Madera	0,29	750,00	215,28
	Alma OSB	0,61	1600,00	973,44
FORJADO TECHO				
Madera natural	Listones transv.	0,05	550,00	27,72
	contrachapada	1,08	750,00	807,30
	Viga compuesta "I"			
	Madera contrachap.	0,33	750,00	247,57
	Alma OSB	0,70	1600,00	1119,46
Total emisiones de la madera y derivados:				5928,02

Tabla 58: Cálculo de emisiones caso 2

Elemento		peso (ton)	Emisiones kgCO ₂ /ton	Emisiones elemento kgCO ₂
FACHADAS				
Madera aserrada	total	0,12	550,00	65,48
Madera contralaminada	total	0,00	1550,00	0,00
PAREDES MEDIANERAS				
Madera aserrada	paredes	2,02	550,00	1110,04
aglomerados	paredes	1,52	1600,00	2433,60
FORJADO PISO				
Madera aserrada	Parquet	0,13	550,00	72,39
	Entarimado	1,51	550,00	832,53
Aglomerados	Tricapa OSB	1,14	1600,00	1825,20
FORJADO ENTREPISO				
Madera aserrada	Parquet	0,13	550,00	72,39
	Tablones	1,51	550,00	832,53
contrachapados	tricapa	0,88	750,00	658,13
FORJADO BALCÓN				
Madera aserrada	Viga	0,07	550,00	38,61
Aglomerados	Tablero tricapa	0,10	1600,00	162,24
	Tablero tricapa eno.	0,13	1600,00	210,91
FORJADO PASILLO				
Madera aserrada	Entablado pino	3,07	550,00	1689,19
	Parquet cerezo	0,04	550,00	19,31
Total				10022,55

Tabla 59: Cálculo de emisiones caso 3

Elemento		peso (ton)	Emisiones kgCO ₂ /ton	Emisiones elemento kgCO ₂
FACHADAS				
Madera aserrada	---	0,00	550,00	0,00
Madera contralaminada	total	0,82	1550,00	1275,56
PAREDES MEDIANERAS				
Madera aserrada	---	0,00	550,00	0,00
Madera contralaminada	paredes	2,35	1550,00	3644,47
FORJADO PISO				
Madera aserrada	Parquet	0,33	550,00	183,40
Madera contralaminada	Entarimado	4,67	1550,00	7244,70
FORJADO BALCÓN				
Madera aserrada	Viga	0,00	550,00	0,00
Madera contralaminada	tablero	0,06	1550,00	96,72
Total				12444,85

3.4.3.3. Cálculo de energía incorporada de cada caso.

Tabla 60: Energía incorporada. Caso 1

Elemento/tipo de madera	peso	PESO	Energía Incorporada					
			unit total	unit fósil	unit renovab	total	fósil	renovable
FACHADAS:	(kg)	(ton)	(MJ/ton)	(MJ/ton)	(MJ/ton)	MJ	MJ	MJ
Madera aserrada	1143,80	1,144	13506	1381	12125	15448,12	1579,58	13868,53
madera laminada	227,14	0,227	22975	2225	20750	5218,45	505,38	4713,07
PAREDES MEDIANERAS:								
Madera aserrada	769,10	0,769	13506	1381	12125	10387,52	1062,13	9325,39
Madera laminada	436,80	0,437	22975	2225	20750	10035,48	971,88	9063,60
FORJADO ENTREPISO:								
madera contrachapada	1053,00	1,053	38521	11115	27406	40562,61	11704,10	28858,52
madera contrachapada	287,04	0,287	38521	11115	27406	11057,07	3190,45	7866,62
alma OSB	608,40	0,608	22210	4868	17342	13512,56	2961,69	10550,87
madera aserrada	37,80	0,038	13506	1381	12125	510,53	52,20	458,33
FORJADO TECHO:								
madera contrachapada	1076,40	1,076	38521	11115	27406	41464,00	11964,19	29499,82
madera contrachapada	330,10	0,330	38521	11115	27406	12715,63	3669,02	9046,61
alma OSB	699,66	0,700	22210	4868	17342	15539,45	3405,94	12133,50
madera aserrada	50,40	0,050	13506	1381	12125	680,70	69,60	611,10
TABICUERIA INTERNA:								
madera aserrada	381,55	0,382	13506	1381	12125	5153,26	526,92	4626,33
Total:						182285,38	41663,09	140622,29

Tabla 61: Energía incorporada. Caso 2

Elemento/tipo de madera	peso	PESO	Energía Incorporada					
			unit total	unit fósil	unit renovab	total	fósil	renovable
FACHADAS:	(kg)	(ton)	(MJ/ton)	(MJ/ton)	(MJ/ton)	MJ	MJ	MJ
Madera aserrada	119,06	0,119	13506	1381	12125	1608,02	164,42	1443,60
PAREDES MEDIANERAS:								
Madera aserrada	2018,25	2,018	13506	1381	12125	27258,48	2787,20	24471,28
OSB	1521,00	1,521	22210	4868	17342	33781,41	7404,23	26377,18
FORJADO entrePISO:								
contrachapado	807,30	0,807	38521	11115	27406	31098,00	8973,14	22124,86
madera aserrada	1645,31	1,645	13506	1381	12125	22221,56	2272,17	19949,38
FORJADO PISO:								
OSB	1140,75	1,141	22210	4868	17342	25336,06	5553,17	19782,89
madera aserrada	1645,31	1,645	13506	1381	12125	22221,56	2272,17	19949,38
FORJADO BALCÓN:								
TABLERO TRICAPA	233,22	0,233	38521	11115	27406	8983,87	2592,24	6391,63
madera aserrada	70,20	0,070	13506	1381	12125	948,12	96,95	851,18
FORJADO PASILLO								
madera aserrada	310,63	0,311	13506	1381	12125	4195,37	428,98	3766,39
Total:						177652,45	32544,68	145107,77

Tabla 62: Energía incorporada. Caso 3

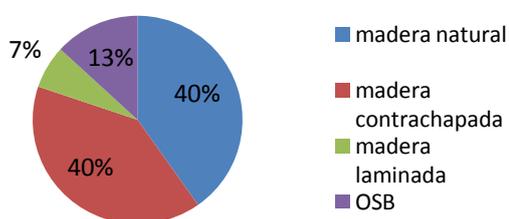
Elemento/tipo de madera	peso	PESO	Energía Incorporada					
			unit total	unit fósil	unit renovab	total	fósil	renovable
FACHADAS:	(kg)	(ton)	(MJ/ton)	(MJ/ton)	(MJ/ton)	MJ	MJ	MJ
Madera natural	0,00	0,000	13506	1381	12125	0,00	0,00	0,00
Madera Contralaminada	822,94	0,823	26346	4604	21742	21681,29	3788,83	17892,45
FORJADO PISO:								
Madera natural	333,45	0,333	13506	1381	12125	4503,58	460,49	4043,08
madera contralaminada	4674,00	4,674	26346	4604	21742	123141,20	21519,10	101622,11
PAREDES MEDIANERAS								
Madera natural	0,00	0,000	13506	1381	12125	0,00	0,00	0,00
Madera contralaminada	2351,27	2,351	26346	4604	21742	61946,53	10825,24	51121,29
FORJADO BALCÓN								
madera natural	0,00	0,000	13506	1381	12125	0,00	0,00	0,00
madera contralaminada	62,40	0,062	26346	4604	21742	1643,99	287,29	1356,70
Total:						212916,59	36880,96	176035,63

Tabla 63: Resumen de impactos de los casos estudiados.

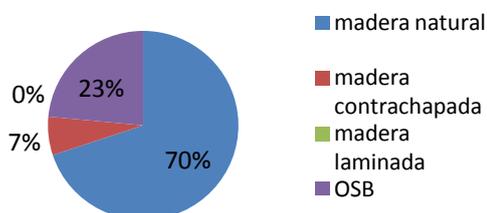
Casos considerados	superficie	cantidad de madera	energía incorporada	emisiones
	m ²	kg/m ²	MJ/m ²	kgCO ₂ /m ²
Caso 1	104,00	95,66	2317,66	73,62
Caso 2	57,63	151,58	2835,9	151,6
Caso 3	66,60	123,8	2795,9	186,9

Caracterización de las combinaciones de materiales de los casos estudiados:

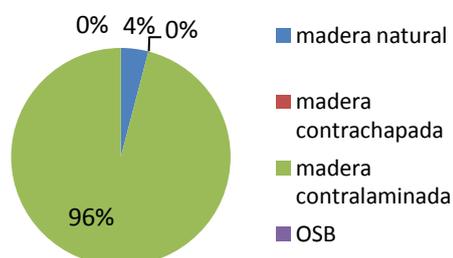
Caso 1, peso de madera y derivados (kg)



Caso 2, peso de madera y derivados (kg)



Caso 3, peso de madera y derivados



En los gráficos de la izquierda se puede observar la diferente composición del conjunto de materiales con los cuales están contruidos los tres casos de estudio considerados. Los materiales presentes son: madera natural (aserrada), tableros de madera contrachapada, elementos de madera laminada o tableros de madera contralaminada y tableros de tipo OSB.

En el primer caso correspondiente a un edificio de vivienda construido con el sistema “platform frame”, predomina el conjunto de madera aserrada y tableros de madera contrachapada y posee relativamente poca madera laminada.

El segundo caso, es el que más madera aserrada posee pues a pesar de que los cerramientos son con tableros de OSB, toda la estructura y cerramientos, además de un entarimado grueso que forma los forjados son contruidos con madera aserrada.

Ilustración 28: Combinaciones de maderas en los casos de estudio (kg).

El tercer caso, que corresponde al edificio de vivienda de Merano, está construido principalmente con tableros de madera contralaminada y muy poca madera aserrada natural con ausencia total de tableros de OSB o de contrachapados.

Estos casos fueron seleccionados debido a la diferencia marcada en cuanto al tipo de madera y al sistema constructivo empleados en la construcción de cada uno, de manera que se puedan hacer comparaciones en el impacto que puede tener cada esquema.

A continuación se compara la repercusión que tienen las diferentes combinaciones sobre el impacto de cada caso.

3.4.4. Comparaciones:

3.4.4.1. Comparación de cantidad de madera empleada en la construcción.

Tabla 64: Cantidad de madera empleada en cada caso según tipo.

Caso	Madera natural	Madera contrachapada	Madera laminada	Madera contralaminada	Tableros OSB
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Caso 1	5,23	6,02	1,45	0,00	2,01
Caso 2	19,12	1,76	0,00	0,00	4,45
Caso 3	0,74	0,00	0,00	15,82	0,00

Tabla 65: Cantidad total de madera empleada en cada caso.

Caso	Volumen total	Volumen unitario	Peso unitario
	m ³	m ³ /m ²	kg/m ²
Caso 1	14,79	0,14	68,50
Caso 2	25,33	0,43	151,58
Caso 3	16,56	0,25	123,80

De los tres casos estudiados, el que presenta mayor cantidad de materiales de madera o derivados es el caso 2 con 151,58 kg/m² y el que menos masa unitaria de materiales presenta es el caso 1 con 68,5 kg/m². Es notable la diferencia entre ambos casos extremos, en principio se puede ver con facilidad que el caso 2, el más pesado,

es el que contiene mayor volumen de madera aserrada natural y también el que contiene mayor volumen de tableros aglomerados de tipo OSB, debido a esto, y por sus características constructivas es el que presenta mayor concentración de materiales por área de construcción.

El caso 1 presenta la mayor variedad de productos de madera y derivados de los tres casos estudiados, se podría afirmar que esta combinación más plural de diferentes presentaciones de madera y derivados contribuye a un mejor rendimiento de los materiales utilizados en la construcción y en consecuencia a una menor concentración de materiales y un menor peso unitario de materiales por área.

3.4.4.2. Comparación de emisiones de CO₂

Para comparar las emisiones de los casos estudiados se han considerado, además de las emisiones totales, tres distintos indicadores: las emisiones generadas por el volumen total de madera y derivados empleados en la construcción del cada edificio (kg CO₂/m³), las emisiones producidas por la cantidad de madera empleada en la construcción expresada en peso (kgCO₂/ton) y finalmente la cantidad de dióxido de carbono emitida por la madera y derivados a razón del área de construcción de cada caso considerado (kgCO₂/m²).

Tabla 66: Emisiones de CO₂ de cada caso estudiado

Caso	Emisiones totales	Superficie de construcción	Volumen total de madera	Emisiones por peso material	Emisiones por superficie
	kg CO ₂	m ²	m ³	kg CO ₂ /ton	kg CO ₂ /m ²
Caso 1	5945,56	104,00	14,79	834,51	57,0
Caso 2	9969,89	57,63	25,33	810,11	151,6
Caso 3	12444,85	66,60	16,56	1509,55	186,9

Se consideran estos tres tipos de indicadores con el fin de contar con una evaluación lo más objetiva posible considerando una percepción más completa del potencial de impacto de cada sistema constructivo y la influencia que cada tipo de material tiene en tal impacto, de forma tal que también se pueda hacer una

aproximación al potencial que cada tipo de material tiene a la hora de decidir un uso específico en la construcción de los edificios.

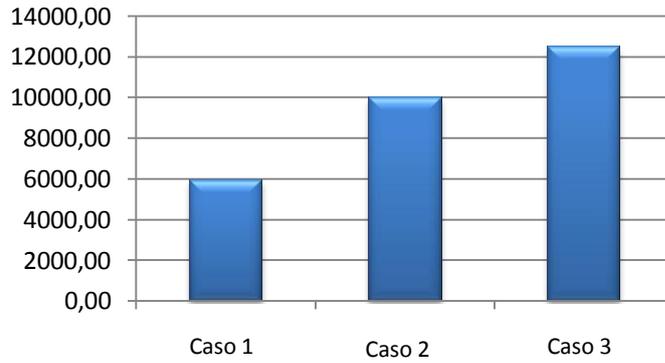


Ilustración 30: Emisiones totales de cada caso estudiado (kgCO₂)

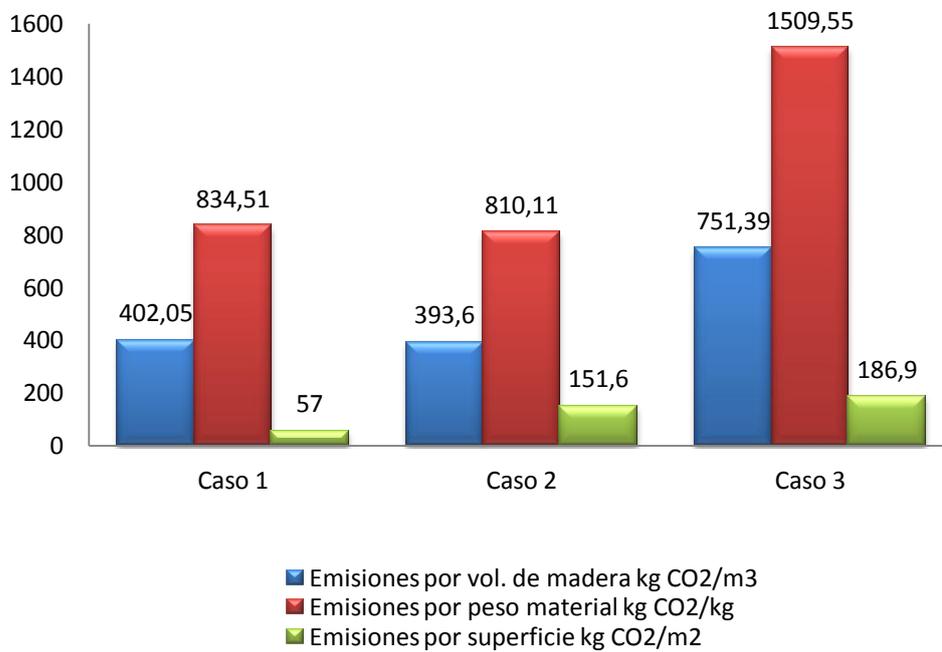


Ilustración 29: Comportamiento de los Distintos indicadores de emisiones.

De los tres casos estudiados, se ve claramente que el mayor productor de emisiones totales es el caso 3, el cual supera en un 25% las emisiones del caso 2 (intermedias) y duplica las emisiones del caso 1 (menores) (Tabla 66), sin embargo tales diferencias llegan a tener notables contrastes según el tipo de indicador considerado.

En el caso de las emisiones por volumen de madera, las del caso 2 resultan ligeramente inferiores a las del caso 1 a pesar de la diferencia vista en las emisiones totales. Las emisiones del caso 3 superan en más de un 88% a los otros dos casos. Este indicador nos habla de la cantidad de emisiones que cada combinación de materiales podría llegar a producir. Según esto, la combinación de materiales del caso 2 (70% madera natural, 23% OSB) produce un impacto por emisiones de CO₂ ligeramente menor que la combinación del caso 1 (variados tipos de materiales) y mucho menor, casi la mitad, que la combinación presente en el caso 3 (principalmente madera contralaminada) (Ilustración 29).

En cuanto a las emisiones por peso de material, las proporciones son muy similares a las del indicador anterior, con valores mayores, debidos sencillamente al paso de volumen a peso. Este indicador, al igual que el anterior nos indica que la cantidad posible de emisiones que cada combinación de materiales y sus repercusiones son equivalentes.

El último indicador referido a las emisiones que produce la combinación de materiales por unidad de superficie de construcción del edificio presenta un comportamiento bastante diferente a los otros dos. Este indicador expresa la eficiencia que a efectos de emisiones presenta la combinación de materiales de cada caso al ser utilizado para la construcción de edificios.

Al comparar las emisiones que cada combinación de materiales tiene por unidad de área de construcción de los edificios se observa que el caso tres, continúa siendo el de mayores emisiones entre los tres estudiados, genera un 23% más de emisiones que el caso 2 y un 85% más que el caso uno. Paralelamente, se observa que el caso 2 produce emisiones que superan en un 62% a las del caso 1 (Ilustración 29). Este indicador favorece notablemente a la combinación 1 y las combinaciones 2 y 3 presentan menor distancia relativa entre ellas. La combinación 3 se ve relativamente favorecida por este último indicador pues reduce la distancia con los otros dos casos

y la combinación 2 se ve relativamente desfavorecida pues aumenta su distancia superando las emisiones de la combinación 1 la cual por su parte presenta las menores emisiones.

3.4.4.3. Comparaciones de energía incorporada:

Para estudiar el impacto que los casos estudiados pueden generar por concepto de energía incorporada, además de la cuantificación total de la misma en cada caso, se consideran dos indicadores más: El primero se refiere a la cantidad de energía incorporada por volumen de madera expresado en MJ/m³, indicador que muestra el impacto que, debido a la incorporación de energía, podría generar cada combinación de materiales y el segundo corresponde a la cantidad de energía incorporada por unidad de superficie construida en cada caso expresado en MJ/m², el cual indica la eficiencia que puede tener cada combinación de materiales al ser utilizada en la construcción de edificios.

Tabla 67. Comparación energía incorporada en los casos estudiados.

	Energía incorporada total	Superficie de construcción	Volumen total de madera	energía incorporada por vol. de madera	energía inc. por superficie
	MJ	m ²	m ³	MJ/m ³	MJ/m ²
Caso 1	182285,38	104,00	14,79	12324,91	1752,74
Caso 2	177652,45	57,63	25,33	7013,52	3082,64
Caso 3	212916,59	66,60	16,56	12857,28	3196,95

Entre los tres casos estudiados, el que requiere de una mayor incorporación total de energía es el caso 3 (principalmente madera contralaminada) (Ilustración 32). Sin embargo, la energía incorporada presenta diferentes comportamientos dependiendo del indicador considerado.

En el caso de la energía incorporada por unidad de volumen de combinación de materiales, se puede observar en la Ilustración 31, que la combinación del caso 1 (materiales variados) y la combinación del caso 3 (principalmente tableros de madera contralaminada) presentan valores de impacto muy equivalentes y la energía

incorporada por unidad de volumen de materiales resulta en promedio casi un 80% superior al caso 2. Por lo tanto, la combinación del caso 2 (70% madera natural, 23% OSB), generaría un menor impacto por concepto de energía incorporada.

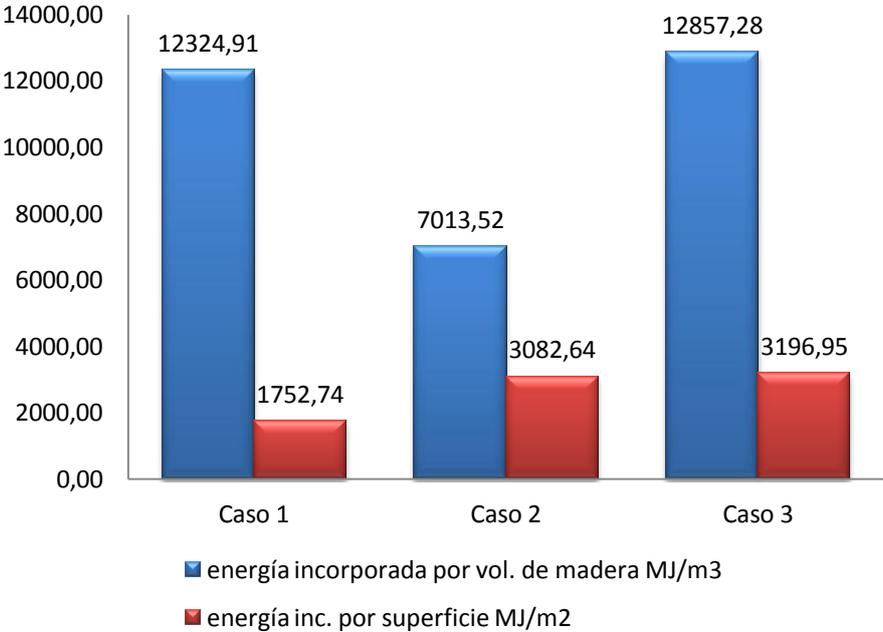


Ilustración 31: Comportamiento de los indicadores de energía incorporada.

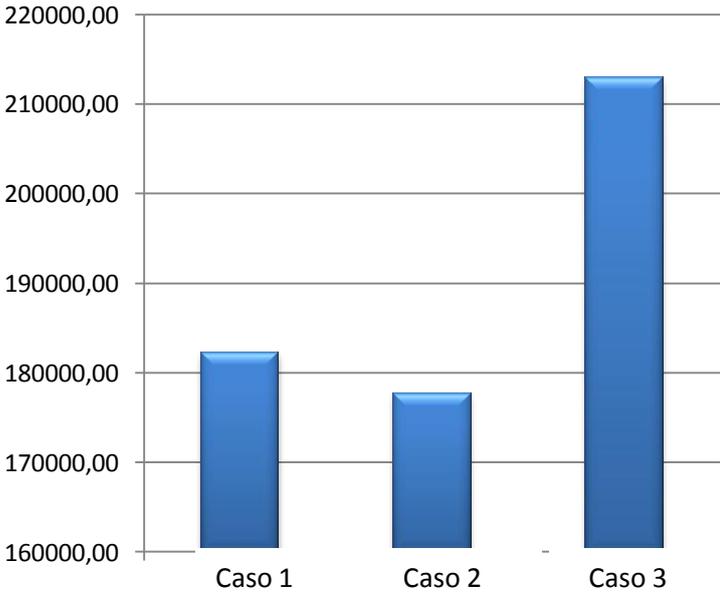


Ilustración 32: Energía incorporada total en cada caso estudiado (MJ).

Al estudiar la eficiencia con respecto a la energía incorporada que las tres diferentes combinaciones pueden tener al ser utilizadas en la construcción, se puede observar en la Ilustración 31, valores muy similares entre las combinaciones 2 y 3, las cuales superan a la combinación 1 en la cantidad de energía incorporada por unidad de superficie construida en un promedio del 80%.

Según lo observado, se podría decir que la combinación 2 presenta un menor impacto por volumen de material y la combinación 1 una mayor eficiencia al ser utilizada como material de construcción, pero igual que en la evaluación del impacto por emisiones, sería conveniente igualar áreas y cantidades de material para aproximarnos a conclusiones más precisas en lo que respecta a la comparación de las tres combinaciones de materiales.

Si relacionamos el conjunto de la Ilustración 32 con la información contenida en la Ilustración 31, podríamos afirmar que mientras más cantidad de madera natural sea empleada en la construcción (caso 2), menor será la cantidad de energía incorporada en la construcción del edificio por concepto de materiales empleados.

Por otra parte, se puede observar que una combinación equilibrada de distintas presentaciones de madera y derivados puede tener un perfil de energía incorporada relativamente bueno y que el empleo de solamente tableros de madera contralaminada los cuales exigen muchos procesos de transformación, también exigirá una alta incorporación de energía.

3.4.4.4. Comparación de casos estudiados con caso testigo

Una vez estudiados los posibles impactos que por cantidad de materiales en peso, energía incorporada y emisiones de CO₂ presentan los tres casos estudiados, todos contruidos con madera y derivados de la madera en diferentes combinaciones de distintas presentaciones de materiales, compararemos los valores obtenidos para cada impacto en cada caso estudiado con los valores de los mismos impactos en el caso de una edificación de VPVP construida con materiales convencionales tales como hormigón, acero, etc. Al que denominaremos caso testigo.

El propósito de esta comparación es determinar la diferencia existente en los valores de los impactos entre los casos estudiados y el caso testigo y aproximarnos a establecer una valoración cuantitativa y cualitativa de tales diferencias.

Edificio testigo. Proyecto 4, Sevilla (P4S)

El proyecto 4 es un edificio de VPVP, construido en Sevilla y analizado por la Dra. Pilar Mercader en su tesis doctoral dirigida por el Dr. D. Manuel Olivares Santiago, de la Universidad de Sevilla, España.

Se trata de un edificio de construcción convencional tal como se puede apreciar en la ficha descriptiva (Anexo 3) cuyo estudio de impacto fue realizado tomando en cuenta los mismos indicadores considerados en este trabajo: peso de materiales (kg/m²), emisiones de CO₂ (kgCO₂/m²) y energía incorporada (MJ/m²).

Para hacer coherente la comparación, fueron extraídos del estudio de Mercader únicamente los valores de impacto considerados en los casos de estudio, es decir, los materiales empleados para construir la estructura, los cerramientos exteriores y las particiones sin considerar acabados finales internos (excepto pavimentos), aislantes, instalaciones ni equipamiento (Anexo 4). Tales materiales representan el 78,86% del impacto por peso, el 79,37% del impacto por energía incorporada y el 77,12% del impacto por emisiones de CO₂

Edificio testigo. Proyecto 4, Sevilla (P4S). Imágenes.



Imágenes tomadas de: (Mercader & Olivares, 2010)

Debido a que en los edificios construidos con madera no se tomaron en cuenta los materiales correspondientes a los cimientos, se hizo necesario restar a la estructura del proyecto 4 de Sevilla tales materiales. En este caso, según información suministrada directamente por Mercader, los cimientos representan el 62,33% del peso de la estructura, lo que implica el 31,43% del impacto por peso unitario, el 29,27% del impacto unitario por energía incorporada y el 25,84% del impacto unitario por emisiones de CO₂.

Finalmente, los materiales considerados en el P4S para hacer las comparaciones representan el 47,4% del impacto unitario por peso, el 50,1% del impacto unitario por energía incorporada y el 51,3% del impacto unitario por emisiones de CO₂. Los valores de tales impactos se muestran en la Tabla 68:

Tabla 68: Resumen de impactos de los casos estudiados y testigo.

Casos considerados	Peso materiales	energía incorporada	emisiones
	kg/m ²	MJ/m ²	kgCO ₂ /m ²
Caso 1	68,5	1761,2	57,0
Caso 2	151,5	2835,9	151,6
Caso 3	123,8	2795,9	186,9
Testigo	1032,6	3510,8	368,8

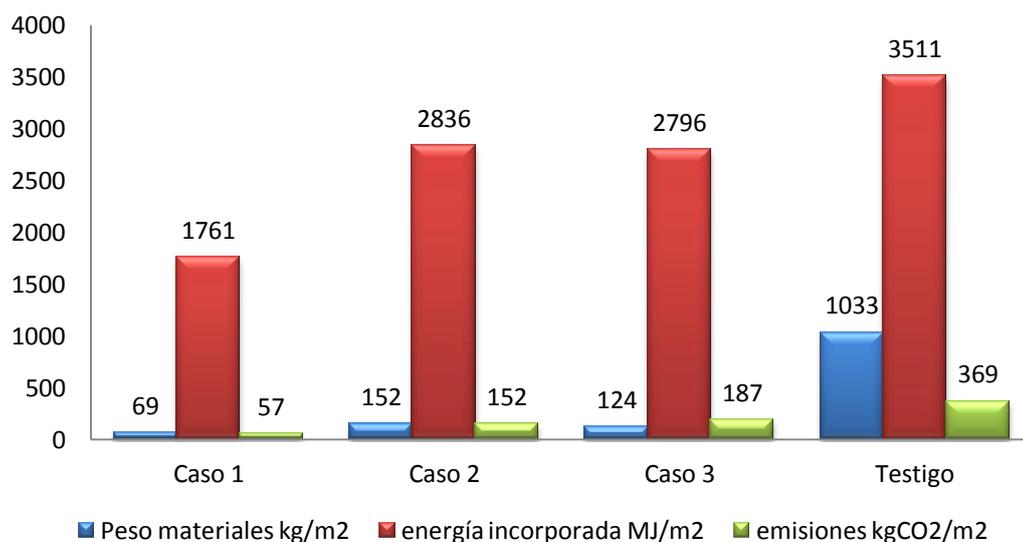


Ilustración 33: Comparación de indicadores. Casos de estudio vs. Caso testigo.

En la

Ilustración 33 se pueden comparar los valores de los tres indicadores de impacto considerados. A primera vista se nota que la diferencia entre los valores de los indicadores de impacto de los casos estudiados y los presentados por el caso testigo no resultan tan notables como habría de esperarse. Para calibrar la percepción de tales diferencias, se presenta la Ilustración 34:

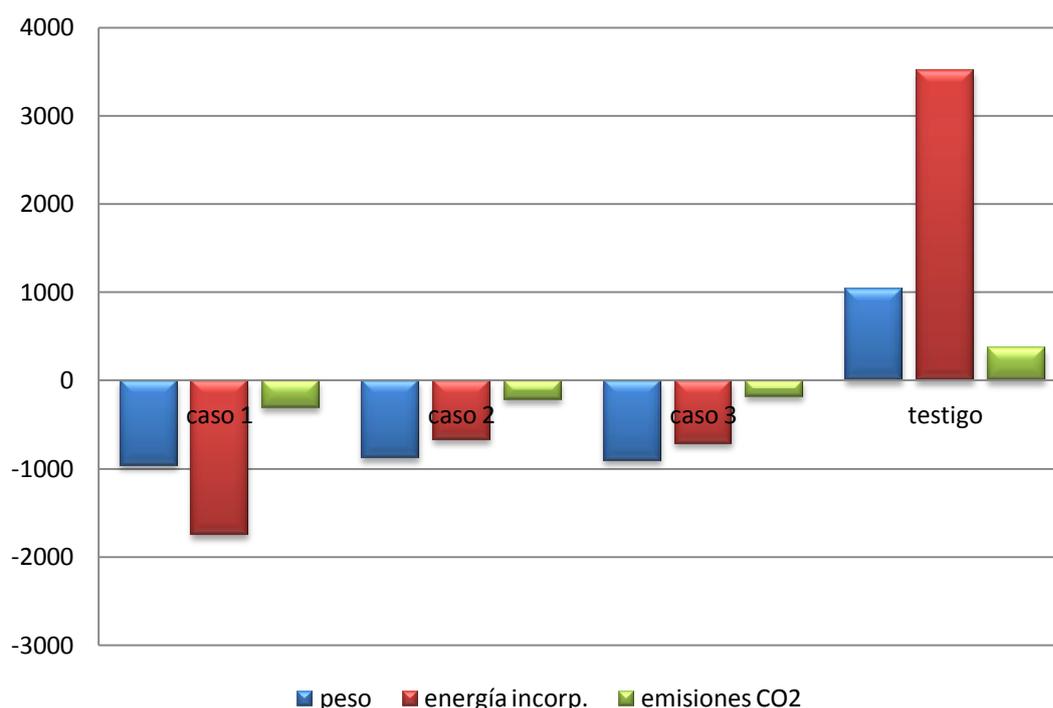


Ilustración 34: Diferencia entre indicadores. Casos de estudio vs. Caso testigo.

En la Ilustración 34, se muestra la diferencia resultante de restar los valores de cada uno de los indicadores de impacto de cada caso de estudio menos cada impacto del edificio testigo, es decir, muestra en qué medida son menores los impactos de los casos de estudio que el testigo. El caso 1 presenta las mayores diferencias, lo que indica que produce los menores impactos comparado con el testigo. La menor diferencia por variable de impacto, la presentan los valores de emisiones de CO2 y las mayores diferencias están en el peso unitario de los materiales a excepción del caso 1, en el cual la variable de impacto que presenta las mayores diferencias es la energía incorporada unitaria.

La Ilustración 35 permite observar la proporción de impacto en porcentaje de cada uno de los casos de estudio con respecto al impacto del edificio testigo. Si consideramos como 100% el impacto por peso, emisiones y energía incorporada del caso testigo, al comparar cada caso de estudio con el testigo podemos observar que en promedio, el impacto por concepto de peso, en kg/m², en los casos estudiados representa menos del 15% de lo que pesaría un edificio construido con los materiales del edificio testigo; el impacto por energía representaría en promedio como máximo el 80% del impacto por tal concepto en el edificio testigo y el impacto por emisiones de CO₂ es inferior a la mitad del dióxido de carbono emitido en la construcción del testigo.

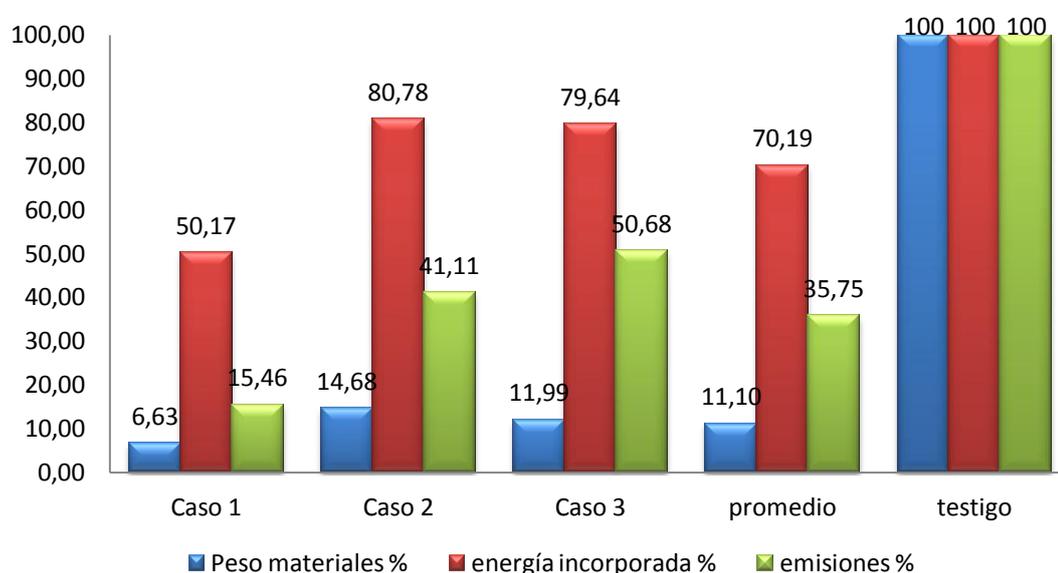


Ilustración 35: Proporción de indicadores de casos estudiados vs. caso testigo.

El impacto por concepto de energía incorporada resulta el de mayor importancia relativa en los casos de construcción con madera y derivados pues es el que menos diferencia tiene con el edificio testigo con un valor mínimo de 20% menos energía incorporada que el testigo en el caso 2 (módulos prefabricados) y un valor máximo de 48,8% menos energía incorporada en el caso 1 (platform frame).

En cuanto al impacto por emisiones de CO₂, en los casos estudiados construidos con madera, el impacto es notablemente menor que en el caso testigo con una diferencia máxima de 84,5% menos emisiones de dióxido de carbono que el

testigo en el caso 1 y una diferencia mínima de 49,3% menos emisiones en el caso 3, en promedio se podría hablar de alrededor de un 35,8% menos emisiones al construir con madera que con la combinación convencional de materiales del edificio testigo.

En cuanto al peso unitario de materiales por área de construcción, se aprecia una gran diferencia en porcentaje con respecto al caso testigo pues en el caso menos favorecedor (caso 2) hay un ahorro en peso de materiales de más de 85% y en el mejor de los casos de más del 95%. Obviamente, tal diferencia se debe a la menor densidad de la madera en comparación con el hormigón armado en las estructuras y los cerramientos de ladrillo del PS4, pero no por esto tiene menos importancia de cara a la sostenibilidad aspirada en la construcción de VPVP, pues un notable ahorro en peso de materiales repercute directamente en una disminución del volumen y peso de los cimientos, del impacto de las labores en el terreno que recibirá unos cimientos menores y una minimización en el transporte de materiales hasta la obra, disminuciones todas que a su vez contribuyen a minimizar emisiones de CO₂ y energía incorporada a la construcción del edificio.

3.4.5. Aspectos resaltantes de esta sección:

- Construir VPVP con madera puede representar en promedio una disminución de hasta un 89% en peso de materiales empleados en la estructura y los cerramientos por metro cuadrado de construcción.
- Los materiales empleados en la elaboración de elementos estructurales y de cerramientos de las VPVP de madera pueden representar un ahorro promedio de hasta un 29% menos de energía incorporada.
- Las emisiones de CO₂ atribuibles a los materiales empleados en la construcción la estructura y los cerramientos de madera pueden llegar a ser menor hasta en un 65% en promedio al compararlas con las emisiones generadas por el mismo concepto empleando materiales convencionales tales como el hormigón armado, bloques y ladrillos.

3.5. Estudio de incorporación específica de materiales.

3.5.1. Consideraciones iniciales

Se pretende realizar un estudio a partir de los datos de impacto obtenidos en los casos de estudio con el fin de plantear distintas combinaciones de materiales y finalmente proponer estrategias de incorporación específica de maderas y sus derivados en los edificios de viviendas que puedan ser guiada por estrategias alternativas, de diseño, construcción y mantenimiento que consideren el impacto ambiental y las prestaciones particulares de cada elemento.

Se busca potenciar la sostenibilidad del uso de la madera como material de construcción que brinde un adecuado nivel de durabilidad a las edificaciones con una minimización de impactos.

Se entiende por incorporación específica, el conjunto de decisiones que definen la ubicación exacta que se le puede asignar a las distintas presentaciones de madera, según su función, nivel de riesgo de deterioro al que puedan estar expuestas las partes considerando el impacto de cada uno de tales elementos.

3.5.2. Impacto de cada tipo de elemento de los edificios estudiados según sus materiales:

Caso 1:

Tabla 69: Caso 1. Resumen de peso de materiales.

Elemento y material	peso kg	Por área de construcción kg/m2	Por área de elemento kg/m2
est paredes med. Mad nat.+cont	1625,23	15,63	
est paredes med mad lam.	436,80	4,2	
Estructura (paredes medianeras)	1205,90	19,83	18,41
est forj ent mad nat	37,80	0,363	
est forj ent osb	608,40	5,850	
est forj ent contrach.	1340,04	12,885	
estructura (forjado entrepiso)	1986,24	19,10	21,28
est forj techomad nat	50,40	0,485	
est forj techo osb	699,66	6,728	
est forj techo contrach.	1406,50	13,524	
estructura (forjado techo)	2156,56	20,74	20,74
estructura fachadas mad lam	227,14	2,18	5,06
cerramientos (fachadas) mad nat	1143,80	11,00	25,49
particiones mad nat+contrach	1229,06	11,82	18,68
TOTAL EDIFICIO	9031,954	63,93	109,66
TOTAL ESTRUCTURA	6431,964	61,846	65,49

Tabla 70: Caso 1. Resumen de impactos por área de construcción.

	kg/m2	kgCO2/m2	MJ/m2
Estructura forjados	42,02	41,93	1358,24
Estructura paredes med	19,83	13,10	502,94
cerramientos	11,00	6,05	148,47
particiones	11,82	6,50	159,54

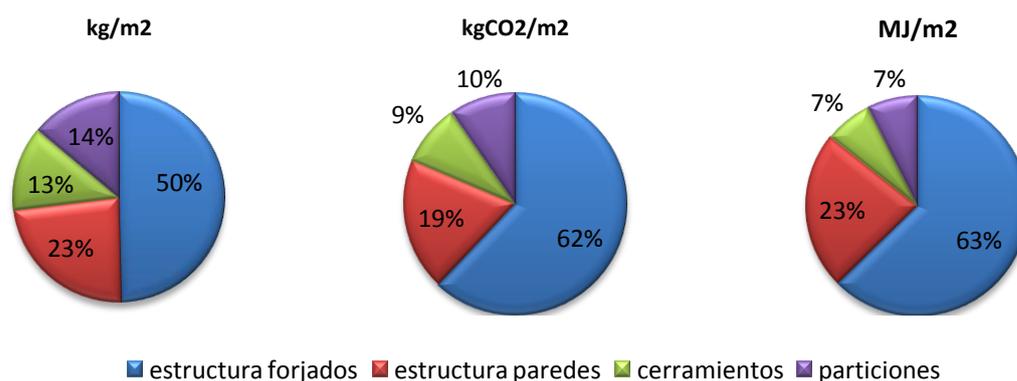
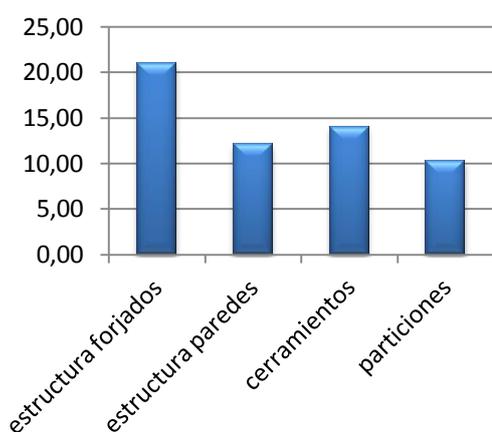


Ilustración 36: Caso 1 Impactos de elementos constructivos por área de construcción.

Tabla 71: Caso 1. Emisiones según tipo de elemento constructivo

Elemento	Emisiones parciales	Emisiones Unitarias. Caso 1			
		Area de elemento		Masa de elemento	
	kgco2	m2	kgco2/m2	kg	kgCO2/kg
estructura forjados	4360,30	208,00	20,96	4369,93	1,00
estructura paredes	1362,16	112,00	12,16	2062,03	0,66
cerramientos	629,09	44,87	14,02	1143,80	0,55
particiones	675,98	65,80	10,27	1229,06	0,55

kgCO2/m2



kgCO2/kg

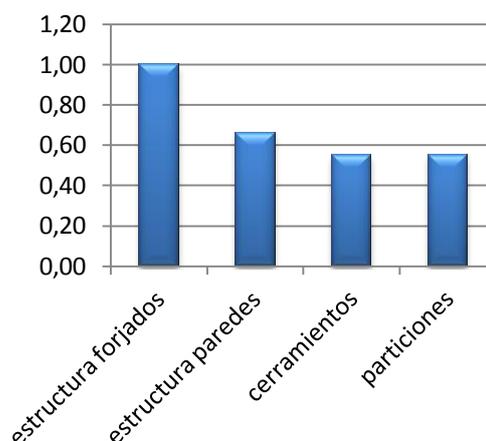
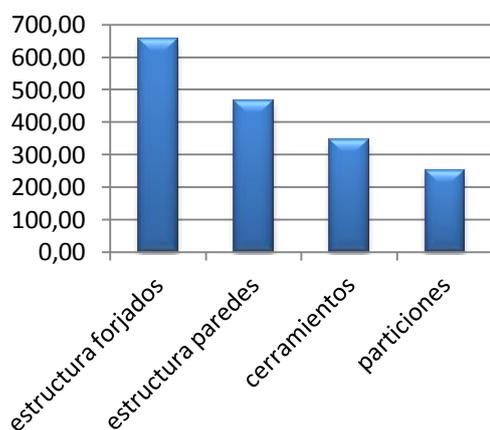


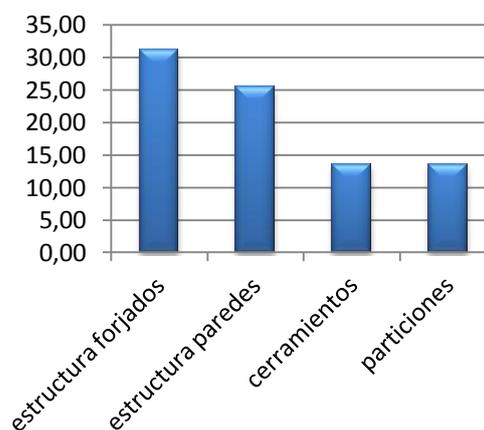
Tabla 72: Caso 1. Energía incorporada por elemento constructivo.

Elemento	Energ. Incorp. parcial	Energía incorporada unitaria. Caso 1			
		Área de elemento		Masa de elemento	
	MJ	m2	MJ/m2	kg	MJ/kg
estructura forjados	136039,28	208,00	654,03	4369,93	31,13
estructura paredes	52305,58	112,00	467,01	2062,03	25,37
cerramientos	15441,26	44,87	344,13	1143,80	13,50
particiones	16592,27	65,80	252,16	1229,06	13,50

MJ/m2



MJ/kg



Caso 2:

Tabla 73: Caso 2. Resumen de peso de materiales.

Elemento y material	peso	Por área de construcción	Por área de elemento
	kg	kg/m2	kg/m2
estruct par med mad natural	2018,25	35,08	
estruct par med OSB	1521,00	26,44	
Estructura pared med.	3539,25	61,53	90,75
est forj ent mad nat	822,66	14,30	
est forj ent OSB	807,30	14,03	
estructura (forjado entrepiso)	1629,956	28,33	111,45
piso+balcón+pasillo mad nat	2057,738	35,77	
piso+balcón +pasillo otros	1373,970	23,88	
Estruct. (piso+balcón +pasillo)	3431,71	59,66	79,99
fach mad natural	119,06	2,07	
fach otros	0	0,00	
cerramientos (fachadas)	119,06	2,07	14,07
TOTAL	13900,70	241,65	296,27
total estructura	13662,58	237,51	282,19

Tabla 74: Caso 2. Resumen de impactos por área de construcción

	kg/m2	kgCO2/m2	MJ/m2
Estructura forjados	87,99	76,28	1907,71
Estructura paredes	61,53	61,60	1060,89
cerramientos	2,07	1,14	27,94
particiones	na	na	na

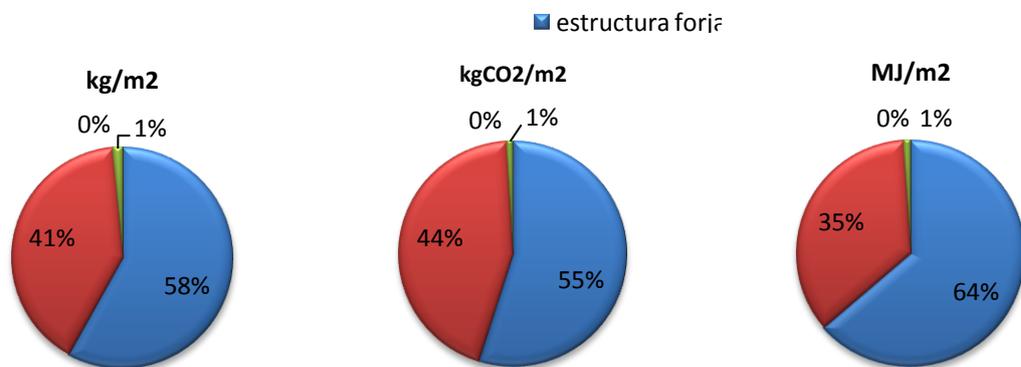


Ilustración 37: Caso 2 Impactos de elementos constructivos por área de construcción.

Tabla 75: Caso 2. Emisiones según tipo de elemento constructivo

Elemento	Emisiones parciales	Emisiones Unitarias. Caso 2			
		Área de elemento		Masa de elemento	
		kgco2	m2	kgco2/m2	kg
Estructura forjado	4388,04	57,53	76,28	5061,66	0,87
Estructura paredes	3543,64	39,00	90,86	3539,25	1,00
cerramientos	65,48	8,46	7,74	119,06	0,55
particiones	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

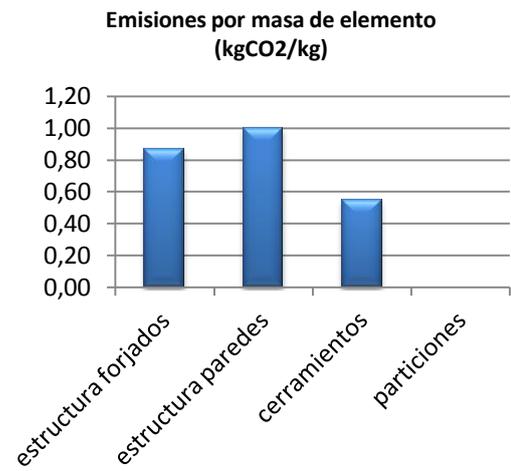
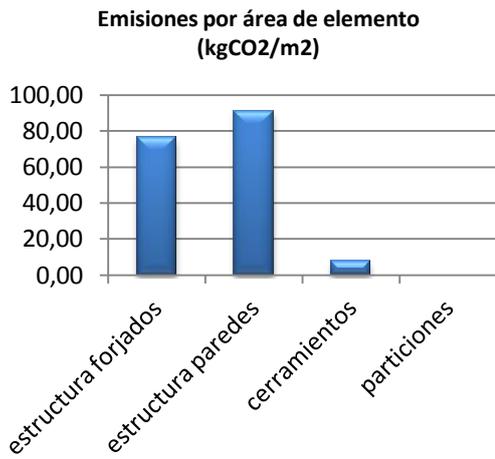


Tabla 76: Caso 2. Energía incorporada por elemento constructivo.

Elemento	Energ. Incorp. parcial MJ	Energía incorporada unitaria			
		Área de elemento		Masa de elemento	
	m ²	MJ/m ²	kg	MJ/kg	
Estructura forjados	109740,77	57,53	1907,71	5061,66	21,68
Estructura paredes	61027,79	39,00	1564,82	3539,25	17,24
cerramientos	1607,32	8,46	189,99	119,06	13,50
particiones	0	0,00	0,00	0,00	0,00

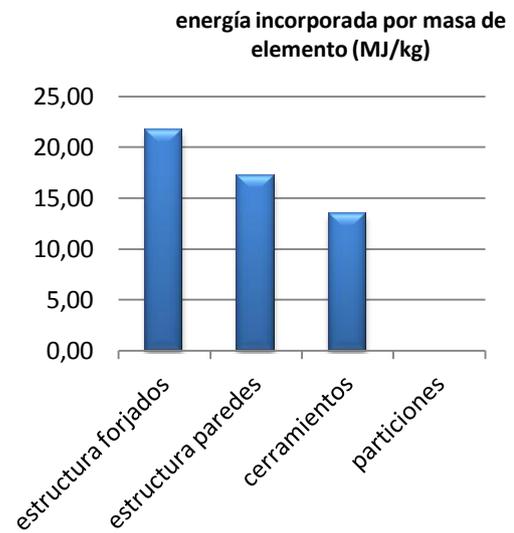
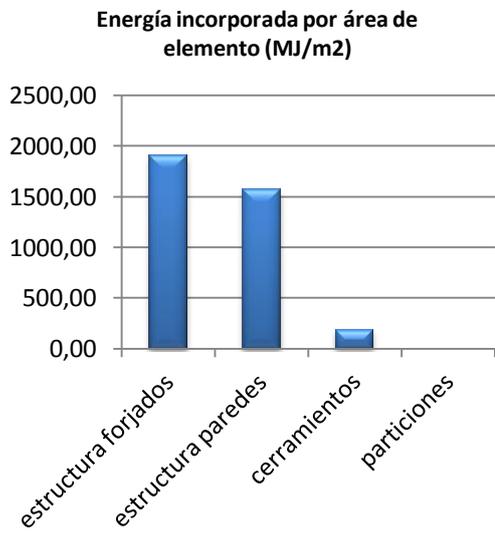


Tabla 77: Caso 3. Resumen de peso de materiales.

Elemento y material	peso kg	Por área de construcción kg/m2	Por área de elemento kg/m2
Estructura pared med.	2351,27	35,30	44,20
Estruc. Forj. mad nat	333,45	5,01	
Estruc. Forj. mad contral.	4736,40	71,12	
estructura (forjado)	5069,85	76,12	76,12
cerram fach. Mad natural	45,45	0,68	
cerram fach contral.	822,94	12,36	
cerramientos (fachadas)	868,391	13,039	41,35
particiones	464,548698	6,98	12,43
TOTAL	8754,058	131,442	174,100
total estructura	7421,119	111,428	120,321

Tabla 78: Caso 3. Resumen de impactos por área de construcción

	kg/m2	kgCO2/m2	MJ/m2
Estructura forjados	76,124	230,91	1701,15
Estructura paredes	37,01	55,74	1064,26
cerramientos	14,58	18,74	995,32
particiones	6,90	10,69	282,34

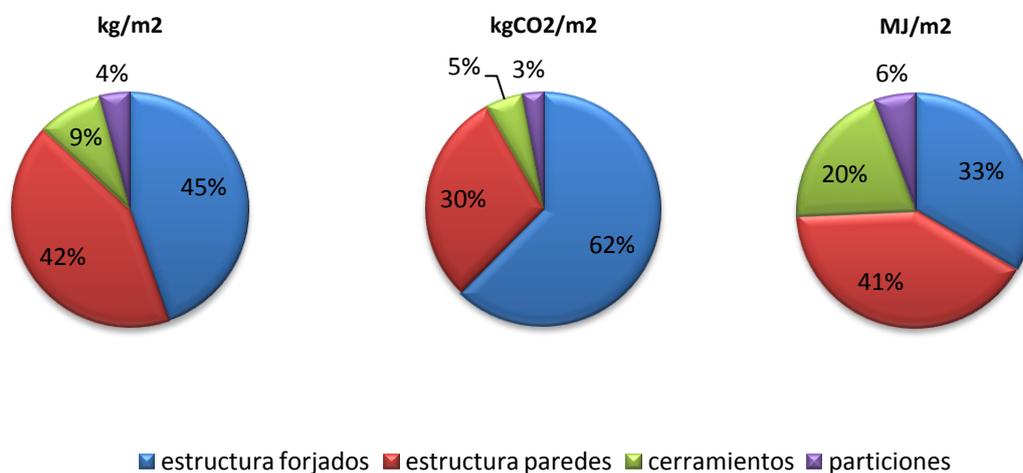
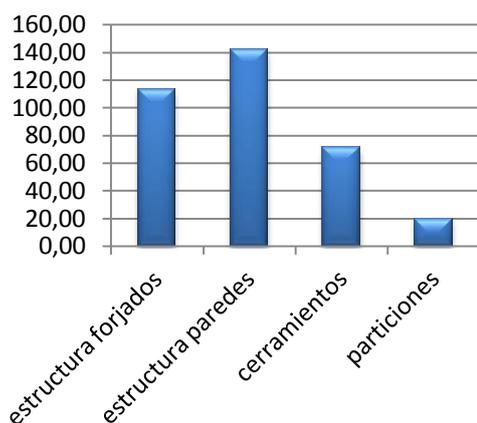


Ilustración 38: Caso 3 Impactos de elementos constructivos por área de construcción.

Tabla 79: Caso 3. Emisiones según tipo de elemento constructivo

Elemento	Emisiones parciales	Emisiones Unitarias. Caso 3			
		Área de elemento		Masa de elemento	
	kgco2	m2	kgco2/m2	kg	kgCO2/kg
Estructura forjados	7524,82	66,60	112,99	5069,85	1,48
Estructura paredes	3883,06	53,20	72,99	2464,89	1,58
cerramientos	1438,41	21,00	68,50	970,99	1,48
particiones	724,24	37,38	19,38	459,47	1,58

Emisiones por área de elemento (kgco2/m2)



Emisiones por masa de elemento (kgCO2/kg)

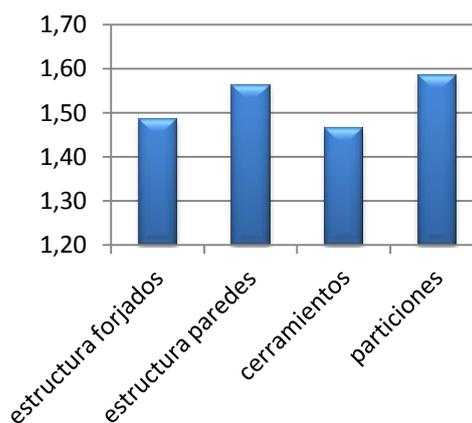
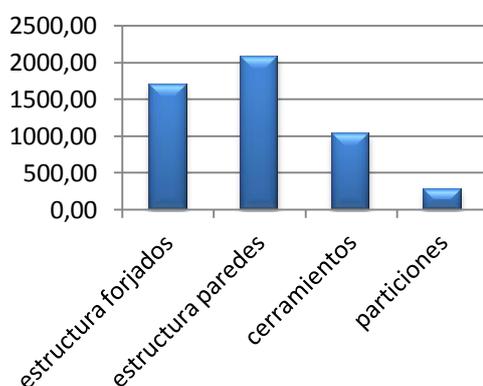


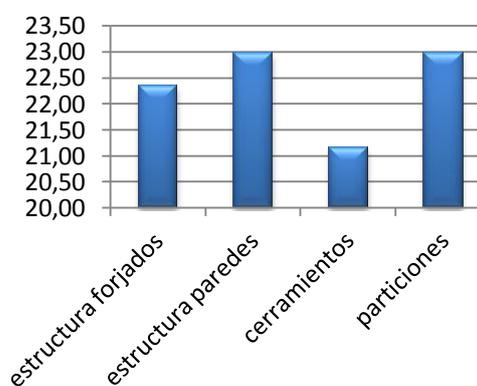
Tabla 80: Caso 3. Energía incorporada por elemento constructivo.

Elemento	Energ. Incorp. parcial	Energía incorporada unitaria			
		Área de elemento		Masa de elemento	
	MJ	m2	MJ/m2	kg	MJ/kg
Estructura forjados	113296,68	66,60	1701,15	5069,85	22,35
Estructura paredes	56618,41	53,20	1064,26	2464,89	22,97
cerramientos	20901,65	21,00	995,32	970,99	21,53
particiones	10553,94	37,38	282,34	459,47	22,97

Energía incorporada por área de elemento (MJ/m2)



Energía incorporada por masa de elemento (MJ/kg)



3.5.3. Escenarios hipotéticos:

3.5.3.1. Presentación de los escenarios

Escenario 1: Edificio construido en su totalidad con madera contralaminada

Estructura vertical (paredes medianeras) en madera contralaminada: EVCLam

Estructura horizontal (forjados) en madera contralaminada: EHCLam

Fachadas en madera contralaminada: FCLam

Particiones en madera contralaminada: PCLam

Por elemento	Área elem	peso unit	peso total	Energ inc. Unit	Energ inc. Total	Emis unit.	Emis. Totales
	m2	kg/m2	kg	MJ/kg	MJ	kgCO2/kg	kgCO2
EHCLam	66,60	76,124	5069,85	22,347	113296,683	1,484	7524,818
EVCLam	53,20	90,529	4816,15	22,970	110627,057	1,550	7465,039
FCLam	21,00	48,481	1018,10	22,474	22881,101	1,498	1524,768
PCLam	37,38	12,239	457,51	22,970	10508,912	1,559	713,260
TOTALES			11361,61		257313,753		17227,885

Elemento	Impactos por área de elemento		
	kg/m2	MJ/m2	kgCO2/m2
EHCLam	76,124	1701,15	112,99
EVCLam	90,529	2079,46	140,32
FCLam	48,481	1089,58	72,61
PCLam	12,239	281,14	19,08

por área de construcción	Total	área const. (m2)	Impacto por área de construcción
Peso	11361,60 (kg)	66,6	170,59 kg/m ²
Emisiones	17227,88 (kgCO ₂)	66,6	258,67 kgCO ₂ /m ²
Energía incorp.	257313,75 (MJ)	66,6	3863,57 MJ/m ²

Escenario 2: Edificio construido con estructura de madera contralaminada, fachadas de entramado y particiones de entramado.

Estructura vertical (paredes medianeras) en madera contralaminada: EVCLam
 Estructura horizontal (forjados) en madera contralaminada: EHCLam
 Fachadas en madera entramada (+ reposición lamas mantenim.): FEnt
 Particiones en madera entramada: PEnt

por elemento	Área elem m2	peso unit kg/m2	peso total kg	Energ inc. Unit MJ/kg	Energ inc. Total MJ	Emis unit. kgCO2/kg	Emis. Totales kgCO2
EHCLam	66,60	76,12	5069,850	22,347	113296,683	1,484	7524,818
EVCLam	53,20	90,53	4816,154	22,970	110627,057	1,550	7465,039
FEnt	21,00	50,98	1070,637	18,826	14453,593	0,550	588,850
PEnt	37,38	18,68	698,209	13,500	9425,823	0,550	384,015
Totales			11654,850		247803,156		15962,721

Elemento	Impactos por área de elemento		
	kg/m2	MJ/m2	kgCO2/m2
EHCLam	76,124	1701,151	112,99
EVCLam	90,529	2079,456	140,32
FEnt	50,983	688,266	28,04
PEnt	18,682	252,162	10,27

por área de construcción	Total		área const. (m2)	Impacto por área de construcción	
Peso	11654,850	(kg)	66,6	174,998	kg/m ²
Emisiones	15962,721	(kgCO ₂)	66,6	239,680	kgCO ₂ /m ²
Energía incorp.	247803,156	(MJ)	66,6	3720,768	MJ/m ²

Escenario 3: Edificio construido con estructura de madera contralaminada, fachadas de entramado con paneles de fibrocemento y particiones de entramado.

Estructura vertical (paredes medianeras) en madera contralaminada: EVCLam

Estructura horizontal (forjados) en madera contralaminada: EHCLam

Fachadas en madera entramada con paneles madera-cemento: FEntMC

Particiones en madera entramada: PEnt

por elemento	Área elem	peso unit	peso total	Energ inc. Unit	Energ inc. Total	Emis unit.	Emis. Totales
	m2	kg/m2	kg	MJ/kg	MJ	kgCO2/kg	kgCO2
EHCLam	66,60	76,12	5069,850	22,347	113296,683	1,484	7524,818
EVCLam	53,20	90,53	4816,154	22,970	110627,057	1,550	7465,039
FEntMC	21,00	33,09	694,875	15,326	10649,880	1,260	875,263
PEnt	37,38	18,68	698,209	13,500	9425,823	0,550	384,015
Totales			11279,088		243999,443		16249,134

Elemento	Impactos por área de elemento		
	kg/m2	MJ/m2	kgCO2/m2
EHCLam	76,12	1701,15	112,99
EVCLam	90,53	2079,46	140,32
FEntMC	33,09	507,14	41,68
PEnt	18,68	252,16	10,27

por área de construcción	Total		área const. (m2)	Impacto por área de construcción	
Peso	11279,09	(kg)	66,6	169,356	kg/m ²
Emisiones	16249,13	(kgCO ₂)	66,6	243,981	kgCO ₂ /m ²
Energía incorp.	243999,44	(MJ)	66,6	3663,655	MJ/m ²

Escenario 4: Edificio construido con estructura vertical de madera contralaminada, estructura horizontal, fachadas y particiones de entramado.

Estructura vertical (paredes medianeras) en madera contralaminada: EVCLam

Estructura horizontal (forjados) en madera entramada: EHEnt

Fachadas en madera entramada: FEnt

Particiones en madera entramada: PEnt

por elemento	Área elem m2	peso unit kg/m2	peso total kg	Energ inc. Unit MJ/kg	Energ inc. Total MJ	Emis unit. kgCO2/kg	Emis. Totales kgCO2
EHEnt	66,60	25,86	1722,12	32,84	56550,05	1,01	1718,32
EVCLam	53,20	90,53	4816,15	22,97	110627,057	1,55	7465,04
FEnt	21,00	50,98	1070,64	13,50	14453,59	0,57	588,85
PEnt	37,38	5,80	216,75	13,50	9425,82	0,55	384,01
Totales			7449,89		174629,03		9923,74

Elemento	Impactos por área de elemento		
	kg/m2	MJ/m2	kgCO2/m2
EHEnt	25,86	849,10	25,80
EVCLam	90,53	2079,45	140,32
FEnt	50,98	688,27	28,08
PEnt	18,68	252,16	10,27

por área de construcción	Total	área const. (m2)	Impacto por área de construcción
Peso	7449,89 (kg)	66,6	111,86 kg/m ²
Emisiones	9923,74 (kgCO ₂)	66,6	149,05 kgCO ₂ /m ²
Energía incorp.	174629,03 (MJ)	66,6	2622,06 MJ/m ²

Escenario 5: Edificio construido con estructura vertical de madera contralaminada, estructura horizontal de entramados y fachadas entramadas con panel de fibras aglomerado con cemento y particiones de entramado.

Estructura vertical (paredes medianeras) en madera contralaminada: EVCLam

Estructura horizontal (forjados) en madera entramada: EHEnt

Fachadas en madera entramada con panel madera-cemento: FEntMC

Particiones en madera entramada: PEnt

por elemento	Área elem	peso unit	peso total	Energ inc. Unit	Energ inc. Total	Emis unit.	Emis. Totales
	m ²	kg/m ²	kg	MJ/kg	MJ	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂
EHEnt	66,60	25,86	1722,12	31,13	53610,75	1,00	1718,321
EVCLam	53,20	90,53	4816,15	22,97	110627,06	1,56	7465,039
FEntMC	21,00	33,09	694,88	15,33	10649,88	1,26	875,263
PEnt	37,38	18,68	698,21	13,50	9425,82	0,55	384,015
Totales			7931,35		164369,78		9675,55

Elemento	Impactos por área de elemento		
	kg/m ²	MJ/m ²	kgCO ₂ /m ²
EHEnt	19,92	804,97	25,80
EVCLam	90,53	2079,46	141,49
FEntMC	33,09	507,14	41,68
PEnt	18,68	252,16	10,27

por área de construcción	Total		área const. (m ²)	Impacto por área de construcción	
Peso	7931,35	(kg)	66,6	119,089	kg/m ²
Emisiones	9675,55	(kgCO ₂)	66,6	157,735	kgCO ₂ /m ²
Energía incorp.	164369,78	(MJ)	66,6	2767,470	MJ/m ²

Escenario 6: Edificio construido con estructura y cerramientos de madera entramada

Estructura vertical (paredes medianeras) en madera entramada: EEnt

Estructura horizontal (forjados) en madera entramada: EEnt

Fachadas en madera entramada: FEnt

Particiones en madera entramada: PEnt

por elemento	Área elem m2	peso unit kg/m2	peso total kg	Energ inc. Unit MJ/kg	Energ inc. Total MJ	Emis unit. kgCO2/kg	Emis. Totales kgCO2
EEnt	66,60	25,86	1722,12	31,13	53610,75	1,00	1718,321
EEnt	53,20	25,37	1349,47	25,37	34230,79	0,66	891,45
FEnt	21,00	50,98	1070,64	13,50	14453,59	0,55	588,85
PEnt	37,38	18,68	698,21	13,50	9425,82	0,55	384,01
Totales			4840,43		111720,95		3582,64

Elemento	Impactos por área de elemento		
	kg/m2	MJ/m2	kgCO2/m2
EEnt	25,86	804,97	25,80
EEnt	25,37	643,44	16,76
FEnt	50,98	688,27	28,04
PEnt	18,68	252,16	10,27

por área de construcción	Total		área const. (m2)	Impacto por área de construcción	
Peso	4840,43	(kg)	66,6	72,679	kg/m ²
Emisiones	3582,64	(kgCO ₂)	66,6	53,793	kgCO ₂ /m ²
Energía incorp.	111720,95	(MJ)	66,6	1677,492	MJ/m ²

Escenario 7: Edificio construido con estructura vertical entramada, forjados contralaminados y fachadas de madera entramada con panel de madera-cemento

Estructura vertical (paredes medianeras) en madera entramada: EEnt
 Estructura horizontal (forjados) en madera contralaminada: EHCLam
 Fachadas en madera entramada con paneles de madera-cemento: FEntMC
 Particiones en madera entramada: PEnt

por elemento	Área elem	peso unit	peso total	Energ inc. Unit	Energ inc. Total	Emis unit.	Emis. Totales
	m2	kg/m2	kg	MJ/kg	MJ	kgCO2/kg	kgCO2
EHCLam	66,60	76,12	5069,85	22,35	113296,68	1,48	7524,82
EEnt	53,20	25,37	1349,47	25,37	34230,79	0,66	891,45
FEntMC	21,00	33,09	694,88	15,33	10649,88	1,26	875,26
PEnt	37,38	18,68	698,21	13,50	9425,82	0,55	384,01
Totales			7812,41		167603,17		9675,55

Elemento	Impactos por área de elemento		
	kg/m2	MJ/m2	kgCO2/m2
EHCLam	76,12	1701,15	112,99
EEnt	25,37	643,44	16,76
FEntMC	33,09	507,14	41,68
PEnt	18,68	252,16	10,27

por área de construcción	Total		área const. (m2)	Impacto por área de construcción	
Peso	7812,407	(kg)	66,6	117,303	kg/m ²
Emisiones	9675,546	(kgCO ₂)	66,6	145,278	kgCO ₂ /m ²
Energía incorp.	167603,173	(MJ)	66,6	2516,564	MJ/m ²

3.5.3.2. Impacto de los escenarios considerados por área de construcción:

Escenario / conjunto		peso unit (kg/m ²)	Emis unit (kgCO ₂ /m ²)	Energía Incorp. (MJ/m ²)
Esc 1	(I)	170,59	258,68	3863,57
Esc 2		175,00	239,68	3720,77
Esc 3		169,36	243,98	3663,66
Esc 4	(II)	124,73	152,50	2954,34
Esc 5		119,09	157,73	2767,47
Esc 6	(III)	72,68	53,79	1677,49
Esc 7	(II)	117,30	145,28	2516,56

De los siete escenarios planteados, se observa con facilidad en la Ilustración 39, la ilustración 40 y la Ilustración 41 que el 6° escenario (construido en su totalidad con entramados) es el que presenta el menor impacto para las tres variables consideradas pues muestra una diferencia importante con respecto al resto de los escenarios en los cuales se emplea madera contralaminada.

Entre los tres primeros escenarios, las variaciones de impacto resultan poco importantes a pesar que en el segundo se sustituye las particiones de tableros contralaminados por particiones entramadas y en el tercero a dicha sustitución se adiciona la construcción de fachadas con entramados en lugar de tableros contralaminados.

Se puede clasificar los escenarios estudiados en tres conjuntos según su grado de impacto mayor, mediano y menor.

En el primer conjunto (I) conseguimos los tres primeros escenarios los cuales poseen estructura vertical y horizontal de madera contralaminada.

El segundo grupo (II) formado por tres escenarios, dos de ellos con estructura vertical de contralaminados (4 y 5) y el otro con contralaminados en la estructura horizontal (7) y el tercer grupo incluiría al escenario 6 el cual no posee madera contralaminada

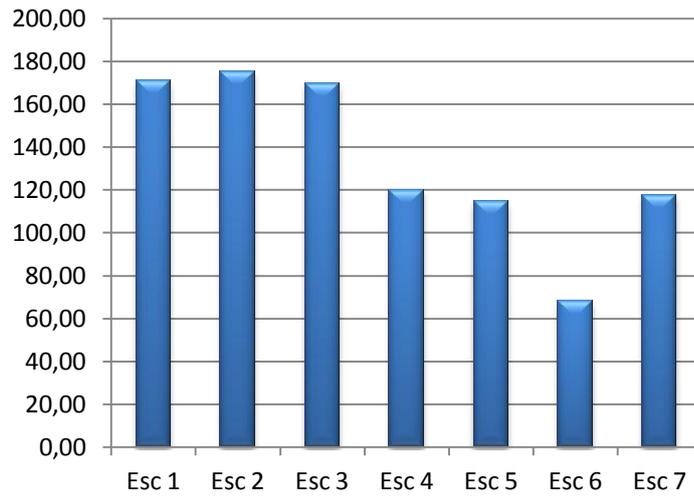


Ilustración 39: Escenarios. Peso unitario (kg/m²)

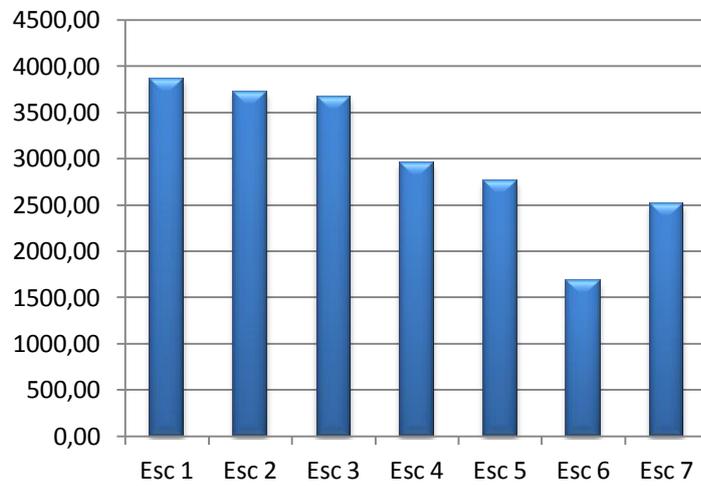


Ilustración 40: Escenarios. Energía incorp. (MJ/m²)

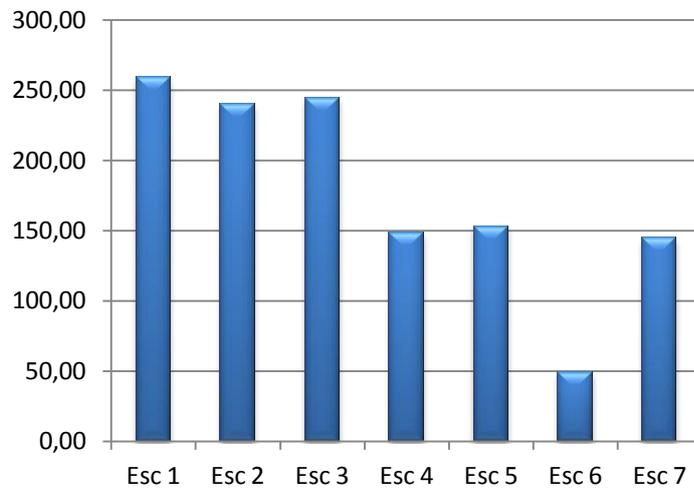


Ilustración 41: Escenarios. Emisiones unitarias (kgCO₂/m²)

3.5.3.3. Comparaciones entre los escenarios considerados.

Al hacer la comparación de los valores promedios de las variables de impacto consideradas entre el conjunto I y el escenario 6, el impacto por concepto de peso unitario es 2,5 veces superior; el impacto por emisiones de CO₂ es 5 veces mayor y la cantidad de energía incorporada supera 2,5 veces el valor del sexto escenario.

En cuanto a las diferencias entre el conjunto II y el escenario 6, vemos que el peso unitario promedio de dicho conjunto aventaja al del escenario 6 en 1,7 veces; las emisiones promedio de CO₂ son 3 veces mayores y la cantidad de energía incorporada equivale a 1,7 veces el valor del sexto escenario.

Las diferencias más importantes se observan entre el conjunto I y el escenario 6, hecho que obedece a la mayor cantidad de madera contralaminada la cual está presente en los dos componentes de la estructura (vertical y horizontal). En el caso del conjunto II cuyos escenarios presentan madera contralaminada solo en uno de los componentes de la estructura (vertical u horizontal), las diferencias entre las variables de impacto de tal conjunto con el escenario 6 son considerablemente menores.

La variable de impacto que presenta diferencias más pronunciadas es la de emisiones de CO₂ y en la que existen las menores diferencias es en la energía incorporada, por lo que se puede afirmar que el impacto debido a esta última variable puede ser importante en cualquiera de los casos.

Si se comparan los valores de las variables de impacto entre los tres escenarios del conjunto I, se observan pequeñas diferencias. El escenario que presenta los mayores valores excepto en el peso unitario y por poca diferencia es el escenario 1, el cual está construido con madera contralaminada en su totalidad. En los otros dos casos se sustituye madera contralaminada por entramados, en la fachada en el caso 2 y en fachada y particiones en el caso 3.

Se puede afirmar que aunque un edificio construido con madera contralaminada produzca impactos superiores a otro construido con entramados de madera natural, en las situaciones en que se opte por los contralaminados en toda la

estructura, es preferible construir con contralaminados el resto de los elementos del edificio pues la incorporación de otros materiales en las particiones o fachadas no aporta una diferencia considerable en impacto pero si menos homogeneidad material, situación que podría representar dificultades constructivas innecesarias.

Al realizar una comparación entre los conjuntos I y II se observa que el valor promedio del peso unitario del conjunto I supera en un 32% al del conjunto II, que las emisiones promedio del conjunto I son 40% mayores que las del conjunto II y que la cantidad promedio de energía incorporada en los escenarios del conjunto I es 30,5% mayor que la mostrada en promedio por los escenarios del conjunto II.

Las diferencias promedio de las variables de impacto entre los conjuntos I y II expresan que puede resultar bastante conveniente plantear edificios con estructuras mixtas de maderas naturales entramadas con madera contralaminada conjugando la resistencia y rapidez de construcción aportados por los paneles contralaminados con la ligereza y bajo impacto de las maderas naturales entramadas, logrando en conjunto reducciones significativas en los valores de las variables de peso, emisiones de CO₂ y energía incorporada en comparación con los valores que tendrían de tratarse de edificios contruidos integralmente en madera contralaminada.

Si se comparan los valores de las variables de impacto entre los tres escenarios del conjunto II, se observa que el escenario que presenta los mayores valores en las variables de impacto es el número 4, el cual posee paredes medianeras portantes de madera contralaminada y forjados en entramado. El escenario de menor impacto, excepto en la variable de peso unitario, es el 7 que posee una combinación inversa a la anterior y cuyas diferencias de valores de las variables respecto al escenario 4 son de 2,5% menos en peso unitario; 3,5% menos en emisiones unitarias de CO₂ y 12% menos en energía incorporada por unidad de superficie de construcción. En este caso la mayor diferencia corresponde a la energía incorporada, lo cual constituye la mayor debilidad de la madera contralaminada. Se puede observar que en este conjunto II las diferencias de valores de las variables de impacto son bastante pequeñas.

Debido a los resultados conseguidos en la comparación de los escenarios del conjunto II, se podría afirmar que la utilización de paneles de madera contralaminada

en la construcción de forjados será ligeramente más eficiente desde el punto de vista ambiental que la construcción de paredes portantes. También podríamos decir que la combinación de paneles contralaminados con madera natural entramada puede resultar bastante conveniente desde el mismo punto de vista pues aunque el impacto será mayor que en el caso de la construcción únicamente con maderas naturales entramadas, será considerablemente menor que el caso de la construcción únicamente con contralaminados y podrá contar con la robustez, la velocidad de construcción y la durabilidad de tales paneles prefabricados de madera.

3.5.4. Impacto de los escenarios considerados por elementos constructivos:

En la sección anterior se presentaron y discutieron los valores de las variables de impacto tomando en cuenta la relación de estas con la superficie de construcción. Con el fin de ahondar un poco más en la forma en que influyen los materiales que constituyen los elementos constructivos, a continuación se presentan los valores de las variables de impacto por unidad de superficie de cada elemento constructivo considerado en el estudio, según los escenarios propuestos.

En las páginas siguientes se presentan las tablas y los gráficos correspondientes a las siguientes variables de impacto: peso unitario (kg/m^2), energía incorporada unitaria (MJ/m^2) y emisiones unitarias de CO_2 (kgCO_2/m^2) para cada escenario propuesto haciendo mención en este caso a la contribución que en el valor de la variable de impacto tiene cada uno de los elementos constructivos, según los materiales componentes definidos anteriormente. Los elementos constructivos considerados son: forjados o estructura horizontal, paredes medianeras portantes o estructura vertical, particiones o paredes internas que componen los espacios de la vivienda y fachadas.

3.5.4.1. Peso Unitario por elementos constructivos.

Esta variable de impacto se refiere a la cantidad de materiales en peso que requiere la construcción de cada elemento constructivo del edificio según la combinación de presentaciones de madera y sus derivados que componen cada uno de dichos elementos por unidad de superficie, se expresa en kg/m².

Tabla 81: Escenarios. Peso unitario por elemento constructivo.

	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7
	kg/m ²						
forjados	76,12	76,12	76,12	25,86	25,86	25,86	76,12
medianeras	90,53	90,53	90,53	90,53	90,53	25,37	25,37
fachadas	48,48	50,98	33,09	50,98	33,09	50,98	33,09
particiones	12,24	18,68	18,68	18,68	18,68	18,68	18,68

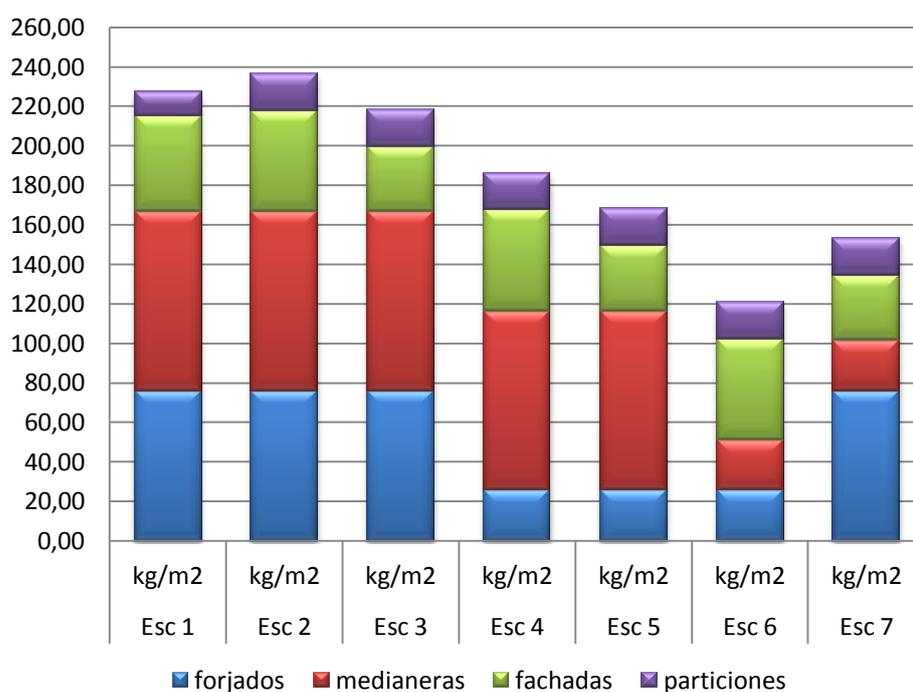


Ilustración 42: Escenarios. Peso unitario por elemento constructivo.

En la Ilustración 42 se aprecia que la ligera variación del peso unitario total entre los escenarios 1, 2 y 3 se debe principalmente a la sustitución de particiones (franja violeta) y fachadas (franja verde) de madera contralaminada por particiones y fachada de madera natural entramada (esc. 2) y fachadas de madera entramada con paneles de madera-cemento en el exterior y particiones de entramado (esc. 3).

Se puede observar que el peso unitario total del escenario 2 es ligeramente superior al del escenario 1 porque las particiones de entramado son más pesadas que las particiones de paneles contralaminados, y las fachadas de madera natural entramada también son ligeramente más pesadas que las de paneles de madera contralaminada.

En el caso del escenario 3 existe una diferencia más perceptible con respecto al escenario 2 pues se incorpora la fachada en madera natural entramada con paneles exteriores de madera-cemento, que resulta menos pesada por unidad de superficie de elemento que las fachadas construidas con paneles de madera contralaminada y que las fachadas construidas con madera natural entramada con cubrimiento externo en lamas de madera natural.

Para el cálculo anterior se ha considerado que las lamas de madera natural deberán ser sustituidas al menos una vez a lo largo de la vida útil del edificio por su vulnerabilidad a las condiciones climáticas, situación que no se considera necesaria en el caso de los paneles de madera-cemento que son resistentes a dichas condiciones.

En cuanto a la diferencia entre los escenarios 4 y 5 con respecto a los anteriores, se debe a la sustitución del forjado (franja azul) de madera contralaminada por forjado de madera natural entramada el cual presenta un peso unitario que representa poco más de la cuarta parte del valor del forjado de madera contralaminada. La diferencia entre los escenarios 4 y 5 se debe al menor peso unitario de la fachada de madera natural entramada con paneles exteriores de fibrocemento en el escenario 5 en contraste con el mayor peso unitario de la fachada de pura madera natural entramada en el esc. 4. Las particiones en ambos casos están construidas con madera natural entramada.

El escenario 7 presenta el mismo tipo de fachadas y particiones que el escenario 5, pero presenta un impacto acumulado por peso de material menor que el escenario 4 en un 15,4% y que el escenario 5 en un 6,2%. Estas diferencias que se podrían considerar significativas se deben a que el escenario 7 a pesar de tener forjados de madera contralaminada, incorpora paredes medianeras entramadas en lugar de paredes medianeras portantes de madera contralaminada.

Como se había mencionado antes, la particularidad de los escenarios 4, 5 y 7 consiste en incluir madera contralaminada en uno solo de los componentes de la estructura; el 4 y el 5 en la estructura vertical y el 7 en la estructura horizontal. El hecho de que en el caso 7 el impacto sea menor que en los otros dos del mismo conjunto podría indicar que la madera contralaminada en su uso estructural resulta más eficiente desde el punto de vista ambiental al ser usada como forjado que como paredes portantes. En cuanto al escenario 6, es notable la diferencia del impacto por peso de los elementos pues presenta forjado y paredes portantes en madera natural entramada cuyo peso es menor que la opción de contralaminados.

Las diferencias de impacto por peso unitario por elemento en el escenario 6 presenta las siguientes diferencias con respecto a otros escenarios: El caso 1, de mayor impacto presenta un peso unitario que equivale casi a 2 veces el valor del esc. 6; el escenario 4, que presenta los mayores valores del conjunto II, equivale a 1,5 veces el valor del esc. 6 y en el caso del escenario 7, el de menor valor del mismo conjunto, la proporción de 1,3 veces el valor acumulado del peso unitario por elementos del escenario 6, el cual presenta los valores mínimos.

3.5.4.2. Energía incorporada unitaria por elementos constructivos:

Se entiende por energía incorporada unitaria, la energía necesaria para transformar la madera y producir los derivados de la misma que componen los elementos constructivos considerados. El valor de la energía incorporada unitaria se expresa por unidad de superficie de cada uno de dichos elementos y se enuncia en MJ/m².

Tabla 82: Escenarios. Energía incorporada por elementos constructivos.

	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7
	MJ/m ²						
forjados	1701,15	1701,15	1701,15	849,10	804,97	804,97	1701,15
medianeras	2079,46	2079,46	2079,46	2079,46	2079,46	643,44	643,44
fachadas	1089,58	688,27	507,14	959,81	507,14	688,27	507,14
particiones	281,14	252,16	252,16	252,16	252,16	252,16	252,16

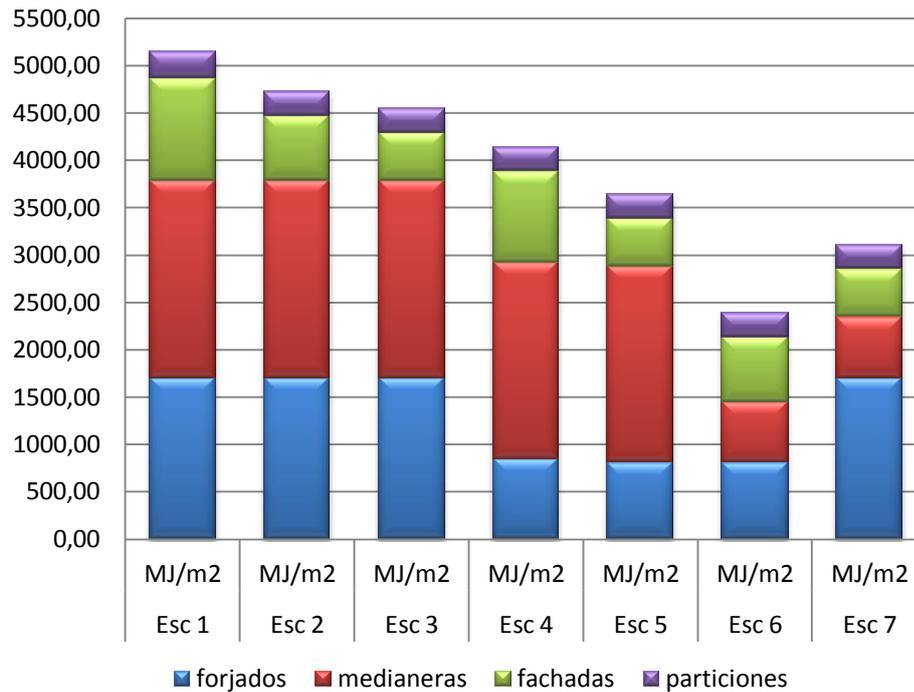


Ilustración 43: Escenarios. Energía incorporada por elementos constructivos.

En el caso de la energía incorporada por unidad de superficie de cada elemento, las tendencias resultan muy similares a las del impacto por peso unitario.

En la Ilustración 43 se puede observar que los forjados de madera contralaminada, igual que en el caso de la variable anterior, tienen una contribución relativamente menor que las paredes portantes, lo que ocasiona que el escenario 7 nuevamente presente un impacto acumulado menor que los escenarios 4 y 5.

De igual manera las fachadas de madera natural entramada con cubrimiento externo en paneles de madera-cemento requieren de menor energía incorporada por unidad de superficie que las fachadas del mismo material pero con cubrimiento externo de lamas de madera natural por la misma causa mencionada en la discusión de los resultados de la variable de peso unitario por elemento.

Al comparar la energía incorporada unitaria en los escenarios 4,5 y 7, observamos unas tendencias similares a las vistas en el peso unitario, pero con diferencias más graduales, tanto que resulta difícil observar el límite entre los conjuntos I y II a diferencia de los valores de la variable correspondiente al peso unitario.

Con respecto a la presente variable, el escenario 7 presenta un impacto acumulado menor en un 12,9% y en un 23,6% con respecto a los escenarios 5 y 4 respectivamente. Vemos que la opción de utilizar contralaminados en la estructura horizontal solamente en lugar de hacerlo en la estructura vertical puede resultar más significativa desde el punto de vista de la eficiencia ambiental por energía incorporada que en el caso del impacto por peso unitario.

Las diferencias de impacto por energía incorporada unitaria por elemento en el escenario 6 presenta las siguientes diferencias con respecto a otros escenarios: El caso 1, de mayor impacto presenta un valor que equivale a 2,15 veces el del esc. 6; el escenario 4, que presenta los mayores valores del conjunto II, equivale a 1,73 veces el valor del esc. 6 y en el caso del escenario 7, el de menor valor del mismo conjunto, la proporción es de 1,29 veces el valor acumulado del peso unitario por elementos del escenario 6, el cual presenta los valores mínimos.

3.5.4.3. Emisiones de CO₂ unitarias por elementos constructivos.

Al hablar de emisiones de CO₂ unitarias, nos referimos al peso de dióxido de carbono que es emitido a la atmósfera debido a los residuos, a la transformación, y al transporte de la madera correspondiente a los derivados de la misma que componen los elementos constructivos considerados. El de las emisiones de CO₂ se refiere a la unidad de superficie de cada uno de los elementos constructivos (forjados, paredes portantes, fachadas y particiones) expresado en kgCO₂/m².

Tabla 83: Emisiones de CO₂ unitarias por elementos constructivos

	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7
	kgCO ₂ /m ²						
forjados	112,99	112,99	112,99	25,80	25,80	25,80	112,99
medianeras	140,32	140,32	140,32	140,32	141,49	16,76	16,76
fachadas	72,61	28,04	41,68	28,04	41,68	28,04	41,68
particiones	19,08	10,27	10,27	10,27	10,27	10,27	10,27

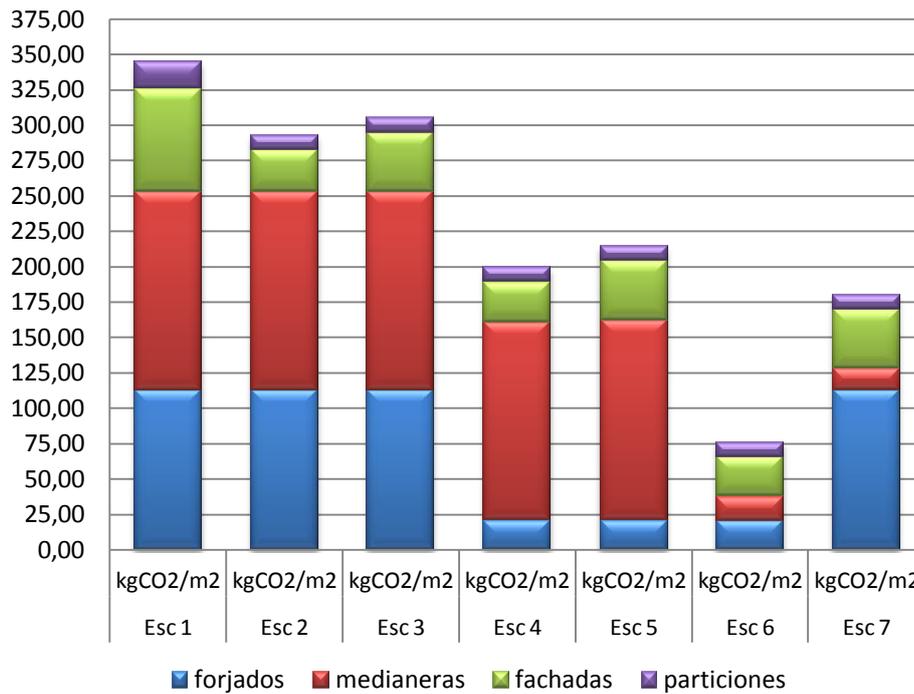


Ilustración 44: Emisiones de CO₂ unitarias por elementos constructivos

La Ilustración 44 muestra tendencias ligeramente diferentes a las del comportamiento de las variables de peso y energía incorporada.

Es notable que en lo que respecta a emisiones la diferencia de valores es bastante más marcada entre los escenarios que presentan valores mayores y los que presentan valores menores de esta variable de impacto.

También se observa que las fachadas construidas con entramado de madera natural y cerramiento de paneles de madera-cemento (franja verde de los esc. 3, 5 y 7) producen un impacto por concepto de emisiones unitarias mayor que las fachadas construidas con cerramiento de lamas de madera natural (franja verde de los esc. 2, 4 y 6). Recordemos que en cuanto a peso y energía incorporada tal relación era inversa.

La diferencia del valor de esta variable entre las paredes portantes construidas con madera contralaminada y las construidas con entramado de madera natural es mucho mayor que en el caso de las otras variables de impacto estudiadas llegando el valor de las emisiones unitarias de CO₂ de las medianeras de madera contralaminada a equivaler a 8,4 veces el valor de las emisiones de la pared portante de madera natural entramada.

Por su parte, el valor del impacto por emisiones unitarias de los forjados de madera contralaminada equivale a 4,4 veces el valor de las emisiones unitarias del forjado de madera natural entramada con vigas “I” con alma de OSB.

Resalta el hecho que en este caso, al contrario que en la opción de estructura de contralaminados, las emisiones unitarias del forjado son relativamente mayores que las de las paredes portantes, tal forjado está soportado por vigas “I” con alma de OSB que se han planteado para poder cubrir la luz de muro a muro sin apoyos intermedios. El OSB contiene resinas, es sometido a procesos de prensado en caliente, proceso que generan emisiones importantes y por tal razón, la presencia de este tipo de viga en la estructura horizontal del edificio hace que la opción de forjado con madera natural entramada tenga un mayor impacto que la estructura vertical.

Las diferencias de impacto por emisiones unitarias de CO₂ por elemento en el escenario 6 presenta las siguientes diferencias con respecto a otros escenarios: El caso 1, de mayor impacto presenta un valor que equivale a 4,3 veces el del esc. 6; el escenario 4, que presenta los mayores valores del conjunto II, equivale a 2,5 veces el valor del esc. 6 y en el caso del escenario 7, el de menor valor del mismo conjunto, la proporción es de 2,25 veces el valor acumulado del peso unitario por elementos del escenario 6, el cual presenta los valores mínimos.

Resulta notable que la diferencia de los valores de esta variable entre los escenarios de mayor y los de menor impacto resultan mucho más grandes que en los casos de las otras dos variables de impacto estudiadas. Debido a esta condición, se podría decir que las emisiones de CO₂ pueden constituir el criterio de mayor peso a la hora de tomar decisiones para la selección de una u otra combinación de maderas en la búsqueda de la minimización del impacto ambiental del su uso como material de construcción de VPVP.

Los resultados de este estudio muestran de manera cuantitativa el comportamiento de tres variables de impacto en siete escenarios con distintas combinaciones de madera y derivados de madera en los principales elementos constructivos que pueden componer un edificio de VPVP construido con madera.

Fruto de las comparaciones efectuadas de manera global y por elemento constructivo se puede llegar a las siguientes afirmaciones:

La variable de impacto más sensible a variaciones según la combinación de materiales empleadas es la de emisiones unitarias de CO₂ por área de elemento constructivo, esto significa que sus fluctuaciones de valores de esta variable serán mayores que en las otras dos, por lo tanto, puede constituir el criterio principal para tomar una decisión que busque minimizar el impacto de la construcción con madera.

En cuanto al tipo de elemento constructivo y sus impactos potenciales según la combinación de materiales se puede afirmar que las paredes portantes de madera natural entramada son los de menor impacto relativo pues presentan mayores diferencias de valores con el otro tipo de pared portante considerada.

Si bien los sistemas contruidos con maderas naturales entramadas tales como el balloon frame o el platform frame serían los de menor impacto tienen la debilidad que a la hora de construir VPVP el entramado de madera no permitirá construir edificios altos en los casos que la altura sea un requerimiento del proyecto. En este sentido es indiscutible que los paneles de madera contralaminada pueden permitir construir edificios más altos, pero tienen la debilidad de un impacto considerablemente mayor, sobre todo en lo que respecta a emisiones de CO₂.

Una alternativa que puede ser interesante para la construcción de edificios más altos y que produzcan impactos relativamente bajos podría ser el diseño de sistemas constructivos que presenten elementos portantes mixtos con combinaciones de paneles contralaminados y maderas naturales entramadas tales como los planteados en los escenarios 4, 5 y 7.

La combinación de forjados entramados con paredes portantes de contralaminados, particiones y fachadas de madera natural entramada con cerramiento de lamas de madera natural (escenario 4), puede resultar una opción a considerar a la hora de plantear VPVP que requieran alturas superiores a las 5 plantas y que busquen minimizar el impacto del uso de la madera en la construcción de tal tipo de edificaciones.

Un edificio construido con el perfil del planteado en el escenario 4, tendrá, según los resultados de este estudio, unas emisiones unitarias de CO₂ equivalentes al 56% de las que presentaría un edificio construido con el perfil del escenario 1 (el de mayor impacto). Por su parte, el un edificio construido con el perfil del escenario 6 (el de menor impacto) representaría el 30,5% de las emisiones unitarias globales del escenario 4 y el 17,2% de las del escenario 1. Se observa que el escenario 4 a pesar de presentar un impacto por emisiones unitarias de CO₂ notablemente mayores que las del escenario 6, también presenta un impacto considerablemente menor que el del escenario 1, razón por la cual constituye una opción intermedia.

3.5.4.4. Aspectos resaltantes de esta sección:

- Debido a que el impacto por energía incorporada presenta las menores diferencias entre los casos y escenarios estudiados, se puede afirmar que dicho impacto es potencialmente el más negativo pues en cualquiera de los casos puede llegar a ser importante.
- El impacto por emisiones de CO₂ está expresado por la variable que presenta las mayores diferencias de valores entre los casos estudiados y los escenarios planteados, por esta razón, se le debería prestar especial atención a la hora de tomar decisiones que conduzcan a la minimización del impacto ambiental de la construcción con madera de VPVP.
- La construcción utilizando elementos entramados de madera natural presenta los menores valores en las tres variables de impacto consideradas.
- La construcción integral con paneles de madera contralaminada presenta los mayores valores en las tres variables de impacto consideradas por una muy importante diferencia respecto a la construcción con entramados de madera natural y por una importante diferencia con la construcción de estructuras mixtas de entramados y paneles de madera contralaminada.
- La construcción empleando estructuras mixtas de paneles de madera contralaminada con entramados de madera natural resulta una opción intermedia en valores de impacto que se aproxima más a los valores de mayor impacto que a los de menor impacto.

- Al comparar los valores de las variables de impacto entre los distintos elementos constructivos, las mayores diferencias ocurren entre las paredes portantes de entramado de madera natural y las paredes portantes construidas con paneles de madera contralaminada. Las diferencias menos contrastantes ocurren entre las particiones o divisiones internas.
- Resulta interesante considerar la incorporación de materiales de fachada que posean residuos de madera aglomerados sin resinas ni proceso exigentes en energía, tales como paneles de madera-cemento, que pueden presentar valores de peso y energía incorporada menores que otros de madera con resinas sintéticas y que además son menos exigentes en mantenimiento.
- Los elementos constructivos de menor impacto absoluto por concepto de emisiones de CO₂ son las particiones construidas con madera entramada natural.
- Según el estudio de los escenarios planteados se puede afirmar que el elemento constructivo con mayor potencial de impacto es la pared portante o estructura vertical, por lo tanto, las investigaciones que se puedan plantear hacia la definición de modelos de estructuras verticales de madera más eficientes ambientalmente, pueden contribuir notablemente a la minimización del impacto ambiental de la construcción de VPVP elaboradas con tal material.
- Cuando el objetivo sea construir edificios de vivienda de altura importante (más de 5 plantas) una opción bastante válida para lograr este objetivo puede ser la definición de estructuras mixtas que contengan maderas naturales con paneles de madera contralaminada, las cuales pueden conjugar impactos relativamente bajos con la robustez necesaria para alcanzar la altura necesaria.

4. Conclusiones.



Imagen página anterior:
Sequoia milenaria, Museo de Ciencias Naturales, Londres
Foto: Humberto Arreaza.

4.1. Conclusiones generales:

En el estudio de impacto de la madera como material de construcción de VPVP en Europa han sido consideradas en este trabajo las variables de impacto correspondientes a la producción de madera en Europa y su relación con la demanda de este material para la construcción de VPVP de madera; al impacto por emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generado por la producción, transformación y empleo de la madera en la construcción de VPVP; al impacto por energía incorporada a la madera empleada en la construcción de los edificios y finalmente al impacto por cantidad de material necesario para construir las viviendas.

4.1.1. Producción de madera en Europa y su relación con la demanda para la construcción de VPVP.

En lo concerniente a la primera variable de impacto se ordenaron datos estadísticos mundiales y europeos, se realizaron estimaciones y comparaciones con el fin de contar con una evaluación cuantitativa de la sostenibilidad de los esquemas de producción y consumo de la madera en Europa. En cuanto al resto de las variables consideradas, los indicadores empleados para caracterizarlas fueron respectivamente los siguientes: emisiones por unidad de área construida expresadas en kgCO₂/m², energía incorporada por área de construcción expresado en MJ/m² y el peso de material empleado por área de construcción expresado en kg/m².

En cuanto a la primera variable considerada, luego de los cálculos y estimaciones basados en las premisas consideradas, se puede afirmar que los esquemas de producción y consumo de madera en Europa tienden a ser sostenibles pues, a diferencia de otras regiones del planeta, se destina una porción bastante pequeña de madera bruta al uso como combustible y una muy grande al uso industrial del cual una proporción considerable podría estar destinada a usos en los cuales la madera tenga larga duración (como la construcción de viviendas) y permanezca en el tiempo como sumidero de carbono sin sufrir una pronta degradación. Además, Europa depende poco de maderas importadas y aproximadamente un 75% del volumen de madera consumido es de tipo conífera (de rápido crecimiento y rotación intensa en plantaciones) condición que favorece la constante formación de biomasa en los bosques con su consiguiente fijación de CO₂ atmosférico.

4.1.2. Emisiones de CO₂ generadas por la producción, transformación y uso de la madera.

En lo concerniente al impacto por emisiones de CO₂ de la madera empleada en la construcción de VPVP se puede observar, en los cálculos realizados, que tal impacto depende principalmente de la cantidad de residuos generados según el tipo de producto de madera que se desee obtener, el aprovechamiento que se le dé a dichos residuos y el nivel de transformación requerido por cada producto.

Al comparar los resultados de los cálculos de emisiones de CO₂ de una fachada de madera contralaminada, se determinó que las emisiones provenientes de los residuos de madera por apeo y procesamiento son muy similares a las emisiones producidas por la energía necesaria para su procesamiento. Al hacer el balance de emisiones totales con el CO₂ equivalente fijado en la madera, se obtuvo un balance de signo positivo, es decir, que las emisiones superan al CO₂ fijado. En vista de lo anterior, para que la fachada estudiada pudiese ser un sumidero neto de carbono, además de contar con energía 100% renovable no emisora de CO₂, sería indispensable reducir significativamente la cantidad de residuos en el apeo y

procesamiento de la madera o reciclar tales residuos no como fuente de energía sino formando parte de productos de larga duración.

Una fuente de impacto por emisiones de CO₂ que normalmente se asume como de gran peso es el transporte, sin embargo, puede no ser significativo en Europa pues la mayor parte de las maderas son de producción propia del continente con transporte terrestre, lo cual no representa más del 10% de las emisiones atribuibles a la madera al ser empleada como material de construcción.

Las emisiones por concepto de incorporación de resinas son casi despreciables pues están alrededor del 1%³³, sin embargo, a efectos del reciclaje de partes deterioradas para la generación de energía o en el caso de destinarlas a vertederos, las resinas representan un peligro importante pues se pueden convertir en contaminantes de la atmósfera, suelo y aguas al ser liberadas por medio de la combustión o la degradación de maderas que las contienen. En este sentido, tal tipo de materiales pueden ser reutilizados en estructuras menores o para usos no estructurales como por ejemplo mobiliario, pero no se recomienda su reciclaje como fuente de energía.

Al comparar las emisiones de CO₂ atribuibles a los materiales empleados en la construcción de la estructura y los cerramientos de madera con las emisiones equivalentes en un edificio de VPVP construido con hormigón armado, bloques y ladrillos, se consiguieron ahorros de emisiones de hasta un 65%³⁴ en promedio. El hecho anterior evidencia la idoneidad de las construcciones de madera de cara a la sostenibilidad.

³³ Ver Ilustración 18

³⁴ Ver aspectos resaltantes de la sección 3.4.4.4

4.1.3. Otros impactos: Energía incorporada y madera empleada en los elementos constructivos.

Al comparar entre sí los valores de los indicadores de las tres variables de impacto consideradas³⁵, se observa que el indicador que presenta las mayores fluctuaciones es el referido a las emisiones unitarias de CO₂ y el que representa las menores fluctuaciones es el de energía incorporada. De esto se puede concluir que para minimizar impacto por energía incorporada se requeriría el empleo de fuentes energéticas naturales y renovables en todos los casos y para disminuir el impacto por emisiones de CO₂, estudiar las combinaciones de materiales de madera o derivados más convenientes.

Tales comparaciones se realizaron tomando en cuenta diversas combinaciones de derivados de madera en los diferentes elementos constructivos observados en los casos de estudios y planteados en escenarios hipotéticos. A partir del estudio de tales referencias se puede afirmar que la construcción de VPVP utilizando elementos entramados de madera natural presenta los menores valores en las tres variables de impacto consideradas mientras que la construcción integral con paneles de madera contralaminada presenta los mayores valores en las tres variables de impacto por una muy considerable diferencia.

La construcción empleando estructuras mixtas en paredes portantes de paneles de madera contralaminada combinados con entramados de madera natural constituye una opción intermedia en valores de impacto que si bien se aproxima más a los valores de mayor impacto que a los de menor impacto, permite construir edificios de VPVP que pueden elevarse más en altura favoreciendo mayor densidad y por lo tanto mayor eficiencia al distribuir el impacto unitario sobre una mayor superficie de construcción.

Puede resultar muy eficiente emplear dichos elementos constructivos mixtos como estructura, los cuales son más duraderos y elaborar las fachadas incorporando materiales que posean residuos de madera aglomerados sin resinas ni procesos

³⁵ Impacto por emisiones de CO₂, impacto por energía incorporada y el producido por la cantidad de madera empleada para construir.

exigentes en energía, como por ejemplo paneles de fibras orgánicas aglomerada con cemento³⁶, los cuales presentan valores de peso unitario y energía incorporada inferiores a los de tableros de madera contralaminada y que además son menos exigentes en mantenimiento que las maderas naturales.

Dado que los elementos constructivos de menor impacto absoluto en las tres variables consideradas son las particiones de madera natural entramada, sería conveniente favorecer su utilización en la mayor cantidad posible de casos de VPVP construidas con madera independientemente del tipo de elementos estructurales y de fachadas.

Al comparar los indicadores de impacto por peso de materiales y energía incorporada de los casos de VPVP de madera estudiados con un caso testigo de construcción convencional³⁷, se consiguieron deferencias promedio de 89%³⁸ menos en peso de materiales empleados y 29% menos de energía incorporada en los materiales empleados en la construcción de la estructura y los cerramientos.

4.1.4. Cantidad de madera empleada en la construcción de VPVP.

En cuanto al impacto por cantidad de material necesario para construir las viviendas, hay que partir del hecho de que la construcción de VPVP de madera es una tendencia incipiente y no se cuenta con una base de datos estable que permita realizar estudios y proyecciones determinantes para la evaluación de la sostenibilidad. Sin embargo, con base en las premisas consideradas se puede afirmar que si la construcción de VPVP de madera llega a ocupar un 30% del total de VPVP construidas en Europa en 2050 podría requerir un tercio de toda la madera demandada por el sector de la construcción. Este hecho no necesariamente tendría que generar una sobreexplotación de la base productiva forestal europea, pero tal vez podría generar conflictos internos por demanda del producto en el sector de la construcción.

³⁶ Ejemplo: Euronit o similares (madera-cemento).

³⁷ Estructura en hormigón armado, cerramientos en bloques pesados de arcilla y marcos de aluminio en ventanas.

³⁸ Ver aspectos resaltantes de la sección 3.4.4.4.

Para llegar a una evaluación concluyente acerca del impacto del uso creciente en el tiempo de la madera como material principal de construcción de VPVP, es necesario poder realizar proyecciones fiables en el tiempo de su uso en la construcción de este tipo de edificios y de la cantidad de VPVP de madera a ser construidas en Europa. Para lograr lo anterior habría que contar con una base estadística europea referida a estos tópicos, la cual es aún inexistente.

4.1.5. Durabilidad e impacto

Con respecto a la relación entre la durabilidad de la madera y el impacto que pueden tener las VPVP, se podría concluir que es importante garantizar la durabilidad de la madera que forme parte de los edificios, pues de esta forma, se contribuirá a que el papel de la madera como sumidero de carbono se prolongue en el tiempo contribuyendo a un ciclo de carbono que favorezca la disminución del excedente de CO₂ en la atmósfera.

Basados en lo anterior podríamos vernos tentados a pensar que lo mejor sería no utilizar madera para construir porque así no tálamos árboles, sin embargo, es bueno recordar que la masa forestal fija más carbono y por lo tanto absorbe más CO₂ mientras el árbol joven se encuentra en crecimiento.

4.2. Acciones para minimizar el impacto de la madera como material de construcción principal de VPVP.

4.2.1. Acciones específicas a la construcción

Tomando en cuenta las principales conclusiones derivadas del estudio realizado es este trabajo, se propone un listado de las principales acciones o estrategias a ser consideradas con el fin de minimizar el impacto del uso de la madera como material principal de construcción de VPVP en Europa. A continuación el listado propuesto:

- Implementar acciones para reducir las emisiones de CO₂ en todas las fases de explotación³⁹, transformación⁴⁰ y empleo de la madera como material de construcción⁴¹, pues como hemos visto en este estudio, las emisiones de CO₂ constituyen la variable de mayor impacto entre las estudiadas.
- Reducir en una proporción importante la cantidad de residuos generados tanto en la explotación de bosque y plantaciones como en la transformación de la madera. Como se ha visto en el caso del estudio de fachadas de tableros de madera contralaminada, casi el 60%⁴² de las emisiones de CO₂ de este caso específico de estudio provienen de la degradación de los residuos no aprovechados. De lograr por ejemplo una reducción del 50% de residuos no aprovechados, se podría reducir en más de un 25% las emisiones totales de CO₂ al usar este tipo de material en la construcción.
- La construcción de VPVP de madera puede contribuir a un adecuado ciclo del carbono, pues la mayor parte de la madera empleada en estos casos

³⁹ Residuos por corte y apeo en plantación, partes del árbol no aprovechadas. Transporte.

⁴⁰ Residuos de corteza, cortado, canteado, dimensionado, lijado, etc.

⁴¹ Residuos a pie de obra por dimensionado. Transporte. Maquinaria empleada (combustibles)

⁴² Ver Ilustración 18

permanecerá por muchos años sin sufrir degradación, prolongando su función como sumidero de carbono. Si además de esto se pudiese reducir aún más la producción de madera destinada a combustible⁴³ y se destinase a usos duraderos como la construcción de viviendas, el ciclo del carbono sería aún más eficiente en lo que respecta al uso de la madera.

- Dar preferencia al uso de maderas coníferas pues al ser de rápido crecimiento, favorecen una explotación intensa del recurso el cual al ser cosechado y replantado garantiza un crecimiento constante de masa forestal que permanecerá fijando el CO₂ a altas tasas anuales.
- Debería favorecerse la producción de maderas destinadas a usos de larga duración como viviendas en lugar de usos más perecederos tales como cartones y papeles, los cuales además de requerir procesos de transformación muy exigentes en energía e incorporación de sustancias potencialmente contaminantes, son de vida efímera, situación que favorece la rápida liberación de CO₂ a la atmósfera.
- Emplear en la construcción de VPVP en Europa preferiblemente maderas de procedencia europea cuyo transporte se haga por vía terrestre y evitar el uso de maderas importadas de otras regiones del planeta, pues como hemos visto, la contribución del transporte terrestre a las emisiones totales de CO₂, no supera el 10%⁴⁴ a diferencia del transporte marino que es superior en emisiones.
- En cuanto al tipo de elemento constructivo a emplear en las estructuras de las VPVP, se recomienda el uso de elementos mixtos que contengan tableros contralaminados y maderas naturales, pues el uso de maderas naturales contribuye a reducir el impacto en las tres variables consideradas y los tableros, a pesar de su mayor impacto, ayudan a construir estructuras más resistentes y de mayor elevación.
- Para la construcción de revestimientos de fachadas, que son los elementos más propensos al deterioro, los resultados de este estudio permiten proponer el uso de paneles de fibras orgánicas aglomerados con cemento (madera-cemento), los cuales además de brindarle mayor durabilidad a las fachadas que las construidas por ejemplo con lamas de madera natural,

⁴³ Ver Anexo 6.5

⁴⁴ Ver Ilustración 18

generan menor impacto por concepto de emisiones⁴⁵ de CO₂ y de energía incorporada que otros productos industriales derivados de la madera.

- Construir una base estadística confiable acerca de la cantidad de VPVP de madera que se construyen en Europa, la cantidad de madera empleada y los tipos de madera utilizados en la construcción de VPVP, con el fin de poder hacer proyecciones de uso e impacto cada vez más fiables y poder de esta manera plantear estrategias de minimización de impactos más efectivas.

4.2.2. Otras consideraciones para la minimización del impacto del uso de la madera en general:

- Debería reducirse de manera paulatina pero considerable la producción de maderas destinadas exclusivamente a la obtención de productos de vida efímera⁴⁶ pues tal tipo de productos podrían contribuir a una tasa de liberación de CO₂ mayor a la tasa de fijación en la masa forestal corriendo el riesgo de obtener un balance inconveniente en el ciclo de carbono correspondiente a la silvicultura y la producción de materiales derivados de los árboles.
- Debería emplearse fuentes de energía no emisoras de CO₂ y no contaminantes⁴⁷, para la transformación de la madera en sus diversos productos derivados. Esto podría reducir el impacto total por concepto de emisiones de CO₂ hasta en un 30%⁴⁸.
- Finalmente, procurar que de manera global, todas las emisiones de CO₂ correspondientes a la explotación, transformación y uso de la madera en todos sus productos derivados⁴⁹ sea anualmente menor que la cantidad de dióxido de carbono fijado en los árboles en crecimiento.

⁴⁵ Ver Ilustración 19

⁴⁶ Ejemplo de esto: papeles, cartones, todos los productos derivados de la madera destinados a empaques, los cuales cumplen un ciclo de vida muy corto y aunque buena parte de ellos son potencialmente reciclables, su reciclaje no siempre está garantizado, condición que favorece la pronta degradación con la consiguiente liberación de CO₂ a la atmósfera.

⁴⁷ Solar y eólica.

⁴⁸ Ver Ilustración 18

⁴⁹ Observar ecuación planteada en la sección 3.2.1

4.3. Comentario final:

En esta tesis se ha visto de manera cuantitativa el impacto ambiental que puede tener el uso de la madera como material principal de construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas (VPVP). Los resultados del estudio realizado muestran un panorama que aunque positivo, tal vez resulte menos alentador que la percepción intuitiva que normalmente se tiene de la madera como material sostenible de construcción. Tal situación se constata al comparar los valores de los indicadores de sostenibilidad considerados en los casos de edificios de madera con los valores de los mismos indicadores en un caso de construcción convencional.

En tal comparación las diferencias de los valores de los indicadores no son tan contrastantes como se podía esperar, situación que demuestra que la madera aún siendo una opción más sostenible que otros materiales, presenta debilidades en lo concerniente a la generación de residuos no aprovechados y a la cantidad de energía incorporada, situación que permite afirmar que aunque la madera tenga una alta vocación de sostenibilidad, no necesariamente, en todos los casos de su producción, transformación y uso, garantiza tal condición.

Se espera que las conclusiones de este estudio contribuyan a construir un diagnóstico de las debilidades de la sostenibilidad de la madera como material de construcción de VPVP, de forma tal que en un futuro próximo se puedan tomar correctivos que permitan hacer de la madera una opción cada vez más sostenible y a difundir el adecuado uso de este producto natural renovable.

Pensar que la madera o sus múltiples derivados constituyen por naturaleza opciones sostenibles garantizadas como materiales de construcción, podría llegar a constituir, de cara a la sostenibilidad, la mayor debilidad de este material que nos brindan los árboles de bosques y plantaciones.

5. Bibliografía

- Bámaca, & otros. (2004). Contenido del carbono en los productos y residuos forestales generados por el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biósfera Maya. *Recursos Naturales y Ambiente* , 102-110.
- Berge, B. (2001). *The Ecology of Building materials*.
- Berge, B. (2009). *The Ecology of Building Materials*. London: Architectural Press.
- Blomfeldt, F. (24 de agosto de 2008). *Finnish Forest Industries*. Recuperado el 9 de septiembre de 2009, de <http://www.forestindustries.fi/tilastopalvelu/TilastokuviotVanhat/EndUses/Forms/AllItems.aspx>
- Bösch, H. (2000). Revêtemens de façade en bois non traité. *Lignatec* , 3.
- Buchanan, A. (2006). Can timber buildings help reduce CO2 emissions? *WCTE Proceedings*. Portland, Oregon.
- Buchanan, A. (2008). *Timber design guide*. Canterbury, New Zealand: University of Canterbury.
- Buchanan, A., & Levine, S. (1999). Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. *Environmental Science & Policy* (2), 427-437.
- Carazo, A. (junio de 2006). *Cifras básicas de la relación Madera-Fijación de Carbono-CO2 atmosférico*. Recuperado el 10 de diciembre de 2010, de <http://www.revistamontes.net/descargaLibre.aspx?id=4222>
- Comisión Nacional de Energía. (2007). *cne.es*. Recuperado el 18 de julio de 2008, de <http://gdo.cne.es/CNE/GarantiasEtiquetadoElectricidad2007.pdf>
- DATAHOLZ. (2009). Recuperado el 20 de Nov. de 2009, de http://www.dataholz.com/Public/Baustoffe/Datenblaetter/es/vh_es.pdf
- Dataholz. (2008). *Materiales de Construcción*. Recuperado el 10 de junio de 2008, de <http://www.dataholz.at/>
- Dataholz. (2010). *Materiales de construcción*. Recuperado el 11 de abril de 2011, de <http://www.dataholz.com/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/baustoff?language=es&klasse=Spanwerkstoffe>
- Detail. (2001). Hotel Extension in Bezau. *Detail* (4), 642 - 646.
- Detail. (2004). Housing Block in Merano. *Detail* , 49-51.
- Detail. (1997). Housing Block in Munich. *Detail* , 1 (37), 46 - 50.
- Detail. (2006). Housing Development in Trondheim. *Detail* , 170-171.
- EUROCONSTRUCT. (2010). *Proyecciones de Viviendas nuevas al 2015*. Barcelona.

- Eurostat. (2009). *Europe in figures. Eurostat yearbook 2009*. Luxembourg: Eurostat.
- FAO. (1992). *Conservación de Energía en las Industrias Mecánicas Forestales*. Recuperado el 10 de julio de 2008, de <http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/0043-B2.HTM>
- FAO. (2008). *FAO yearbook . Forest products 2006*. Rome: Forest products and industrial division.
- FAO. (2009). *FAO yearbook 2007. Forest products*. Rome.
- FAO. (2010). *FAO yearbook 2008. Forest products*. Rome.
- FAO. (2009). *Situación de los bosques del mundo 2009*. Roma: Ediciones de FAO.
- García, J., & De la Peña, E. (2003). Breve historia de la madera en la construcción. El retorno de la madera como elemento estructural en la arquitectura. (AITIM, Ed.) *Boletín de Información Técnica* (224), 34-40.
- Gener, J. (junio de 2010). Rendimiento de la transformación de la madera. (J. Avellaneda, Entrevistador) Lleida.
- Hartl, H., & Halswanter, M. (1997). Diseño frente al fuego en edificios de madera en altura. (AITIM, Ed.) *Boletín de Información Técnica. Construcción en madera* (187).
- Infomadera. (2007). *Infomadera.net*. Recuperado el 18 de julio de 2008, de <http://infomadera.net/images/15885.pdf>
- Jaeger, F. (2009). *NACHHALTIGKEIT*. Recuperado el 18 de febrero de 2009, de Goethe Institut: <http://www.goethe.de/ges/umw/dos/nac/buw/es3468011.htm>
- Kairi, M., Zimmer, B., & Wegener, G. (1999). *Life Cycle Assesment of Kerto Laminated Veneer Lumber*. Espoo: Helsinki University of Technology.
- Kimmo, K. (21 de 10 de 2010). *Municipal decision-makers boosted growth of wood construction in Sweden*. Recuperado el 21 de 12 de 2010, de <http://www.forest.fi/smyforest/foresteng.nsf/0/F8042C3DBDA184FBC22577C300301316?OpenDocument>
- Kolb, J. (2008). *Systems in Timber Engineering*. Basel: Birkhauser.
- Lattke, F., & Lehmann, S. (2008). Multy-storey residential timber construction: Current developments in Europe. *Journal of Green Building* , 2 (1), 119-129.
- Meili, M. (2000). Bois et protection incendie. *Lignatec* (12).
- Mercader, M., & Olivares, M. (2010). *Cuanrificación de los recursos consumidos y emisiones de CO2 producidas en las construcciones de Anadalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

- Moore, M. (2000). Scotia Place 12 Story apartment building. A case study of high-rise construction using wood and steel. *NZ Timber Design Journal* , 10 (1), 5-12.
- O'Connor, J. (octubre de 2004). *Survey on actual service lives for north american buildings*. Recuperado el 26 de agosto de 2008, de Canadian Wood Council: http://www.cwc.ca/NR/rdonlyres/67D42613-BF5D-4573-BD43-C430B0B72C08/0/Service_Life_E.pdf
- Östman, B., Jurgen, K., & Norén, J. (1997). El fuego en las estructuras de madera. (AITIM, Ed.) *Boletín de Información Técnica. Construcción con madera* (187).
- Peruarki. . (7 de enero de 2011). *Guía de arquitectura, construcción y diseño*. Recuperado el 7 de marzo de 2011, de Edificio en madera más alto del mundo: <http://www.laarquitectura.org/edificio-en-madera-mas-alto-del-mundowaugh-thistleton-architects/>
- Schmuelli, & Kagami. (2009). Progress of timber multi-storey apartment building in Europe and japan.
- Sheridan. (2003). *Building regulations in Europe, Part II. Housing and urban policy studies N° 24*. Delft: DUP Science.
- The engineering tool box. (2007). *Carbon dioxide emission combustion fuels*. Recuperado el 10 de enero de 2008, de engineeringtoolbox.com: http://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html
- United Nations. (2009). *United Nations Population Division*. Recuperado el 15 de abril de 2010, de World Population Prospects: The 2008 Revision Population Database: <http://esa.un.org/unpp/>
- Vega, L., Llinares, M., & Villagrà, C. (2010). Comportamiento frente al fuego. Documento de aplicación al CTE. En J. Fernández, M. Conde, & L. Vega, *Guía de construir con madera* (págs. 11-18). Madrid: CONFEMADERA.
- Waldorf, G. (2005). *Timber design Journal*. Recuperado el 18 de mayo de 2009, de <http://www.timberdesign.org.nz/journal.cfm/view/41/parent/2>
- WWF. (2008). *A possible global forest situation by year 2050*. Recuperado el 12 de mayo de 2009, de <http://www.worldwildlife.org/what/globalmarkets/forests/WWFBinaryitem7354.pdf>

6. Anexos.

6.1. Tablas de producción mundial y europea de madera por tipos

Tabla 84: Producción mundial de madera rolliza (10^3 m^3).

Ámbito	Año.						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
MUNDIAL	3331981	3383652	3446523	3550868	3536803	3603155	3448644
África	598056	608662	616642	628150	664102	700400	707867
NA ⁵⁰	646077	628155	670145	678849	645241	619227	535758
LAC ⁵¹	420998	449997	446269	463803	465657	477796	482661
Asia	1027688	1027096	1030574	1030285	1029826	1018737	997034
Europa	578789	608170	622026	689575	670450	723953	657065
Oceanía	60374	61572	60868	60206	61527	63042	68258

Fuente: (FAO, 2008); (FAO, 2010)

Tabla 85: Producción mundial de madera RC⁵² (10^3 m^3).

Ámbito	Año.						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
MUNDIAL	1197592	1221498	1277473	1319336	1275156	1327369	1195915
África	25687	24766	24872	24130	24090	46100	44907
NA	445544	430697	472529	475431	451498	425416	358966
LAC	109171	124730	124746	128765	131137	134658	132205
Asia	191507	190953	191003	191222	191407	189591	191651
Europa	390153	415130	429790	468119	443341	497123	433423
Oceanía	35530	35222	34533	33600	33682	34482	34764

Fuente: (FAO, 2008); (FAO, 2010)

Tabla 86: Producción mundial de madera RNC⁵³ (10^3 m^3).

Ámbito	Año.						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
MUNDIAL	2134389	2162154	2169050	2231532	2261648	2275786	2252729
África	572368	583896	591770	605951	640012	654301	662960
NA	200533	197458	197617	195862	193743	193811	176792
LAC	311827	325267	321523	333804	334520	343138	350457
Asia	836181	836143	843971	846968	838419	829146	805383
Europa	188636	193040	192235	221456	227109	226831	223643
Oceanía	24844	26350	26911	27467	27845	28560	33494

Fuente: (FAO, 2008); (FAO, 2010)

⁵⁰ NA: Norteamérica, comprende USA y Canadá.

⁵¹ LAC: Latinoamérica y el Caribe.

⁵² RC: rolliza conífera

⁵³ RNC: rolliza no conífera

6.2. Tablas de uso y transformación de la madera por tipos.

Tabla 87: Distribución de uso de la madera RC⁵⁴ en Europa. (10³ m³).

	2004	2005	2006	2007	2008
energía	43300	47245	48688	47786	47951
RIC	386490	420791	394653	449337	385471

Fuente: (FAO, 2008); (FAO, 2010)

Tabla 88: Flujo de madera RI⁵⁵ en Europa (10³ m³).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Producción	470346	492909	504436	540184	515766	575869	504598
Consumo	453483	475629	483644	517012	487361	547498	484243
Exportación	72898	73876	79449	88526	90778	93137	75959
Importación	56036	56596	58657	65353	62373	64765	55604
Balance	1	0	0	-1	0	-1	0

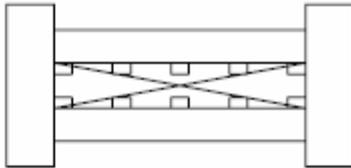
Fuente: (FAO, 2008); (FAO, 2010)

1

⁵⁴ RC: rolliza conífera

⁵⁵ RI: rolliza industrial

6.3. Ficha del edificio testigo. Proyecto 4, Sevilla

FICHA DEL EDIFICIO: CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN		Nº 04
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Nº DE PLANTAS:	<input type="text" value="4"/> SOBRE RASANTE	<input type="text" value="1"/> BAJO RASANTE
Nº DE EDIFICIOS POR PROYECTO:	<input type="text" value="1"/>	
TIPOLOGIA:	<input type="checkbox"/> UNIFAMILIAR <input type="checkbox"/> Aislada <input type="checkbox"/> Adosada <input type="checkbox"/> Entremedianeras <input checked="" type="checkbox"/> PLURIFAMILIAR <input checked="" type="checkbox"/> M. cerrada <input type="checkbox"/> M. abierta <input type="checkbox"/> Edificio exento <input type="checkbox"/> Edificio aislado <input type="checkbox"/> Entremedianeras	
PROMOTOR:	<input checked="" type="checkbox"/> PUBLICO <input type="checkbox"/> PRIVADO	
REFERENCIA DEL PROYECTO: EXPDTE GMU Nº	<input type="text" value="1.005/2.001"/>	
DATOS DEL EDIFICIO:		
SUPERFICIE CONSTRUIDA TOTAL:	<input type="text" value="12087,46"/>	m ²
NÚMERO DE VIVIENDAS:	<input type="text" value="84"/>	u
METROS CUADRADOS/ VIVIENDA:	<input type="text" value="143,9"/>	m ² / viv
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS		ESQUEMA DE ORGANIZACIÓN
ESTRUCTURA VERTICAL:		Planta tipo: 
<input checked="" type="checkbox"/> Hormigón armado <input type="checkbox"/> Metálica <input type="checkbox"/> Fábrica de ladrillo <input type="checkbox"/> Otros	<input checked="" type="checkbox"/> Pilares Muros Prefabricado <input type="checkbox"/> Pilares <input type="checkbox"/> Pilares Muros de carga <input type="text"/>	
ESTRUCTURA HORIZONTAL:		
CIMENTACIÓN:	FORJADO TIPO:	
<input checked="" type="checkbox"/> Losa H.A. <input type="checkbox"/> Zapatas H.A. <input type="checkbox"/> Pilotes <input checked="" type="checkbox"/> Muro perimetral H.A.	<input checked="" type="checkbox"/> Unidireccional de viguetas <input checked="" type="checkbox"/> Semirresistente Autoportante Metálica <input type="checkbox"/> Bidireccional <input type="checkbox"/> Losa H.A. <input type="checkbox"/> In situ Alveolar	
CUBIERTAS:	CARPINTERIA EXTERIOR:	
<input checked="" type="checkbox"/> Plana <input checked="" type="checkbox"/> Transitable <input checked="" type="checkbox"/> No transitable <input type="checkbox"/> Inclinada <input type="checkbox"/> Tejas Metálica <input type="checkbox"/> Ligera	<input checked="" type="checkbox"/> Aluminio <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	
CERRAMIENTO:		
<input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Prefabricado <input checked="" type="checkbox"/> Pesado <input checked="" type="checkbox"/> Fabrica de ladrillo <input type="checkbox"/> 1 hoja. <input checked="" type="checkbox"/> 2 hojas. <input type="checkbox"/> Termoarcilla		

Tomado de: (Mercader & Olivares, 2010)

6.4. Matriz de impacto del edificio testigo.

F	MATRIZ FINAL: PESO, CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE CO2 POR M2 CONSTRUIDO DEL MCH							
	CÓDIGO	CBMs REPRESENTATIVOS DEL MCH DEFINIDO	PESO MEDIO		CONSUMO ENERGÉTICO		EMISIONES DE CO ₂	
			kg/m ²	% Edif.(t)	MJ/m ²	% Edif.	kgCO ₂ /m ²	% Edif.
LU00100k	ABONOS	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00	
CA90100k	ACERO ESTRUCTURAL	23,892	1,17	836,22	12,43	66,89777	9,64	
KAD0300k	ACERO GALVANIZADO EN PERFILES, MANUFACTURADO	0,021	0,00	0,80	0,01	0,07800	0,01	
KA90100k	ACERO EN PERFILES LAMINADOS	2,145	0,10	76,04	1,13	6,18313	0,89	
IF91652k	ACUMULADOR 1000L PVC REF.	0,005	0,00	0,35	0,01	0,05240	0,01	
KW00100k	AGUA POTABLE	95,781	4,69	4,79	0,07	0,00000	0,00	
CAD1700k	ALAMBRE DE ATAR	0,094	0,00	3,77	0,06	0,36984	0,05	
AP00200k	ALBERO EN RAMA	202,964	9,93	20,30	0,30	6,08891	0,88	
RW90200k	ALFEIZAR P.CALIZA CREMA SEVILLA	1,413	0,07	0,25	0,00	0,02543	0,00	
CA92100k	ANGULAR GALV. 30X30X3 MM.	0,028	0,00	1,13	0,02	0,11107	0,02	
LU00400k	ARBUSTO CORRIENTE PORTE MEDIO	0,003	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00	
AA90100k	ARENA	230,130	11,26	23,01	0,34	6,90390	0,99	
AS90120k	ARIDO SELECCIONADO MONOCAPA	3,829	0,19	0,38	0,01	0,11486	0,02	
IF90200k	ARMARIO METALICO CONTADOR 0.60X0.50	0,002	0,00	0,09	0,00	0,00899	0,00	
IE90700k	ARMARIO PLAST. PARA MANDOS Y DISTR. 9 ELEM. EMPOTRAR	0,001	0,00	0,07	0,00	0,01033	0,00	
SA00200k	ARQUETA POLIESTER REFORZADO 0.60x0.60x1.00 M.	0,010	0,00	0,54	0,01	0,08015	0,01	
SA90300k	ARQUETA SIFONICA POLIESTER REFORZADO 0.60X0.60X1.00 M.	0,022	0,00	1,17	0,02	0,17202	0,02	
IF00600k	ASIENTO Y TAPA PVC.	0,007	0,00	0,47	0,01	0,06594	0,01	
IC03400k	ASPIRADOR ESTATICO DE HORMIGON	0,124	0,01	0,29	0,00	0,02774	0,00	
RA90300k	AZULEJO COLOR LISO 15X15 CM.	4,939	0,24	64,21	0,95	4,81553	0,69	
IP90500k	B.I.E.,MANGUERA 25M.25MM.SEMIRRIGIDA,COMPLETA	0,008	0,00	0,33	0,00	0,03238	0,00	
UED0400k	BACULO RECTO ACERO GALVANIZADO 3.70 M.	0,010	0,00	0,39	0,01	0,03814	0,01	
SB90100k	BAJANTE PVC. DIAM. MEDIO 110-500 MM.	0,205	0,01	14,33	0,21	2,11514	0,30	
RS90100k	BALDOSA CERÁMICA	3,803	0,19	8,82	0,13	0,67046	0,10	
RS92100k	BALDOSA GRES EXTRUIDO	0,111	0,01	0,93	0,01	0,07051	0,01	
RS92400k	BALDOSA GRES Prensado Esmaltado	0,297	0,01	3,23	0,05	0,24259	0,03	
RS90200k	BALDOSA HIDRAULICA	15,835	0,77	37,21	0,55	3,48365	0,50	
RS92750k	BALDOSA MARMOL	2,706	0,13	0,49	0,01	0,04871	0,01	
RS93400k	BALDOSA TERRAZO 40X40 CM. GRANO MEDIO	42,042	2,06	96,70	1,44	9,08951	1,31	
RS93750k	BALDOSA CERÁMICA VIDRIADA COLOR LISO	1,681	0,08	12,10	0,18	0,90762	0,13	
UU00300k	BANCO INTEMPERIE, SOPORTE METALICO Y ASIENTO P. FLANDES	0,009	0,00	0,15	0,00	0,01118	0,00	
IF92800k	BAÑERA CHAPA ACERO ESMALC.BLANCO	0,189	0,01	7,33	0,11	0,71873	0,10	
PB00300k	BARNIZ SINTETICO	0,006	0,00	0,58	0,01	0,08525	0,01	
PB90400k	BARNIZ TAPAPOROS	0,005	0,00	0,52	0,01	0,07703	0,01	
IE91700k	BASE ENCHUFE II+T 10/25 A. C/PLACA	0,018	0,00	1,26	0,02	0,18545	0,03	
IF92000k	BATERIA EXTERIOR BAÑO/DUCHA DE 1º C.	0,009	0,00	1,45	0,02	0,14174	0,02	
IF01700k	BATERIA EXTERIOR FREGADERO F Y C DE 1º C.	0,001	0,00	0,22	0,00	0,02197	0,00	
IF96250k	BATERIA PARA 20/30 CONTADORES DIVES. AGUA	0,033	0,00	1,07	0,02	0,08531	0,01	
IF94500k	BIDE DE PORCELANA C. BLANCO CALIDAD MEDIA	0,148	0,01	4,01	0,06	0,30010	0,04	
KW00500k	BISAGRA LATON DALA ANCHA	0,015	0,00	2,44	0,04	0,23866	0,03	
FB91050k	BLOQUE CERÁMICO HUECO	19,888	0,97	46,14	0,69	3,50674	0,51	
FB90250k	BLOQUE HORMIGON PREFABRICADO	23,581	1,15	113,19	1,68	10,75275	1,55	
FB90850k	BLOQUE HORMIGON LIGERO	0,845	0,04	4,06	0,06	0,39524	0,06	
UP00900k	BORDILLO DE HORMIGON 17x28 CM.	0,044	0,00	0,10	0,00	0,00970	0,00	
PB9400k	BOTE SIFONICO PVC. DIAM. 125 MM.	0,003	0,00	0,11	0,00	0,01553	0,00	
CB00600k	BOVEDILLA DE MORTERO CEMENTO	77,093	3,77	181,17	2,69	17,21094	2,48	
IC90100k	BRIDA GALV. PARA CONDUCTO CIRCULAR DE CIAM. 250-500 MM	0,038	0,00	1,50	0,02	0,14761	0,02	
KW00600k	BULONES FJOS ACERO	0,418	0,02	14,62	0,22	1,16978	0,17	
DW90100k	BUZON CARTERIA	0,011	0,00	1,95	0,03	0,17669	0,03	
IE91750k	CABLE DE COBRE DE SECCIÓN MEDIA 750/1000 V.	0,238	0,01	35,71	0,53	3,49918	0,50	
IE03800k	CABLE DE COBRE DESNUDO	0,012	0,00	1,77	0,03	0,17297	0,02	
IE94200k	CAJA DE CUADRO PROTEC. PARA 1DIF., 4-5 MAGNT. E ICP	0,003	0,00	0,14	0,00	0,02103	0,00	
IE94800k	CAJA GENERAL PROTECCION 160-250A.INTEN.NOM.C/BASES (2)	0,006	0,00	0,31	0,00	0,04569	0,01	
IE95100k	CAJA REGISTRO O DERIVACION	0,001	0,00	0,09	0,00	0,01314	0,00	
IE05200k	CAJILLO UNIVERSAL ENLAZABLE	0,009	0,00	0,63	0,01	0,09258	0,01	
GK900100k	CAL	1,458	0,07	5,00	0,07	0,47081	0,07	
IF95800k	CALENTADOR A GAS PRESION NORMAL 10-13 L	0,086	0,00	8,49	0,13	0,83214	0,12	
IE95600k	CARTUCHO FUSIBLE 160-250 A. INTENSIDAD	0,002	0,00	0,23	0,00	0,02775	0,00	
SS00200k	CAZOLETA SIFONICA PVC. DIAM. 160 MM.	0,010	0,00	0,69	0,01	0,10191	0,01	
KS91700k	CELOSIA FIJA LAMAS FIJAS AC. GALV. CON SOPORTES	0,009	0,00	0,37	0,01	0,03621	0,01	
KS01800k	CELOSIA FIJA LAMAS FIJAS AL. CON BASTIDOR	0,025	0,00	5,43	0,08	0,79863	0,12	
KB91480k	CELOSIA LAMAS PVC. CERCO Y BAST. AC.GALV.	0,027	0,00	1,87	0,03	0,27663	0,04	
GC00200k	CEMENTO CEM III/A-L 32,5, EN SACOS	29,400	1,44	128,18	1,90	12,08603	1,74	

Tomado de: (Mercader & Olivares, 2010)

Los recuadros indican los elementos considerados

6.4 Matriz de impacto del edificio testigo.

F	MATRIZ FINAL: PESO, CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE CO2 POR M2 CONSTRUIDO DEL MCH							
	CÓDIGO	CBMs REPRESENTATIVOS DEL MCH DEFINIDO	PESO MEDIO		CONSUMO ENERGÉTICO		EMISIONES DE CO ₂	
			kg/m ²	% Edif.(1)	MJ/m ²	% Edif.	kgCO ₂ /m ²	% Edif.
KM90300k	CERCO MADERA DIMENSION MEDIA	0,834	0,04	1,75	0,03	0,05252	0,01	
KW91200k	CERRADURA LLAVE PLANA 1ª CAL.	0,006	0,00	0,88	0,01	0,08627	0,01	
KWD1600k	CERRADURA SEG. 5 ANCL. MOV. C/PICAP. DE RESBALON	0,023	0,00	3,73	0,06	0,36603	0,05	
HB00010k	CHAPA ACERO INOXIDABLE PERFORADA	0,003	0,00	0,45	0,01	0,04055	0,01	
KM91800k	CHAPA SAPELLY 3 MM. ESPESOR	0,044	0,00	0,83	0,01	0,07506	0,01	
RW91300k	CIMERA MARMOL BLANCO MACAEL 15X3 CM.	1,272	0,06	0,23	0,00	0,02290	0,00	
IC80800k	CONDUCTO DE EVACUACION SPIROFLEX	0,004	0,00	0,14	0,00	0,01412	0,00	
IC94401k	CONDUCTO DE VENTILACION DE HORMIGON PREFABRICADO	4,354	0,21	10,23	0,15	0,97195	0,14	
IC96200k	CONDUCTO CHAPA GALV. ESPESOR VARIABLE	0,400	0,02	15,96	0,24	1,56602	0,23	
IF96350k	CONTADOR GENERAL 10-65 MM.	0,011	0,00	1,74	0,03	0,17051	0,02	
XT90901k	COQUILLA ESP.ELAST.POLIETILENO DIAM. Y ESP. VARIABLE	0,009	0,00	0,87	0,01	0,12857	0,02	
IF08001k	DESAGUE SANITARIOS	0,006	0,00	0,86	0,01	0,08452	0,01	
CW00600k	DESENCOFRANTE	0,237	0,01	23,70	0,35	3,49817	0,50	
IP93101k	DETECTOR DE HUMOS Y GASES	0,001	0,00	0,12	0,00	0,01763	0,00	
PW00100k	DISOLVENTE	0,039	0,00	3,85	0,06	0,56866	0,08	
VL93901k	DOBLE LUNA INCOLORA 4-6 MM., CAM. AIRE 6-12 MM	0,750	0,04	11,93	0,18	0,70322	0,10	
IF98500k	DUCHA TELEFONO FLEX. CROMADO 1ª CAL. 1.50 M.	0,008	0,00	1,36	0,02	0,13357	0,02	
IM99400k	ELECTRODORCIBA AG. BUCIA SUMERG.	0,024	0,00	0,00	0,01	0,00000	0,01	
FP90701k	ENTRAMADO AC.GALVANIZADO PARA CARTON-YESO	2,373	0,12	94,70	1,41	9,29095	1,34	
IM91611k	EQUIPO PUERTAS PISO AUTOMATICAS ASCENSOR 0.80 M	0,278	0,01	11,10	0,16	1,08927	0,16	
IM92111k	EQUIPO ASCENSOR MINUSVALIDOS 4-6PERS.4-6PARAD.0.63M/SEG	2,236	0,11	78,26	1,16	6,26113	0,90	
IF99101k	EQUIPO GRIFERIA SANITARIOS BAÑO	0,026	0,00	4,24	0,06	0,41508	0,06	
GE00100k	ESCAYOLA	0,104	0,01	0,27	0,00	0,02498	0,00	
PE9021k	ESMALTE	0,113	0,01	10,20	0,15	1,50553	0,22	
IP07200k	EXTINTOR MOVIL, CO2 DE 3.5KG EFICACIA 21-B	0,001	0,00	0,04	0,00	0,00409	0,00	
IP07850k	EXTINTOR MOVIL, POLVO ABC, 6-12 KG	0,056	0,00	2,20	0,03	0,21604	0,03	
IC90001k	EXTRACTOR AIRE, T/CUBIERTA CENTRIF.	0,017	0,00	0,61	0,01	0,04894	0,01	
UED2700k	FAROL ESFERICO METACRILATO OPAL DIAM. 450 MM.	0,002	0,00	0,11	0,00	0,01622	0,00	
PI00500k	FONDO FIJADOR DE SILICATOS Y RESINA ACRILICA	0,030	0,00	1,36	0,02	0,20111	0,03	
IF91800k	FREGADERO UN SENO ACERO INOX.	0,013	0,00	2,36	0,04	0,21389	0,03	
BW99300k	FUENTE BEBEDERO AGERO INOXIDABLE	0,006	0,00	0,94	0,01	0,09664	0,01	
AG90100k	GRAVA	30,273	1,48	3,03	0,04	0,90818	0,13	
IF92900k	GRIFO CROMADO BOCA ROSCADA C/PARED	0,002	0,00	0,07	0,00	0,00018	0,00	
IF13600k	GRIFO LAVADORALAVAVAJILLAS CALIDAD MEDIA	0,011	0,00	1,76	0,03	0,17251	0,02	
IF14100k	GRIFO MONOBLOC LAVABO DE 1ª CAL.	0,004	0,00	0,66	0,01	0,06512	0,01	
IM92800k	GRUPO PRES. 8000L/H.40M.C.A.1 BOMBA, TANQUE 600L ASP. DEP	0,015	0,00	0,48	0,01	0,03864	0,01	
IM03500k	GRUPO PRES.15400L/H.40M.C.A.2BOMBAS, TANQUE 600L ASP. RED	0,026	0,00	0,86	0,01	0,06899	0,01	
IM94400k	GRUPO PRESION C/INCEN.40000L/H.58-70 MCA.BOMBAS20/50-4/5CV	0,006	0,00	0,19	0,00	0,01539	0,00	
KM02100k	HOJA BLIND. DOS C. NERV. INT. 50 MM.	0,312	0,02	10,93	0,16	0,87459	0,13	
KM92100k	HOJA MALETERO MADERA	0,139	0,01	0,29	0,00	0,00873	0,00	
KM92770k	HOJA NORMALIZADA DM 30-35 MM.	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00	
KM92200k	HOJA NORMALIZADA MADERA	0,671	0,03	1,41	0,02	0,04229	0,01	
KM93500k	HOJA VIDRIERA OKI IME 35 MM.	0,069	0,00	0,14	0,00	0,00433	0,00	
CH92920k	HORMIGON HA-25/P/20/IIa, SUMINISTRADO	941,046	46,05	2164,40	32,16	205,61845	29,62	
CH94020k	HORMIGON HM-20/P/20/I, SUMINISTRADO	67,908	3,32	156,19	2,32	14,83783	2,14	
QW00100k	HORMIGON CELULAR	6,836	0,33	32,81	0,49	3,11728	0,45	
RP90600k	HUELLA MARMOL	0,889	0,04	0,16	0,00	0,01601	0,00	
RP00800k	HUELLA PIEDRA ARTIFICIAL 5 CM.	0,822	0,04	1,89	0,03	0,17764	0,03	
XI00800k	IMPRIMADOR DE BASE ASFALTICA	0,033	0,00	1,46	0,02	0,21505	0,03	
IF15100k	INODORO CON TANQUE BAJO C. BLANCO CAL. MEDIA	0,411	0,02	11,15	0,17	0,83524	0,12	
IE98100k	INTERRUPTORES ELECTRICOS	0,020	0,00	1,43	0,02	0,21116	0,03	
UU00559k	JARDINERA PREFABRICADA	0,075	0,00	0,17	0,00	0,01644	0,00	
KW92500k	JUEGO DE POMOS O MANIVELAS DE LATON	0,022	0,00	3,62	0,05	0,34496	0,05	
IF16700k	JUEGO DE RAMALLOS	0,002	0,00	0,32	0,00	0,03164	0,00	
IF18800k	JUEGO ESCUADRAS ACERO INOXIDABLE	0,002	0,00	0,35	0,01	0,03217	0,00	
IF17200k	JUEGO TORNILLOS FIJACION CROMADOS CAL. MEDIA	0,002	0,00	0,06	0,00	0,00016	0,00	
IM00900k	SELLADO DE JUNTAS	0,044	0,00	5,29	0,08	0,78089	0,11	
FL90200k	LADRILLO GAFA	2,662	0,13	6,18	0,09	0,46934	0,07	
FL00400k	LADRILLO HUECO DOBLE 7 CM.	2,665	0,13	6,18	0,09	0,46967	0,07	
FL00300k	LADRILLO HUECO DOBLE 9 CM.	28,769	1,41	66,74	0,99	5,07259	0,73	
FL00500k	LADRILLO HUECO SENCILLO 4 CM.	8,973	0,44	20,82	0,31	1,58215	0,23	
FL91100k	LADRILLO PERFORADO, TALADRO PEQUEÑO PARA CARA VISTA	24,297	1,19	56,37	0,84	4,28408	0,62	
FL91300k	LADRILLO PERFORADO, TALADRO PEQUEÑO PARA REVESTIR	23,192	1,13	53,81	0,80	4,08928	0,59	

Tomado de: (Mercader & Olivares, 2010)
Los recuadros indican los elementos considerados

6.4 Matriz de impacto del edificio testigo.

F	MATRIZ FINAL: PESO, CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE CO2 POR M2 CONSTRUIDO DEL MCH						
	CMBs REPRESENTATIVOS DEL MCH DEFINIDO	PESO MEDIO		CONSUMO ENERGÉTICO		EMISIONES DE CO ₂	
		CÓDIGO	kg/m ²	% Edif.(t)	MJ/m ²	% Edif.	kgCO ₂ /m ²
FL01400k	LADRILLO RASILLA 2.5 CM.	0,159	0,01	0,37	0,01	0,02795	0,00
XI01100k	LAMINA POLIETILENO 0.2 MM.	0,059	0,00	6,01	0,09	0,89681	0,13
VL00600k	LAMR.SEGD.2 LUNAS,INCOLORAS, 6MM.DOBLE LAM. BUT. INC.	0,122	0,01	3,21	0,05	0,18898	0,03
IF99000k	LAVABO MURAL PORC. C. BLANCO	0,002	0,00	0,05	0,00	0,00368	0,00
IF19600k	LAVABO PORCELANA C. BLANCO	0,280	0,01	7,67	0,11	0,56740	0,08
GR00300k	LIGANTE MORTERO MODIF. PLASTIF. Y RESINAS	3,250	0,16	302,29	4,49	44,61736	6,43
GR00320k	LIGANTE MORTERO MONOCAPA	3,719	0,18	345,82	5,14	51,04332	7,35
KM94200k	LISTON MADERA DIMENSIONES MEDIAS	0,297	0,01	0,62	0,01	0,01871	0,00
IG91100k	LLAVE DE CIERRE DE MACHO CONICO, DIAM. MEDIO LATON	0,002	0,00	0,25	0,00	0,02418	0,00
IF92100k	LLAVE PASO CROMADA FONTANERÍA DIAM. MEDIO	0,030	0,00	4,87	0,07	0,47659	0,07
IW92900k	LUMINARIA SUPERF.FLUORESC.2X20W.DIFUSOR METACRILATO	0,007	0,00	0,39	0,01	0,05744	0,01
VL93201k	LUNA PULIDA FLOTADA ESPESOR MEDIO	0,641	0,03	10,20	0,15	0,60120	0,09
CM90200k	MADERA EN TABLA/TABLON	1,619	0,08	3,40	0,05	0,10197	0,01
IF22700k	MANGUETON PVC. 110 MM.	0,013	0,00	0,89	0,01	0,13084	0,02
IF96274k	MANGUITO	0,015	0,00	2,29	0,03	0,22450	0,03
IC42300k	MARCO DE CHAPA GALV. O MADERA PARA REJILLA DE 250x150MM	0,001	0,00	0,04	0,00	0,00366	0,00
PW90200k	MASILLA CAUCHO-SILICONA	0,004	0,00	0,07	0,00	0,01035	0,00
VW01100k	MASILLA PLASTICA	0,022	0,00	0,44	0,01	0,06523	0,01
QW90300k	MASTIC ASFALTICO	0,046	0,00	2,04	0,03	0,29930	0,04
XI91800k	MEMBRANA BETUN MODIF. ARM. DOBLE POLIET. 4 MM.	1,631	0,08	74,11	1,10	10,89691	1,57
PI99990k	MINIO DE PLOMO	0,005	0,00	2,47	0,04	0,36495	0,05
GM90120k	MORTERO CEMENTO HIDROFUGADO	0,396	0,02	0,94	0,01	0,08895	0,01
XI02500k	OBTURADOR DE POLIESTIRENO DIAM. 20 MM.	0,001	0,00	0,06	0,00	0,00846	0,00
FP01000k	PANEL DE CARTON-YESO CON RELLENO CELULAR	2,263	0,11	23,59	0,35	1,56425	0,23
FP01200k	PANEL DE CARTON-YESO DE 13 MM. DE ESPESOR	20,707	1,01	163,58	2,43	9,81496	1,41
XT11200k	PANEL LANA MINERAL 40 MM.	0,674	0,03	12,14	0,18	0,91034	0,13
CM90600k	PANEL METALICO PARA ENCOFRADO	0,257	0,01	10,24	0,15	1,00414	0,14
XT11600k	PANEL RIGIDO FIBRA VIDRIO 25 MM. ESP.70KG/M3 CARA PROT.	0,028	0,00	0,61	0,01	0,04588	0,01
UU01600k	PAPELERA PLETINA Y CHAPA PERF., SOPOR.BASC.	0,001	0,00	0,13	0,00	0,01174	0,00
FP91800k	PASTA ADHESIVA PARA T. CARTON-YESO	3,673	0,18	9,44	0,14	0,89100	0,13
IF23100k	PEDESTAL PORCELANA C. BLANCO CALIDAD MEDIA	0,163	0,01	4,43	0,07	0,33174	0,05
VW01500k	PERFIL EN U DE NEOPRENO	1,451	0,07	174,08	2,59	25,69077	3,70
RT90600k	PERFILERIA GALVANIZADA PARA T. CARTON-YESO	0,147	0,01	5,85	0,09	0,57439	0,08
KW03200k	PERNIOS DE LATON 11 CM.	0,025	0,00	3,95	0,06	0,38743	0,06
KS94700k	PERSIANA ENROLLABLE PVC. DE 0.6 MM.	0,103	0,01	7,22	0,11	1,05567	0,15
IE11300k	PICA DE ACERO COBRIZADO (2.00 M), GRADA	0,002	0,00	0,08	0,00	0,00633	0,00
IG93500k	PISAPORTE DE REGBALON	0,044	0,00	2,38	0,03	0,22644	0,03
CB90111k	PIEZAS TERMOARCILLA DIMENSIONES MEDIAS	17,912	0,88	44,24	0,66	3,00843	0,43
IF23800k	PILETA LAVADERO PORC. C.BLANCO DE 0.50 M.	0,073	0,00	1,97	0,03	0,14754	0,02
IF23900k	PILETA VERTEDERO PORC. C.BLANCO DE 0.50 M. CAL. MEDIA	0,002	0,00	0,06	0,00	0,00486	0,00
PA90500k	PINTURA ACRILICA	0,193	0,01	4,76	0,07	0,70218	0,10
RS05500k	PINTURA AL CLOROCAUCHO	0,072	0,00	1,44	0,02	0,21224	0,03
PS90100k	PINTURA AL SILICATO	0,106	0,01	2,12	0,03	0,19037	0,03
PA90600k	PINTURA ELASTOMERA ACRILICA LISA	0,069	0,00	1,71	0,03	0,25184	0,04
XI02700k	PINTURA OXIASFALTO	0,201	0,01	4,03	0,06	0,59213	0,09
PP00100k	PINTURA PLASTICA	0,247	0,01	4,95	0,07	0,73003	0,11
UI00300k	PINTURA REFLEXIVA CON ESFERAS DE VIDRIO	0,001	0,00	0,02	0,00	0,00341	0,00
XI02800k	PINTURA RESINA ACRILICA UN COMPONENTE	0,003	0,00	0,07	0,00	0,00968	0,00
RS94600k	PLACA DE MARMOL DE 2 CM	1,841	0,09	8,18	0,12	0,81688	0,12
RT91500k	PLACA ESCAYOLA LISA	3,028	0,15	7,78	0,12	0,72624	0,10
IV92700k	PLACA PORTERO ELECTRICO 8-16 PULSADORES	0,001	0,00	0,18	0,00	0,01604	0,00
GAD0200k	PLASTIFICANTE	0,037	0,00	3,41	0,05	0,50360	0,07
IF24100k	PLATO DUCHA CHAPA ESMAL C.BLANCO 70X70 CM.	0,070	0,00	2,70	0,04	0,26465	0,04
QW00600k	PLOMO EN PLANCHAS	0,145	0,01	27,60	0,41	3,25641	0,47
XT93901k	POLIESTIRENO EXTRUSIONADO	0,157	0,01	18,39	0,27	2,71467	0,39
XT94200k	POLIURETANO DENSIDAD 30-35 KG/M3	0,296	0,01	19,33	0,29	2,84150	0,41
AS00400k	POLVO DE SILICE Y CUARZO, SECO Y ENVASADO	0,816	0,04	5,71	0,08	0,51389	0,07
KAD1000k	PRECERCO CHAPA ACERO 1.5 MM. ESPESOR	0,094	0,00	3,77	0,06	0,36988	0,05
KAS1100k	PRECERCO TUBO ACERO GALVANIZADO	0,695	0,03	27,72	0,41	2,71981	0,39
KAD1300k	PUERTA ABATIBLE AC. CONFORMADO Y CHAPA GALVANIZADA	0,120	0,01	4,31	0,06	0,34487	0,05
KAD1500k	PUERTA ABATIBLE AC. GALVANIZADO (T-III)	0,099	0,00	3,94	0,06	0,38693	0,06
KL91300k	PUERTA ABATIBLE AL.	0,181	0,01	37,03	0,55	5,44471	0,78
KL90900k	PUERTA ABATIBLE AL. LACADO (T-III)	0,173	0,01	37,74	0,56	5,54796	0,80

Tomado de: (Mercader & Olivares, 2010)

Los recuadros indican los elementos considerados

6.4 Matriz de impacto del edificio testigo.

F	MATRIZ FINAL: PESO, CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE CO2 POR M2 CONSTRUIDO DEL MCH							
	CÓDIGO	CBMs REPRESENTATIVOS DEL MCH DEFINIDO	PESO MEDIO		CONSUMO ENERGÉTICO		EMISIONES DE CO ₂	
			kg/m ²	% Edif.(1)	MJ/m ²	% Edif.	kgCO ₂ /m ²	% Edif.
KA92500k	PUERTA CORTAFUEGO ABATIBLE TIPO RF-60	0,088	0,00	3,08	0,05	0,24648	0,04	
KA02600k	PUERTA CORTAFUEGO ABATIBLE 1 HOJA TIPO RF-120	0,047	0,00	1,65	0,02	0,13174	0,02	
KA02700k	PUERTA GARAJE BASCULANTE CH. ACERO PLEGADA	0,018	0,00	0,63	0,01	0,05045	0,01	
KA92800k	PUERTA GARAJE CHAPA GALVANIZADA LACADA	0,023	0,00	0,93	0,01	0,09090	0,01	
IF94300k	PUERTA HORNACINA CONTADOR 2.10X0.70	0,320	0,02	17,19	0,26	2,53730	0,37	
IE99200k	PULSADOR ALARMA	0,001	0,00	0,06	0,00	0,00827	0,00	
CE00100k	PUNTAL DE MADERA	0,027	0,00	0,06	0,00	0,00168	0,00	
CE00200k	PUNTAL METALICO DE 3 M.	0,107	0,01	3,74	0,06	0,29919	0,04	
FL01500k	RASILLON CERAMICO 1.00X0.25X0.04 M.	0,242	0,01	0,60	0,01	0,04066	0,01	
KS90201k	REJA-BARANDILLA ESCAL. RETIC. 60X60 PLETINAS 20.2, 10.2	0,136	0,01	5,28	0,08	0,01428	0,00	
IF24700k	REJA CROMADA Y ALMOHADILLA	0,013	0,00	0,49	0,01	0,00131	0,00	
IC98351k	REJILLAS ALUMINIO	0,015	0,00	3,14	0,05	0,46233	0,07	
UA92400k	REJILLAS FUNDICION	0,023	0,00	0,77	0,01	0,06129	0,01	
IC96700k	REJILLA LAMAS AL. ANODIZADO 250X150 MM	0,001	0,00	0,31	0,00	0,04572	0,01	
IC95700k	REJILLA LAMA CHAPA GALV. 300X200 MM.	0,003	0,00	0,10	0,00	0,00989	0,00	
RW93700k	REMATE PIEDRA CALIZA DE 5 CM ESPESOR	0,898	0,04	0,16	0,00	0,01617	0,00	
PAD0900k	RESINA ACRILICA	0,001	0,00	0,13	0,00	0,01941	0,00	
RS96100k	RODAPIE MARMOL ALTURA 10 CM	0,427	0,02	0,08	0,00	0,00769	0,00	
RS06600k	RODAPIE REBAJADO TERRAZO 40X7 CM. GRANO MEDIO	0,236	0,01	0,54	0,01	0,05103	0,01	
DW91300k	ROTULO DENOMINADOR METACRILATO	0,003	0,00	0,14	0,00	0,02130	0,00	
IF951000k	SIFON BOTELLA INDIVIDUAL DIAM. 40 MM.	0,007	0,00	0,52	0,01	0,07664	0,01	
SS00400k	SUMIDERO SIFONICO DIAM. 140 MM. FUNDICION	0,027	0,00	0,89	0,01	0,07113	0,01	
RP92400k	TABICA MARMOL BLANCO MACAEL 20 MM.	0,306	0,01	0,06	0,00	0,00551	0,00	
RP02600k	TABICA PIEDRA ARTIFICIAL 3 CM.	0,243	0,01	0,56	0,01	0,05258	0,01	
IE11800k	TABLERO AISLANTE	0,001	0,00	0,04	0,00	0,00221	0,00	
SA00700k	TAPA DE HORMIGON ARMADO CON CERCO	0,067	0,00	0,15	0,00	0,01471	0,00	
US92600k	TAPA METALICA 60x45 CM.	0,001	0,00	0,03	0,00	0,00275	0,00	
IF26500k	TAPA SUMIDERO SIFONICO LATON	0,144	0,01	23,10	0,34	2,26368	0,33	
SW00700k	TAPA Y CERCO H. FUNDIDO DIM.60 CM. ROD. MEDIA	0,010	0,00	0,31	0,00	0,02520	0,00	
KM90100k	TAPAJUNTAS MADERA DIMENSIONES MEDIAS	0,418	0,02	0,88	0,01	0,02634	0,00	
QW00800k	TEJIDO ANTIPUNZONAMIENTO 100 GR/M2	0,017	0,00	1,35	0,02	0,19913	0,03	
QW01000k	TEJIDO SEPARADOR 70 GR/M2	0,011	0,00	0,85	0,01	0,12479	0,02	
IV93800k	TELEFONO INTERIOR	0,888	0,08	0,18	0,00	0,82594	0,08	
PT00100k	TEMPLE	1,606	0,08	160,56	2,39	23,69926	3,41	
RT01700k	TENSOR METALICO	0,030	0,00	1,07	0,02	0,08524	0,01	
UJ01800k	TIERRA VEGETAL	0,137	0,01	0,00	0,00	0,00000	0,00	
UE95000k	TUBERIA PVC.LIGERA DIAM.MEDIO 90-160 MM.PARA COND.CABLES	0,010	0,00	0,70	0,01	0,10323	0,01	
IC97300k	TUBO ACERO GALV. SOLDADO UNE 19040	0,009	0,00	0,36	0,01	0,03534	0,01	
IF97000k	TUBO ACERO GALVANIZADO DIAM. MEDIO 1 1/2"-3"	0,100	0,00	3,97	0,06	0,38994	0,06	
IC98400k	TUBO ACERO NEGRO SIN SOLD. UNE 19040 DIA. MEDIOXESP	0,354	0,02	8,63	0,13	0,68958	0,10	
IF98200k	TUBO COBRE DIAM. MEDIO MM.	0,323	0,02	48,44	0,72	4,74693	0,68	
IF98971k	TUBO CORRUGADO P/POLIETILENO DIAM. MEDIO MM.	0,001	0,00	0,05	0,00	0,00793	0,00	
IF06275k	TUBO FLEXIBLE DE 3/4"X 50 CMS.	0,001	0,00	0,06	0,00	0,00887	0,00	
US93600k	TUBO POLIETILENO 20-50 MM.DIAM.EXT	0,005	0,00	0,50	0,01	0,07394	0,01	
IF98952k	TUBO POLIETILENO RETICULADO DIAM.25X2.3 MM.	0,001	0,00	0,08	0,00	0,01227	0,00	
SC90600k	TUBO PVC. DIAM. MEDIO MM. 4KG/CM2.	0,352	0,02	24,65	0,37	3,63914	0,52	
IF99100k	TUBO PVC. DIAM. 32-50 MM	0,129	0,01	9,01	0,13	1,32953	0,19	
IE12100k	TUBO PVC. FLEXIBLE CORRUGADO DIAM. 23MM	0,066	0,00	4,63	0,07	0,68343	0,10	
IE92500k	TUBO PVC. RIGIDO DIAM. MEDIO 13-30 MM.	0,054	0,00	3,76	0,06	0,55530	0,08	
IW94100k	TUBO RECTO D. EXT. MEDIO 406/508X5 MM ACERO ST 37.2	0,001	0,00	0,04	0,00	0,00316	0,00	
UJ91900k	TUTOR DE MADERA ALTURA 2.00-2.75M	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00003	0,00	
RS98100k	UMBRAL DE P.CALIZA CREMA SEVILLA 30X3 CM.	0,070	0,00	0,01	0,00	0,00126	0,00	
IP92200k	VALV.COMPUERTA 50-150MM.HUSILLO ASC.HIER.FUND.BRIDA-C/(3)	0,019	0,00	0,61	0,01	0,04883	0,01	
IP92800k	VALV.RETEN.CLAPETA 50-150MM.HIER.FUND.GUAR.BRONC.PN10 (3)	0,006	0,00	0,19	0,00	0,01518	0,00	
IP14300k	VALVULA COMPUERTA DIAM.MEDIO FUND. BRONCE ROSCA	0,346	0,02	16,22	0,24	1,58691	0,23	
IF90630k	VALVULA DE ESFERA DE LATON DIAM. MEDIO	0,003	0,00	0,43	0,01	0,04185	0,01	
IW95200k	VALVULA DE SEGURIDAD DE LATON DIAM. MEDIO	0,001	0,00	0,18	0,00	0,01749	0,00	
IF30400k	VALVULA DESAGUE FREGADERO C/ TAPON Y CADENILLA	0,001	0,00	0,04	0,00	0,00011	0,00	
IF30600k	VALVULA DESAGUE C/TAPON	0,004	0,00	0,14	0,00	0,00038	0,00	
IP96700k	VALVULA RETENCION DIAM. MEDIO FUND. BRONCE ROSCA	0,001	0,00	0,05	0,00	0,00516	0,00	
IF96270k	VALVULERIA PESO MEDIO	0,207	0,01	9,67	0,14	0,94630	0,14	
KL94300k	VENTANA AL.	0,041	0,00	8,49	0,13	1,24764	0,18	
KL93601k	VENTANA AL LACADO	0,549	0,03	119,70	1,78	17,59663	2,54	

Tomado de: (Mercader & Olivares, 2010)
Los recuadros indican los elementos considerados

6.4 Matriz de impacto del edificio testigo.

F	MATRIZ FINAL: PESO, CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE CO2 POR M2 CONSTRUIDO DEL MCH							
	CÓDIGO	CBMs REPRESENTATIVOS DEL MCH DEFINIDO	PESO MEDIO		CONSUMO ENERGÉTICO		EMISIONES DE CO ₂	
			kg/m ²	% Edif.(1)	MJ/m ²	% Edif.	kgCO ₂ /m ²	% Edif.
VA00800k	VIDRIO IMPRESO 3 A 7 MM	0,110	0,01	1,75	0,03	0,10323	0,01	
CV00200k	VIGUETA AUTORRESISTENTE PRETENSADA	0,286	0,01	1,20	0,02	0,10514	0,02	
CV00300k	VIGUETA SEMIRRESISTENTE DE ARMADURA RIGIDA	2,794	0,14	29,93	0,44	2,45624	0,36	
CV00400k	VIGUETA SEMIRRESISTENTE PRETENSADA	11,554	0,57	46,26	0,69	4,07852	0,59	
PID0400k	WASH PRIMER	0,001	0,00	0,07	0,00	0,01011	0,00	
GY90100k	YESO	13,632	0,67	35,03	0,52	3,26986	0,47	
RP93100k	ZANQUIN MARMOL BLANCO MACAEL	0,033	0,00	0,01	0,00	0,00059	0,00	
TOTALES IMAGEN DE REFERENCIA DEL MCH		2.043,609	100,00	6.729,83	100,00	694,11914	100,00	
TOTALES DEL MCH		2.177,738	kg/m ²	7.164,76	MJ/m ²	739,67654	kgCO ₂ /m ²	

Tomado de: (Mercader & Olivares, 2010)

Los recuadros indican los elementos considerados

6.5. Rendimiento de la madera como combustible.

Tabla 89: Poder calórico medio de diversos combustibles (MJ/kg)⁵⁶

Combustible	PCM
	MJ/kg
corteza escurrida	5,9
serrín húmedo	8,4
hidrógeno	13
viruta seca	13,4
cascarilla de arroz	13,8
madera verde	14,4
celulosa	16,5
papel	17,5
madera seca	19
metanol	19,2
corcho	20,9
alcohol comercial	25
etanol puro	28
coque	31
carbón de madera	32
coque de petróleo	35
alquitrán de madera	36,5
fuel oil nº 2	40,5
fuel oil nº 1	41,5
gas natural	42
gasoleo	42,5
queroseno	44,5
gasolina	45,5
petróleo bruto	46
butano	47
propano	48

Tabla 90: Relación entre PCM y emisiones de diversos combustibles⁵⁷

combustible	PCM	emisiones	Factor de emisión
	A	B	B/A
	MJ/kg	kgCO ₂ eq/kg	kgCO ₂ /MJ
petróleo	35,9	2,60	0,0724
propano	39,4	2,94	0,0746
butano	38,9	2,96	0,0761
carbón	28	2,30	0,0821
gasoleo	35	3,10	0,0886
fueloleo	33,62	3,05	0,0907
madera seca	15,8	1,63	0,1032
viruta seca	10,72	1,14	0,1064

⁵⁶ Fuente: <http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tablas-Tema-3.pdf>

⁵⁷ Fuente: http://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html

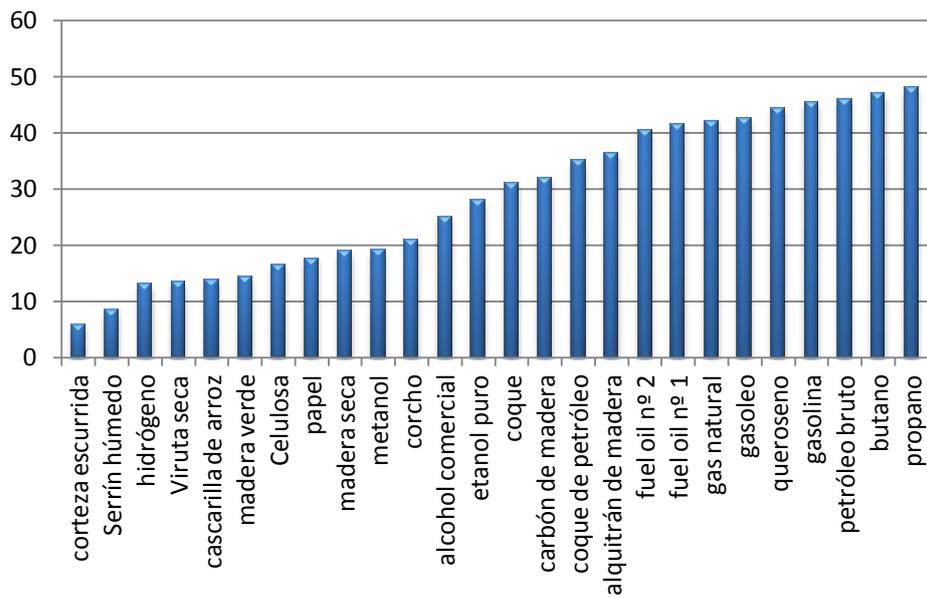


Ilustración 45: Poder calórico medio de diversos combustibles (MJ/kg)

Fuente: <http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tablas-Tema-3.pdf>

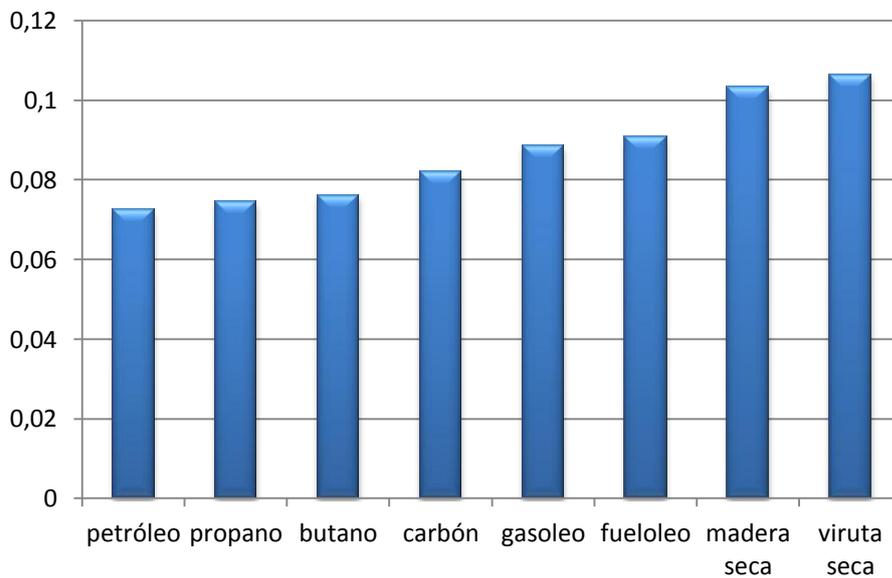


Ilustración 46: Relación entre PCM y emisiones de diversos combustibles

Fuente: http://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html

6.6. Proyecciones al 2050 de madera utilizada, emisiones de CO2 y energía incorporada según escenario.

Con el fin de ver de forma específica la cantidad de madera que se requeriría por tipo de producto de cumplirse las proyecciones contempladas, se tomará como ejemplo los escenarios de combinaciones de materiales contemplados en la sección 3.5.

Según los cálculos efectuados en la sección anteriormente indicada, los escenarios 1 (todo en contralaminados) y 6 (todo en entramados), estaban plenamente caracterizados por cálculos específicos realizados en la sección 3.5 los principales datos a tomar en cuenta serían los siguientes:

Escenario	Volumen total de madera	Volumen unitario de madera
	m ³	m ³ /m ²
1	16,53	0,25
6	14,78	0,14

En cuanto al escenario 7, para el cual no se hicieron cálculos específicos pues no es un caso existente sino un escenario propuesto, a efectos de obtener el volumen pro unidad de área, se hace el cálculo siguiente:

Escenario	Peso unitario	Área promedio	Densidad promedio	Peso promedio	Volumen Promedio	Volumen Unitario
	(kg/m ²)	m ²	kg/m ³	kg	m ³	m ³ /m ²
7	98,41	66,6	525	6554,28	12,48	0,19

En la sección donde se calculó el impacto ecológico y productivo de la demanda de madera para la construcción de VPVP, se propuso un porcentaje de viviendas construidas con madera de 15% en 2015 y de 30% en 2050, por lo tanto, según las premisas propuestas en secciones anteriores de este trabajo, el área total construida con madera en los años 2015 y 2050 podría ser la planteada en la tabla siguiente:

Tabla 91. Proyección de área de VPVP a construir en 2015 y 2050.

Año	viviendas nuevas	Viviendas nuevas madera	viviendas nuevas madera	área promedio	área total construida con madera
	millones	%	millones	m2	millones m2
2015	1,58	15	0,24	85,44	20,25
2050	1,49	30	0,45	68,00	30,40

A partir del área total de VPVP de madera proyectada a ser construida en los años 2015 y 2050, se puede proponer una proyección del volumen de madera que se requeriría para construir las VPVP en esos años dependiendo del escenario de combinación de materiales planteados:

Tabla 92. Proyección de volumen de madera para la construcción de VPVP según escenario. 2015.

Escenario	área total construida con madera	volumen unitario	madera procesada consum.	conversión mad proc/RI	madera RI consumida	madera RI producida	madera RI consumida
	millones m2	m3/m2	millones m3		millones m3	millones m3	% sobre producción
1	20,25	0,25	5,03	2,5	12,56	550	2,28
6	20,25	0,14	2,88	2,5	7,19	550	1,31
7	20,25	0,19	3,80	2,5	9,49	550	1,73

Tabla 93. Proyección de volumen de madera para la construcción de VPVP según escenario. 2050.

Escenario	área total construida con madera	volumen unitario	madera procesada consum.	conversión mad proc/RI	madera RI consumida	madera RI producida	madera RI consumida
	millones m2	m3/m2	millones m3		millones m3	millones m3	% sobre producción
1	30,40	0,27	8,30	2,5	20,75	400	5,19
6	30,40	0,16	4,75	2,5	11,88	400	2,97
7	30,40	0,21	6,27	2,5	15,67	400	3,92

Emisiones de CO2

Tabla 94. Proyección de emisiones según escenario. 2015.

2015	Emis unit	área total construida con madera	emisiones totales
	(kgCO2/m2)	millones m2	millones kgCO2
Esc 1	258,68	20,25	5238,21
Esc 6	36,43	20,25	737,63
Esc 7	133,12	20,25	2695,48

Tabla 95. Proyección de emisiones según escenario. 2050.

2050	Emis unit	área total construida con madera	emisiones totales
	(kgCO2/m2)	millones m2	millones kgCO2
Esc 1	258,68	30,40	7862,74
Esc 6	36,43	30,40	1107,25
Esc 7	133,12	30,40	4046,16

Energía incorporada

Tabla 96. Proyección de energía incorporada según escenario. 2015.

2050	Energía incorporada	área total construida con madera	emisiones totales
	(MJ/m2)	millones m2	TJ
Esc 1	3863,57	20,25	78237,29
Esc 6	1146,23	20,25	23210,27
Esc 7	2050,61	20,25	41523,32

Tabla 97. Proyección de energía incorporada según escenario. 2050.

2050	Energía incorporada	área total construida con madera	emisiones totales
	(MJ/m2)	millones m2	TJ
Esc 1	3863,57	30,40	117437,07
Esc 6	1146,23	30,40	34840,71
Esc 7	2050,61	30,40	62330,26