

## CAPÍTULO 7

# **ANÁLISIS COMPARADO DE CUATRO TIPOS DE CONSTRUCCIÓN MODULAR Y CONVENCIONAL**

## 7.1 Planteamiento



Sistemas constructivos modulares en hormigón (Compact Habit), en madera (Diemodulfabrik KLH) y en acero (Yorkon)

El objetivo del presente capítulo es poder comparar, desde el punto de vista del impacto ambiental y de la capacidad de respuesta a las demandas del cierre del ciclo de los materiales, cuatro alternativas de un mismo edificio tipo que corresponden a cuatro sistemas constructivos diferentes: convencional o habitual, modular basado en hormigón (Compact Habit), modular basado en madera (Diemodulfabrik KLH) y modular basado en acero (Yorkon). Se excluyen de esta etapa del estudio los sistemas basados en aluminio y plástico debido a que, aunque comienzan a tener una cierta presencia en algunos países, no se encuentran suficientemente extendidos en el mercado mundial como para que puedan ser considerados una solución constructiva estándar.

Siguiendo la metodología de análisis ambiental para la vivienda modular y ligera según el cierre del ciclo de los materiales definida en el capítulo anterior el estudio pretende, además de establecer valores de impacto en las distintas etapas del ciclo de vida para cada uno de ellos, detectar los problemas ambientales de los materiales así como pautas para sus posibles oportunidades de mejora. Y ello no para mejorar las soluciones estándar que se analizan, ya que no es éste el objetivo del trabajo, sino para obtener información útil de cara a establecer las estrategias materiales del prototipo modular que deberá definirse en el capítulo siguiente.

Este capítulo, que condensa una buena parte de la valoración cuantitativa de este estudio en forma muy resumida, refiere de forma regular a un anexo donde se encuentra información desarrollada de cada punto. En Anexo 7 Cuadros sobre impacto ambiental de los sistemas constructivos convencional y modulares (320 páginas) se encuentran los valores de peso, energía y emisiones de CO<sub>2</sub> empleados sobre materiales, los criterios de mantenimiento, durabilidad y reposición y, sobre cada uno de los cuatro sistemas constructivos diferentes informes sobre mediciones de construcción; valoración ambiental (peso, energía y CO<sub>2</sub>) de materiales y maquinaria de construcción; toxicidad, intensidad material y reciclabilidad de los materiales de construcción; energía, CO<sub>2</sub> y toxicidad del transporte a obra; generación de residuos, energía, CO<sub>2</sub> y toxicidad del proceso de construcción; configuración térmica de los cerramientos y simulación energética del uso del edificio; mediciones de mantenimiento; valoración ambiental (peso, energía y CO<sub>2</sub>) de materiales de mantenimiento; toxicidad, intensidad material y reciclabilidad de los materiales de mantenimiento; y generación de residuos, energía, CO<sub>2</sub> y toxicidad del proceso de derribo.

De esta manera, el presente capítulo se estructura según los siguientes puntos:

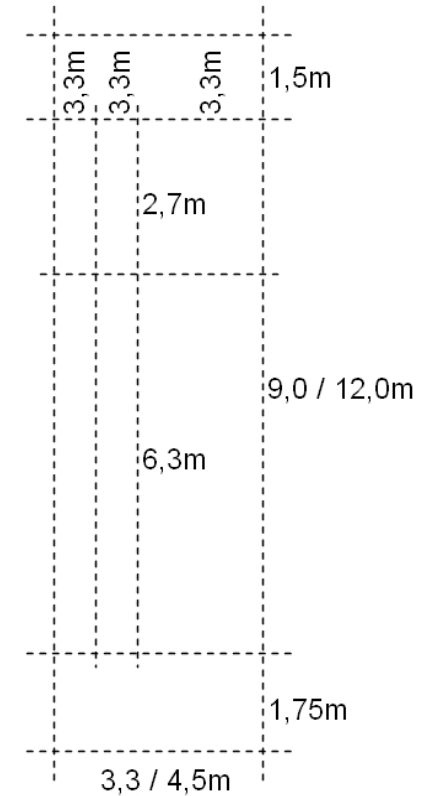
- 7.1 Planteamiento y definición del edificio y de la célula de vivienda a estudiar
- 7.2 Análisis ambiental del sistema constructivo convencional
- 7.3 Análisis ambiental del sistema modular de hormigón armado (Compact Habit)
- 7.4 Análisis ambiental del sistema modular de madera (Diemodulfabrik KLH)
- 7.5 Análisis ambiental del sistema modular de acero (Yorkon)
- 7.6 Análisis ambiental del ciclo de vida, comparando los cuatro sistemas, y conclusiones

El edificio de 2000 m<sup>2</sup> de superficie<sup>1</sup> y la célula tipo que se utilizarán como base para ensayar los cuatro sistemas constructivos representan una de las soluciones que frecuentemente se utilizan en vivienda de promoción pública. La célula de es de superficie reducida y su espacio abierto puede adaptarse a diferentes configuraciones en el tiempo.

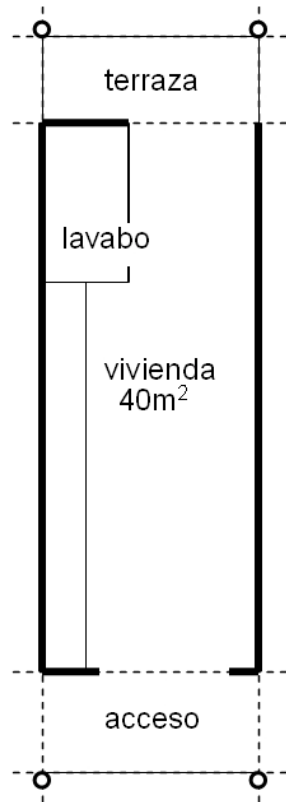
Este tipo de vivienda mínima, a diferencia de otros de superficies mayores y espacios compartimentados que han sido descartados como objeto de estudio, resulta de interés por su potencial de repercusión social. Se trata de una solución bajo coste, que se adapta a muchos tipos de clima y a distintas tecnologías de construcción.

No se trata de una unidad como la que podría estar dedicada a la familia tipo, compartimentada en espacios estructurados e independientes, sino a la que se destina a grupos de una, dos o más personas de edades similares, habitualmente utilizada para los colectivos de jóvenes, gente mayor, inmigrantes recientes, etc., organizada como un gran espacio con servicios que admite posteriores divisiones. De tal forma el planteamiento de su organización espacial, más que a disposición de espacios determinada, refiere al criterio de patrones y soportes planteado por N. Habraken como estructura de la vivienda flexible y adaptable en el tiempo [Habraken 1979]. Para determinar esta tipología, de la que existen distintas variantes, se han consultado publicaciones con documentación de concursos realizados por el Institut Català del Sòl, Incasol [Gencat 2006], el Patronat de l'Habitatge de Barcelona [Ay. Barcelona 2007] y otras recopilaciones de proyectos [Moya 2007].

Como edificio de estudio se ha escogido un proyecto recientemente seleccionado por el Incasol en el denominado Concurso de Innovación Técnica CIT [InCaSol 2008], de 32 viviendas a construirse en Banyoles, Girona, que emplea la tipología de célula de vivienda anteriormente descrita. Se trata de un edificio exento de planta baja más tres superiores, con dos fachadas principales libres con pasillos de acceso y balcones abiertos, soluciones constructivas y acabados de bajo coste, profundidad edificada de entre 10 y 12m, organización de la vivienda en forma transversal a la dirección mayor para favorecer la ventilación cruzada, área habitable de espacio único con cocina integrada a la sala y lavabo (que puede dividirse luego en distintos locales), superficie mínima de célula



Modulación de la célula de vivienda de 40m<sup>2</sup> que se utilizará en el análisis ambiental de los distintos sistemas constructivos.



Célula de vivienda de 40m<sup>2</sup> que se utilizará en el análisis ambiental de los distintos sistemas constructivos.

(aproximadamente 40m<sup>2</sup>), repetición de ésta para adaptarse a distintos solares mediante la adición o resta de unidades y sin espacios para coches.

Además de representar una solución de proyecto suficientemente extendida, este edificio y esta célula tipo han sido escogidos por ciertas características de interés para este estudio: puede ser realizado con cualquiera de los sistemas constructivos mencionados, se adapta a diversas densidades urbanas, tejidos edificatorios y tipos de solar, por prescindir de parking no alienta la utilización del coche, no requiere construcción bajo rasante, en el caso de los sistemas modulares su bajo peso le permite soportarse mediante cimentaciones superficiales, no necesita soluciones estructurales especiales, y posee una baja altura que permitiría prescindir del ascensor, aunque se incluye uno para eliminación de barreras arquitectónicas y porque la normativa actual<sup>2</sup> lo exige.

Basándose en valores estadísticos extraídos del análisis de partidas en edificios de similares características al que se estudiará [SaAS et al. 2007], se han determinado las repercusiones de los materiales más usuales en las instalaciones<sup>3</sup> que representan un peso de 83,75kg/m<sup>2</sup>, una energía de fabricación de 587,59MJ/m<sup>2</sup> y unas emisiones de efecto invernadero de 73,23kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Estos valores se utilizarán de manera común a los cuatro casos de edificio tipo en los siguientes subsistemas. Los subsistemas de instalaciones son: saneamiento y aguas grises, red de agua fría y caliente sanitarias, electricidad y alumbrado, combustibles, climatización y ventilación, audiovisuales y protección contra incendios. Otro elemento común del edificio y que por tanto no cambia entre un sistema constructivo y otro es el equipamiento de la cocina y el mobiliario fijo de la célula de vivienda, que serán determinados a partir del conteo de materiales correspondiente a la solución estándar de hormigón y repetidos en el resto de los casos. Esto obedece a dos motivos: ha sido determinado que los criterios de selección de materiales de instalaciones y mobiliario son independientes de cada uno de ellos y se ha planteado que el estudio de las mejores opciones para estos casos sea abordado en el capítulo siguiente, dedicado al prototipo modular optimizado.

Los puntos 7.2 a 7.6, que siguen a continuación, comienzan por definir cada sistema constructivo (convencional y modulares de hormigón, acero y madera) correspondiente a cada versión de edificio a evaluar. Esto se hace mediante la descripción de sus partes componentes, de la que puede consultarse información más detallada en las mediciones y presupuestos que se incluyen en el Anexo 7. A partir de ello se inicia la exposición del análisis ambiental por medio de cuadros y gráficos de los valores calculados para los distintos impactos ambientales que han sido determinados para cada etapa del ciclo de vida, los cuales se analizan y comentan.

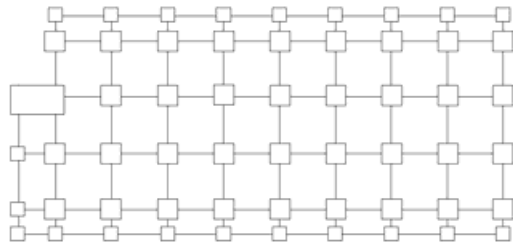
Todas las tablas han sido elaboradas como parte de esta investigación.

## Tipología del edificio de estudio

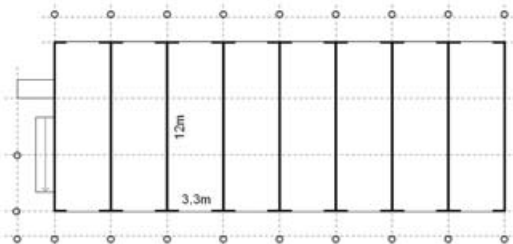
### Convencional y hormigón armado



Modulación en planta



Planta de cimentaciones

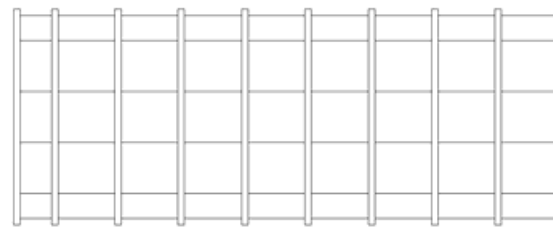


Planta tipo

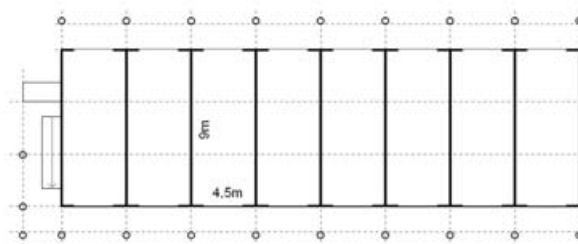
### Madera y acero



Modulación en planta

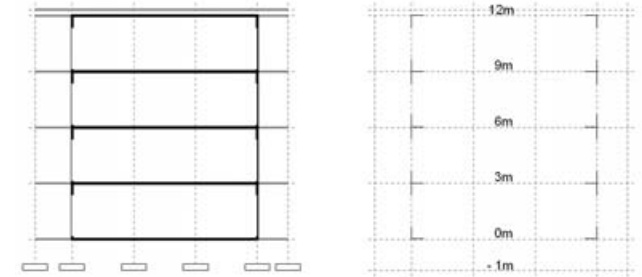


Planta de cimentaciones

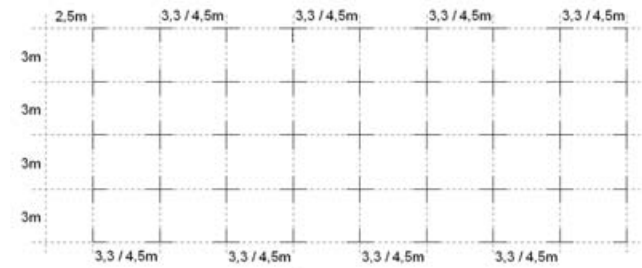


Planta tipo

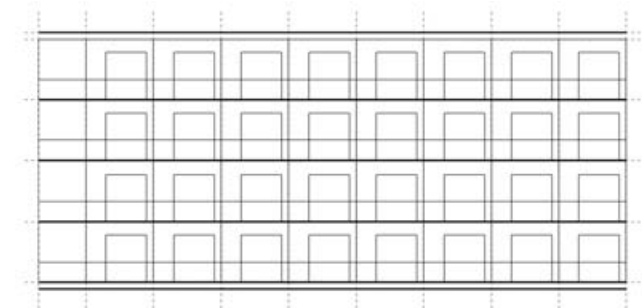
### Esquemas comunes



Sección transversal



Modulación sección longitudinal



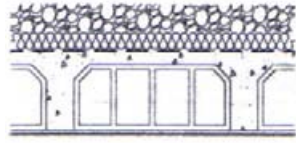
Alzado longitudinal (acceso)

## 7.2 Sistema constructivo convencional

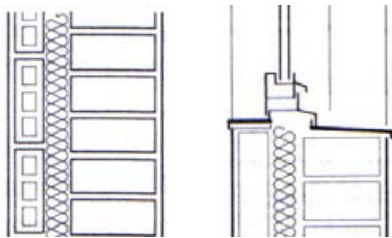
El sistema convencional, que representa las técnicas constructivas más difundidas en la construcción de edificios de vivienda de obra nueva en Cataluña, muy similar a la de otras partes de España, prácticamente no incluye ningún elemento prefabricado sino que su proceso se basa en la adición de materiales y componentes mediante un intenso trabajo manual y mecánico en obra.

Para determinar esta solución estándar, que puede presentar ligeras variaciones según el caso que se considera, han sido consultados diversos estudios así como también han sido entrevistados profesionales con larga experiencia en ejecución de obra de vivienda plurifamiliar de promoción pública o privada de coste mediano o bajo. A partir de ello ha podido determinarse, para el caso de un edificio como el que se estudia, que las técnicas y los materiales más usuales son los siguientes:

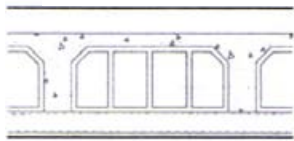
- Cimentaciones con zapatas y vigas de encadenado de hormigón armado.
- Estructura de pilares, vigas y forjados reticulares (25+5cm) de hormigón armado.
- Fachadas de muro de ladrillo perforado de 14cm revocado con mortero monocapa, cámara de aire con aislamiento térmico y tabique interior de ladrillos extrudidos de 4cm espesor).
- Aislamientos térmicos de plancha de poliestireno expandido.
- Cubierta plana sobre forjado superior tipo invertida, impermeabilizada con láminas bituminosas acabada con capa de grava.
- Carpinterías exteriores de perfiles de aluminio anodizado con rotura de puente térmico.
- Carpinterías interiores de marcos y hojas de madera y paneles aglomerados.
- Persianas de aluminio lacado con aislamiento térmico de espuma de poliuretano.
- Vidrios cámara 4+4/20/6 en carpinterías exteriores.
- Paredes interiores enyesadas, revestimiento de gres porcelánico en baños, y techos de placas de cartón yeso.
- Pintura plástica sobre paramentos verticales y horizontales interiores.
- Pavimento interior de terrazo y exterior de gres extruido esmaltado.
- Barandillas de estructura de acero galvanizado y cerramiento de vidrio laminado 5+5.
- Estructura de perfiles de acero galvanizado y chapa colaborante en el espacio de comunicaciones.
- No se consideran las particiones interiores debido a que el edificio a estudiar no las tiene, aunque de haberlas éstas serían de ladrillo cerámico hueco de entre 6 y 7cm de espesor, enyesado por ambas caras.



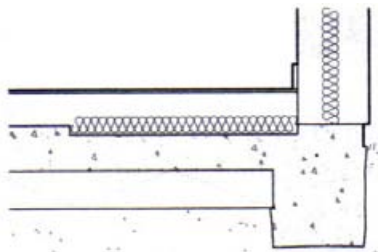
Cubierta invertida



Muros exteriores de doble hoja



Forjado reticular



Solera sobre capa de grava

Detalles constructivos del sistema convencional.  
CTE-HE Ahorro de energía. Aplicación a edificios de uso residencial Vivienda-DAV. Monografías CTE. 2da edición revisada. Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.

**Fase 1/6 Extracción y fabricación de materiales: repercusión de subsistemas**

Subsistemas	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%
Replanteo y movimiento de tierras	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Cimentaciones y muros de contención	393,56	26,87%	289,57	5,38%	40,07	6,67%
Espacios comunes	41,71	2,85%	306,22	5,69%	30,62	5,10%
Estructuras	539,37	36,83%	1.448,21	26,92%	139,95	23,31%
Cubierta	45,39	3,10%	156,1	2,90%	25,6	4,26%
Fachada principal	75,62	5,16%	168,97	3,14%	15,7	2,61%
Divisiones y elementos inter. primarios	87,68	5,99%	149,16	2,77%	14,26	2,37%
Acabados exteriores	10,46	0,71%	9,01	0,17%	1,05	0,17%
Acabados interiores	159,73	10,91%	464,81	8,64%	52,36	8,72%
Cerramientos int. y ext. secundarios	36,48	2,49%	1.404,87	26,11%	173,69	28,92%
Saneamiento y aguas grises*	27,88	1,90%	143,48	2,67%	18,99	3,16%
Red de agua fría y caliente*	2,89	0,20%	70,14	1,30%	8,78	1,46%
Electricidad e iluminación*	19,66	1,34%	213,69	3,97%	25,24	4,20%
Gas/Combustible*	0,024	0,00%	3,47	0,06%	0,36	0,06%
Climatización/Ventilación*	4,34	0,30%	205,45	3,82%	21	3,50%
Audiovisuales*	0,77	0,05%	16,21	0,30%	2,36	0,39%
Aparatos de elevación	0,71	0,05%	50,6	0,94%	4,87	0,81%
Protección contra incendios*	0,042	0,00%	3,43	0,06%	0,46	0,08%
Equipamiento fijo	18,23	1,24%	276,89	5,15%	25,13	4,18%
<b>Total</b>	<b>1.464,55</b>	<b>100,00%</b>	<b>5.380,28</b>	<b>100,00%</b>	<b>600,49</b>	<b>100,00%</b>

\* Valores estadísticos [SaAS et al. 2007]

Los indicadores de peso, energía y emisiones son próximos a los valores que pueden encontrarse en otros estudios de edificios construidos con sistemas constructivos convencionales (entre 1.500 y 2.000 Kg/m<sup>2</sup>, 6.000 MJ/m<sup>2</sup> y 600 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). Quizás algo menores, por tratarse de un edificio de planta racional y sin particiones interiores. La repercusión de los capítulos donde se concentra el hormigón armado, las cimentaciones y las estructuras, es significativa, reuniendo alrededor del 50% del peso y el 30% de la energía y las emisiones. Otros capítulos que concentran impacto ambiental son los cerramientos practicables, resueltos con carpinterías de aluminio lacado, con más de una cuarta parte de la energía y emisiones respectivamente.

Por último, los acabados interiores (pavimentos y revestimientos donde predomina el yeso y los pétreos artificiales) que representan aproximadamente un 10% en cada indicador.

**Intensidad material MIPS**

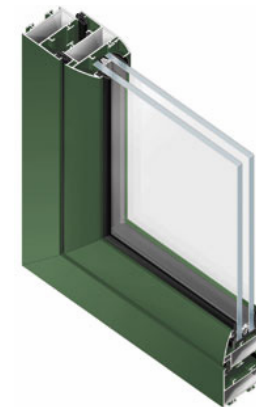
Materiales contados: 1.460,74kg/m<sup>2</sup>  
(99,75% del total)

MIPS A+B: 1,77 kg-recursos/kg  
MIPS Agua: 9,53 l/kg

**Toxicidad**

Materiales contados 1460,74 Kg/m<sup>2</sup>  
(99,75% del total)

Tox. ambiental: 40.311,50 ECAKg/m<sup>2</sup>  
Tox. humana: 6,79 HCA+HCWkg/m<sup>2</sup>



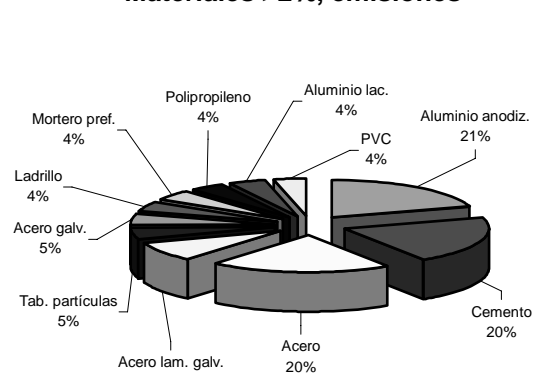
Ventana FB Topaz de Technal, representativa del tipo contemplado en este estudio.

**Fase 1/6 Extracción y fabricación de materiales: Material reciclado y material reciclable**

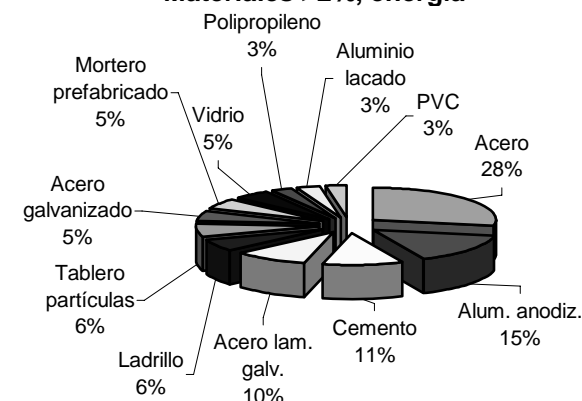
<b>Materiales &gt; al 1% en Kg, MJ o CO<sub>2</sub></b>		<b>Forma usual</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Reciclado %</b>	<b>Reciclable %</b>
Acero	11% Cimentaciones, 3% Esp. Comunes, 41% Estructuras	Perfiles y barras	32,87	13,15	40
Acero esmaltado	100% Cerram. ext. secund.	Puertas	2,25	0,90	40
Acero galvanizado	28% Estructuras, 28% Acab. int, 26% Cerram. ext. secund	Chapas y perfiles	5,49	2,20	40
Acero laminado galvanizado	58% Esp. comunes, 39% Cerram. ext. secund., 3% Equip. fijo	Chapas y perfiles	10,7	4,28	40
Agua	25% Cimentaciones, 32% Estructuras, 21% Acab. interiores	De red	93,93	0,00	0,00
Aluminio anodizado	99% Cerram. ext. secundarios	Carpinterías	2,77	0,55	20
Aluminio lacado	100% Cerram. ext. secund.	Chapas y perfiles	0,56	0,11	20
Árido	40% Cimentaciones, 41% Estructuras, 7% Acab. interiores	A granel	863,94	0,00	0,00
Cemento	30% Cimentaciones, 37% Estructuras, 13% Acab. interiores	Sacos paletizados	121,10	0,00	0,00
Cerámica esmaltada	100% Acab. interiores	Baldosas paletizadas	4,96	0,00	0,00
Cobre recocido	99% Inst. elec., 1% Int. audiovis.	Cajas de cable y accesorios	0,45	0,23	50
Ladrillo cerámico	51% Fach. principal, 49% Div. y elem. int.	Ladrillos paletizados	110,45	0,00	0,00
Mortero prefabricado	100% Estructuras	Casetones paletizados	90,27	0,00	0,00
Neopreno	100% Cerram. ext. secund.	Planchas y rollos	0,67	0,00	0,00
Poliestireno extruido	100% Cubierta	Planchas	0,59	0,00	0,00
Polipropileno	70% Saneam., 20 Red agua fría, 10% Cubierta	Tubos y accesorios	1,54	0,00	0,00
PVC	55% Inst. elec., 18% Inst. audiovis., 15% Cubierta	Cajas de cable y accesorios	1,63	0,00	0,00
Tablero de partículas de madera	100% Equip. fijo	Mobiliario	16,98	0,00	0,00
Terrazo	100% Acab. interiores	Baldosas paletizadas	42,51	0,00	0,00
Yeso	100% Acab. interiores	Sacos paletizados	16,60	0,00	0,00
<b>Total (kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>1420,26</b>	<b>21,4</b>	<b>21,4</b>
			<i>materiales contados</i>	<i>97%</i>	<i>1%</i>

Los materiales que mayor carga de impacto ambiental concentran son los aceros, que llegan a representar hasta un tercio de la energía, los aluminios, con cerca del 20% y el cemento que se sitúa en alrededor del 15%. En el caso de las emisiones los porcentajes cambian ligeramente aunque la tendencia es la misma. Si se los mira a través del indicador de peso, en cambio, el árido concentra casi el 60% y el cemento, el único significativo en todos los indicadores, un 10%. Les sigue el ladrillo cerámico con un 7,5% y luego el agua y el mortero prefabricado con el 6%. La cantidad de material reciclado (antes de entrar a obra y de material reciclable (después del derribo) son muy bajas, representando apenas el 1% del total respectivamente.

**Materiales >2%, emisiones**



**Materiales >2%, energía**





### Fase 2/6 Transporte de materiales a obra

Material	Forma predominante	Peso transp.	Densidad	Dens. corr. <sup>[4]</sup>	Vol. transp.	Cam./dist.	Consumo <sup>[6]</sup>	
		Tm	Tm/m <sup>3</sup>	Tm/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	u/km	litros gasoil	%
Acero	Perfiles y barras	56,14	7,85	5,50	10,22	763	228,94	2,59%
Acero esmaltado	Puertas	3,83	7,85	0,79	4,88	217	65,13	0,74%
Acero galvanizado	Chapas y perfiles	9,38	7,85	3,93	2,39	436	130,93	1,48%
Acero lam. galvanizado	Chapas y perfiles	18,28	7,85	3,93	4,66	430	129,03	1,46%
Agua	De red	...	...	...	...	...	...	...
Aluminio anodizado	Carpinterías	4,72	2,70	0,81	5,83	88	26,35	0,30%
Aluminio lacado	Chapas y perfiles	0,96	2,70	1,89	0,51	50	14,91	0,17%
Árido <sup>[3]</sup>	A granel	1475,61	1,50	1,20	1229,68	16283	4884,85	55,28%
Cemento <sup>[3]</sup>	Sacos paletizados	206,85	1,60	1,28	161,60	3472	1041,65	11,79%
Cerámica esmaltada	Baldosas paletizadas	8,47	1,80	1,44	5,88	257	77,09	0,87%
Cobre recocido	Cajas de cable y acc.	0,77	8,90	4,45	0,17	31	9,17	0,10%
Ladrillo cerámico	Ladrillos paletizados	188,65	1,80	1,44	131,00	2885	865,57	9,80%
Mortero prefabricado	Casetones paletizados	154,18	2,00	0,60	256,97	1998	599,32	6,78%
Neopreno	Planchas y rollos	1,14	1,20	0,84	1,36	54	16,13	0,18%
Poliestireno extruido	Planchas	1,01	0,03	0,02	41,99	70	20,92	0,24%
Polipropileno	Tubos y accesorios	2,63	0,94	0,19	13,99	255	76,45	0,87%
PVC	Cajas de cable y acc.	2,78	1,35	0,68	4,12	65	19,62	0,22%
Tablero part. madera	Mobiliario	29,00	0,80	0,16	181,26	370	111,01	1,26%
Terrazo	Baldosas paletizadas	72,61	2,50	2,00	36,30	921	276,21	3,13%
Yeso	Sacos paletizados	28,35	1,25	1,00	28,35	809	242,80	2,75%
							<b>8836,06</b>	<b>100%</b>

En el transporte han sido tenidos en cuenta un par de aspectos fundamentales: a) que los materiales realizan dos tipos de trayectos, entre la fábrica y el almacén regional y entre éste y la obra b) que el origen de los materiales resulta muy difícil de determinar. A partir de estas premisas ha sido realizada una aproximación de cargas a partir del peso de los materiales, de los volúmenes efectivos a transportar, de la procedencia de los materiales, de la cantidad de envíos, del porcentaje de carga efectiva de los camiones, de los retornos con o sin carga, etc., de la que se ofrece más información en el Anexo 7.

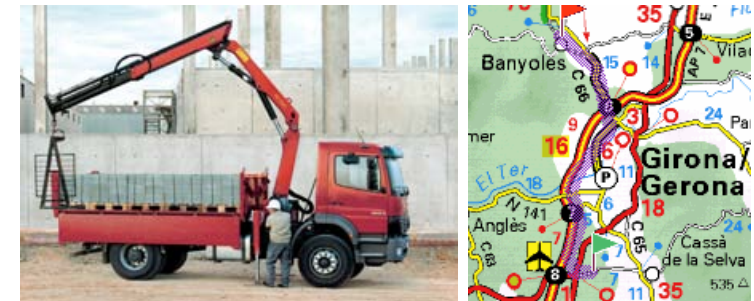
#### Resumen de indicadores

Igasoil/m<sup>2</sup> 4,36  
 MJ/m<sup>2</sup> 188,22  
 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> 15,01

Tox. amb. ECAKg/m<sup>2</sup> 438,56  
 Tox. hum. HCA+HCWkg/m<sup>2</sup> 0,0941

Los materiales con mayor repercusión son los áridos (55%), el cemento (11%), el ladrillo (10%) y los casetones (7%), debido a su utilización intensiva en el sistema constructivo y a sus elevados volúmenes y pesos.

En estos materiales las distancias tenidas en cuenta son cortas (70-100 km) porque su procedencia suele ser local. Si los recorridos se doblaran sólo en ellos, el aumento en el consumo de energía y emisiones sería de más de un 50%. Si el ladrillo, como suele suceder en muchos casos, por ejemplo en obras realizadas en Cataluña con material traído de Andalucía, fuera transportado 1.000 km el aumento del gasto de energía y emisiones totales también sería de más del 50%.



### Fase 3/6 Construcción: Energía y emisiones

Subsistemas <sup>[1]</sup>	MJ <sub>gasoil</sub>	MJ <sub>electricidad</sub>	kgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>	kgCO <sub>2</sub> <sub>electricidad</sub>
Replanteo y movimiento de tierras	22.342,69	...	1.781,21	...
Cimentaciones y muros de contención	1.137,06	...	90,65	...
Espacios comunes	617,85	0,60	49,26	0,04
Cubierta	...	1.270,85	...	88,12
Fachada principal	...	36,22	...	2,51
Divisiones y elementos interiores primarios	...	57,74	...	4,00
Acabados interiores	...	93,83	...	6,51
Cerramientos int. y ext. secundarios	...	1.765,89	...	122,44
<b>Otros consumos</b>				
Grúa de 30m de pluma, 40m de altura y 2t de peso en punta. 39.780,00MJ/mes electricidad, 5.799,92 KgCO <sub>2</sub> /mes electricidad. Tiempo de uso: 12 meses. <sup>[2]</sup>	...	477.360,00	...	33.099,00
Montaje/desmontaje grúa 30m de pluma, 40m de altura y 2t de peso en punta <sup>[3]</sup>	9.969,23	...	794,77	...
Transporte de grúa 3m de pluma, 40m de altura y 2t de peso en punta <sup>[4]</sup>	1.290,28	...	102,86	...
Carga y transporte de residuos de construcción a vertedero o centro de recogida y transferencia, 15 km, camión de 7 t, cargado con medios manuales. 833,51MJ/m <sup>3</sup> y 217,71KgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> . Volumen: 236,49m <sup>3</sup> Peso: 254,15tm <sup>[5]</sup>	197116,78	...	51486,24	...
<b>Totales (energía primaria)</b>	<b>232.473,89</b>	<b>480.585,13</b>	<b>54.304,99</b>	<b>33.322,62</b>

<sup>[1]</sup> Se excluyen los subsistemas que no registran energía o emisiones s/PR/PCT y TCQ 2000 del ITeC. Los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> han sido corregidos de acuerdo con los coeficientes de paso que emplea el programa CALENER GT elaborados por el IDAE adaptados, en el caso de la electricidad, a valores de energía primaria.

<sup>[2]</sup> Valores extraídos de la partida C150G112 del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[3]</sup> Idem partida C150G212, <sup>[4]</sup> partida C150G312, <sup>[5]</sup> partida E2R64039

	Energía	Emisiones	Tox. amb.	Tox. hum.
	MJ	kgCO <sub>2</sub>	ECAKg/m <sup>2</sup>	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>
<b>Total/m<sup>2</sup></b>	<b>360,78</b>	<b>43,21</b>	<b>985,13</b>	<b>0,6971</b>

En las tareas de construcción in situ en que no interviene maquinaria de cierto porte (grúas, volquetas, cargadoras, etc.) no se tienen en cuenta repercusiones de energía y emisiones. La aportación de energía manual no se tiene en cuenta debido a dificultades metodológicas (no resulta sencillo determinar la parte del consumo de energía de un ser humano estrictamente relacionada con su trabajo de aquella necesaria para el resto de sus actividades), así como a su escasa repercusión frente a la maquinaria.

El gasto energético de mayor importancia es la grúa de obra que acompaña todo el proceso de construcción, seguido por la carga y transporte de residuos de obra a vertedero y las excavaciones, el movimiento y el transporte de tierras de las cimentaciones.



**Fase 3/6 Construcción: Residuos in situ**

Grupo de residuos		Estructuras <sup>[1]</sup>	Cerramientos <sup>[1]</sup>	Acabados <sup>[1]</sup>	Totales <sup>[1]</sup>		Reciclaje <sup>[1]</sup>		Residuos		
		t	t	t	t	%	% hab.	t	% obra	t	%
Inertes No especiales	Pétreos	6,84	138,87	65,40	211,11	83,07%	0	0,00	0,00%	211,11	83,07%
	Yeso	0,00	0,00	14,60	14,60	5,75%	0	0,00	0,00%	14,60	5,75%
	Papel/cartón	0,09	0,47	0,67	1,23	0,48%	90	1,11	0,44%	0,12	0,05%
	Plásticos	0,26	0,31	0,99	1,56	0,61%	50	0,78	0,31%	0,78	0,31%
	Madera	6,18	1,17	2,84	10,19	4,01%	50	5,09	2,00%	5,09	2,00%
	Metales	4,87	2,23	8,11	15,21	5,98%	90	13,69	5,39%	1,52	0,60%
Especiales	Especiales	0,03	0,11	0,10	0,24	0,10%	0	0,00	0,00%	0,24	0,10%
<b>Totales</b>		<b>18,26</b>	<b>143,16</b>	<b>92,72</b>	<b>254,15</b>	<b>100,00%</b>	<b>20,67</b>	<b>8,13%</b>	<b>233,48</b>	<b>91,87%</b>	
<b>Total, kg/m<sup>2</sup></b>					<b>125,32</b>		<b>10,2</b>		<b>115,13</b>		

<sup>[1]</sup> Las cantidades de residuos generados han sido obtenidas mediante la utilización del Programa de ayuda a la realización del Plan de gestión de residuos, versión 1.0 que forma parte del Proyecto Life 98/351 sobre minimización i gestión de residuos de la construcción realizado por el ITeC en 2000, de libre uso. Se considera que la tierra de excavación es reaprovechada en la propia obra o bien en otra localización y por tanto no se la considera como residuo.

<sup>[2]</sup> Aunque pueda no ser el caso más frecuente, se considera un escenario de buena práctica de gestión de residuos de construcción in situ. Separación selectiva en 7 fracciones empleándose porcentajes de reciclaje efectivo usuales en el mercado: 0% para los áridos y los yesos por tratarse de escasos volúmenes de material mezclado (en todo caso podrán infraciclar), 50% para los plásticos y las maderas considerando una buena separación y su entrega a recicladores, 0% para los especiales (materiales peligrosos, contaminantes y pequeñas fracciones difíciles de valorizar) y 90% para los metales, entre los que predomina el acero cuyo reciclaje se encuentra muy extendido, y para el papel y el cartón por ser ésta una fracción común en los RSU (residuos sólidos urbanos) ya que cuenta con una amplia estructura que permite su reciclaje.

La determinación de los residuos generados se basa en estadísticas de seguimiento de obras de construcción de edificios de viviendas que utilizan sistemas constructivos convencionales realizados como parte del Proyecto Life 98/351, que han sido aplicadas al caso de estudio. Otro método posible es el cálculo mediante datos ambientales de las partidas de construcción del Banco PR/PCT del ITeC, que no ha sido tenido en cuenta ya que al momento de la realización de este estudio se encontraban en revisión y actualización.

La cantidad de residuos relacionada con la superficie del edificio, 125 Kg/m<sup>2</sup>, resulta significativa. Comparada con el peso de ciertos sistemas constructivos ligeros (por ejemplo el Spacebox reseñado en el capítulo 5, de 135 kg/m<sup>2</sup>) resulta prácticamente equivalente. Es de destacar que aun habiendo previsto un escenario de separación selectiva la cantidad de residuos que logran reciclarse es muy baja, apenas un 8% que se sitúa dentro de los rangos estadísticos de Cataluña. El resto, un 92% del material, tiene destino en vertederos controlados.



Las principales dificultades que existen para aumentar la proporción de materiales que se reciclan se centran en conseguir fracciones suficientemente puras y volúmenes significativos.

### Fase 4/6 Uso: Energía y emisiones a 50 años

Uso	Demanda		Dem CTE <sup>[7]</sup> est/ref en %	Consumo (energía primaria) <sup>[8]</sup>				Superficie 31u x 40m <sup>2</sup>	Usuarios <sup>[9]</sup> 3pers. x 31u	Vida útil <sup>[10]</sup> años	Consumo vida útil	
	MJ/m <sup>2</sup> /año	%		MJ/m <sup>2</sup> /año	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%				MJ/m <sup>2</sup>	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Calefacción <sup>[1]</sup>	189,00	46,8%	104,7	198,94	57,3%	11,27	33,9%	1280	93	50	9947,21	563,68
Refrigeración <sup>[2]</sup>	27,16	6,7%	67,0	14,29	4,1%	2,58	7,8%	1280	93	50	714,74	128,85
Agua cal. sanit. <sup>[3]</sup>	92,16	22,8%	...	38,80	11,2%	2,20	6,6%	1280	93	50	1940,21	109,95
Iluminación <sup>[4]</sup>	7,42	1,8%	...	7,42	2,1%	1,34	4,0%	1280	93	50	370,80	66,85
Cocina <sup>[5]</sup>	42,01	10,4%	...	42,01	12,1%	7,57	22,8%	1280	93	50	2100,60	378,69
Electrodomésticos <sup>[6]</sup>	45,76	11,3%	...	45,76	13,2%	8,25	24,8%	1280	93	50	2287,80	412,44
<b>Total</b>	<b>403,50</b>	<b>100,0%</b>		<b>347,23</b>	<b>100,0%</b>	<b>33,21</b>	<b>100,0%</b>			(final)	<b>17361,36</b>	<b>1660,45</b>
<b>Climatizac. + ACS</b>	<b>308,32</b>			<b>252,04</b>	(final)	<b>16,05</b>				(final)	<b>12602,16</b>	<b>802,47</b>
<b>Climatizac. + ACS</b>				<b>277,29</b>	(primaria)					(primaria)	<b>13864,62</b>	<b>802,47</b>

**Tox. amb. 9773,6** ECA kg/m<sup>2</sup>

**Tox. hum. 5,496** HCA+HCW kg/m<sup>2</sup>

<sup>[1]</sup> Calculada para el edificio de estudio con el programa LIDER (CTE-DBHE1) y contrastada con el programa Ecotect, edificio en zona climática C2 Banyoles

<sup>[2]</sup> Calculada para el edificio de estudio con el programa LIDER (CTE-DBHE1) y contrastada con el programa Ecotect, edificio en zona climática C2 Banyoles

<sup>[3]</sup> Valor estándar de demanda calculado en base a las exigencias normativas estatal y autonómica (CTE-DBHE4 y DE) suponiendo una ocupación de tres personas por vivienda. En consumo se considera que, de acuerdo a las exigencias de las normativas, el 60% de la energía es aportada por fuentes solares.

<sup>[4]</sup> Demanda/consumo de electrodomésticos reducida sobre valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000, [Mañá et al. 2003] por utilización de fuentes de luz de bajo consumo.

<sup>[5]</sup> Demanda/consumo en hogares según valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000 [Mañá et al. 2003].

<sup>[6]</sup> Demanda/consumo de electrodomésticos reducida respecto de los valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000 [Mañá et al. 2003], utilización de lavadoras y lavavajillas bitérmicas.

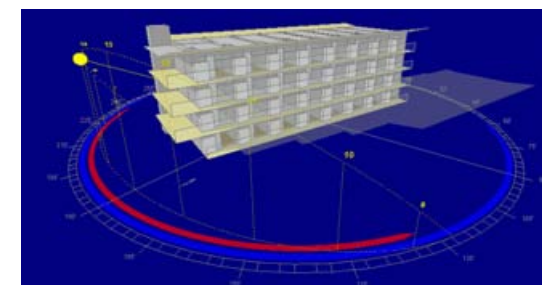
<sup>[7]</sup> Comparación de la demanda del edificio de estudio respecto del de referencia (o de cumplimiento normativo) definido por el programa LIDER (CTE-DBHE1)

<sup>[8]</sup> Suponiendo calderas de gas centralizadas de rendimiento medio 95% en calefacción y ACS y bombas de calor individuales con COP: 1,9 en refrigeración, según Memoria de Cálculo de la Opción Simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas. Para la conversión de la energía final a CO<sub>2</sub> primaria han sido utilizados los coeficientes de paso que emplea el programa CALENER GT elaborados por el IDAE de 0,204 kgCO<sub>2</sub>/kWh en el caso del gas (calefacción y ACS) y 0,649 KgCO<sub>2</sub>/kWh en el caso de la electricidad (resto de usos).

<sup>[9]</sup> El decreto de mínimos de habitabilidad de Cataluña fija una superficie mínima de 10m<sup>2</sup>/persona. En este caso han sido consideradas 3 personas por vivienda (13,33m<sup>2</sup>/persona).

<sup>[10]</sup> 50 años es un período de tiempo usual en análisis de ciclo de vida de edificios, aunque en algunos casos se suele utilizar 60 y hasta 75 años.

Las relaciones proporcionales entre los distintos usos energéticos del edificio, cuya localización se supone en zona C2 (Banyoles) no se alejan de las medias del IDAE para toda España, siendo el más significativo de ellos la calefacción, seguido del calentamiento de agua de uso sanitario. También son importantes la cocina y los electrodomésticos, más relacionados con los usuarios que con el edificio y no tenidos en cuenta en el resumen del ciclo de vida. Otra simulación realizada en zona B4 (Sevilla) ha dado como resultado una reducción total de la demanda del un 15%, así como variaciones relativas de la refrigeración y la calefacción, que pasan del 85% al 33% y del 15% al 67% respectivamente entre una y otra localización.

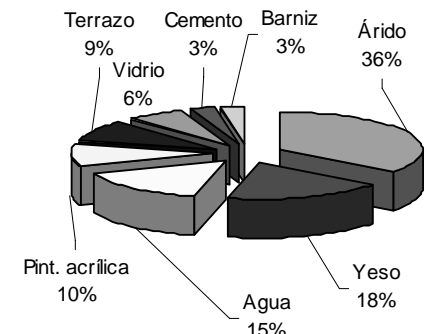


Edificio de estudio simulado con el programa Ecotect, en situación de invierno.

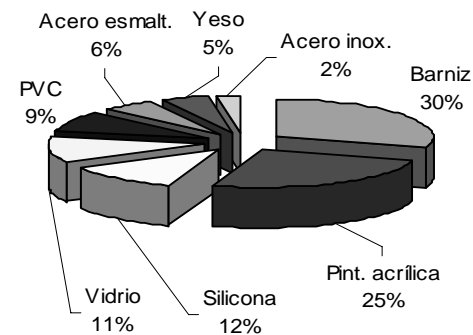
**Fase 5/6 Mantenimiento: Repercusión por subsistemas e indicadores a 50 años**

Subsistema	Peso		Energía		Emisiones	
	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%
Espacios comunes	1,8100	4,40%	16,69	4,07%	2,1300	4,11%
Cubierta	5,3800	13,08%	33,55	8,19%	4,8900	9,43%
Divisiones y elementos int. prim.	0,4400	1,07%	0,20	0,05%	0,0180	0,03%
Acabados exteriores	1,7000	4,13%	10,51	2,56%	1,5100	2,91%
Acabados interiores	25,0600	60,94%	171,61	41,87%	22,5400	43,48%
Cerramientos exteriores e inter.	6,4800	15,76%	158,76	38,74%	18,9400	36,53%
Red de agua fría y caliente	0,0020	0,00%	0,25	0,06%	0,0250	0,05%
Electricidad e iluminación	0,0014	0,00%	0,13	0,03%	0,0180	0,03%
Climatización / Ventilación	0,0350	0,09%	3,18	0,78%	0,3300	0,64%
Audiovisuales	0,0002	0,00%	0,02	0,00%	0,0022	0,00%
Aparatos de elevación	0,2100	0,51%	14,92	3,64%	1,4400	2,78%
	<b>41,1200</b>	<b>100,00%</b>	<b>409,82</b>	<b>100,00%</b>	<b>51,8432</b>	<b>100,00%</b>

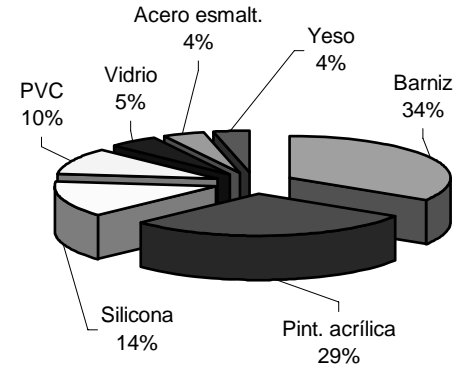
**Materiales >2%, peso**



**Materiales >2%, energía**



**Materiales >2%, emisiones**



**Intensidad material MIPS**  
 Materiales contados: 41,12kg/m<sup>2</sup>  
 (100% del total)  
 MIPS A+B: 1,43 kg-recursos/kg  
 MIPS Agua: 11,68 l/kg

**Toxicidad**  
 Materiales contados: 41,12kg/m<sup>2</sup>  
 (100% del total)  
 Tox. ambiental: 726,92 ECA Kg/m<sup>2</sup>  
 Tox. humana: 0,20 HCA+HCW kg/m<sup>2</sup>

El cálculo del consumo de materiales ha sido realizado teniendo en cuenta una vida útil de 50 años y los criterios técnicos establecidos en las Fichas Técnicas de Mantenimiento del ITeC [ITeC 1991], en sus valores medios. Para obtener los valores de peso, energía y emisiones han sido utilizados el banco PR/PCT y el programa TCQ 2000. La intensidad material y la toxicidad han sido calculadas de la forma ya reseñada para la extracción y fabricación de materiales. Los capítulos que concentran el impacto ambiental del mantenimiento son los de Acabados superficiales interiores y Cerramientos exteriores e interiores practicables, básicamente debido a las operaciones periódicas de repintado, reuniendo casi el 80% de la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Si se mira a través de la óptica de los materiales involucrados, el barniz de las carpinterías y las pinturas acrílicas de los paramentos significan hasta dos tercios en los mismos impactos. Materiales que no suelen tenerse en cuenta, como los selladores, adquieren en esta etapa una importancia significativa, alcanzando hasta el 14% de las emisiones.

### Fase 6/6 Derribo: Energía y emisiones

Demolición <i>in situ</i>	Volumen m <sup>3</sup>	Energía		Emisiones	
		MJ <sub>electric</sub>	MJ <sub>gasoil</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>electric</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
Demolición volumen sobre rasante <sup>[1]</sup>	6489,60	29852,16	831836,93	2069,88	66315,89
Remoción de cimentaciones <sup>[2]</sup> y <sup>[3]</sup>	366,08	12767,04	113887,49	885,24	9079,36
Relleno con tierras de aportación <sup>[4]</sup> y <sup>[5]</sup>	412,00	0,00	58964,68	0,00	4700,80
<b>Subtotales</b>		<b>42619,20</b>	<b>1004689,10</b>	<b>2955,11</b>	<b>80096,05</b>

<sup>[1]</sup> Valores extraídos de la partida E211U030 del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[2]</sup> Valores extraídos de la partida E2131353 del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[3]</sup> Valores extraídos de la partida E2R6506A del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[4]</sup> Valores partida E2A11000 del Banco PR/PCT del ITeC y estimaciones propias

<sup>[5]</sup> Valores extraídos de la partida C1311120 del Banco PR/PCT del ITeC

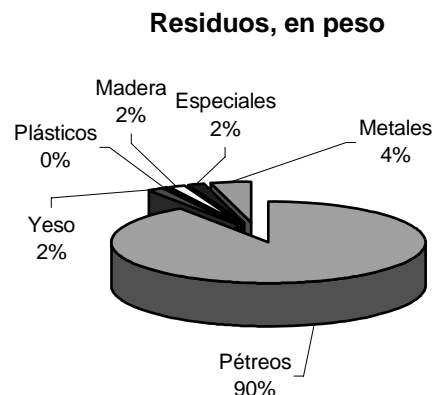
Total/m <sup>2</sup>	Energía	Emisiones	Tox. amb.	Tox. hum.
	MJ	KgCO <sub>2</sub>	ECA Kg/m <sup>2</sup>	HCA+HCW kg/m <sup>2</sup>
	<b>516,4</b>	<b>41,0</b>	<b>1217,98</b>	<b>0,304</b>

### Fase 6/6 Derribo: Residuos generados y reciclaje

#### Obra in situ

Grupos de residuos <sup>[2]</sup>	Cantidades		Reciclaje <sup>[1]</sup>		
	kg/m <sup>2</sup>	Tm	% hab.	Tm	% obra
Pétreos	1242,73	2520,27	0	0,00	0,00%
Yeso	21,70	44,01	0	0,00	0,00%
Plásticos	3,17	6,43	50	3,21	0,12%
Madera	23,82	48,31	50	24,15	0,87%
Especiales	23,50	47,66	0	0,00	0,00%
Metales	55,58	112,72	90	101,45	3,65%
<b>Totales</b>	<b>1.370,51</b>	<b>2779,39</b>		<b>128,81</b>	<b>4,63%</b>
				<b>63,52</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

**Total material reciclado (obra in situ): 4,63%**



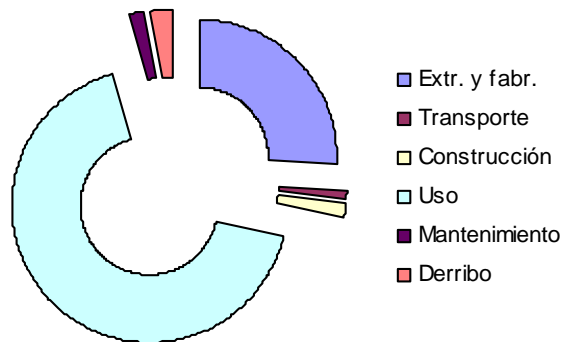
[1] En la valoración de los residuos de derribo de obra in situ que efectivamente se reciclan se han tenido en cuenta los datos estadísticos promedios elaborados por el PROGROC (Programa de Gestión de Residuos de la Construcción, Agencia de Residuos de Cataluña, Generalitat de Catalunya) en su documento de revisión para el período 2004-2006, así como estimaciones propias en base a consultas realizadas a gestores de obra y fabricantes modulares.

[2] Aunque pueda no ser el más frecuente, se considera un escenario de buena práctica de gestión de residuos de derribo de construcción in situ. Separación selectiva en 6 fracciones (se excluye papel y cartón) y porcentajes de reciclaje efectivo usuales en el mercado: 0% para los áridos y los yesos por tratarse de escasos volúmenes (en todo caso podrán infraciclar), 50% para los plásticos y las maderas considerando una buena separación y su entrega a recicladores, 0% para los especiales (materiales peligrosos, contaminantes y pequeñas fracciones difíciles de valorizar) y 90% para los metales, entre los que predomina el acero cuyo reciclaje se encuentra muy extendido.

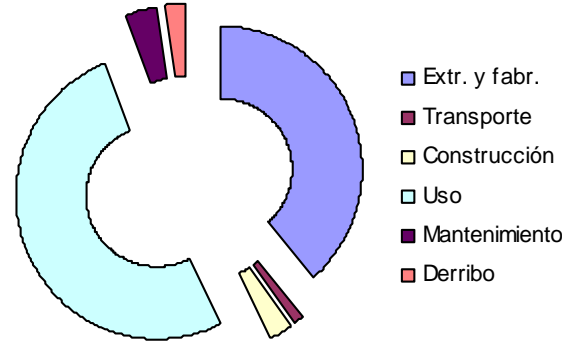
La mayoría de los residuos, cerca del 95% del total, tiene como destino vertederos controlados. A diferencia de la etapa de construcción, la cantidad de material es significativa y en su mayor parte se está compuesta por pétreos (cerámica, hormigón, morteros, etc.), que se recicla sólo cuando se encuentra libre de otros materiales y el gestor cuenta con infraestructura para ello.

Síntesis del ciclo de vida (a 50 años)

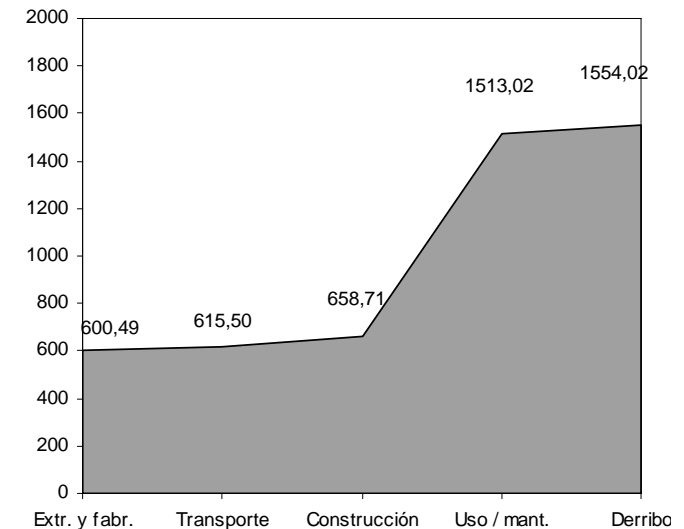
		Extracción y fabricación	Transporte	Construcción	Uso	Mantenimiento	Derribo	Total
<b>Consumo de energía primaria</b>	MJ/m <sup>2</sup>	5380,28	188,22	370,68	13864,62	409,82	516,42	20730,04
		26,0%	0,9%	1,8%	66,9%	2,0%	2,5%	100,0%
<b>Emisiones generadas</b>	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	600,49	15,01	43,21	802,47	51,84	41,00	1554,02
		38,6%	1,0%	2,8%	51,6%	3,3%	2,6%	100,0%



Distribución del consumo de energía primaria a lo largo del ciclo de vida del edificio.

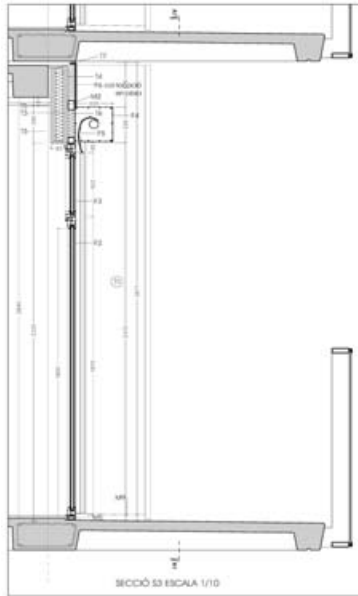


Distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida del edificio.

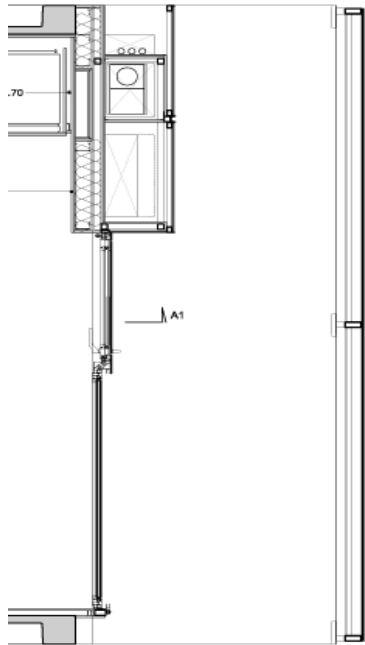


Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida de 50 años del edificio. Los intervalos entre fases no son representativos del tiempo transcurrido.

Aunque han sido determinados otros efectos, el cuadro del ciclo de vida presenta una síntesis representada por la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, por tratarse de indicadores de uso muy extendido en análisis de impacto ambiental. Como sucede en la mayoría de los análisis de ciclo de vida de los edificios, las etapas de Extracción y fabricación de materiales y Uso del edificio concentran la mayor parte del impacto, hasta un 95% según los indicadores utilizados. La proporción entre ellas varía entre 1,3 a 1 para el caso de las emisiones y casi 3 a 1 en el caso de la energía, aunque un previsible aumento de la eficiencia energética de los edificios impulsado por la presión normativa (CTE, DE, RDCE) hace pensar que la participación del impacto ambiental de los materiales será más significativa en el futuro mediano.



Sección, sector acceso



Planta, sector acceso

### 7.3 Sistema modular de hormigón (Compact Habit)

El sistema modular de hormigón armado representa la opción pesada de prefabricación, empleada en el mercado local, sólo que mediante sistemas bidimensionales. Se ha optado por estudiar el sistema Compact Habit [Compact Habit 2007] creado por Constructora d'Aro, S.A. en 2006<sup>4</sup>, debido a que se trata de un producto que recoge la tradición de la prefabricación de elementos tridimensionales de hormigón y ciertas innovaciones con respecto a otros sistemas, como la disminución de la masa del material estructural para facilitar el transporte y el montaje. El módulo consiste en un prisma cuyos laterales, así como los forjados inferiores y superiores, están realizados en una sola pieza de hormigón, formando una sección tubular de 4,5m de ancho por 11m de largo (medidas interiores). Los lados menores se cierran con carpinterías de aluminio y forman las caras de acceso delantero y terraza posterior respectivamente. Los módulos se disponen uno al lado del otro y se apilan hasta seis plantas de altura máxima (planta baja más tres en el caso de estudio) para formar diferentes edificios. El conjunto se completa con escaleras, pasillos de acceso y terrazas que pueden realizarse con diversos materiales, entre ellos el acero y el hormigón. A continuación se describen las técnicas y materiales empleados en este sistema.

- Cimentaciones con zapatas y vigas de hormigón prefabricado.
- Estructura monolítica de forjados y tabiques nervados de hormigón armado prefabricado.
- Fachadas laterales ventiladas (acabados de chapa de acero y fibrocemento NT).
- Aislamientos térmicos de lana de roca y poliestireno expandido.
- Aislamiento de protección al fuego interior de lana de roca.
- Cubierta de panel sándwich de acero galvanizado y lacado montados sobre estructura de acero galvanizado.
- Carpinterías exteriores de aluminio anodizado con rotura de puente térmico.
- Vidrios cámara 4+4/20/6 en las carpinterías exteriores.
- Persianas de aluminio lacado con aislamiento térmico de espuma de poliuretano.
- En las fachadas de los módulos, panel de aluminio anodizado y espuma de poliuretano.
- Revestimientos interiores (paredes y techos) con placas de cartón yeso sobre estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado.
- Lavabo modular con paredes y techo prefabricados a base de poliéster y fibra de vidrio.
- Pavimento interior de parqué flotante de madera y exterior de baldosas cerámicas.
- Barandillas de estructura de acero galvanizado con cerramientos de vidrio laminado 5+5.
- Estructura de acero galvanizado y chapa colaborante en los espacios de comunicaciones.



**Fase 1/6 Extracción y fabricación de materiales: repercusión de subsistemas**

Subsistema	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%
Replanteo y movimiento de tierras	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Cimentaciones y muros de contención	208,12	22,00%	204,34	3,41%	24,23	3,94%
Espacios comunes	40,96	4,33%	284,35	4,75%	28,47	4,63%
Cubierta	13,86	1,47%	494,93	8,27%	48,22	7,83%
Fachadas laterales	2,48	0,26%	75,74	1,27%	8,63	1,40%
Estructura módulo	536,06	56,67%	2.140,58	35,76%	196,21	31,88%
Fachada acceso módulo	12,69	1,34%	458,19	7,65%	56,2757	9,14%
Fachada terraza módulo	12,45	1,32%	611,08	10,21%	78,987	12,83%
Revestimientos interiores módulo	28,32	2,99%	353,99	5,91%	31,58	5,13%
Mobiliario módulo	18,09	1,91%	271,21	4,53%	24,57	3,99%
Baño módulo	6,05	0,64%	129,93	2,17%	14,92	2,42%
Terrazas módulo	10,46	1,11%	255,79	4,27%	21,33	3,47%
Saneamiento y aguas grises*	27,88	2,95%	143,48	2,40%	18,99	3,09%
Red agua fría y caliente*	2,89	0,31%	70,14	1,17%	8,78	1,43%
Electricidad e iluminación*	19,66	2,08%	213,69	3,57%	25,24	4,10%
Gas/Combustible*	0,02	0,00%	3,47	0,06%	0,36	0,06%
Climatización/Ventilación*	4,34	0,46%	205,45	3,43%	21,00	3,41%
Audiovisuales*	0,77	0,08%	16,21	0,27%	2,36	0,38%
Aparatos de elevación	0,71	0,08%	50,6	0,85%	4,87	0,79%
Protección contra incendios*	0,04	0,00%	3,43	0,06%	0,46	0,07%
<b>Total</b>	<b>945,86</b>	<b>100,00%</b>	<b>5.986,60</b>	<b>100,00%</b>	<b>615,48</b>	<b>100,00%</b>

\* Valores estadísticos [SaAS et al. 2007]

Los indicadores de energía y emisiones son próximos a los valores que pueden encontrarse en otros estudios de edificios construidos con sistemas constructivos convencionales (6000MJ/m<sup>2</sup> y 600 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> respectivamente). El peso es significativamente menor (lo habitual es entre 1500 y 200 Kg/m<sup>2</sup>). La repercusión de los capítulos donde se concentra el hormigón prefabricado y las cimentaciones, es significativa, reuniendo alrededor del 80% del peso y el 35-40% de la energía y las emisiones. Otros capítulos que concentran impacto ambiental son las fachadas del módulo, donde predomina el aluminio y la cubierta donde predomina el acero, con más de una cuarta parte de la energía y emisiones respectivamente. Por último, son importantes los acabados interiores (pavimentos y revestimientos donde predomina el yeso laminado y algunos materiales sintéticos en el baño) que representan aproximadamente un 6-7% en cada indicador.

**Intensidad material MIPS**

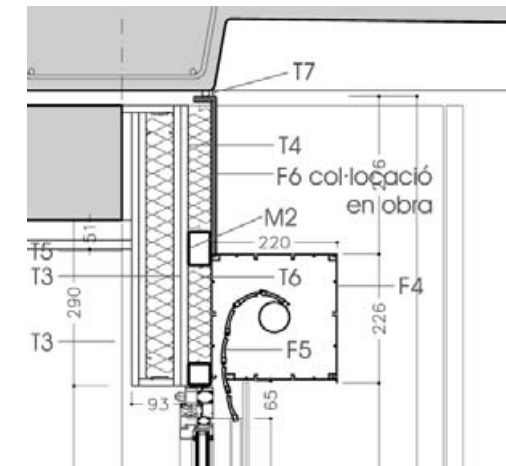
Materiales contados: 1.460,74 kg/m<sup>2</sup>  
(99,75% del total)

MIPS A+B: 1,81kg-recursos/kg  
MIPS Agua: 15,26l/kg

**Toxicidad**

Materiales contados 1460,74 Kg/m<sup>2</sup>  
(99,75% del total)

Tox. ambiental: 43.444,56 ECAKg/m<sup>2</sup>  
Tox. humana: 7,51 HCA+HCWkg/m<sup>2</sup>

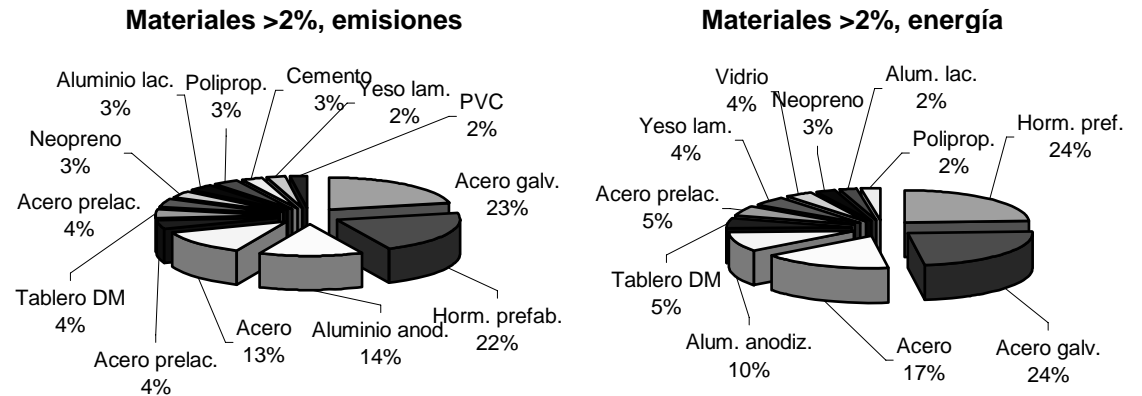


Detalle del encuentro entre la carpintería de aluminio anodizado y la parte opaca de la fachada

**Fase 1/6 Extracción y fabricación de materiales: Material reciclado y material reciclable**

Materiales > al 1% en Kg, MJ o CO <sub>2</sub>		Forma usual	Kg/m <sup>2</sup>	Reciclado	%	Reciclable	%
Acero	85% Estructura módulo, 9,5% Cimentaciones	Barras y perfiles	24,35	9,74	40	9,74	40
Acero galvanizado	22% Cubierta, 20% Esp. comunes, 16% Estr., 14% Terrazas, 8% Rev. interiores	Chapas y perfiles	5,82	2,33	40	2,33	40
Acero prelacado	90% Cubierta, 10% Fachada lateral	Chapas y perfiles	6,68	2,67	40	2,67	40
Agua	82% Cimentaciones 18% Espacios comunes	De red	18,16	0,00		0,00	
Aluminio anodizado	62% Fachada terraza, 37 Fachada acceso	Carpinterías	2,22	0,44	20	0,44	20
Aluminio lacado	61% Fachada terraza, 39% Fachada acceso	Paneles y perfiles	0,56	0,11	20	0,11	20
Árido	85% Cimentaciones, 15% Espacios comunes	A granel	213,67	0,00		0,00	
Cemento	82% Cimentaciones, 18% Espacios comunes	Hormigón a granel (obra)	21,29	0,00		0,00	
Cobre recocido	99% Inst. elec., 1% Inst. audiovis.	Cajas de cables y accesorios	0,45	0,23	50	0,23	50
Hormigón prefabricado	96% Estructura módulo, 4% Cimentaciones	Hormigón a granel (fábrica)	531,89	0,00		0,00	
Lana de roca	50% Rev. interiores, 27% Cubierta, 12,23% Fach. acceso, 6% Fach. terraza	Planchas y rollos	3,71	0,00		0,00	
Neopreno	38% Estructura módulo, 34% Fachada terraza, 27% Fachada acceso	Planchas y rollos	1,07	0,00		0,00	
Poliéster y fibra de vidrio	100% Baño módulo	Módulo baño	1,81	0,00		0,00	
Polipropileno	70% Saneam., 28% Red agua	Tubos y accesorios	1,51	0,00		0,00	
PVC	74% Inst. elec., 20% Inst. audiovis.	Cajas de cables y accesorios	1,19	0,00		0,00	
Tablero DM laminado	95% Mobiliario módulo, 5% Baño	Mobiliario	17,90	0,00		0,00	
Vidrio	55% Terrazas, 28% Fachada terraza, 17% Fachada acceso	Paneles cámara	11,44	1,14	10	0,00	
Yeso laminado	65% Rev. interiores, 14% Fachada acceso, 13% Fachada terraza, 7% Baño	Tableros	28,09	0,00		0,00	
<b>Total (kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>891,82</b>	<b>16,7</b>		<b>15,5</b>	
			94%	2%		2%	

Los materiales con mayor carga de impacto ambiental son los aceros, que llegan a representar hasta un tercio de la energía, el hormigón prefabricado con casi la cuarta parte y los aluminios, con cerca de la quinta parte. En el caso de las emisiones los porcentajes cambian y el acero adquiere aun más relevancia, aunque la tendencia es la misma. También es notable el tablero DM de mobiliario, que alcanza un 5% en ambos indicadores. Si se los mira a través del indicador de peso, en cambio, el hormigón armado con el 56% y el árido con el 23% en conjunto concentran más de dos tercios del total. La cantidad de material reciclado (antes de entrar a obra y reciclable (después del derribo) son muy bajas, apenas el 2% del total respectivamente.



## Fase 2/6 Transporte de materiales a obra

Material	Forma predominante	Peso transp.	Densidad	Dens. corr. <sup>[4]</sup>	Vol. transp.	Cam./dist.	Consumo <sup>[6]</sup>		
		Tm	Tm/m <sup>3</sup>	Tm/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	u/km	litros gasoil	%	
<i>Obra insitu</i>									
Acero	Barras y perfiles	7,14	7,85	5,50	1	125	37,50	0,48%	
Cemento	Hormigón a granel	43,18	1,60	1,28	34	782	234,67	3,01%	
Árido		433,32	1,50	1,20	361	4827	1448,13	18,55%	
Agua	De red	36,83	...	...	...	...	...	...	
<i>Fábrica</i>									
Acero galvanizado	Chapas y perfiles	11,81	7,85	3,93	3	109	32,77	0,42%	
Acero prelacado	Chapas y perfiles	13,55	7,85	3,93	3	125	37,59	0,48%	
Aluminio anodizado	Carpinterías	4,49	2,70	0,81	6	46	13,65	0,17%	
Aluminio lacado	Paneles y perfiles	1,14	2,70	0,81	1	11	3,45	0,04%	
Cobre recocido	Cajas de cable y acc.	0,92	8,90	4,45	0	13	3,77	0,05%	
Hormigón prefabricado	Hormigón a granel	1078,67	2,50	2,00	539	4450	1334,86	17,10%	
Acero (módulo)	Barras y perfiles	42,24	7,85	5,50	8	375	112,47	1,44%	
Lana de roca	Planchas y rollos	7,52	0,15	0,11	72	180	53,89	0,69%	
Neopreno	Planchas y rollos	2,17	1,20	0,84	3	64	19,20	0,25%	
Poliéster y f. de vidrio	Módulo baño	3,67	1,65	0,08	44	34	10,19	0,13%	
Polipropileno	Tubos y accesorios	3,07	0,94	0,19	16	118	35,28	0,45%	
PVC	Cajas de cable y acc.	2,42	1,35	0,68	4	33	9,94	0,13%	
Tablero DM laminado	Mobiliario	36,30	0,80	0,16	227	86	25,86	0,33%	
Vidrio	Paneles cámara	23,20	2,60	1,30	18	287	86,13	1,10%	
Yeso laminado	Tableros	56,97	0,85	0,60	96	1029	308,69	3,95%	
<i>Módulos</i>									
Unidades prefabric.	Módulos galería	28,00 unidades					5712	1713,6	21,95%
Unidades prefabric.	Módulos vivienda	32,00 unidades					6528	2284,8	29,27%
							7806,44	100%	

En el transporte han sido tenidos en cuenta un par de aspectos fundamentales: a) que los materiales realizan dos tipos de trayectos, entre la fábrica y el almacén regional y entre éste y la obra b) que el origen de los materiales resulta muy difícil de determinar. A partir de estas premisas ha sido realizada una aproximación de cargas a partir del peso de los materiales, de los volúmenes efectivos a transportar, de la procedencia de los materiales, de la cantidad de envíos, del porcentaje de carga efectiva de los camiones, de los retornos con o sin carga, etc., de la que se ofrece más información en el Anexo 7.

### Resumen de indicadores

Igasoil/m<sup>2</sup> 3,85

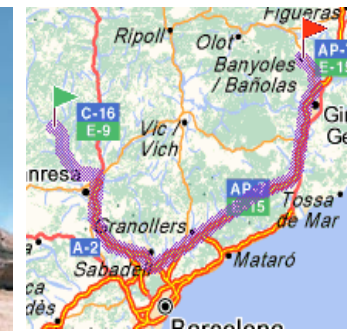
MJ/m<sup>2</sup> 166,29

KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> 13,26

Tox. amb. ECAKg/m<sup>2</sup> 387,46

Tox. hum. HCA+HCWkg/m<sup>2</sup> 0,0831

La mayor repercusión se encuentra en los módulos (51%), seguido de los áridos de obra in situ (18%) y el hormigón prefabricado para módulos (17%). En la hipótesis tenida en cuenta respecto de la conformación de las galerías con módulos para igualar la configuración de los tres sistemas modulares (en la versión del sistema Compact Habit son estructuras metálicas atornilladas a los módulos principales) la distancia entre la fábrica y la obra tenida en cuenta es 136 km, que en caso de doblarse (272 km) representa un incremento en la energía total de transporte de un 50%. Si la procedencia de los módulos se encontrara a 1.000 km de la obra el aumento sería del orden del 425%.



### Fase 3/6 Construcción: Energía y emisiones

#### Construcción in situ

##### Excavaciones y cimentaciones

	Energía MJ <sub>gasoil</sub>	Emisiones KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
Excavación de zanjas y pozos hasta 1,5m de profundidad. Carga y transporte en camión, entre 10 y 15km <sup>[1]</sup>	10.255,75	817,61
Cimentaciones. Bases y riostras de hormigón armado HA-25/F/20/IIa vertido con bomba, armado con 30 kg/m <sup>3</sup> de acero <sup>[1]</sup>	4.226,76	336,97

##### Estructura del ascensor

Tabique de ascensor, hormigón HA-25/B/10/I vertido con bomba y acero en barras corrugadas B 500 S	569,01	45,36
Carga y transporte de residuos de construcción a vertedero o centro de recogida y transferencia, 15 km	833,51	66,45

#### Montaje módulos

Uso	Módulos	Peso mód.	Sup. mód.	Peso mód.	Tiempo grúa	Energía	Emisiones
	u	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Tm	h/módulo h totales	MJ <sub>gasoil</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
<b>Izado y posicionamiento módulos vivienda</b>							
Grúa autopropulsada de 90 toneladas <sup>[2]</sup>	32	616	45	27,7	0,5 16	21228,80	1692,41
<b>Izado y posicionamiento módulos galerías</b>							
Camión grúa de 5 t de carga, 12 m de alcance vertical, 9 m de alcance horizontal <sup>[3]</sup>	4	41	25,8	1,1	0,2 0,8	973,79	77,63
	12	41	17,4	0,7	0,2 2,4	2921,38	232,90
	12	41	17,4	0,7	0,2 2,4	2921,38	232,90

[1] Según mediciones de presupuesto y cálculos con el programa TCQ 2000 y el Banco PR/PCT del ITeC

[2] Valores extraídos de la partida C150G800 y [3] de la partida C1502221 del Banco PR/PCT del ITeC

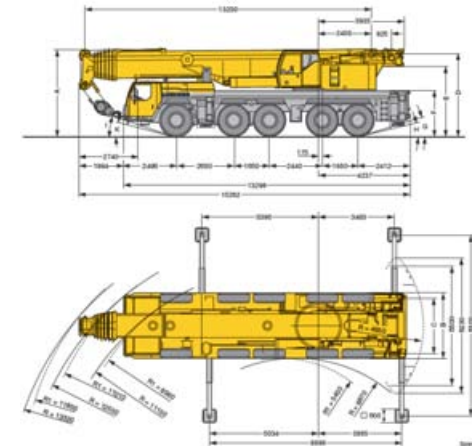
<b>Total</b>	<b>43930,37</b>	<b>3502,23</b>
<b>Total/m<sup>2</sup></b>	<b>21,66</b>	<b>1,73</b>

**Tox. amb. 50,47** ECAKg/m<sup>2</sup>      **Tox. hum. 0,011** HCA+HCWkg/m<sup>2</sup>

El cómputo de energía y emisiones derivadas de la maquinaria de obra, es producido por la combustión de grúas, camiones, excavadoras y otros equipos. La aportación de energía manual no se tiene en cuenta debido a que no resulta sencillo determinar la parte relacionada sólo con el trabajo, de aquella necesaria para el resto de las actividades de los operarios, así como a su escasa repercusión frente a la maquinaria.

El gasto energético de mayor importancia es la grúa pesada (la carga puede superar las 32 toneladas por unidad) con un 63% del total, que toma cada módulo desde los camiones de transporte y los sitúa unos sobre otros soportados por la estructura de cimentaciones in situ.

Entre el resto de los consumos de energía destacan las excavaciones, el movimiento de tierras y las cimentaciones, con un 33% del gasto total. La construcción de la estructura del ascensor y la gestión de sus residuos representa un 3%.



**Fase 3/6 Construcción: Residuos in situ**

	Pétr.	Yeso	Pap/cart	Plást.	Mad.	Metal.	Esp.	Subtotal	%
<b>Totales en Kg</b>	<b>42,23</b>	<b>0,00</b>	<b>131,27</b>	<b>1,21</b>	<b>108,80</b>	<b>203,33</b>	<b>0,75</b>	<b>487,58</b>	<b>100,00%</b>
							<b>Total en kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0,29</b>	
<i>% de reciclado habitual</i>	0	0	90	50	50	90	0		
<b>Material reciclado</b>	0	0	118,15	0,603	54,4	183	0	<b>356,14</b>	<b>73,04%</b>
							<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0,18</b>	
<b>Residuos</b>	42,23	0,00	13,13	0,60	54,40	20,33	0,75	<b>131,44</b>	<b>26,96%</b>

**Fase 3/6 Construcción: Residuos en fábrica modular**

Fracción	Sobrant. y embal.		Reutilización		Reciclaje		Vertido	
	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%
Pétreos	---							
Yeso	0,354	15,95%			0,354			
Papel y cartón	0,044	1,99%					0,044	
Plásticos	0,221	9,97%	0,177		0,044			
Madera	1,258	56,77%			1,258			
Metales	0,177	7,98%			0,177			
Otros	0,163	7,34%	0,008		0,043		0,112	
	<b>2,22</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,18</b>	<b>8,32%</b>	<b>1,88</b>	<b>84,64%</b>	<b>0,16</b>	<b>7,05%</b>
<b>Reutilizado</b>	<b>2,06</b>	<b>92,95%</b>						

Los residuos de construcción in situ se basan en estadísticas sobre construcción convencional del Proyecto Life 98/351 y en datos ambientales de las partidas del banco PR/PCT del ITeC. Los cálculos de residuos de fabricación de módulos se basan en los estadísticas de WRAP Waste & Resources Action Programme ([www.wrap.org.uk](http://www.wrap.org.uk)), documento WAS 003-003: Offsite Construction Case Study / Waste Reduction Potential of Offsite Volumetric Construction [WRAP 2007-2], [WRAP 2007-1] así como en estimaciones propias en base a consultas a fabricantes. Los residuos de construcción in situ, 0,18 kg/m<sup>2</sup> y de fabricación de módulos 2,22 kg/m<sup>2</sup> suman 2,40 kg/m<sup>2</sup>, cifra que en comparación con los estándares de obras convencionales resulta muy baja. El mediano porcentaje de reciclado (27%) que se alcanza en la construcción in situ se explica por la importante presencia de embalajes, sobrantes de acero y restos de madera en las tareas de cimentaciones, que permiten una separación y recolección efectiva. La fabricación de los módulos, que concentra la mayor parte de los materiales, produce escasos residuos con alta reciclabilidad (93%) debido a los procesos industriales



La prefabricación de estructuras de hormigón, según datos de la organización inglesa WRAP supone un volumen reducido de residuos, de alrededor del 2% del total de materiales invertidos.

### Fase 4/6 Uso: Energía y emisiones a 50 años

Uso	Demanda		Dem. CTE <sup>[7]</sup>	Consumo <sup>[8]</sup>				Superficie 31u x 40m <sup>2</sup>	Usuarios <sup>[9]</sup> 3pers. x 31u	Vida útil <sup>[10]</sup> años	Cons. vida útil	
	MJ/m <sup>2</sup> /año	%	est/ref en %	MJ/m <sup>2</sup> /año	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%				MJ	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Calefacción <sup>[1]</sup>	155,34	42,1%	85,9	163,52	52,5%	9,3	29,7%	1280	93	50	8176,05	463,31
Refrigeración <sup>[2]</sup>	26,72	7,2%	65,8	14,06	4,5%	2,5	8,1%	1280	93	50	703,07	126,75
Agua cal. sanit. <sup>[3]</sup>	92,16	24,9%	...	38,80	12,5%	2,2	7,1%	1280	93	50	1940,21	109,95
Iluminación <sup>[4]</sup>	7,42	2,0%	...	7,42	2,4%	1,3	4,3%	1280	93	50	370,80	66,85
Cocina <sup>[5]</sup>	42,01	11,4%	...	42,01	13,5%	7,6	24,3%	1280	93	50	2100,60	378,69
Electrodomésticos <sup>[6]</sup>	45,76	12,4%	...	45,76	14,7%	8,2	26,5%	1280	93	50	2287,80	412,44
<b>Total</b>	<b>369,41</b>	<b>100,0%</b>		<b>311,57</b>	<b>100,0%</b>	<b>31,2</b>	<b>100,0%</b>			(final)	<b>15578,54</b>	<b>1557,98</b>
<b>Climatizac. + ACS</b>	<b>274,22</b>			<b>216,39</b>	(final)					(final)	<b>10819,34</b>	<b>700,00</b>
<b>Climatizac. + ACS</b>				<b>240,91</b>	(primaria)					(primaria)	<b>12045,41</b>	<b>700,00</b>
<b>Tox. amb. 8604,7</b>			ECA kg/m <sup>2</sup>			<b>Tox. hum. 4,933</b>			HCA+HCW kg/m <sup>2</sup>			

<sup>[1]</sup> Calculada para el edificio de estudio con el programa LIDER (CTE-DBHE1) y contrastada con el programa Ecotect, edificio en zona climática C2 Banyoles

<sup>[2]</sup> Calculada para el edificio de estudio con el programa LIDER (CTE-DBHE1) y contrastada con el programa Ecotect, edificio en zona climática C2 Banyoles

<sup>[3]</sup> Valor estándar de demanda calculado en base a las exigencias normativas estatal y autonómica (CTE-DBHE4 y DE) suponiendo una ocupación de tres personas por vivienda. En consumo se considera que, de acuerdo a las exigencias de las normativas, el 60% de la energía es aportada por fuentes solares.

<sup>[4]</sup> Demanda/consumo de electrodomésticos reducida sobre valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000, [Mañá et al. 2003] por utilización de fuentes de luz de bajo consumo.

<sup>[5]</sup> Demanda/consumo en hogares según valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000 [Mañá et al. 2003].

<sup>[6]</sup> Demanda/consumo de electrodomésticos reducida respecto de los valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000 [Mañá et al. 2003], utilización de lavadoras y lavavajillas bitérmicas.

<sup>[7]</sup> Comparación de la demanda del edificio de estudio respecto del de referencia (o de cumplimiento normativo) definido por el programa LIDER (CTE-DBHE1)

<sup>[8]</sup> Suponiendo calderas de gas centralizadas de rendimiento medio 95% en calefacción y ACS y bombas de calor individuales con COP: 1,9 en refrigeración, según Memoria de Cálculo de la Opción Simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas. Para la conversión de la energía final a CO<sub>2</sub> primaria han sido utilizados los coeficientes de paso que emplea el programa CALENER GT elaborados por el IDAE de 0,204 kgCO<sub>2</sub>/kWh en el caso del gas (calefacción y ACS) y 0,649 KgCO<sub>2</sub>/kWh en el caso de la electricidad (resto de usos).

<sup>[9]</sup> El decreto de mínimos de habitabilidad de Cataluña fija una superficie mínima de 10m<sup>2</sup>/persona. En este caso han sido consideradas 3 personas por vivienda (13,33m<sup>2</sup>/persona).

<sup>[10]</sup> 50 años es un período de tiempo usual en análisis de ciclo de vida de edificios, aunque en algunos casos se suele utilizar 60 y hasta 75 años.

Las relaciones proporcionales entre los distintos usos energéticos del edificio, cuya localización se supone en zona C2 (Banyoles) no se alejan de las medias del IDAE para toda España, siendo el más significativo de ellos la calefacción, seguido del calentamiento de agua de uso sanitario. También son importantes la cocina y los electrodomésticos, más relacionados con los usuarios que con el edificio y no tenidos en cuenta en el resumen del ciclo de vida. Otra simulación realizada en zona B4 (Sevilla) ha dado como resultado una reducción total de la demanda del un 15%, así como variaciones relativas de la refrigeración y la calefacción, que pasan del 85% al 29% y del 15% al 71% respectivamente.

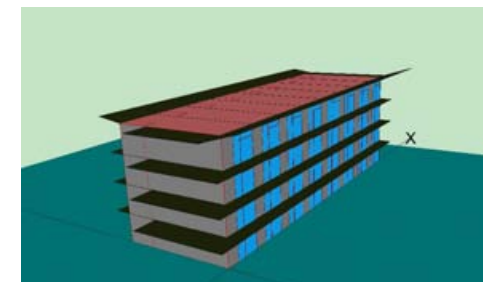


Imagen de la simulación energética realizada con el sistema LIDER.

**Fase 5/6 Mantenimiento: Repercusión por subsistemas e indicadores a 50 años**

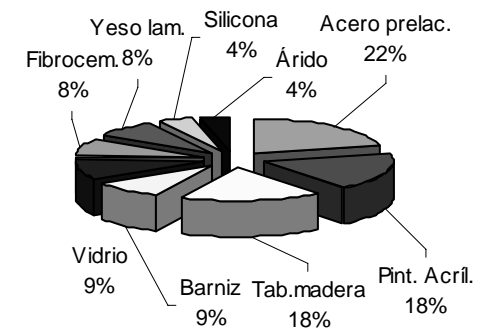
Subsistema	Peso		Energía		Emisiones	
	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%
Espacios comunes	1,8100	6,77%	16,69	1,95%	2,13	2,01%
Cubierta módulo y terrazas	4,9100	18,36%	181,65	21,17%	17,82	16,82%
Fachadas laterales	1,0300	3,85%	23,83	2,78%	2,32	2,19%
Fachada acceso módulo	2,8200	10,55%	50,01	5,83%	6,05	5,71%
Fachada terraza módulo	2,0800	7,78%	47,89	5,58%	5,94	5,61%
Revestimientos interiores módulo	4,7700	17,84%	177,94	20,74%	25,35	23,93%
Mobiliario módulo	5,9800	22,36%	215,02	25,06%	27,95	26,39%
Baño módulo	1,7000	6,36%	94,54	11,02%	13,61	12,85%
Terrazas módulo	1,3900	5,20%	31,93	3,72%	2,94	2,78%
Red agua fría y caliente	0,0020	0,01%	0,25	0,03%	0,03	0,02%
Electricidad e iluminación	0,0014	0,01%	0,13	0,02%	0,02	0,02%
Climatización / Ventilación	0,0350	0,13%	3,18	0,37%	0,33	0,31%
Audiovisuales	0,0002	0,00%	0,02	0,00%	0,00	0,00%
Aparatos de elevación	0,2100	0,79%	14,92	1,74%	1,44	1,36%
	<b>26,7386</b>	<b>100,00%</b>	<b>858,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>105,93</b>	<b>100,00%</b>

**Intensidad material MIPS**  
 Materiales contados: 41,12 kg/m<sup>2</sup>  
 (100% del total)  
 MIPS A+B: 1,79kg-recursos/kg  
 MIPS Agua: 38,11l/kg

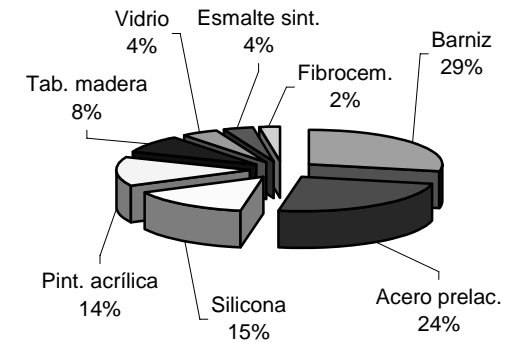
**Toxicidad**  
 Materiales contados: 26,73 kg/m<sup>2</sup>  
 (100% del total)  
 Tox. ambiental: 531,80 ECAKg/m<sup>2</sup>  
 Tox. humana: 0,23 HCA+HCWkg/m<sup>2</sup>

El cálculo del consumo de materiales ha sido realizado teniendo en cuenta una vida útil de 50 años y los criterios técnicos establecidos en las Fichas Técnicas de Mantenimiento del ITeC [ITeC 1991], en sus valores medios. Para obtener los valores de peso, energía y emisiones han sido utilizados el banco PR/PCT y el programa TCQ 2000. La intensidad material y la toxicidad han sido calculadas de la forma ya reseñada para la extracción y fabricación de materiales. Los capítulos que concentran el impacto ambiental del mantenimiento son los de Revestimientos interiores y Mobiliario del módulo, básicamente debido a las operaciones periódicas de repintado y sustitución de materiales superficiales, reuniendo casi el 80% de la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Si se mira a través de la óptica de los materiales el barniz de las carpinterías y las pinturas acrílicas significan hasta la mitad de los mismos impactos y materiales que no suelen tenerse en cuenta como los selladores, alcanzan hasta el 18%.

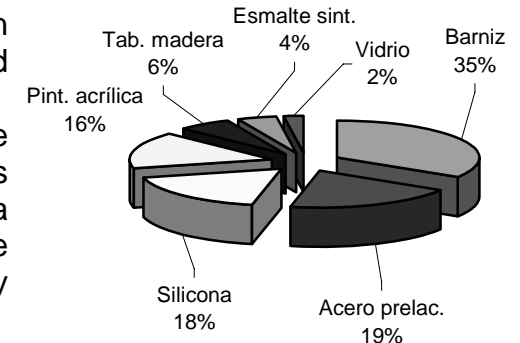
**Materiales >3%, peso**



**Materiales >3%, energía**



**Materiales >3%, emisiones**



## Fase 6/6 Derribo: Energía y emisiones

<b>Desconstrucción</b>	<b>Módulos</b>	<b>Peso mód.</b>	<b>Sup. mód.</b>	<b>Peso mód.</b>	<b>Tiempo grúa</b>		<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>	
<i>Desmontaje módulos galerías</i>	u	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Tm	h/módulo	h totales	MJ gasoil	KgCO <sub>2</sub> gasoil	
Camión grúa de 5 t de carga[1]	28,00	123,00	60,61	2,49	0,60	5,60	6816,54	543,43	
<i>Desmontaje módulos vivienda</i>									
Grúa autopropulsada de 30 toneladas[2]	32,00	616,00	45,00	27,72	0,50	16,00	21228,80	5544,96	
<b>Demolición in situ</b>					<b>Volumen</b>	<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>		
<i>Demolición estructura del ascensor</i>					m <sup>3</sup>	MJ electricidad	MJ gasoil	KgCO <sub>2</sub> electr.	KgCO <sub>2</sub> gasoil
Derribo de volumen aparente de edificación hasta a cota de cimentación[3]					36,00	165,60	4.614,48	11,48	367,88
Derribo de cimienta corrido de hormigón armado[4]					109,93	7667,62	52488,28	531,65	4184,48
Carga y transporte de residuos a centro de reciclaje, a monodépósito[3]					109,93	...	15910,17		1268,39
Suministro de tierra seleccionada de aportación para relleno de pozos y zanjas[5]					165,86	...	43.538,25		3470,97
Pala cargadora mediana sobre neumáticos[6]					165,86	...	3936,91		313,86
<b>Totales</b>					<b>Energía</b>		<b>Emisiones</b>		
[1] Valores extraídos de la partida C1502221 del Banco PR/PCT del ITeC						MJ electricidad	MJ gasoil	KgCO <sub>2</sub> electr.	KgCO <sub>2</sub> gasoil
[2] Valores extraídos de la partida C150GT00 del Banco PR/PCT del ITeC					Subtotales	7833,22	148533,43	543,14	15693,97
[3] Valores extraídos de la partida E211U030 del Banco PR/PCT del ITeC						<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>	<b>Tox. amb.</b>	<b>Tox. human.</b>
[4] Valores extraídos de la partida E2131353 del Banco PR/PCT del ITeC						<i>MJ</i>	<i>KgCO<sub>2</sub></i>	ECA Kg/m <sup>2</sup>	HCA+HCW kg/m <sup>2</sup>
[5] Valores extraídos de la partida E2A11000 del Banco PR/PCT del ITeC					<b>Total m<sup>2</sup></b>	<b>77,10</b>	<b>8,01</b>	<b>182,36</b>	<b>0,047</b>
[6] Según partida C1311120 del Banco PR/PCT del ITeC y estimaciones propias									

## Fase 6/6 Derribo: Residuos generados y reciclaje

<b>Obra in situ</b>	<b>Cantidades</b>			<b>Reciclaje <sup>[1]</sup></b>		<b>Const. modular</b>	<b>Cantidades</b>			<b>Reciclaje <sup>[1]</sup></b>	
<b>Grupos de residuos <sup>[2]</sup></b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Tm</b>	<b>% hab.</b>	<b>Tm</b>	<b>% obra</b>	<b>Grupos de residuos <sup>[3]</sup></b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Tm</b>	<b>% hab.</b>	<b>Tm</b>	<b>% obra</b>
Pétreos	211,80	429,53	0	0,00	0,00%	Pétreos	560,10	1135,87	20	227,17	15,75%
Yeso			0	0,00	0,00%	Yeso	37,82	76,70	90	69,03	4,79%
Plásticos	0,04	0,09	50	0,04	0,01%	Plásticos	4,84	9,82	50	4,91	0,34%
Madera	0,35	0,71	50	0,35	0,08%	Madera	23,49	47,64	70	33,35	2,31%
Especiales	0,32	0,65	0	0,00	0,00%	Especiales	22,36	45,35	0	0,00	0,00%
Metales	3,72	7,54	90	6,79	1,55%	Metales	62,48	126,70	90	114,03	7,91%
<b>Totales</b>	<b>216,23</b>	<b>438,52</b>		<b>7,19</b>	<b>1,64%</b>	<b>Totales</b>	<b>711,09</b>	<b>1442,08</b>		<b>448,49</b>	<b>31,10%</b>
				<b>3,55</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>					<b>221,15</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

**Total material reciclado (obra in situ + construcción modular en fábrica): 24,23%**

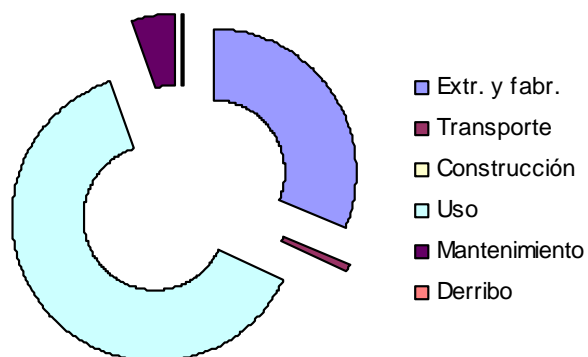
[1] Según datos estadísticos del PROGROC (Programa de Gestión de Residuos de la Construcción, Agencia de Residuos de Cataluña) en su documento 2004-2006, así como estimaciones propias.  
 [2] Se considera separación selectiva en 6 fracciones (se excluye papel y cartón) y porcentajes de reciclaje: 0% para los áridos y los yesos, 50% para los plásticos y las maderas, 0% para los especiales y 90% para los metales. [3] Se considera que los módulos regresan a fábrica luego del período de vida útil y que allí son desconstruidos para ser reusados, rehabilitados o reciclados los componentes o materiales. Los porcentajes de reciclaje son: 0% para los áridos, 90% para el yeso y la madera así como los metales, 50% para los plásticos y, finalmente, 0% para los especiales.  
 La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda. Gerardo Wadel



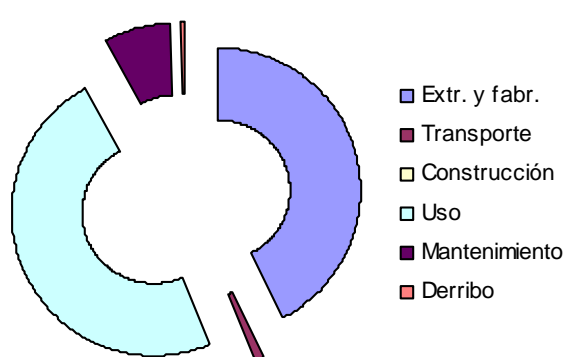
La mayoría de los residuos, cerca del 75% del total, tiene como destino vertederos controlados. A diferencia de la etapa de construcción, la cantidad de material es significativa y en su mayor parte se está compuesta por pétreos (cerámica, hormigón, morteros, etc.), que se recicla sólo cuando se encuentra libre de otros materiales y el gestor cuenta con infraestructura para ello.

### Síntesis del ciclo de vida

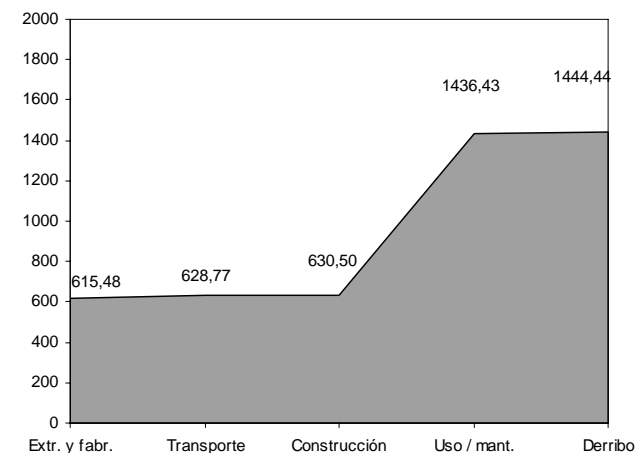
		Extracción y fabricación	Transporte	Construcción	Uso	Mantenimiento	Derribo	Total
<b>Consumo de energía primaria</b>	MJ/m <sup>2</sup>	5986,60	166,29	21,66	12045,41	858,00	77,10	19155,06
		31,3%	0,9%	0,1%	62,9%	4,5%	0,4%	100,0%
<b>Emisiones generadas</b>	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	615,48	13,29	1,73	700,00	105,93	8,01	1444,44
		42,6%	0,9%	0,1%	48,5%	7,3%	0,6%	100,0%



Distribución del consumo de energía primaria a lo largo del ciclo de vida del edificio.



Distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida del edificio.



Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida de 50 años del edificio. Los intervalos entre fases no son representativos del tiempo transcurrido.

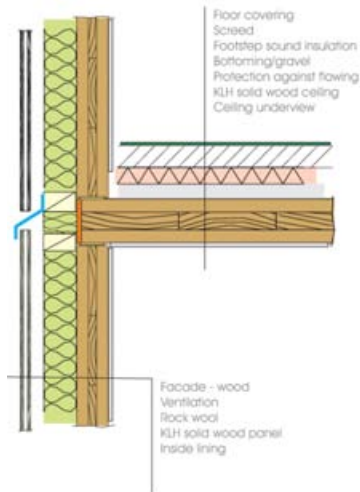
Aunque han sido determinados otros indicadores, el cuadro del ciclo de vida presenta una síntesis representada por la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, por tratarse de indicadores de uso muy extendido en análisis de impacto ambiental. Como sucede en la mayoría de los análisis de ciclo de vida de los edificios, las etapas de Extracción y fabricación de materiales y Uso del edificio concentran la mayor parte del impacto, hasta un 95% según los indicadores utilizados. La proporción entre ellas se sitúa en 2 a 1 para el caso de la energía, pero en el caso de las emisiones es mucho más equilibrada. El aumento en la eficiencia energética de uso respecto del sistema convencional (13864,62 MJ/m<sup>2</sup> contra 12045,41 MJ/m<sup>2</sup> del hormigón armado) hace que esta fase tenga menor importancia relativa y que, en consecuencia, que la de extracción y fabricación de materiales aumente su repercusión.

## 7.4 Sistema modular de madera (die.modulfabrik KLH)

El sistema modular de madera representa una solución constructiva de menor difusión global, aunque presente desde hace décadas en el mercado de Europa central y norte. Existen diversos sistemas constructivos de módulos de madera, la mayoría de ellos basados en técnicas relativamente nuevas de formación de paneles como multilaminados, aglomerados de virutas, partículas o fibras y sándwich con núcleo de aislamiento térmico. Entre las diversas marcas y modelos existentes se ha escogido die.modulfabrik GmbH [die.modulfabrik 2007], que pertenece al grupo austriaco KLH Massivholz GmbH dedicado a la fabricación de paneles de madera de conífera para forjados, fachadas, divisorias y cubiertas de edificios, ya que ha sido considerado como suficientemente representativo de la construcción modular en madera. El módulo die.modulfabrik está formado por paneles laminados macizos de tres capas de madera de diferentes espesores y resistencias estructurales, que cierran las seis caras del prisma. Sus dimensiones, con anchos de 2,42-2,95m y largos de 3-8m, varían de acuerdo a la configuración del edificio, que puede alcanzar una altura de planta baja más tres superiores. La protección al fuego se logra por tratamiento ignifugante de la madera y por aumento del espesor. Ciertos elementos de otros materiales, como basamentos, pilares, cubiertas, etc., pueden ser necesarios en ocasiones.

A continuación se describen las técnicas y materiales empleados en este sistema.

- Cimentaciones prefabricadas de hormigón armado (bases y riostras).
- Estructura vertical de paneles laminados de picea austriaca (conífera), 94mm de espesor.
- Forjado inferior y forjado de cubierta de paneles laminados de picea austriaca (conífera) de 102 y 94mm de espesor respectivamente.
- Fachadas de panel laminado e impermeabilizado sobre subestructura de madera (también pueden utilizarse materiales sintéticos, metálicos, e incluso mortero de revoque).
- Aislamiento térmico de lana de roca aplicada sobre el panel laminado de cerramiento.
- Barrera de vapor de lámina transpirable tipo Tyvek.
- Cubierta de paneles de madera, lámina de barrera de vapor, aislamiento térmico de panel de lana de madera (Heraklith DDP), lámina impermeable de PVC y capa de grava.
- Carpinterías exteriores de perfiles de madera laminada y persianas enrollables de madera.
- Vidrios cámara 4+4/20/6 en las carpinterías exteriores.
- Revestimientos interiores (paredes y techos) de barniz sintético sobre panel laminado.
- Pavimento interior de tablero de madera tipo OSB y de losetas de PVC en el lavabo.
- Barandillas de madera.



Fachada y forjado en sección y planta respectivamente



La cubierta, en esta investigación, incluye capa de gravas

**Fase 1/6 Extracción y fabricación de materiales: repercusión de subsistemas**

Subsistema	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%
Replanteo y movimiento de tierras	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Cimentaciones y muros de contención	162,21	32,01%	113,48	3,87%	9,68	3,31%
Espacios comunes	39,52	7,80%	217,57	7,42%	21,98	7,51%
Cubierta	15,72	3,10%	166,02	5,66%	20,93	7,15%
Fachadas laterales	4,76	0,94%	108,07	3,69%	7,63	2,61%
Estructura módulo	136,11	26,86%	456,09	15,55%	32,44	11,08%
Fachada acceso módulo	13,19	2,60%	114,65	3,91%	8,79	3,00%
Fachada terraza módulo	15,17	2,99%	135,78	4,63%	10,95	3,74%
Revestimientos interiores módulo	27,27	5,38%	263,47	8,98%	24,29	8,29%
Mobiliario módulo	21,77	4,30%	336,06	11,46%	30,77	10,51%
Baño módulo	4,41	0,87%	274,24	9,35%	40,03	13,67%
Terrazas módulo	10,38	2,05%	40,54	1,38%	3,3	1,13%
Saneamiento y aguas grises*	27,88	5,50%	143,48	4,89%	18,99	6,48%
Red agua fría y caliente*	2,89	0,57%	70,14	2,39%	8,78	3,00%
Electricidad e iluminación*	19,66	3,88%	213,69	7,29%	25,24	8,62%
Gas/Combustible*	0,02	0,00%	3,47	0,12%	0,36	0,12%
Climatización/Ventilación*	4,34	0,86%	205,45	7,01%	21,00	7,17%
Audiovisuales*	0,77	0,15%	16,21	0,55%	2,36	0,81%
Aparatos de elevación	0,71	0,14%	50,6	1,73%	4,87	1,66%
Protección contra incendios*	0,04	0,01%	3,43	0,12%	0,46	0,16%
<b>Total</b>	<b>506,83</b>	<b>100</b>	<b>2.932,44</b>	<b>100</b>	<b>292,85</b>	<b>100%</b>

\* Valores estadísticos [SaAS et al. 2007]

Los indicadores de peso, energía y emisiones son muy inferiores a los que pueden encontrarse en otros estudios de edificios construidos con sistemas constructivos convencionales (entre 1500 y 2000 Kg/m<sup>2</sup>, 6000 MJ/m<sup>2</sup> y 600 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>), debido a la utilización intensiva de madera. La repercusión de los capítulos de cimentaciones, de hormigón armado, y en la estructura del módulo, de madera laminada, reúne alrededor del 60% del peso, aunque sólo el 15-20% de la energía y las emisiones. Otros capítulos importantes son mobiliario, baño del módulo e instalaciones, donde predominan tratamientos y materiales sintéticos, que suman un tercio de la energía y emisiones respectivamente. Por último pueden mencionarse capítulos que, como los espacios comunes (estructuras de madera barnizada) y la cubierta (aislamientos e impermeabilizaciones), alcanzan repercusiones de entre el 6 y el 7% del total.

**Intensidad material MIPS**

Materiales contados: 1.460,74kg/m<sup>2</sup>  
(99,75% del total)

MIPS A+B: 3,71 kg-recursos/kg  
MIPS Agua: 3,66 l/kg

**Toxicidad**

Materiales contados 1460,74 Kg/m<sup>2</sup>  
(99,75% del total)

Tox. ambiental: 9.835,98 ECAKg/m<sup>2</sup>  
Tox. humana: 3,18 HCA+HCWkg/m<sup>2</sup>



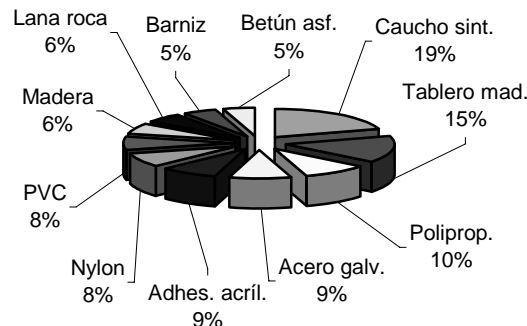
Carpintería de madera laminada similar a la considerada en este estudio. Uniform

### Fase 1/6 Extracción y fabricación de materiales: Material reciclado y material reciclable

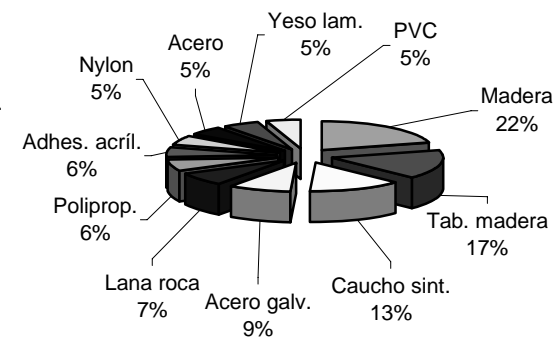
Materiales > al 1% en Kg, MJ o CO <sub>2</sub>		Forma usual	Kg/m <sup>2</sup>	Reciclado	%	Reciclable	%
ABS	99% Inst. elec., 1% Inst. climat.	Cajas de accesorios	0,26	0,10	40	0,10	40
Acero	47% Cimentaciones, 39% Esp. comunes, 13% Ap. elevación	Barras y perfiles	2,77	1,11	40	1,11	40
Acero conformado galvanizado	100% Estr. Módulo	Herrajes	0,91	0,36	40	0,36	40
Acero galvanizado	39% Fach. terr. mód., 22% Fach. acc. mód., 11% Esp. comunes, 8% Mob. mód.	Chapas y perfiles	4,34	1,74	40	1,74	40
Acero inoxidable	66% Ap. Elevación, 30% Inst. climat.	Ascensor	0,21	0,08	40	0,08	40
Acero laminado	48% Esp. comunes, 32% Mob. mód., 20% Inst. climat.	Chapas y perfiles	0,92	0,37	40	0,37	40
Acero negro	100% Inst. climat.	Tubos y accesorios	1,51	0,60	40	0,60	40
Adhesivo copolímero acrílico	79% Estr. Módulo, 8% Esp. comunes, 5% Terr. mód., 3% Fach. acc. mód.	Paneles madera	2,35	0,00		0,00	
Agua	83% Cimentaciones, 15% Esp. comunes, 1% Fach. acc. mód.	De red	15,62	0,00		0,00	
Aluminio	66% Ap. Elevación, 30% Inst. climat.	Ascensor	0,11	0,02	20	0,02	20
Árido	84% Cimentaciones, 9% Esp. comunes, 6% Cubierta	A granel	195,52	0,00		0,00	
Barniz	38% Esp. comunes, 10% Rev. int. mód., 10% Baño mód., 17% Terr. mód.	Botes	0,61	0,00		0,00	
Betún asfáltico	99% Cubierta, 1% Esp. Comunes	Rollos	1,34	0,00		0,00	
Caucho sintético	100% Baño mód.	Cajas de losetas	2,29	0,00		0,00	
Cemento	84% Cimentaciones, 14% Esp. comunes, 1% Fach. acc. mód.	Sacos paletizados	16,95	0,00		0,00	
Cobre	99% Ap. elevación	Ascensor	0,31	0,15	50	0,15	50
Cobre recocido	99% Inst. elec., 1% Int. audiovis.	Cajas de cables	0,45	0,23	50	0,23	50
Lana de roca	39% Rev. int. mód., 26% Cubierta, 22% Fach. laterales, 7% Fach. acc. mód.	Rollos y paneles	7,62	0,00		0,00	
Madera	71% Estr. Módulo, 9% Esp. comunes, 5% Fach. acc. mód., 5% Fach. terr. mód.	Paneles	186,36	0,00		0,00	
Neopreno	100% Estr. Módulo	Planchas	0,48	0,00		0,00	
Nylon	46% Esp. comunes, 35% Cubierta, 16% Rev. int. mód.	Herrajes	0,97	0,00		0,00	
Poliétileno	38% Cubierta, 17% Saneam., 15% Inst. climat., 5% Fach. laterales	Rollos de láminas	0,49	0,00		0,00	
Polipropileno	50% Esp. comunes, 35% Saneam., 14% Red agua	Tubos y accesorios	1,51	0,00		0,00	
PVC	16% Esp. comunes, 8% Cubierta, 37% Inst. elec., 10% Int. audiovis.	Rollos y cables	1,33	0,00		0,00	
Silicona	6% Fach. acc. mód., 3% Fach. terr. mód., 91% Rev. int. mód.	Botes	0,27	0,00		0,00	
Tablero aglomerado	79% Fach. laterales, 21% Fach. acc. mód.	Tableros	3,28	1,64	50	0,00	
Tablero de partículas de madera	99% Mob. mód., 1% Fach. terr. mód.	Tableros	20,41	10,21	50	0,00	
Vidrio	64% Fach. terr. mód., 36% Fach. acc. mód.	Paneles cámara	4,81	0,48	10	0,48	10
Yeso	100% Rev. int. mód.	Sacos paletizados	13,50	0,00		0,00	
Yeso laminado	100% Rev. int. mód.	Tableros	12,26	0,00		0,00	
<b>Total (kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>499,76</b>	<b>17,1</b>		<b>5,3</b>	
			<b>99%</b>	<b>3%</b>		<b>1%</b>	

Los materiales con mayor carga de impacto son los que tienen menor repercusión en peso. En emisiones encabeza la lista el caucho sintético (revestimientos del baño) con casi el 20% del total, seguido del tablero de madera de mobiliario con el 15% y el polipropileno de las instalaciones con el 10%. En energía las posiciones cambian, aunque la importancia de los materiales sintéticos frente a la madera, masivamente utilizada, no varía. Los reciclados (que entran a obra) y reciclables (al final de la vida útil) se sitúan en el 3% y el 1% debido a las usuales dificultades en el reciclaje de madera y vidrio.

Materiales >2%, emisiones



Materiales >2%, energía



### Fase 2/6 Transporte de materiales a obra

Material	Forma predominante	Peso transp.	Densidad	Dens. corr. <sup>[4]</sup>	Vol. transp.	Cam./dist.	Consumo <sup>[6]</sup>		
		Tm	Tm/m <sup>3</sup>	Tm/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	u/km	litros gasoil	%	
<i>Obra in situ</i>									
Acero (obra)	Barras y perfiles	11,83	7,85	5,50	2,15	181	54,26	0,33%	
Cemento	Hormigón a granel	29,13	1,60	1,28	22,76	614	184,06	1,14%	
Árido		316,10	1,50	1,20	263,42	4021	1206,36	7,45%	
Agua	De red	26,66	...	...	...	...	...		
<i>Fábrica</i>								0,00%	
ABS	Cajas de accesorios	0,45	7,85	6,28	0,07	5	1,46	0,01%	
Acero conf. galvanizado	Herrajes	1,55	7,85	3,93	0,40	14	4,31	0,03%	
Acero galvanizado	Chapas y perfiles	7,42	7,85	5,50	1,35	69	20,58	0,13%	
Acero inoxidable	Ascensor	0,36	7,85	2,36	0,15	6	1,93	0,01%	
Acero laminado	Chapas y perfiles	1,57	7,85	5,50	0,29	15	4,35	0,03%	
Acero negro	Tubos y accesorios	2,58	7,85	1,57	1,64	24	7,16	0,04%	
Adhesivo copol. acrílico	Paneles madera	4,01	1,20	0,96	4,18	428	128,39	0,79%	
Aluminio	Ascensor	0,19	2,7	0,81	0,24	2	0,58	0,00%	
Barniz	Botes	1,04	1,20	0,96	1,09	12	3,48	0,02%	
Betún asfáltico	Rollos	2,29	1,30	0,65	3,52	85	25,53	0,16%	
Caucho sintético	Cajas de losetas	3,90	1,70	1,36	2,87	94	28,33	0,17%	
Cobre	Ascensor	0,53	8,90	2,67	0,20	7	2,16	0,01%	
Cobre recocido	Cajas de cables	0,77	8,90	4,45	0,17	11	3,17	0,02%	
Lana de roca	Rollos y paneles	13,01	0,15	0,11	123,95	1578	473,50	2,92%	
Madera	Paneles	318,30	0,60	0,48	663,13	33939	10181,71	62,85%	
Neopreno	Planchas	0,82	1,20	0,84	0,98	24	7,26	0,04%	
Nylon	Herrajes	1,66	0,91	0,73	2,28	18	5,41	0,03%	
Polietileno	Rollos de láminas	0,83	0,91	0,64	1,30	31	9,24	0,06%	
Polipropileno	Tubos y accesorios	2,59	0,94	0,19	13,75	99	29,71	0,18%	
PVC	Rollos y cables	2,27	1,35	0,68	3,37	31	9,33	0,06%	
Silicona	Botes	0,46	1,10	0,88	0,52	4	1,30	0,01%	
Tablero aglomerado	Tableros	5,60	0,8	0,64	8,75	13	3,99	0,02%	
Tablero part. de madera	Tableros	34,86	0,8	0,64	54,47	83	24,84	0,15%	
Vidrio	Paneles cámara	8,22	2,6	1,30	6,32	102	30,50	0,19%	
Yeso	Sacos paletizados	23,06	1,25	1,00	23,06	416	124,95	0,77%	
Yeso laminado	Tableros	20,94	0,85	0,68	30,79	378	113,47	0,70%	
<i>Módulos</i>									
Unidades prefabric.	Módulos galería	20,00				4080	1224	7,56%	
	Módulos vivienda	32,00				6528	2284,8	14,10%	
<b>Resumen de indicadores</b>							16200,11	100,00%	
	<b>Igasoil/m<sup>2</sup> 9,48</b>								<b>Tox. amb. ECAKg/m<sup>2</sup> 954,71</b>
	<b>MJ/m<sup>2</sup> 409,75</b>								<b>Tox. hum. HCA+HCWkg/m<sup>2</sup> 0,2049</b>
	<b>KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> 32,67</b>								

En el transporte han sido tenidos en cuenta un par de aspectos fundamentales: a) que los materiales realizan dos tipos de trayectos, entre la fábrica y el almacén regional y entre éste y la obra b) que el origen de los materiales resulta muy difícil de determinar. A partir de estas premisas ha sido realizada una aproximación de cargas a partir del peso de los materiales, de los volúmenes efectivos a transportar, de la procedencia de los materiales, de la cantidad de envíos, del porcentaje de carga efectiva de los camiones, de los retornos con o sin carga, etc., de la que se ofrece más información en el Anexo 7.

El transporte alcanza su mayor repercusión en el caso del sistema modular de madera ya que, a efectos de conocer la magnitud de su impacto, se ha mantenido como sitio de procedencia Graz, Austria, donde se sitúa la fábrica die.Modulfabrik. El transporte del tablero de madera alcanza de esta manera el 63% y distorsiona la participación del resto de elementos que resulta mínima. Si la distancia, en lugar de ser de 1700 km fuera de 170 km, la reducción del gasto total sería del 50%.



### Fase 3/6 Construcción: Energía y emisiones

#### Construcción *in situ*

##### Excavaciones y cimentaciones

	Energía <i>MJ<sub>gasoil</sub></i>	Emisiones <i>KgCO<sub>2</sub><sub>gasoil</sub></i>
Excavación de zanjas y pozos en terreno compacto. Carga y transporte a vertedero ubicado entre 10 y 15km <sup>[1]</sup>	10.662,71	850,05
Cimentaciones. Bases y riostras de hormigón armado, incluye parte proporcional de encofrado lateral con tablonos de madera. <sup>[1]</sup>	2.838,88	226,32
Tabique estructural del conducto de ascensor, muro de hormigón armado para revestir <sup>[1]</sup>	569,01	45,36
Carga y transporte de residuos a vertedero o centro de recogida y transferencia, 15 km, camión de 7 t, cargado con medios manuales <sup>[4]</sup>	833,51	66,45

##### Montaje módulos

<u>Uzado y posicionamiento módulos vivienda</u>	Módulos <i>u</i>	Peso mód. <i>kg/m<sup>2</sup></i>	Sup. mód. <i>m<sup>2</sup></i>	Peso mód. <i>Tm</i>	Tiempo grúa <i>h/módulo h totales</i>		Energía <i>MJ<sub>gasoil</sub></i>	Emisiones <i>KgCO<sub>2</sub><sub>gasoil</sub></i>
Grúa autopropulsada de hasta 6 toneladas <sup>[2]</sup>	64	233	19,8	4,6	0,25	16	12075,04	962,65
<u>Uzado y posicionamiento módulos galería</u>	Módulos <i>u</i>	Peso mód. <i>kg/m<sup>2</sup></i>	Sup. mód. <i>m<sup>2</sup></i>	Peso mód. <i>Tm</i>	Tiempo grúa <i>h/módulo h totales</i>		Energía <i>MJ<sub>gasoil</sub></i>	Emisiones <i>KgCO<sub>2</sub><sub>gasoil</sub></i>
Camión grúa de 5 t de carga, 12 m de alcance vertical, 9 m de alcance horizontal y 25 kNm de momento de elevación. 1.217,24MJ/h y 317,94KgCO <sub>2</sub> /h <sup>[3]</sup>	4	45	21,9	1,0	0,2	0,8	973,79	77,63
	8	45	23,1	1,0	0,2	1,6	1947,58	155,27
	8	45	19,14	0,9	0,2	1,6	1947,58	155,27

<sup>[1]</sup> Según mediciones de presupuesto y cálculos con el programa TCQ 2000 y el Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[2]</sup> Valores extraídos de la partida C150G800 del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[3]</sup> Valores extraídos de la partida C1502221 del Banco PR/PCT del ITeC

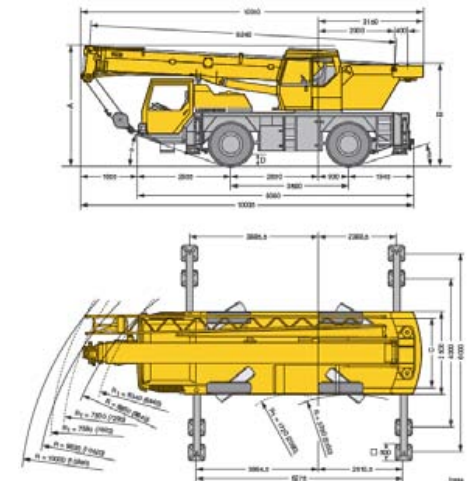
<sup>[4]</sup> Valores extraídos de la partida E2R64039 del Banco PR/PCT del ITeC y del cálculo de residuos de obra

<b>Total</b>	<b>31848,11</b>	<b>2539,00</b>
<b>Total m<sup>2</sup></b>	<b>18,65</b>	<b>1,49</b>
<b>Tox. amb.</b>	<b>43,45</b>	ECAKg/m <sup>2</sup>
<b>Tox. hum.</b>	<b>0,009</b>	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>

El cómputo de energía y emisiones derivadas de la maquinaria de obra es producido por la combustión de grúas, camiones, excavadoras y otros equipos. La aportación de energía manual no se tiene en cuenta debido a que no resulta sencillo determinar la parte relacionada sólo con el trabajo, de aquella necesaria para el resto de las actividades de los operarios, así como a su escasa repercusión frente a la maquinaria.

El gasto energético de mayor importancia es la grúa autopropulsada que toma cada módulo de vivienda desde los camiones de transporte y los sitúa unos sobre otros soportados por la estructura de cimentaciones, que representa un tercio de la energía.

Entre el resto de los consumos destacan las excavaciones con cerca de otro tercio de la energía total, el movimiento de tierras y las cimentaciones, así como también el camión grúa de los módulos de galería.



**Fase 3/6 Construcción: Residuos in situ**

	Pétr.	Yeso	Pap/cart	Plást.	Mad.	Met.	Esp.	Total	%
<b>Totales en Kg</b>	<b>27,52</b>	<b>0,00</b>	<b>131,17</b>	<b>0,84</b>	<b>52,64</b>	<b>151,97</b>	<b>0,66</b>	<b>364,80</b>	<b>100,00%</b>
							<b>Total kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0,21</b>	
<i>% reciclado habitual</i>	0	0	90	50	50	90	0		
<b>Material reciclado</b>	0	0	118,05	0,42	26,3	136,77	0	<b>281,56</b>	<b>77,18%</b>
							<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0,16</b>	
<b>Residuos</b>	<b>27,52</b>	<b>0,00</b>	<b>13,12</b>	<b>0,42</b>	<b>26,32</b>	<b>15,20</b>	<b>0,66</b>	<b>83,23</b>	<b>22,82%</b>

**Fase 3/6 Construcción: Residuos en fábrica modular**

Fracción	Sobrant. y embal.		Reutilización		Reciclaje		Vertido	
	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%
Pétreos	---							
Yeso	1,062	16,59%			1,062			
Papel, cartón	0,133	2,07%					0,133	
Plásticos	0,266	4,15%			0,133			
Madera	3,852	60,14%			3,852			
Metales	0,266	4,15%			0,266			
Otros	0,827	12,91%	0,539		0,087		0,334	
	<b>6,41</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,54</b>	<b>8,41%</b>	<b>5,40</b>	<b>84,31%</b>	<b>0,47</b>	<b>7,28%</b>
<b>Reutilizado</b>	<b>5,94</b>	<b>92,72%</b>						

Los residuos de construcción in situ se basan en estadísticas sobre construcción convencional del Proyecto Life 98/351 y en datos ambientales de las partidas del banco PR/PCT del ITeC. Los cálculos de residuos de fabricación de módulos se basan en los estadísticas de WRAP Waste & Resources Action Programme ([www.wrap.org.uk](http://www.wrap.org.uk)), documento WAS 003-003: Offsite Construction Case Study / Waste Reduction Potential of Offsite Volumetric Construction [WRAP 2007-3] así como en estimaciones propias en base a consultas a fabricantes.

Los residuos de construcción in situ, 0,16 kg/m<sup>2</sup> y de fabricación de módulos 6,41 kg/m<sup>2</sup> suman 6,57 kg/m<sup>2</sup>, cifra que en comparación con los estándares de obras convencionales resulta muy baja. El elevado porcentaje de reciclado (77%) que se alcanza en la construcción in situ se explica por la importante presencia de embalajes, sobrantes de acero y restos de madera en las tareas de cimentaciones, que permiten una separación y recolección efectiva. La fabricación de los módulos, que concentra la mayor parte de los materiales, produce escasos residuos con alta reciclabilidad (93%) gracias los procesos industriales utilizados.



La prefabricación de estructuras de madera, según datos de la organización inglesa WRAP supone un volumen reducido de residuos, de alrededor del 2% del total de materiales invertidos.

### Fase 4/6 Uso: Energía y emisiones a 50 años

Uso	Demanda		Dem. CTE <sup>[7]</sup>	Consumo <sup>[8]</sup>		Superficie		Usuarios <sup>[9]</sup>	Vida útil <sup>[10]</sup>	Cons. vida útil		
	MJ/m <sup>2</sup> /año	%	est/ref en %	MJ/m <sup>2</sup> /año	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	31u x 40m <sup>2</sup>	3pers. x 31u	años	MJ	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Calefacción <sup>[1]</sup>	157,61	41,3%	87,0	165,90	52,0%	9,4	29,2%	1280	93	50	8295,16	470,06
Refrigeración <sup>[2]</sup>	36,32	9,5%	89,9	19,12	6,0%	3,4	10,7%	1280	93	50	955,89	172,33
Agua cal. sanit. <sup>[3]</sup>	92,16	24,2%	...	38,80	12,2%	2,2	6,8%	1280	93	50	1940,21	109,95
Iluminación <sup>[4]</sup>	7,42	1,9%	...	7,42	2,3%	1,3	4,2%	1280	93	50	370,80	66,85
Cocina <sup>[5]</sup>	42,01	11,0%	...	42,01	13,2%	7,6	23,5%	1280	93	50	2100,60	378,69
Electrodomésticos <sup>[6]</sup>	45,76	12,0%	...	45,76	14,3%	8,2	25,6%	1280	93	50	2287,80	412,44
<b>Total</b>	<b>381,28</b>	<b>100,0%</b>		<b>319,01</b>	<b>100,0%</b>	<b>32,2</b>	<b>100,0%</b>			(final)	<b>15950,46</b>	<b>1610,31</b>
<b>Climatizac. + ACS</b>	<b>286,09</b>			<b>223,83</b>	(final)					(final)	<b>11191,26</b>	<b>752,33</b>
<b>Climatizac. + ACS</b>				<b>256,46</b>	(primaria)					(primaria)	<b>12823,05</b>	<b>752,33</b>
	<b>Tox. amb.</b>	<b>9447</b>	ECA kg/m <sup>2</sup>			<b>Tox. hum.</b>	<b>5,652</b>	HCA+HCW kg/m <sup>2</sup>				

<sup>[1]</sup> Calculada para el edificio de estudio con el programa LIDER (CTE-DBHE1) y contrastada con el programa Ecotect, edificio en zona climática C2 Banyoles

<sup>[2]</sup> Calculada para el edificio de estudio con el programa LIDER (CTE-DBHE1) y contrastada con el programa Ecotect, edificio en zona climática C2 Banyoles

<sup>[3]</sup> Valor estándar de demanda calculado en base a las exigencias normativas estatal y autonómica (CTE-DBHE4 y DE) suponiendo una ocupación de tres personas por vivienda. En consumo se considera que, de acuerdo a las exigencias de las normativas, el 60% de la energía es aportada por fuentes solares.

<sup>[4]</sup> Demanda/consumo de electrodomésticos reducida sobre valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000, [Mañá et al. 2003] por utilización de fuentes de luz de bajo consumo.

<sup>[5]</sup> Demanda/consumo en hogares según valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000 [Mañá et al. 2003].

<sup>[6]</sup> Demanda/consumo de electrodomésticos reducida respecto de los valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000 [Mañá et al. 2003], utilización de lavadoras y lavavajillas bitérmicas.

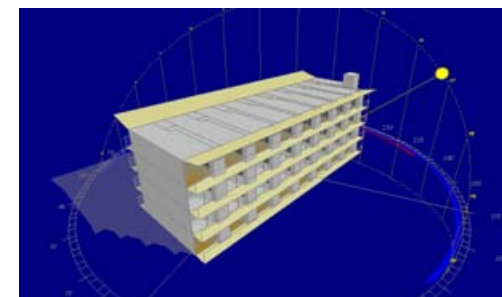
<sup>[7]</sup> Comparación de la demanda del edificio de estudio respecto del de referencia (o de cumplimiento normativo) definido por el programa LIDER (CTE-DBHE1)

<sup>[8]</sup> Suponiendo calderas de gas centralizadas de rendimiento medio 95% en calefacción y ACS y bombas de calor individuales con COP: 1,9 en refrigeración, según Memoria de Cálculo de la Opción Simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas. Para la conversión de la energía final a CO<sub>2</sub> primaria han sido utilizados los coeficientes de paso que emplea el programa CALENER GT elaborados por el IDAE de 0,204 kgCO<sub>2</sub>/kWh en el caso del gas (calefacción y ACS) y 0,649 KgCO<sub>2</sub>/kWh en el caso de la electricidad (resto de usos).

<sup>[9]</sup> El decreto de mínimos de habitabilidad de Cataluña fija una superficie mínima de 10m<sup>2</sup>/persona. En este caso han sido consideradas 3 personas por vivienda (13,33m<sup>2</sup>/persona).

<sup>[10]</sup> 50 años es un período de tiempo usual en análisis de ciclo de vida de edificios, aunque en algunos casos se suele utilizar 60 y hasta 75 años.

Las relaciones proporcionales entre los distintos usos energéticos del edificio, cuya localización se supone en zona C2 (Banyoles) no se alejan de las medias del IDAE para toda España, siendo el más significativo de ellos la calefacción, seguido del calentamiento de agua de uso sanitario. También son importantes la cocina y los electrodomésticos, más relacionados con los usuarios que con el edificio y no tenidos en cuenta en el resumen del ciclo de vida. Otra simulación realizada en zona B4 (Sevilla) ha dado como resultado una reducción total de la demanda del un 15%, así como variaciones relativas de la refrigeración y la calefacción, que pasan del 81% al 27% y del 19% al 73% respectivamente.



Edificio de estudio simulado con el programa Ecotect, situación de verano.



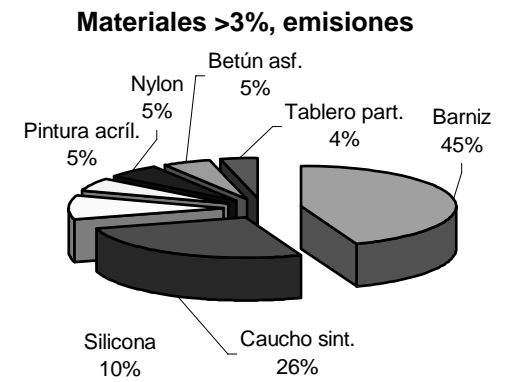
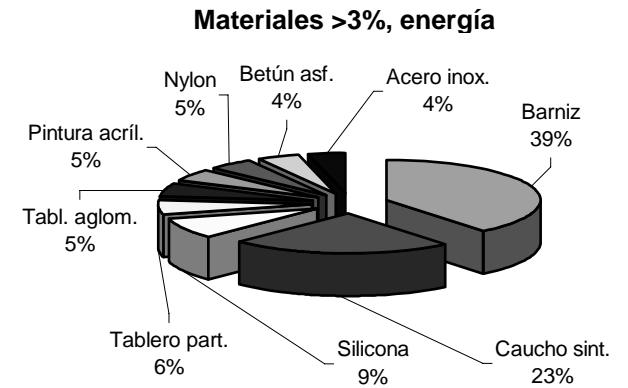
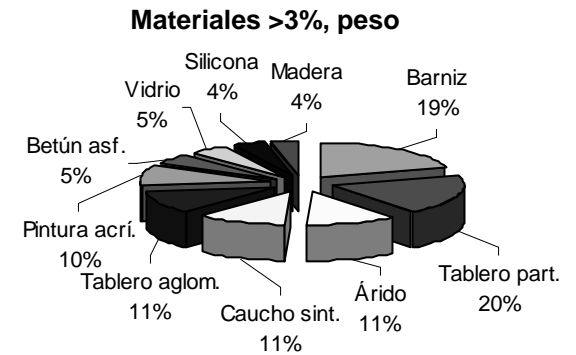
**Fase 5/6 Mantenimiento: Repercusión por subsistemas e indicadores a 50 años**

Subsistema	Peso		Energía		Emisiones	
	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%
Espacios comunes	3,5600	11,99%	286,47	19,88%	39,97	20,51%
Cubierta módulo y terrazas	4,9000	16,51%	126,00	8,74%	18,14	9,31%
Fachadas laterales	3,5900	12,09%	131,25	9,11%	13,30	6,83%
Fachada acceso módulo	1,2700	4,28%	77,11	5,35%	10,36	5,32%
Fachada terraza módulo	1,4800	4,99%	82,41	5,72%	11,06	5,68%
Revestimientos int. módulo	4,8900	16,47%	184,70	12,82%	26,59	13,65%
Mobiliario módulo	5,3400	17,99%	79,00	5,48%	7,16	3,67%
Baño módulo	3,3400	11,25%	344,77	23,92%	51,01	26,18%
Terrazas módulo	1,0200	3,44%	107,41	7,45%	15,10	7,75%
Red agua fría y caliente	0,0024	0,01%	0,30	0,02%	0,03	0,02%
Electricidad e iluminación	0,0017	0,01%	0,15	0,01%	0,02	0,01%
Climatización / Ventilación	0,0410	0,14%	3,78	0,26%	0,39	0,20%
Audiovisuales	0,0002	0,00%	0,02	0,00%	0,00	0,00%
Aparatos de elevación	0,2500	0,84%	17,71	1,23%	1,70	0,87%
	<b>29,6853</b>	<b>100,00%</b>	<b>1441,08</b>	<b>100,00%</b>	<b>194,83</b>	<b>100,00%</b>

**Intensidad material MIPS**  
 Materiales contados: 41,12kg/m<sup>2</sup>  
 (100% del total)  
 MIPS A+B: 2,28 kg-recursos/kg  
 MIPS Agua: 60,20 l/kg

**Toxicidad**  
 Materiales contados: 29,68kg/m<sup>2</sup>  
 (100% del total)  
 Tox. ambiental: 846,21 ECAKg/m<sup>2</sup>  
 Tox. humana: 0,30 HCA+HCWkg/m<sup>2</sup>

El cálculo del consumo de materiales ha tenido en cuenta los criterios de las Fichas Técnicas de Mantenimiento del ITeC [ITeC 1991], en sus valores medios. Para obtener los valores de peso, energía y emisiones han sido utilizados el banco PR/PCT y el programa TCQ 2000. La intensidad material y la toxicidad han sido calculadas de la forma ya reseñada. Los capítulos que concentran el impacto ambiental del mantenimiento son Espacios comunes con un 20% de la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> donde tiene importancia el repintado con barniz y Revestimientos interiores, Mobiliario y Baño del módulo, básicamente debido a las operaciones periódicas de repintado y sustitución de materiales superficiales sintéticos, reuniendo casi el 50%. Si se mira a través de la óptica de los materiales el barniz de las carpinterías y el caucho sintético de los revestimientos del baño significan alrededor de dos tercios de los mismos impactos



## Fase 6/6 Derribo: Energía y emisiones

Desconstrucción	Módulos	Peso mód.	Sup. mód.	Peso mód.	Tiempo grúa		Energía	Emisiones	
	u	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Tm	h/módulo	h totales	MJ <sub>gasoil</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>	
<i>Desmontaje módulos galerías y vivienda</i>									
Camión grúa de 5 t de carga, 12 m de alcance vertical <sup>[1]</sup>	20	135	64,115	2,885175	0,6	4	4868,96	388,16	
Grúa autopropulsada de hasta 6 toneladas <sup>[2]</sup>	64	233	19,8	4,6	0,25	16	12075,04	962,65	
<b>Demolición in situ</b>				<b>Volumen</b>	<b>Energía</b>		<b>Emisiones</b>		
<i>Demolición estructura del ascensor</i>				m <sup>3</sup>	MJ <sub>electricidad</sub>	MJ <sub>gasoil</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>electricidad</sub>		KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
Derribo de volumen de edificación hasta cimentación <sup>[3]</sup>				36	165,60	4614,48	11,48		367,88
Derribo de cimiento en pozos de hormigón armado <sup>[4]</sup>				25,47	1776,53	11.037,17	123,18		879,91
Derribo de cimiento corrido de hormigón armado <sup>[5]</sup>				40,44	2820,69	19.308,89	195,58		1.539,35
Carga y transporte de residuos a centro de reciclaje <sup>[3]</sup>				65,91		9539,15			760,48
Suministro de tierra seleccionada de aportación <sup>[6]</sup>				174,94		45.921,75			3.660,98
Pala cargadora mediana sobre neumáticos, de 117 kW <sup>[7]</sup>				174,94		4.152,43			331,04
<b>Totales</b>					<b>Energía</b>		<b>Emisiones</b>		
					MJ <sub>electricidad</sub>	MJ <sub>gasoil</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>electricidad</sub>		KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
				Subtotales	<b>4762,82</b>	<b>94573,88</b>	<b>330,24</b>		<b>7539,64</b>
					<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>	<b>Tox. amb.</b>		<b>Tox. human.</b>
					MJ	KgCO <sub>2</sub>	ECA Kg/m <sup>2</sup>		HCA+HCW kg/m <sup>2</sup>
				<b>Total m<sup>2</sup></b>	<b>58,16</b>	<b>4,61</b>	<b>137,46</b>		<b>0,035</b>

[1] Valores de la partida C1502221 del Banco PR/PCT del ITeC, [2] Valores de la partida C150G800 del Banco PR/PCT del ITeC, [3] Valores de la partida E211U030 del Banco PR/PCT del ITeC, [4] Valores de la partida E2132353 del Banco PR/PCT del ITeC, [5] Valores de la partida E2131353 del Banco PR/PCT del ITeC, [6] Valores de la partida E2A11000 del Banco PR/PCT del ITeC, [7] Partida C1311120 banco PR/PCTITeC y estimaciones.

## Fase 6/6 Derribo: Residuos generados y reciclaje

### Obra in situ

Grupos de residuos <sup>[2]</sup>	Cantidades			Reciclaje <sup>[1]</sup>	
	kg/m <sup>2</sup>	Tm	% hab.	Tm	% obra
Pétreos	171,07	292,19	0	0,00	0,00%
Yeso			0	0,00	0,00%
Plásticos			50	0,00	0,00%
Madera	0,47	0,80	50	0,40	0,13%
Especiales	0,00	0,01	0	0,00	0,00%
Metales	2,88	4,92	90	4,43	1,49%
<b>Totales</b>	<b>174,42</b>	<b>297,92</b>		<b>4,83</b>	<b>1,62%</b>
				<b>2,83</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

### Construcción modular

Grupos de residuos <sup>[3]</sup>	Cantidades			Reciclaje <sup>[1]</sup>	
	kg/m <sup>2</sup>	Tm	% hab.	Tm	% obra
Pétreos	56,99	97,34	0	0,00	0,00%
Yeso	26,41	45,11	90	40,60	7,20%
Plásticos	6,54	11,16	50	5,58	0,99%
Madera	209,58	357,96	90	322,17	57,15%
Especiales	23,12	39,48	0	0,00	0,00%
Metales	7,41	12,66	90	11,39	2,02%
<b>Totales</b>	<b>330,04</b>	<b>563,71</b>		<b>379,74</b>	<b>67,36%</b>
				<b>222,33</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

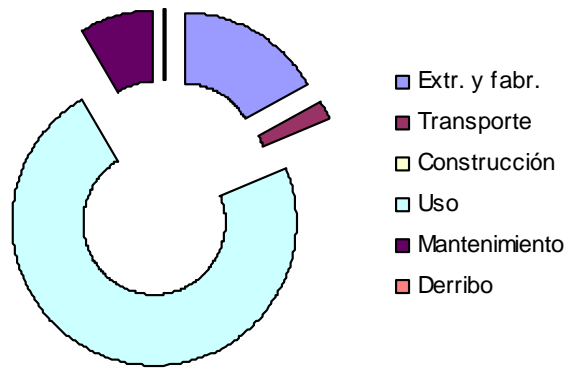
**Total material reciclado (obra in situ + construcción modular en fábrica): 45%**

[1] Según datos estadísticos del PROGROC (Programa de Gestión de Residuos de la Construcción, Agencia de Residuos de Cataluña) en su documento 2004-2006, así como estimaciones propias.  
 [2] Se considera separación selectiva en 6 fracciones (se excluye papel y cartón) y porcentajes de reciclaje: 0% para los áridos y los yesos, 50% para los plásticos y las maderas, 0% para los especiales y 90% para los metales. [3] Se considera que los módulos regresan a fábrica luego del período de vida útil y que allí son desconstruidos para ser reusados, rehabilitados o reciclados los componentes o materiales. Los porcentajes de reciclaje son: 0% para los áridos, 90% para el yeso y la madera así como los metales, 50% para los plásticos y, finalmente, 0% para los especiales.

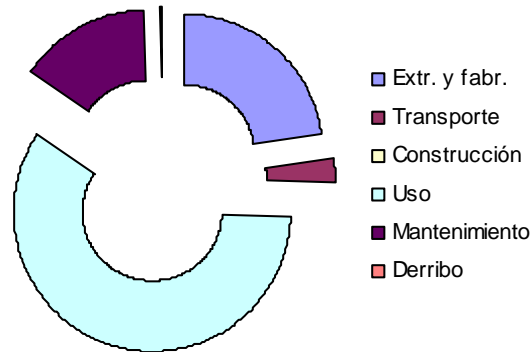
La mayoría de los residuos, cerca del 55% del total, tiene como destino vertederos controlados. A diferencia de la etapa de construcción, la cantidad de material es significativa y en su mayor parte se está compuesta por pétreos (cerámica, hormigón, morteros, etc.), que se recicla sólo cuando se encuentra libre de otros materiales y el gestor cuenta con infraestructura para ello.

**Síntesis del ciclo de vida**

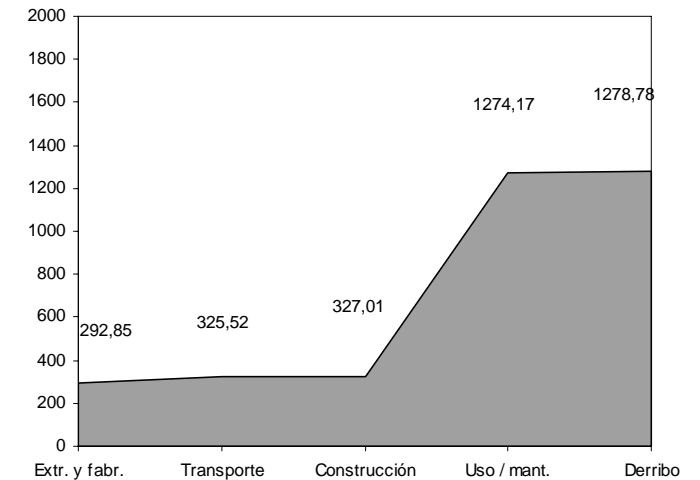
		Extracción y fabricación	Transporte	Construcción	Uso	Mantenimiento	Derribo	Total
<b>Consumo de energía primaria</b>	MJ/m <sup>2</sup>	2932,44	409,75	18,65	12823,05	1441,08	58,16	17683,13
		16,6%	2,3%	0,1%	72,5%	8,1%	0,3%	100,0%
<b>Emisiones generadas</b>	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	292,85	32,67	1,49	752,33	194,83	4,61	1278,78
		22,9%	2,6%	0,1%	58,8%	15,2%	0,4%	100,0%



Distribución del consumo de energía primaria a lo largo del ciclo de vida del edificio.



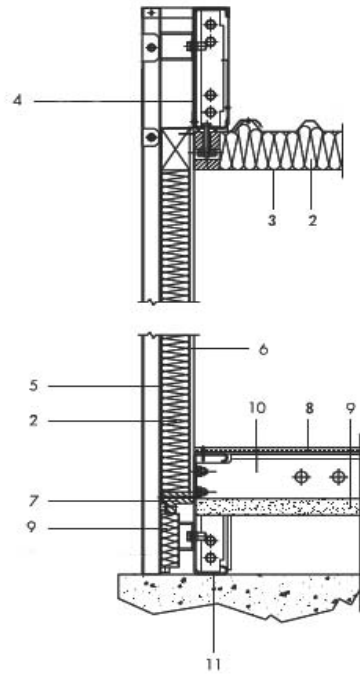
Distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida del edificio.



Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida de 50 años del edificio. Los intervalos entre fases no son representativos del tiempo transcurrido.

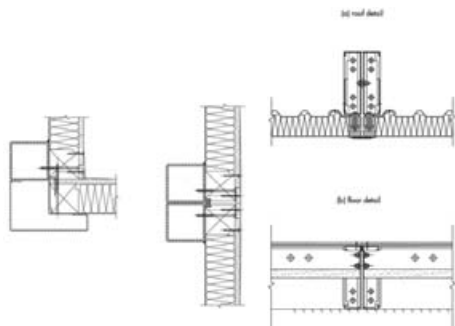
Aunque han sido determinados otros impactos, el cuadro del ciclo de vida presenta una síntesis representada por la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, por tratarse de indicadores de uso muy extendido en análisis de impacto ambiental. Como sucede en la mayoría de los análisis de ciclo de vida de los edificios, las etapas de Extracción y fabricación de materiales y Uso del edificio concentran la mayor parte del impacto, hasta un 90% según los indicadores utilizados. La proporción entre ellas se sitúa en 4,5 a 1 para el caso de la energía y en algo más de 2 a 1 en el caso de las emisiones. La fuerte diferencia en el caso de la energía se debe a que a madera, que predomina en el sistema constructivo, es un material natural poco intensivo en procesos industriales. No obstante, la tendencia hacia el aumento de la eficiencia energética de uso ya comentada en los sistemas anteriores podría equilibrar un poco más esta relación en el futuro.

Sección integral por la fachada



- 1 profiled plastisol-coated aluminium-zinc steel outer skin
- 2 injected CFC-free polymer insulation
- 3 polyester-coated galvanized steel inner lining
- 4 plastisol-coated galvanized steel beam cover trim
- 5 plastisol-coated galvanized steel outer skin
- 6 12.5 mm Gyproc Fireline wallboard inner lining
- 7 impact-resistant polystyrene bottom rail
- 8 moisture-resistant structural particle board floor deck
- 9 HCFC-free rigid urethane insulation board
- 10 cold-formed galvanized steel channel floor end joist
- 11 polyethylene dampproof course

Detalles de encuentros de módulos planta/sección



## 7.5 Sistema modular de acero (Yorkon)

El sistema modular de acero representa la solución constructiva más extendida en su segmento de mercado. Su origen se remonta a la fabricación de contenedores de transporte y luego a la producción de módulos más ligeros. La evolución constructiva de estos últimos hacia espacios y envolventes de mayores prestaciones en cuanto a las exigencias de habitabilidad ha dado lugar a sistemas modulares de acero de mayor sofisticación, de entre los que se ha escogido el de la empresa inglesa Yorkon [Yorkon 2008], [BBA 2002], subsidiaria del grupo Portakabin con actividad desde 1961, por ser líder en este tipo de construcciones en su país y por representar su sistema un estándar en este tipo edificatorio. El módulo Yorkon se basa en un bastidor tridimensional de acero, formando espacios de de 3,3m de ancho y entre 7,5 y 14,25m de largo (medidas interiores). Se prefabrica casi por entero en planta, recibiendo en obra tratamientos de juntas y acabados superficiales. La estructura incluida en cada módulo puede recibir diferentes tipos de cerramientos y carpinterías, siendo apta para apilamientos de hasta seis plantas. Existen módulos estándar especiales con lados irregulares para producir giros en planta y también otros que incluyen escaleras y vestíbulos. A continuación se describen las técnicas y materiales empleados.

- Cimentaciones prefabricadas de hormigón armado (bases y riostras).
- Estructura vertical de perfiles tubulares de acero galvanizado.
- Forjado y cubierta de entramado de perfiles de chapa plegada de acero galvanizado.
- Fachadas de panel sándwich de acero galvanizado y lacado, con núcleo de aislamiento térmico de espuma sintética (en este estudio no se consideran, pero sobre el panel pueden disponerse diversos materiales de acabado sintéticos).
- Aislamiento térmico de espuma de poliuretano y acústico de lana de roca.
- Cubierta de panel sándwich nervado de chapa de acero galvanizado plegada con núcleo de aislamiento térmico en base a espumas sintéticas.
- Carpinterías exteriores de perfiles de acero galvanizado con rotura de puente térmico.
- Vidrios cámara 4+4/20/6 en las carpinterías exteriores.
- Mecanismos de oscurecimiento y protección solar en base a *screens* de estructura de aluminio, cables de acero inoxidable y cerramientos de tela de PVC y fibra de vidrio.
- Revestimientos interiores (paredes y techos) con placas de cartón yeso sobre estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado. Losetas de PVC hasta los 2m de altura en el lavabo.
- Pavimento interior de losetas de PVC sobre tablero de madera contrachapada.
- Barandillas de estructura de acero galvanizado con cerramientos de vidrio laminado 5+5.
- Estructura de acero galvanizado y chapa colaborante en los espacios de comunicaciones.

**Fase 1/6 Extracción y fabricación de materiales: repercusión de subsistemas**

Subsistema	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%
Replanteo y movimiento de tierras	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Cimentaciones y muros de contención	162,21	39,70%	113,48	1,70%	9,68	1,37%
Espacios comunes	33,62	8,23%	578,44	8,65%	56,79	8,01%
Cubierta	4,06	0,99%	177,02	2,65%	19,18	2,71%
Fachadas laterales	2,18	0,53%	81,91	1,23%	8,05	1,14%
Estructura módulo	80,36	19,67%	3.203,65	47,92%	332,72	46,95%
Fachada acceso módulo	7,81	1,91%	395,99	5,92%	47,48	6,70%
Fachada terraza módulo	9,28	2,27%	535,17	8,01%	67,55	9,53%
Revestimientos interiores módulo	20,43	5,00%	196,43	2,94%	19,42	2,74%
Mobiliario módulo	21,77	5,33%	336,06	5,03%	30,77	4,34%
Baño módulo	2,50	0,61%	81,34	1,22%	9,04	1,28%
Terrazas módulo	8,03	1,97%	279,25	4,18%	25,92	3,66%
Saneamiento y aguas grises*	27,88	6,82%	143,48	2,15%	18,99	2,68%
Red agua fría y caliente*	2,89	0,71%	70,14	1,05%	8,78	1,24%
Electricidad e iluminación*	19,66	4,81%	213,69	3,20%	25,24	3,56%
Gas/Combustible*	0,024	0,01%	3,47	0,05%	0,36	0,05%
Climatización/Ventilación*	4,34	1,06%	205,45	3,07%	21	2,96%
Audiovisuales*	0,77	0,19%	16,21	0,24%	2,36	0,33%
Aparatos de elevación	0,71	0,17%	50,6	0,76%	4,87	0,69%
Protección contra incendios*	0,04	0,01%	3	0,05%	0,46	0,06%
<b>Total</b>	<b>408,57</b>	<b>100%</b>	<b>6.685,21</b>	<b>100%</b>	<b>708,66</b>	<b>100</b>

\* Valores estadísticos [SaAS et al. 2007]

Si bien este sistema modular es mucho más ligero que la construcción convencional (408kg/m<sup>2</sup> contra 1500-2000 kg/m<sup>2</sup> habitualmente), en energía y emisiones resulta claramente superior (6885 respecto de 6000 MJ/m<sup>2</sup> y 708 respecto de 600 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>), debido a la utilización intensiva de acero y otros materiales fabricados con procesos industriales intensos. La repercusión del capítulo de la estructura del módulo, de acero y alma de espuma de poliuretano, reúne sólo el 20% del peso aunque alrededor del 50% del de las emisiones y la energía. Otros capítulos importantes son espacios comunes, fachadas y mobiliario del módulo, donde predominan los mismos materiales, el tablero DM y los acabados sintéticos, que suman una cuarta parte de la energía y emisiones respectivamente. Las cimentaciones, que representan el 40% del peso, tienen una escasa participación en los anteriores indicadores, que no llega al 2%.

**Intensidad material MIPS**

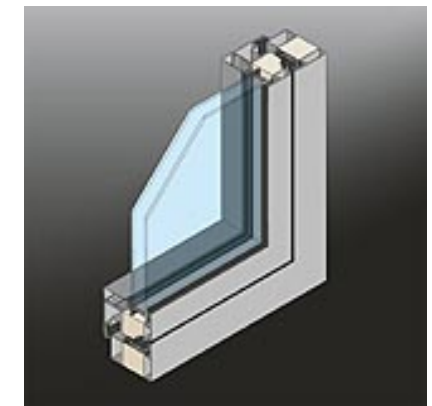
Materiales contados: 1.460,74 kg/m<sup>2</sup>  
(99,75% del total)

MIPS A+B: 2,25 kg-recursos/kg  
MIPS Agua: 38,22 l/kg

**Toxicidad**

Materiales contados 1460,74 Kg/m<sup>2</sup>  
(99,75% del total)

Tox. ambiental: 66.929,46 ECAKg/m<sup>2</sup>  
Tox. humana: 12,26 HCA+HCWkg/m<sup>2</sup>



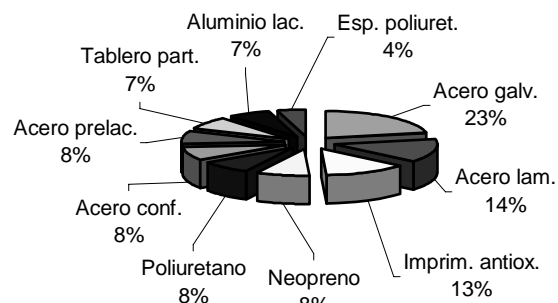
Carpintería de perfiles de acero con ruptura de puente térmico similar a la considerada en este estudio. Forster

### Fase 1/6 Extracción y fabricación de materiales: Material reciclado y material reciclable

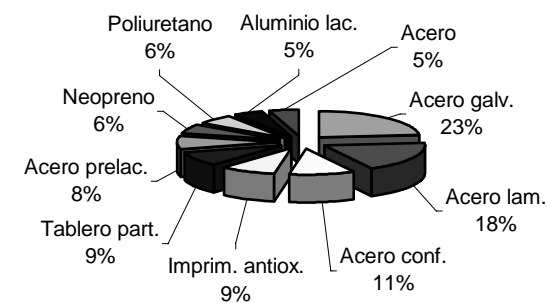
Materiales > al 1% en Kg, MJ o CO <sub>2</sub>		Forma usual	Kg/m <sup>2</sup>	Reciclado	%	Reciclable	%
Acero	46% Esp. comunes, 30% Terrazas mód., 19% Ciment. y muros de cont.	Perfiles y barras de acero	6,93	2,8	40	2,8	40
Acero conformado	81% Estr. módulo, 13% Esp. comunes	Perfiles plegados	15,28	6,1	40	6,1	40
Acero conf. galvanizado	34% Fach. acc. módulo, 66% Fachada terr. mód.	Perfiles de ventana	4,09	1,6	40	1,6	40
Acero galvanizado	78% Estr. módulo 9% Fach. Acc. módulo, 2% Esp. Comunes	Perfiles de chapa plegada	30,77	12,3	40	12,3	40
Acero laminado	19% Esp. comunes, 68% Estr. Módulo, 11% Terrazas mód.	Paneles sandwich	27,63	11,1	40	11,1	40
Acero prelacado	59% Estr. módulo, 26% Cubierta, 15% Fach. laterales	Chapas	11,75	4,7	40	4,7	40
Agua	83% Ciment. y muros de cont., 16% Esp. comunes	De red	15,61	0		0	
Aluminio lacado	66% Fachada terr. mód., 34% Fach. acc. Módulo	Persianas enrollables	1,16	0,2	20	0,2	20
Árido	89% Ciment. y muros de cont., 10% Esp. comunes	Bases, riostras y tabiques	185,07	0		0	
Cemento	83% Ciment. y muros de cont., 15% Esp. comunes	Bases, riostras y tabiques	17,05	0		0	
Cobre recocido	99% Inst. electricidad	Cajas de cacles y accesorios	0,45	0,2	50	0,2	50
Espuma de poliuretano	91% Estr. Módulo, 6% Fach. acc. módulo, 3% Fachada terr. mód.	Paneles sandwich	2,29	0		0	
Imprimación antioxidante	72% Estr. Módulo, 17% Esp. comunes, 9% Terrazas mód.	Botes de pintura	4,77	0		0	
Neopreno	53% Fachada terr. mód., 28% Fach. acc. módulo, 19% Estr. Módulo	Planchas	2,55	0		0	
Nylon	57% Esp. comunes, 42% Cubierta	Herrajes	0,83	0		0	
Polipropileno	77% Saneam. y aguas grises., 20% Red agua fría y caliente	Tubos	1,51	0		0	
Poliuretano	84% Estr. Módulo, 6% Fach. acc. módulo, 3% Fachada terr. mód.	Planchas	4,63	0		0	
PVC	64% Rev. interiores mód., 23% Baño mód., 12% Ap. elevación	Losetas y rollos	1,54	0		0	
Tablero part. de madera	67% Mob. Módulo, 33% Estr. Módulo	Mobiliario	30,24	0		0	
Vidrio	66% Fachada terr. mód., 34% Fach. acc. Módulo	Paneles cámara	5,30	0,5	10	0,0	0
Yeso	100% Rev. interiores mód.	Sacos	13,50	0		0	
Yeso laminado	100% Rev. interiores mód.	Tableros	12,26	0		0	
<b>Total</b>			<b>395,22</b>	<b>39,6</b>		<b>39,0</b>	
			<b>97%</b>	<b>10%</b>		<b>10%</b>	

Los materiales con mayor carga de impacto son los que tienen menor repercusión en peso. En emisiones encabeza la lista el acero galvanizado (parte de la estructura de los módulos) con casi la cuarta parte del total, seguido acero laminado (paneles sándwich de cerramiento) con el 14% y la imprimación antioxidante de las piezas estructurales de acero con el 13%, por delante de muchos materiales que lo superan ampliamente en peso. En energía las posiciones cambian, aunque la importancia de los distintos aceros frente a los pétreos y sintéticos, no varía. Los reciclados (que entran a obra) y reciclables (al final de la vida útil) se sitúan en el 10%, porcentaje que aunque es bajo resulta significativamente mayor que el habitual gracias a la reciclabilidad del acero.

Materiales >2%, emisiones



Materiales >2%, energía



### Fase 2/6 Transporte de materiales a obra

Material	Forma predominante	Peso transp.	Densidad	Dens. corr. <sup>[4]</sup>	Vol. transp.	Cam./dist.	Consumo <sup>[6]</sup>		
		Tm	Tm/m <sup>3</sup>	Tm/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	u/km	litros gasoil	%	
<i>Obra in situ</i>									
Acero	Barras y perfiles	11,83	7,85	5,50	2,15	181	54,26	0,91%	
Cemento	Hormigón a granel	29,13	1,60	1,28	22,76	614	184,06	3,07%	
Árido		316,10	1,50	1,20	263,42	4021	1206,36	20,15%	
Agua	De red	26,66	...	...	...	...	...		
<i>Fábrica</i>									
Acero conformado	Perfiles plegados	26,10	7,85	3,93	6,65	241	72,42	1,21%	0,00%
Acero conf. galvanizado	Perfiles de ventana	6,99	7,85	2,36	2,97	65	19,39	0,32%	
Acero galvanizado	Perfiles de chapa plegac	52,56	7,85	3,93	13,39	486	145,85	2,44%	
Acero laminado	Paneles sandwich	47,19	7,85	6,28	7,51	513	153,95	2,57%	
Acero prelacado	Chapas	20,07	7,85	6,28	3,20	186	55,69	0,93%	
Aluminio lacado	Persianas enrollables	1,98	2,70	0,81	2,45	20	6,02	0,10%	
Cobre recocido	Cajas de cacles y acces	0,77	7,85	3,93	0,20	11	3,17	0,05%	
Espuma de poliuretano	Paneles sandwich	3,91	0,15	0,12	32,59	189	56,71	0,95%	
Imprimación antioxidante	Botes de pintura	8,15	1,20	0,96	8,49	91	27,19	0,45%	
Neopreno	Planchas	4,36	1,14	0,80	5,46	86	25,76	0,43%	
Nylon	Herrajes	1,42	0,91	0,64	2,23	15	4,63	0,08%	
Polipropileno	Tubos	2,59	0,94	0,19	13,75	99	29,71	0,50%	
Poliuretano	Planchas	7,91	0,15	0,12	65,96	383	114,77	1,92%	
PVC	Losetas y rollos	2,63	1,35	0,68	3,90	36	10,80	0,18%	
Tablero part. de madera	Mobiliario	51,65	0,80	0,64	80,70	123	36,80	0,61%	
Vidrio	Paneles cámara	9,05	2,6	1,30	6,96	112	33,61	0,56%	
Yeso	Sacos	23,06	1,25	1,00	23,06	416	124,95	2,09%	
Yeso laminado	Tableros	20,94	0,85	0,68	30,79	378	113,47	1,89%	
<i>Módulos</i>									
Unidades prefabric.	Módulos galería	20,00				4080	1224	20,44%	
Unidades prefabric.	Módulos vivienda	32,00				6528	2284,8	38,15%	
<b>Resumen de indicadores</b>							5988,37	100,00%	
<b>Igasoil/m<sup>2</sup> 3,51</b>			<b>Tox. amb. ECAKg/m<sup>2</sup> 352,91</b>						
<b>MJ/m<sup>2</sup> 151,46</b>			<b>Tox. hum. HCA+HCWkg/m<sup>2</sup> 0,076</b>						

En el transporte han sido tenidos en cuenta un par de aspectos fundamentales: a) que los materiales realizan dos tipos de trayectos, entre la fábrica y el almacén regional y entre éste y la obra b) que el origen de los materiales resulta muy difícil de determinar. A partir de estas premisas ha sido realizada una aproximación de cargas a partir del peso de los materiales, de los volúmenes efectivos a transportar, de la procedencia de los materiales, de la cantidad de envíos, del porcentaje de carga efectiva de los camiones, de los retornos con o sin carga, etc., de la que se ofrece más información en el Anexo 7.

Los elementos de mayor repercusión son los módulos, con un 60% de la energía total, aunque también es importante el hormigón de las cimentaciones (árido + cemento), con un 23% de la energía consumida. En las hipótesis de localización tenidas en cuenta en esta investigación la distancia entre la fábrica de módulos y la obra es de 136 km. Si, en cambio y como ocurre en la realidad con algunos proyectos de escuelas modulares realizadas en Cataluña, esta distancia fuera de 1000 km, el aumento en el consumo de energía de transporte sería del 450%. La localización de la fábrica, su radio de influencia, es de gran importancia.



### Fase 3/6 Construcción: Energía y emisiones

#### Construcción *in situ*

##### Excavaciones y cimentaciones

	Energía MJ <sub>gasoil</sub>	Emisiones KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
Excavación de zanjas y pozos en terreno compacto. Carga y transporte a vertedero ubicado entre 10 y 15km <sup>[1]</sup>	10.662,71	850,05
Cimentaciones. Bases y riostras de hormigón armado, incluye parte proporcional de encofrado lateral con tablonos de madera. <sup>[1]</sup>	2.838,88	226,32
Tabique estructural del conducto de ascensor, muro de hormigón armado para revestir <sup>[1]</sup>	569,01	45,36
Carga y transporte de residuos a vertedero o centro de recogida y transferencia, 15 km, camión de 7 t, cargado con medios manuales <sup>[4]</sup>	833,51	66,45

##### Montaje módulos

<u>lizado y posicionamiento módulos vivienda</u>	Módulos	Peso mód. kg/m <sup>2</sup>	Sup. mód. m <sup>2</sup>	Peso mód. Tm	Tiempo grúa h/módulo	h totales	Energía MJ <sub>gasoil</sub>	Emisiones KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
Grúa autopropulsada de hasta 6 toneladas <sup>[2]</sup>	64	233	19,8	4,6	0,25	16	12075,04	962,65
<u>lizado y posicionamiento módulos galería</u>	Módulos	Peso mód. kg/m <sup>2</sup>	Sup. mód. m <sup>2</sup>	Peso mód. Tm	Tiempo grúa h/módulo	h totales	Energía MJ <sub>gasoil</sub>	Emisiones KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
Camión grúa de 5 t de carga, 12 m de alcance vertical, 9 m de alcance horizontal y 25 kNm de momento de elevación. 1.217,24MJ/h y 317,94KgCO <sub>2</sub> /h <sup>[3]</sup>	4	45	21,9	1,0	0,2	0,8	973,79	77,63
	8	45	23,1	1,0	0,2	1,6	1947,58	155,27
	8	45	19,14	0,9	0,2	1,6	1947,58	155,27

<b>Total</b>	<b>31848,11</b>	<b>2539,00</b>
<b>Total/m<sup>2</sup></b>	<b>18,65</b>	<b>1,49</b>
<b>Tox. amb.</b>	<b>43,45</b>	ECAKg/m <sup>2</sup>
<b>Tox. hum.</b>	<b>0,009</b>	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>

<sup>[1]</sup> Según mediciones de presupuesto y cálculos con el programa TCQ 2000 y el Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[2]</sup> Valores extraídos de la partida C150G800 del Banco PR/PCT del ITeC

<sup>[3]</sup> Valores extraídos de la partida C1502221 del Banco PR/PCT del ITeC

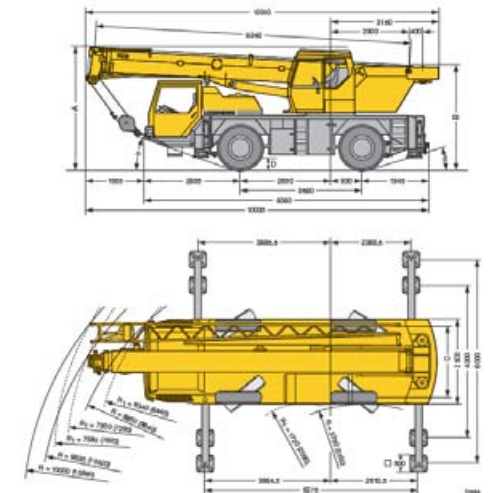
<sup>[4]</sup> Valores extraídos de la partida E2R64039 del Banco PR/PCT del ITeC y del cálculo de residuos de obra

El cómputo de energía y emisiones derivadas de la maquinaria de obra, es producido por la combustión de grúas, camiones, excavadoras y otros equipos.

La aportación de energía manual no se tiene en cuenta debido a que no resulta sencillo determinar la parte relacionada sólo con el trabajo, de aquella necesaria para el resto de las actividades de los operarios, así como a su escasa repercusión frente a la maquinaria. Tampoco es tenida en cuenta la utilización de máquinas menores eléctricas debido a su escasa repercusión.

El gasto energético de mayor importancia es la grúa autopropulsada que toma cada módulo de vivienda desde los camiones de transporte y los sitúa unos sobre otros soportados por la estructura de cimentaciones, que representa un tercio de la energía.

Entre el resto de los consumos destacan las excavaciones con cerca de otro tercio de la energía total, el movimiento de tierras y las cimentaciones, así como también el camión grúa empleado en el montaje de los módulos de galería.





**Fase 3/6 Construcción: Residuos in situ**

	Pétr.	Yeso	Pap/cart	Plást.	Mad.	Met.	Esp.	Total	%
<b>Totales en Kg</b>	<b>27,52</b>	<b>0,00</b>	<b>131,18</b>	<b>1,04</b>	<b>52,64</b>	<b>155,97</b>	<b>0,66</b>	<b>369,01</b>	<b>100,00%</b>
							<b>Total en kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0,22</b>	
<i>% de recic. habitual</i>	0	0	90	50	50	90	0		
<b>Material reciclado</b>	0	0	118,06	0,521	26,3	140,4	0	<b>285,27</b>	<b>77,31%</b>
							<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0,17</b>	
<b>Residuos</b>	<b>27,52</b>	<b>0,00</b>	<b>13,12</b>	<b>0,52</b>	<b>26,32</b>	<b>15,60</b>	<b>0,66</b>	<b>83,73</b>	<b>22,69%</b>

**Fase 3/6 Construcción: Residuos en fábrica modular**

Fracción	Sobra. y embal.		Reutilización		Reciclaje		Vertido	
	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>2</sup>	%
Pétreos	...							
Yeso	0,354	15,95%			0,354			
Papel/cartón	0,044	1,99%					0,044	
Plásticos	0,221	9,97%	0,177		0,044			
Madera	1,258	56,77%			1,258			
Metales	0,177	7,98%			0,177			
Otros	0,163	7,34%	0,008		0,043		0,112	
	<b>2,22</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,18</b>	<b>8,32%</b>	<b>1,88</b>	<b>84,64%</b>	<b>0,16</b>	<b>7,05%</b>
<b>Reutilizado</b>	<b>2,06</b>	<b>92,95%</b>						

Los residuos de construcción in situ se basan en estadísticas sobre construcción convencional del Proyecto Life 98/351 y en datos ambientales de las partidas del banco PR/PCT del ITeC. Los cálculos de residuos de fabricación de módulos se basan en los estadísticas de WRAP Waste & Resources Action Programme ([www.wrap.org.uk](http://www.wrap.org.uk)), documento WAS 003-003: Offsite Construction Case Study / Waste Reduction Potential of Offsite Volumetric Construction [WRAP 2007-4] así como en estimaciones propias en base a consultas a fabricantes. Los residuos de construcción in situ, 0,17 kg/m<sup>2</sup> y de fabricación de módulos 2,22 kg/m<sup>2</sup> suman 2,39 kg/m<sup>2</sup>, cifra que en comparación con los estándares de obras convencionales resulta muy baja. El elevado porcentaje de reciclado (77%) que se alcanza en la construcción in situ se explica por la importante presencia de embalajes, sobrantes de acero y restos de madera en las tareas de cimentaciones, que permiten una separación y recolección efectiva. La fabricación de los módulos, que concentra la mayor parte de los materiales, produce escasos residuos con alta reciclabilidad (93%) gracias los procesos industriales utilizados.



La prefabricación de módulos de acero, según datos de la organización inglesa WRAP supone un volumen reducido de residuos, de alrededor del 1,8% del total de materiales invertidos.

### Fase 4/6 Uso: Energía y emisiones a 50 años

Uso	Demanda		Dem. CTE <sup>[7]</sup>	Consumo <sup>[8]</sup>		Superficie		Usuarios <sup>[9]</sup>	Vida útil <sup>[10]</sup>	Cons. vida útil		
	MJ/m <sup>2</sup> /año	%	est/ref en %	MJ/m <sup>2</sup> /año	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	31u x 40m <sup>2</sup>	3pers. x 31u	años	MJ/m <sup>2</sup>	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Calefacción <sup>[1]</sup>	160,81	41,2%	88,6	169,27	52,0%	9,6	29,1%	1280	93	50	8463,50	479,60
Refrigeración <sup>[2]</sup>	42,32	10,8%	104,9	22,27	6,8%	4,0	12,2%	1280	93	50	1113,62	200,76
Agua cal. sanit. <sup>[3]</sup>	92,16	23,6%	...	38,80	11,9%	2,2	6,7%	1280	93	50	1940,21	109,95
Iluminación <sup>[4]</sup>	7,42	1,9%	...	7,42	2,3%	1,3	4,1%	1280	93	50	370,80	66,85
Cocina <sup>[5]</sup>	42,01	10,8%	...	42,01	12,9%	7,6	23,0%	1280	93	50	2100,60	378,69
Electrodomésticos <sup>[6]</sup>	45,76	11,7%	...	45,76	14,1%	8,2	25,0%	1280	93	50	2287,80	412,44
<b>Total</b>	<b>390,47</b>	<b>100,0%</b>		<b>325,53</b>	<b>100,0%</b>	<b>33,0</b>	<b>100,0%</b>			(final)	<b>16276,53</b>	<b>1648,28</b>
<b>Climatizac. + ACS</b>	<b>295,28</b>			<b>230,35</b>	(final)					(final)	<b>11517,33</b>	<b>790,30</b>
<b>Climatizac. + ACS</b>				<b>268,06</b>	(primaria)					(primaria)	<b>13403,16</b>	<b>790,30</b>

**Tox. amb. 10033** ECA kg/m<sup>2</sup>

**Tox. hum. 6,128** HCA+HCW kg/m<sup>2</sup>

<sup>[1]</sup> Calculada para el edificio de estudio con el programa LIDER (CTE-DBHE1) y contrastada con el programa Ecotect, edificio en zona climática C2 Banyoles

<sup>[2]</sup> Calculada para el edificio de estudio con el programa LIDER (CTE-DBHE1) y contrastada con el programa Ecotect, edificio en zona climática C2 Banyoles

<sup>[3]</sup> Valor estándar de demanda calculado en base a las exigencias normativas estatal y autonómica (CTE-DBHE4 y DE) suponiendo una ocupación de tres personas por vivienda. En consumo se considera que, de acuerdo a las exigencias de las normativas, el 60% de la energía es aportada por fuentes solares.

<sup>[4]</sup> Demanda/consumo de electrodomésticos reducida sobre valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000, [Mañá et al. 2003] por utilización de fuentes de luz de bajo consumo.

<sup>[5]</sup> Demanda/consumo en hogares según valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000 [Mañá et al. 2003].

<sup>[6]</sup> Demanda/consumo de electrodomésticos reducida respecto de los valores de referencia elaborados por ICAEN en 2000 [Mañá et al. 2003], utilización de lavadoras y lavavajillas bitérmicas.

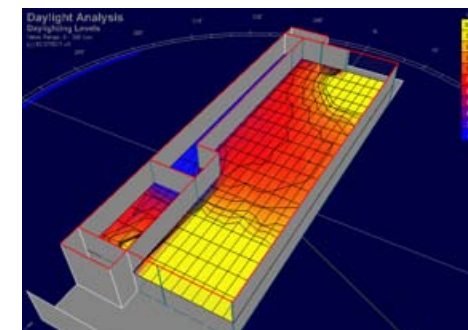
<sup>[7]</sup> Comparación de la demanda del edificio de estudio respecto del de referencia (o de cumplimiento normativo) definido por el programa LIDER (CTE-DBHE1)

<sup>[8]</sup> Suponiendo calderas de gas centralizadas de rendimiento medio 95% en calefacción y ACS y bombas de calor individuales con COP: 1,9 en refrigeración, según Memoria de Cálculo de la Opción Simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas. Para la conversión de la energía final a CO<sub>2</sub> primaria han sido utilizados los coeficientes de paso que emplea el programa CALENER GT elaborados por el IDAE de 0,204 kgCO<sub>2</sub>/kWh en el caso del gas (calefacción y ACS) y 0,649 KgCO<sub>2</sub>/kWh en el caso de la electricidad (resto de usos).

<sup>[9]</sup> El decreto de mínimos de habitabilidad de Cataluña fija una superficie mínima de 10m<sup>2</sup>/persona. En este caso han sido consideradas 3 personas por vivienda (13,33m<sup>2</sup>/persona).

<sup>[10]</sup> 50 años es un período de tiempo usual en análisis de ciclo de vida de edificios, aunque en algunos casos se suele utilizar 60 y hasta 75 años.

Las relaciones proporcionales entre los distintos usos energéticos del edificio, cuya localización se supone en zona C2 (Banyoles) no se alejan de las medias del IDAE para toda España, siendo el más significativo de ellos la calefacción, seguido del calentamiento de agua de uso sanitario. También son importantes la cocina y los electrodomésticos, más relacionados con los usuarios que con el edificio y no tenidos en cuenta en el resumen del ciclo de vida. Otra simulación realizada en zona B4 (Sevilla) ha dado como resultado una reducción total de la demanda del un 15%, así como variaciones relativas de la refrigeración y la calefacción, que pasan del 79% al 27% y del 21% al 73% respectivamente. En este clima el sistema constructivo demostró dificultades para ajustarse al límite de demanda energética (exceso en refrigeración) fijado por el CTE.



Verificación de la incidencia de la luz solar en la célula de estudio con el programa Ecotect.

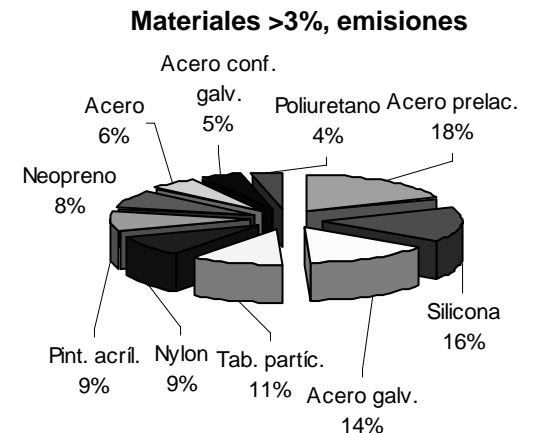
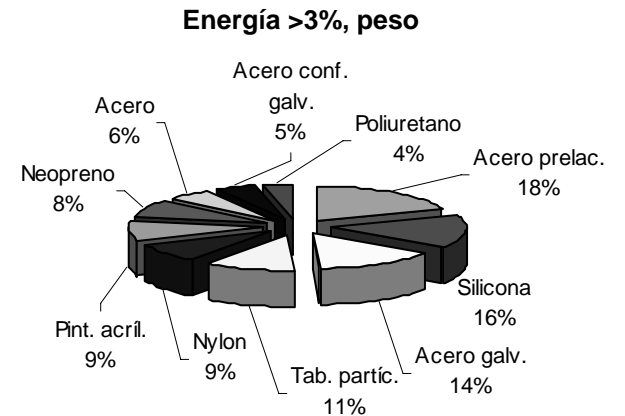
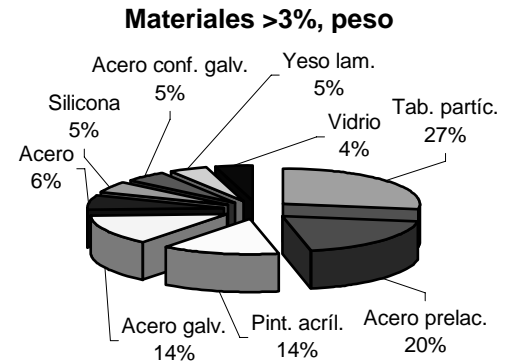
**Fase 5/6 Mantenimiento: Repercusión por subsistemas e indicadores a 50 años**

Subsistema	Peso		Energía		Emisiones	
	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%
Espacios comunes	2,3400	10,13%	98,2900	11,89%	11,8400	12,13%
Cubierta módulo y terrazas	3,0000	12,99%	131,3200	15,89%	14,3700	14,73%
Fachadas laterales	1,2200	5,28%	45,0600	5,45%	4,4200	4,53%
Fachada acceso módulo	2,1700	9,40%	99,5400	12,05%	11,3900	11,67%
Fachada terraza módulo	2,5300	10,95%	116,9300	14,15%	13,8300	14,17%
Revestimientos int. módulo	4,9800	21,56%	190,0800	23,00%	27,3800	28,06%
Mobiliario módulo	5,3400	23,12%	79,0000	9,56%	7,1600	7,34%
Baño módulo	0,2500	1,08%	14,5200	1,76%	2,1400	2,19%
Terrazas módulo	0,9700	4,20%	29,6200	3,58%	2,9100	2,98%
Red agua fría y caliente	0,0024	0,01%	0,3000	0,04%	0,0300	0,03%
Electricidad e iluminación	0,0017	0,01%	0,1500	0,02%	0,0210	0,02%
Climatización / Ventilación	0,0410	0,18%	3,7800	0,46%	0,3900	0,40%
Audiovisuales	0,0002	0,00%	0,0210	0,00%	0,0026	0,00%
Aparatos de elevación	0,2500	1,08%	17,7100	2,14%	1,7000	1,74%
	<b>23,0953</b>	<b>100,00%</b>	<b>826,3300</b>	<b>100,00%</b>	<b>97,5836</b>	<b>100,00%</b>

**Intensidad material MIPS**  
 Materiales contados: 41,12 kg/m<sup>2</sup>  
 (100% del total)  
 MIPS A+B: 2,0 kg-recursos/kg  
 MIPS Agua: 83,62 l/kg

**Toxicidad**  
 Materiales contados: 29,68kg/m<sup>2</sup>  
 (100% del total)  
 Tox. ambiental: 773,31 ECAKg/m<sup>2</sup>  
 Tox. humana: 0,30 HCA+HCWkg/m<sup>2</sup>

El cálculo del consumo de materiales ha tenido en cuenta los criterios técnicos de las Fichas Técnicas de Mantenimiento del ITeC [ITeC 1991], en sus valores medios. Para obtener los valores de peso, energía y emisiones han sido utilizados el banco PR/PCT y el programa TCQ 2000. La intensidad material y la toxicidad han sido calculadas de la forma ya reseñada anteriormente. Los capítulos que concentran el impacto ambiental del mantenimiento son Fachadas con un 25% de la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> donde tiene importancia el repintado de cerramientos de acero y Revestimientos interiores, básicamente debido a las operaciones periódicas de repintado y sustitución de materiales superficiales sintéticos, reuniendo casi el 50%. Si se mira a través de la óptica de los materiales los aceros de recubrimientos significan alrededor de un 30% de los mismos impactos. Otros materiales, de escasa repercusión en peso, son los tableros de partículas y la selladora de silicona, que suman un 25%.



## Fase 6/6 Derribo: Energía y emisiones

<b>Desconstrucción</b>	<b>Módulos</b>	<b>Peso mód.</b>	<b>Sup. mód.</b>	<b>Peso mód.</b>	<b>Tiempo grúa</b>		<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>
	u	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Tm	h/módulo	h totales	MJ <sub>gasoil</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
<i>Desmontaje módulos galerías y vivienda</i>								
Camión grúa de 5 t de carga, 12 m de alcance vertical <sup>[1]</sup>	20	135	64,115	2,885175	0,6	4	4868,96	388,16
Grúa autopropulsada de hasta 6 toneladas <sup>[2]</sup>	64	233	19,8	4,6	0,25	16	12075,04	962,65
<b>Demolición in situ</b>				<b>Volumen</b>	<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>		
<i>Demolición estructura del ascensor</i>				m <sup>3</sup>	MJ <sub>electricidad</sub>	MJ <sub>gasoil</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>electricidad</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
Derribo de volumen de edificación hasta cimentación <sup>[3]</sup>				36	165,60	4614,48	11,48	367,88
Derribo de cimientto en pozos de hormigón armado <sup>[4]</sup>				25,47	1776,53	11.037,17	123,18	879,91
Derribo de cimientto corrido de hormigón armado <sup>[5]</sup>				40,44	2820,69	19.308,89	195,58	1.539,35
Carga y transporte de residuos a centro de reciclaje <sup>[3]</sup>				65,91		9539,15		760,48
Suministro de tierra seleccionada de aportación <sup>[6]</sup>				174,94		45.921,75		3.660,98
Pala cargadora mediana sobre neumáticos, de 117 kW <sup>[7]</sup>				174,94		4.152,43		331,04
<b>Totales</b>				<b>Energía</b>		<b>Emisiones</b>		
					MJ <sub>electricidad</sub>	MJ <sub>gasoil</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>electricidad</sub>	KgCO <sub>2</sub> <sub>gasoil</sub>
				Subtotales	<b>4762,82</b>	<b>94573,88</b>	<b>330,24</b>	<b>7539,64</b>
					<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>	<b>Tox. amb.</b>	<b>Tox. human.</b>
					MJ	KgCO <sub>2</sub>	ECA Kg/m <sup>2</sup>	HCA+HCW kg/m <sup>2</sup>
				<b>Total m<sup>2</sup></b>	<b>58,16</b>	<b>4,61</b>	<b>137,46</b>	<b>0,035</b>

[1] Valores de la partida C1502221 del Banco PR/PCT del ITeC, [2] Valores de la partida C150G800 del Banco PR/PCT del ITeC, [3] Valores de la partida E211U030 del Banco PR/PCT del ITeC, [4] Valores de la partida E2132353 del Banco PR/PCT del ITeC, [5] Valores de la partida E2131353 del Banco PR/PCT del ITeC, [6] Valores de la partida E2A11000 del Banco PR/PCT del ITeC, [7] Partida C1311120 banco PR/PCTITeC y estimaciones.

## Fase 6/6 Derribo: Residuos generados y reciclaje

### Obra in situ

<i>Grupos de residuos</i> <sup>[2]</sup>	<b>Cantidades</b>			<b>Reciclaje</b> <sup>[1]</sup>	
	kg/m <sup>2</sup>	Tm	% hab.	Tm	% obra
Pétreos	171,07	292,19	0	0,00	0,00%
Yeso		0,00	0	0,00	0,00%
Plásticos		0,00	50	0,00	0,00%
Madera		0,00	50	0,00	0,00%
Especiales	0,00	0,01	0	0,00	0,00%
Metales	2,94	5,02	90	4,52	1,52%
<b>Totales</b>	<b>174,01</b>	<b>297,22</b>		<b>4,52</b>	<b>1,52%</b>
				<b>2,65 Kg/m<sup>2</sup></b>	

### Construcción modular

<i>Grupos de residuos</i> <sup>[3]</sup>	<b>Cantidades</b>			<b>Reciclaje</b> <sup>[1]</sup>	
	kg/m <sup>2</sup>	Tm	% hab.	Tm	% obra
Pétreos	46,64	79,66	0	0,00	0,00%
Yeso	26,93	46,00	90	41,40	10,46%
Plásticos	13,36	22,81	30	6,84	1,73%
Madera	32,24	55,07	90	49,56	12,53%
Especiales	15,28	26,11	0	0,00	0,00%
Metales	97,18	165,98	90	149,38	37,76%
<b>Totales</b>	<b>231,63</b>	<b>395,63</b>		<b>247,18</b>	<b>62,48%</b>
				<b>144,72 Kg/m<sup>2</sup></b>	

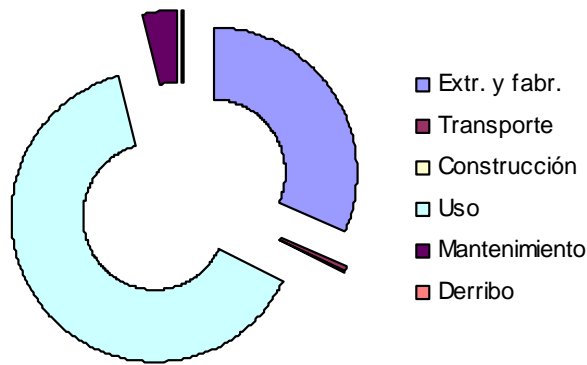
**Total material reciclado (obra in situ + construcción modular en fábrica): 36%**

[1] Según datos estadísticos del PROGROC (Programa de Gestión de Residuos de la Construcción, Agencia de Residuos de Cataluña) en su documento 2004-2006, así como estimaciones propias.  
 [2] Se considera separación selectiva en 6 fracciones (se excluye papel y cartón) y porcentajes de reciclaje: 0% para los áridos y los yesos, 50% para los plásticos y las maderas, 0% para los especiales y 90% para los metales. [3] Se considera que los módulos regresan a fábrica luego del período de vida útil y que allí son desconstruidos para ser reusados, rehabilitados o reciclados los componentes o materiales. Los porcentajes de reciclaje son: 0% para los áridos, 90% para el yesos y la madera así como los metales, 50% para los plásticos y, finalmente, 0% para los especiales.

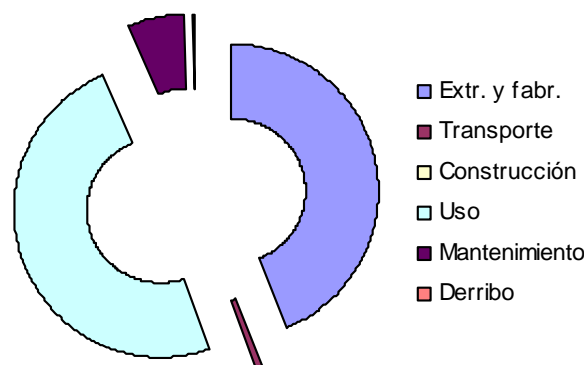
La mayoría de los residuos, cerca del 67% del total, tiene como destino vertederos controlados. A diferencia de la etapa de construcción, la cantidad de material es significativa y en su mayor parte se está compuesta por pétreos (cerámica, hormigón, morteros, etc.), que se recicla sólo cuando se encuentra libre de otros materiales y el gestor cuenta con infraestructura para ello.

**Síntesis del ciclo de vida**

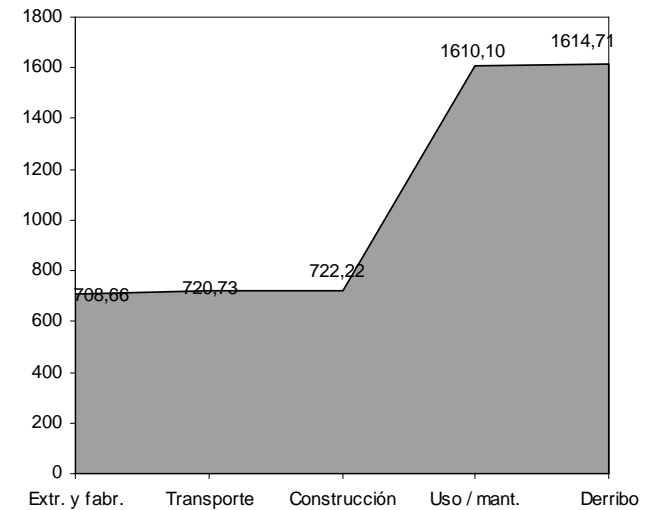
		Extracción y fabricación	Transporte	Construcción	Uso	Mantenimiento	Derribo	Total
<b>Consumo de energía primaria</b>	MJ/m <sup>2</sup>	6685,21	151,46	18,65	13410,16	826,33	58,16	21149,97
		31,6%	0,7%	0,1%	63,4%	3,9%	0,3%	100,0%
<b>Emisiones generadas</b>	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	708,66	12,07	1,49	790,3	97,58	4,61	1614,71
		43,9%	0,7%	0,1%	48,9%	6,0%	0,3%	100,0%



Distribución del consumo de energía primaria a lo largo del ciclo de vida del edificio.



Distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida del edificio.



Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida de 50 años del edificio. Los intervalos entre fases no son representativos del tiempo transcurrido.

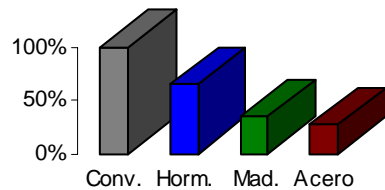
El cuadro del ciclo de vida presenta una síntesis representada por la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Como sucede en la mayoría de los análisis de ciclo de vida de los edificios, las etapas de Extracción y fabricación de materiales y Uso del edificio concentran la mayor parte del impacto, hasta un 90% según los indicadores utilizados. La proporción entre ellas se sitúa en 2 a 1 para el caso de la energía pero muy cerca de la paridad en el caso de las emisiones, debido a que la fase de Extracción y fabricación de materiales es especialmente intensiva en procesos industriales consumidores de energía no renovable. Un ligero aumento en la eficiencia energética de climatización o un aumento de la captación de energías no renovables podrían poner, en relación a las emisiones de CO<sub>2</sub>, a la fase de Extracción y fabricación de materiales por delante de la de Uso respecto de su repercusión total.

## 7.6 Síntesis comparativa

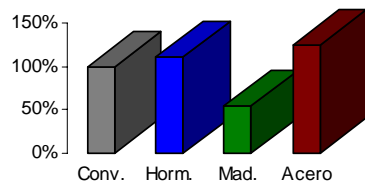
### Fase 1 de 6: Extracción y fabricación de materiales

Sistema	Peso		Energía		Emisiones		MIPS A+B		MIPS Agua		Reciclado		Reciclaje		Tox. ambiental		Tox. humana	
	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	Tm/Tm	%	Tm/Tm	%	% s. total	%	% s. total	%	ECAkg/m <sup>2</sup>	%	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>	%
Convencional	1464,55	100%	5380,28	100%	600,49	100%	1,77	100%	9,53	100%	1,00	100%	1,00	100%	40311,50	100%	6,79	100%
Modular hormigón	945,86	65%	5986,60	111%	615,48	102%	1,81	102%	15,26	160%	2,00	200%	2,00	200%	43444,56	108%	7,51	111%
Modular madera	506,826	35%	2932,44	55%	292,85	49%	3,71	209%	14,66	154%	3,00	300%	1,00	100%	9835,98	24%	3,18	47%
Modular acero	408,566	28%	6685,21	124%	708,66	118%	2,25	127%	38,22	401%	10,00	1000%	10,00	1000%	66929,46	166%	12,26	180%

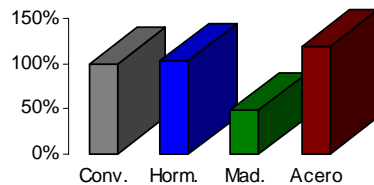
Comparativa según peso



Comparativa según energía



Comparativa según CO<sub>2</sub>



El sistema convencional es el que mayor peso representa, seguido por el modular de hormigón con una reducción de un tercio y, con valores significativamente menores, por los modulares de madera y acero. Este aparentemente menor afectación de materiales se ve matizada cuando se suma al análisis la consideración de la intensidad material (MIPS Abiótico + Biótico) que representa a la totalidad de materias primas afectadas, ya que mientras que los sistemas convencional y de hormigón se sitúan en valores similares (1,77 y 1,81tm/tm), el acero registra un incremento de una cuarta parte (2,25tm/tm) y la madera la dobla (3,71tm/tm). Aún así acero y madera implican una menor cantidad total de materiales involucrados.

En lo que respecta a dos indicadores bastante relacionados, la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, el sistema de acero es quien sale peor situado, seguido de cerca por el hormigón y el convencional con variaciones menores al 20%. La diferencia respecto del sistema de madera sí es muy significativa, puesto que se encuentra en la mitad o por debajo de ella según se lo compare con los otros tres. Aquí tiene peso la utilización intensiva de un material de origen natural cuyo proceso industrial no es muy intenso y que, además, actúa como sumidero de CO<sub>2</sub> durante la fase de crecimiento.

En el último de los grupos de indicadores analizados, la toxicidad ambiental y humana que son representadas por las emisiones contaminantes al aire, a la tierra y al agua, también resulta favorable para el sistema de madera ya que es el que más bajos valores registra. Los sistemas convencional y de hormigón implican entre dos y tres veces la toxicidad de la madera y en el caso del acero los incrementos son de entre cuatro y seis veces. En esto último resulta especialmente significativa la utilización de materiales sintéticos y de alta intensidad industrial que implican grandes cantidades de energía y emisiones.

**Fase 2 de 6: Transporte de materiales a obra**

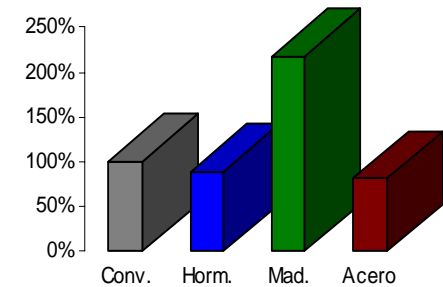
Sistema	Gas oil		Energía		Emisiones		Tox. ambiental		Tox. humana	
	l/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	ECA kg/m <sup>2</sup>	%	HCA+HCW kg/m <sup>2</sup>	%
Convencional	4,36	100%	188,22	100%	15,01	100%	438,56	100%	0,09410	100%
Modular hormigón	3,85	88%	166,29	88%	13,26	88%	387,46	88%	0,08310	88%
Modular madera	9,48	218%	409,75	218%	32,67	218%	954,71	218%	0,20490	218%
Modular acero	3,51	80%	151,46	80%	12,07	80%	352,91	80%	0,07600	81%

El sistema modular en madera presenta una particularidad distintiva respecto del resto: el material más empleado, la madera estructural que conforma los forjados y paredes de los módulos, proviene de Graz, Austria, donde se encuentra ubicada la fábrica de tableros para la construcción KLH Massivholz, propietaria del sistema modular die.Modulfabrik KLH que se estudia en esta investigación. En este estudio se ha mantenido expresamente esta condición a efectos de conocer la repercusión que podría tener la localización lejana de algunos de los componentes principales de los módulos.

Los tableros, que viajan alrededor de 1600 km entre Graz (fábrica KLH) y Cardona (hipótesis de localización de la fábrica de módulos), según ha sido visto en el análisis de transporte de ese sistema donde representa la mayor parte del gasto energético, desequilibran la comparación colocando a la madera aun por delante del sistema convencional que, como se verá seguidamente, es el que más dispersión de movimientos y gasto energético presenta. Naturalmente, este hecho no puede ser atribuido al material ya que si la madera empleada fuese de origen local el gasto energético total seguramente sería similar al del acero, que es el más bajo de todos.

Reduciendo ahora la comparación al sistema convencional y los sistemas modulares de hormigón y acero, donde la localización de todos los materiales responde a patrones locales, puede constatarse que el primero representa un 12% más de gasto con respecto al segundo y un 20% con respecto al tercero. Esto se debe fundamentalmente a una mayor cantidad de viajes entre el almacén de materiales y la obra, en los que frecuentemente la capacidad de carga de los camiones y el número de viajes no se optimiza. Si bien los sistemas modulares no presentan este problema, debe decirse que también registran un inconveniente de ineficiencia que radica en el transporte de módulos que incluyen importantes niveles de vacío (no se emplea la totalidad de la capacidad de carga). La distancia entre la fábrica de módulos y la obra, que en este caso es de unos 136km, resulta determinante. Si fuera mucho mayor seguramente hasta podría poner al sistema convencional por delante de los sistemas modulares.

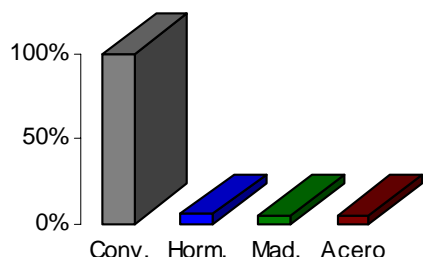
Comparativa según consumo de gasoil



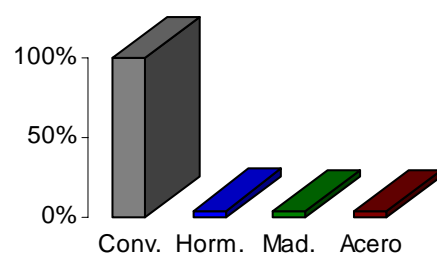
### Fase 3 de 6: Construcción

Sistema	Energía		Emisiones		Tox. amb.		Tox. hum.		In situ			Fábrica			Total			
	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	ECAkg/m <sup>2</sup>	%	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>	%	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	%	Kg/m <sup>2</sup>	% s.tot	Kg/m <sup>2</sup>	% s.tot	Kg/m <sup>2</sup>	% s.tot
Convencional	360,78	100%	43,21	100%	985,13	100%	0,6971	100%	125,32	0,00	125,32	100%	10,19	8%			10,19	8%
Modular hormigón	21,66	6%	1,73	4%	50,47	5%	0,0110	2%	0,29	25,52	25,80	21%	0,18	62%	24,76	97%	24,93	97%
Modular madera	18,65	5%	1,49	3%	43,45	4%	0,0090	1%	0,21	6,41	6,41	5%	0,16	77%	5,94	93%	6,10	95%
Modular acero	18,65	5%	1,49	3%	43,45	4%	0,0090	1%	0,22	2,22	2,43	2%	0,17	77%	2,06	93%	2,23	92%

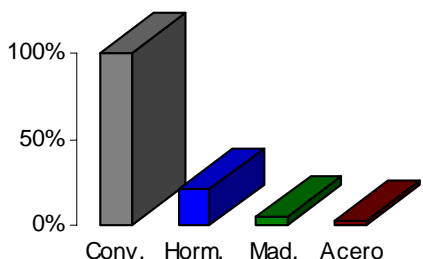
Comparativa según energía



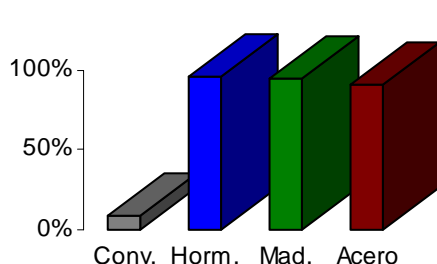
Comparativa según emisiones de CO<sub>2</sub>



Comparativa según residuos



Comparativa según reciclabilidad



En el cálculo energético, de emisiones y de toxicidad asociadas durante la etapa de construcción no han sido tenidos en cuenta los gastos correspondientes a la fabricación de los módulos, sino que el escenario considerado es la obra *in situ*. De tal forma, la comparación entre el sistema convencional y los modulares registra una particularidad, ya que los módulos son considerados como componentes (de la misma manera que una ventana en el sistema convencional). Aún en la hipótesis de contar la energía de las fábricas modulares, debe tenerse en cuenta que en ellas más que fabricar se acoplan materiales y componentes ya fabricados con los que se conforman las unidades tridimensionales. A partir de ello puede considerarse que, en cualquier caso, el sistema convencional consume más energía de fabricación que los modulares, quedando por determinar la relación en que ocurre.

En el caso de los residuos y de la reciclabilidad de los mismos no ocurre lo mismo, ya que los valores que registra el cuadro se basan en estadísticas ya reseñadas que cubren tanto los escenarios *in situ* como de fabricación modular en todos los casos.

A partir de ello sí es posible afirmar que el sistema convencional es por mucho el que más residuos genera, en una proporción de cinco a uno con respecto al siguiente, el modular de hormigón, que puede llegar a veinte a uno y más en los casos de los sistemas de madera y acero respectivamente. Respecto de la reciclabilidad, todos los sistemas modulares se sitúan por encima del 90% respecto de los residuos generados, hecho que se explica por la propia naturaleza del sistema y el entorno industrial, donde la separación selectiva resulta sencilla de realizar.

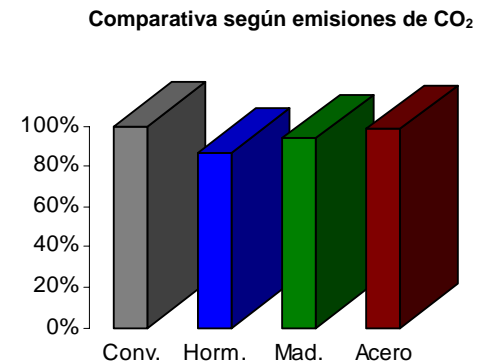
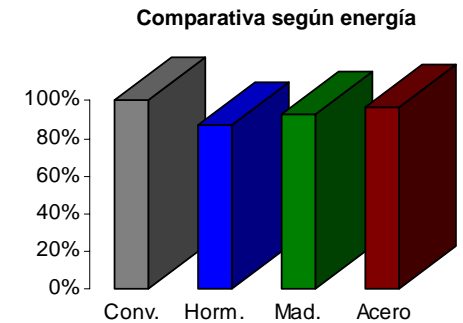


**Fase 4 de 6: Uso** (considerando 50 años y localización en zona climática C2)

Sistema	Energía primaria, consumo				Emisiones			Toxicidad (vida útil)			
	Clima+ACS		Vida útil		Clima+ACS		(vida útil)	Ambiental		Humana	
	MJ/m <sup>2</sup> /año	Años	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	ECAk/m <sup>2</sup>	%	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>	%	
Convencional	277,29	50	13.864,50	100%	802,47	100%	9773,60	100%	5,496	100%	
Modular hormigón	240,91	50	12.045,50	87%	700,00	87%	8604,70	88%	4,933	90%	
Modular madera	256,46	50	12.823,00	92%	752,33	94%	9447,00	97%	5,652	103%	
Modular acero	268,06	50	13.403,00	97%	790,30	98%	10033,00	103%	6,128	111%	

A efectos de hacer posible la comparación entre los cuatro edificios, de composición idéntica aunque materializados por sistemas constructivos diferentes, se los igualó en el cumplimiento de la limitación de la demanda energética siguiendo la metodología prevista en el DB HE1 (documento sobre limitación de la demanda energética) del Código Técnico de la Edificación mediante la regulación del aislamiento y el factor solar. Esto, que permite igualar la respuesta térmica del sistema convencional y los modulares de hormigón, madera y acero en un mismo umbral, es al mismo tiempo una virtud y un problema. Virtud porque los pone en pie de igualdad, representando cómo sería su respuesta frente a una situación real, y problema porque desdibuja la repercusión térmica de cada material en particular, habida cuenta de que sus limitaciones están suplidas con más o menos aislamiento.

No obstante, los resultados obtenidos permiten realizar una serie de consideraciones. En primer lugar no puede hablarse de grandes diferencias ya que la máxima separación entre los cuatro sistemas, tomando los valores de consumo de energía y emisiones asociadas, no supera el 15%. El convencional es el de mayor gasto y se separa algo del resto, y los modulares se encuentran comprendidos en una franja con variación menor al 6%. Como ha podido verse cuando se los ha analizado por separado, en la zona climática C2 (Banyoles) predomina la calefacción mientras que en la zona B4 (Sevilla) no representada en el cuadro pero sí en los anexos esta relación se invierte y la demanda mayor se centra en la refrigeración. Se llega en esta situación a que los sistemas más ligeros, la madera y el acero, presenten problemas de incumplimiento de la demanda (excesos en refrigeración) por falta de inercia térmica que les permita acumular y ceder calor en forma desfasada respecto de cómo lo hacen las condiciones del clima exterior. El aumento del aislamiento térmico y la protección solar tienen un límite aquí, debiéndose recurrir a estrategias de sobre ventilación o incorporación de elementos constructivos pesados y, por tanto, que incorporen masa con inercia térmica.

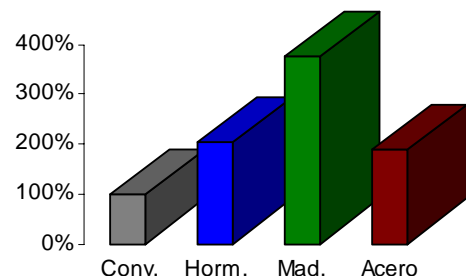


### Fase 5 de 6: Mantenimiento (considerando 50 años e intensidad media)

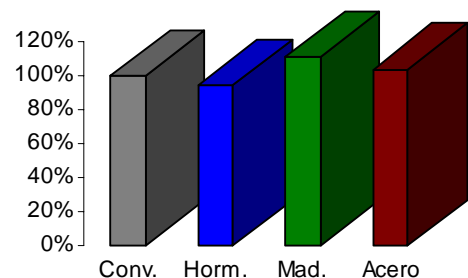
Sistema	Peso		Energía		Emisiones		MIPS A+B		MIPS Agua		Reciclado		Reciclaje		Tox. amb.		Tox. hum.	
	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	Tm/Tm	%	Tm/Tm	%	% s. total	%	% s. total	%	ECAkg/m <sup>2</sup>	%	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>	%
Convencional	41,12	100%	409,82	100%	51,84	100%	58,89	100%	480,41	100%	1,00	100%	1,00	100%	726,92	100%	0,20	100%
Modular hormigón	26,74	65%	858,00	209%	105,93	204%	47,93	81%	1018,60	212%	10,00	1000%	8,00	800%	531,80	73%	0,23	116%
Modular madera	29,69	72%	1441,08	352%	194,83	376%	2,28	4%	60,20	13%	4,00	400%	1,00	100%	846,21	116%	0,30	149%
Modular acero	23,10	56%	826,33	202%	97,58	188%	2,33	4%	86,62	18%	16,00	1600%	13,00	1300%	773,41	106%	0,30	150%

Total fases uso y mantenimiento	Energía		Emisiones		Tox. amb.		Tox. hum.	
	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	ECAkg/m <sup>2</sup>	%	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>	%
Convencional	13.905,62	100%	854,31	100%	10500,52	100%	5,70	100%
Modular hormigón	12.072,24	87%	805,93	94%	9136,50	87%	5,17	91%
Modular madera	12.852,69	92%	947,16	111%	10293,21	98%	5,95	104%
Modular acero	13.426,10	97%	887,88	104%	10806,41	103%	6,43	113%

Emisiones de CO<sub>2</sub>, sólo mantenimiento



Emisiones de CO<sub>2</sub>, fases mantenimiento y uso



En esta etapa resultan significativos dos aspectos: la durabilidad de los materiales más expuestos al desgaste y la repercusión ambiental de los mismos. Las dos condiciones combinadas hacen que el sistema modular de madera, que es el de repercusión ambiental más baja en la etapa de extracción y fabricación de materiales, resulte perjudicado. En efecto, la gran cantidad de repintados con barnices poliuretánicos disparan su gasto energético así como las emisiones asociadas, representando hasta tres veces y media al sistema convencional en cuyo mantenimiento predominan los materiales minerales, de menor consumo energético de fabricación. Los sistemas de acero y hormigón, donde predominan los metales, doblan el impacto ambiental del convencional si se lo mide en los mismos ejemplos. Respecto de la reciclabilidad el acero presenta las mejores condiciones, ya que el material es separable y valorado en el mercado. El hormigón también, aunque algo menos, por la misma razón.

Por último, cuando se suman las emisiones de CO<sub>2</sub> de esta etapa con las de uso (la gráfica inferior, que representa la totalidad del impacto en el tiempo en que el edificio es utilizado), las diferencias se recortan debido al gran peso que tienen los gastos energéticos de climatización del edificio, que como ha sido dicho no presentan grandes diferencias entre los sistemas analizados. La madera continúa siendo la opción de mayor impacto, el acero y el convencional se encuentran prácticamente igualados, y el hormigón se presenta como la opción más favorable puesto que en la etapa de uso ya marcaba diferencias respecto del resto gracias al aprovechamiento su gran inercia térmica)

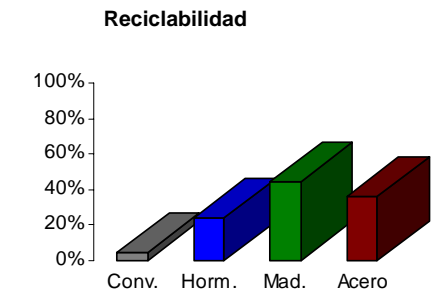
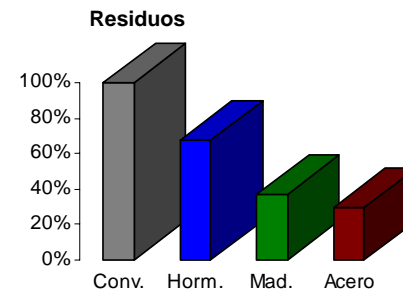
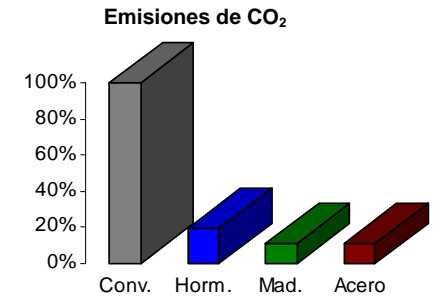
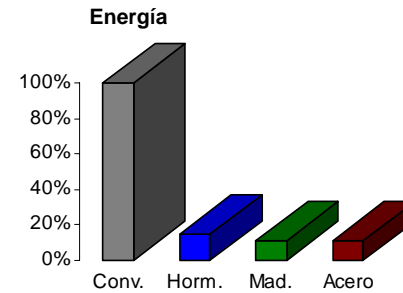
**Fase 6 de 6: Derribo**

Sistema	Energía		Emisiones		Tox. amb.		Tox. hum.		Residuos				Reciclaje			
									In situ	Fábrica	Total		In situ	Fábrica	Total	
	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	ECAk/m <sup>2</sup>	%	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>	%	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	%	Kg/m <sup>2</sup>	% s.tot	Kg/m <sup>2</sup>	% s.tot
Convencional	516,42	100%	41,00	100%	1287,98	100%	0,3040	100%	1370,51		1370,51	100%	63,52	5%	63,52	5%
Modular hormigón	77,10	15%	8,01	20%	182,36	14%	0,0470	15%	216,23	711,09	927,32	68%	3,55	2%	221,15	31%
Modular madera	58,16	11%	4,61	11%	137,46	11%	0,0350	12%	174,42	330,04	504,47	37%	2,83	2%	222,33	67%
Modular acero	58,16	11%	4,61	11%	137,46	11%	0,0350	12%	174,62	231,63	406,25	30%	2,65	2%	144,72	62%

En el derribo resulta significativamente mayor el impacto ambiental del sistema convencional respecto de los modulares. Mientras que el primero implica la demolición in situ de la totalidad de la construcción y, por tanto, una generación de residuos equivalentes a todos los materiales empleados que es de difícil gestión, en los segundos la demolición se circunscribe a las cimentaciones mientras que los módulos pueden (y así ha sido considerado porque es la situación más habitual) ser removidos, trasladados a fábrica o a un reciclador y allí ser desmantelados, lo que facilita enormemente la gestión de los residuos generados.

La cantidad de energía empleada y emisiones generadas debidas a la actividad de derribo, que incluye el transporte de los residuos, es significativamente mayor a la del transporte de las unidades modulares, hecho que explica la relación de 6 o 7 a 1 del sistema convencional respecto de los modulares. Una diferencia semejante puede verse en la toxicidad.

Los materiales empleados en cada sistema durante la fase de construcción tienen directa relación con la generación de residuos, tanto en lo referente a la cantidad obtenida como a las posibilidades de reciclaje que unos y otros presentan. El sistema convencional implica un 40% más de residuos que el hormigón, un 65% más que la madera y un 70% más que el acero. Se suma a ello la dificultad del reciclado en el sistema convencional, que sólo alcanza al 5% de los residuos generados mientras que el resto de sistemas, los modulares, alcanzan tasas de reciclado que, aunque bajas, logran aprovechar entre el 25% y el 50% de los materiales.



### Síntesis de fases del ciclo de vida

<b>Peso</b> Kg/m <sup>2</sup>	<b>Extr. y fabr.</b>	<b>%</b>			<b>Mantenim.</b>	<b>%</b>			<b>Total</b>
Convencional	1.464,55	97,3%			41,12	2,7%			1.505,67
Modular hormigón	945,86	97,3%			26,74	2,7%			972,59
Modular madera	506,83	94,5%			29,69	5,5%			536,51
Modular acero	408,57	94,6%			23,10	5,4%			431,66

<b>Agua</b> m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	<b>Extr. y fabr.</b>	<b>%</b>			<b>Uso</b>	<b>%</b>	<b>Mantenim.</b>	<b>%</b>			<b>Total</b>
Convencional	28.300,61	11,8%			210.240,00	87,8%	974,27	0,4%			239.514,89
Modular hormigón	29.258,54	12,1%			210.240,00	87,0%	2.065,72	0,9%			241.564,26
Modular madera	12.694,20	5,6%			210.240,00	92,8%	3.623,02	1,6%			226.557,22
Modular acero	26.673,22	11,3%			210.240,00	88,7%	147,95	0,1%			237.061,17

<b>Energía</b> MJ/m <sup>2</sup>	<b>Extr. y fabr.</b>	<b>%</b>	<b>Transp.</b>	<b>%</b>	<b>Construc.</b>	<b>%</b>	<b>Uso</b>	<b>%</b>	<b>Mantenim.</b>	<b>%</b>	<b>Derribo</b>	<b>%</b>	<b>Total</b>
Convencional	5.380,28	26,0%	188,22	0,9%	360,78	1,7%	13.864,50	66,9%	409,82	2,0%	516,42	2,5%	20.720,02
Modular hormigón	5.986,60	31,3%	166,29	0,9%	21,66	0,1%	12.045,50	62,9%	858,00	4,5%	77,10	0,4%	19.155,15
Modular madera	2.932,44	16,6%	409,75	2,3%	18,65	0,1%	12.823,00	72,5%	1.441,08	8,1%	58,16	0,3%	17.683,08
Modular acero	6.685,21	31,6%	151,46	0,7%	18,65	0,1%	13.403,00	63,4%	826,33	3,9%	58,16	0,3%	21.142,81

<b>Emisiones</b> KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	<b>Extr. y fabr.</b>	<b>%</b>	<b>Transp.</b>	<b>%</b>	<b>Construc.</b>	<b>%</b>	<b>Uso</b>	<b>%</b>	<b>Mantenim.</b>	<b>%</b>	<b>Derribo</b>	<b>%</b>	<b>Total</b>
Convencional	600,49	38,6%	15,01	1,0%	43,21	2,8%	802,47	51,6%	51,84	3,3%	41,00	2,6%	1.554,02
Modular hormigón	615,48	42,6%	13,26	0,9%	1,73	0,1%	700,00	48,5%	105,93	7,3%	8,01	0,6%	1.444,41
Modular madera	292,85	22,9%	32,67	2,6%	1,49	0,1%	752,33	58,8%	194,83	15,2%	4,61	0,4%	1.278,78
Modular acero	708,66	43,9%	12,07	0,7%	1,49	0,1%	790,30	48,9%	97,58	6,0%	4,61	0,3%	1.614,71

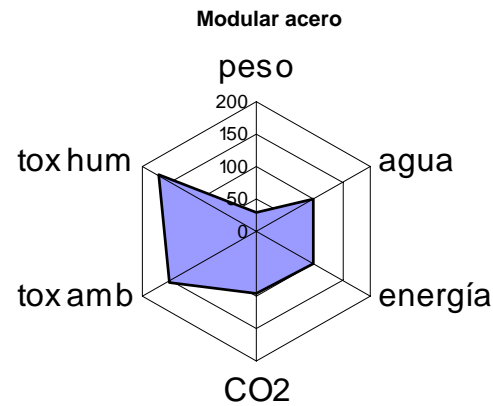
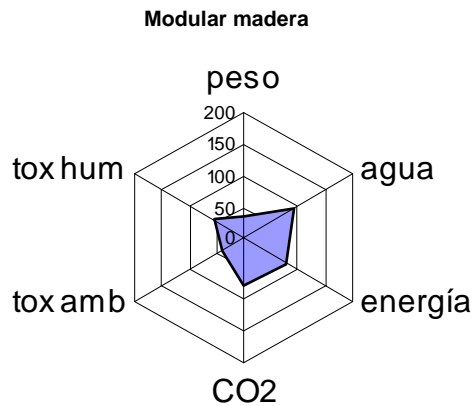
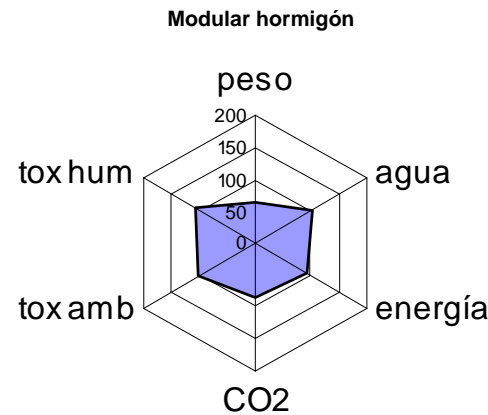
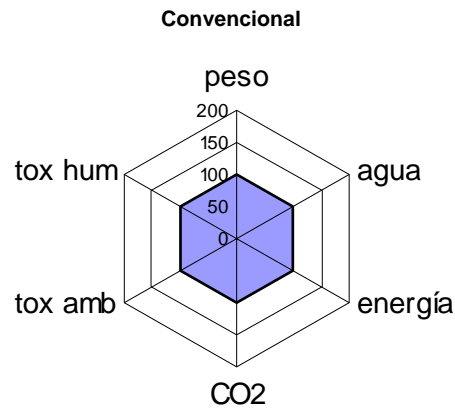
<b>Toxicidad ambiental</b> ECAkg/m <sup>2</sup>	<b>Extr. y fabr.</b>	<b>%</b>	<b>Transp.</b>	<b>%</b>	<b>Construc.</b>	<b>%</b>	<b>Uso</b>	<b>%</b>	<b>Mantenim.</b>	<b>%</b>	<b>Derribo</b>	<b>%</b>	<b>Total</b>
Convencional	40.311,50	75,32%	438,56	0,8%	985,13	1,8%	9.773,60	18,3%	726,92	1,4%	1.287,98	2,4%	53.523,69
Modular hormigón	43.444,56	81,66%	387,46	0,7%	50,47	0,1%	8.604,70	16,2%	531,80	1,0%	182,36	0,3%	53.201,35
Modular madera	9.835,98	46,25%	954,71	4,5%	43,45	0,2%	9.447,00	44,4%	846,21	4,0%	137,46	0,6%	21.264,80
Modular acero	66.929,46	85,51%	352,91	0,5%	43,45	0,1%	10.033,00	12,8%	773,41	1,0%	137,46	0,2%	78.269,69

<b>Toxicidad humana</b> HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>	<b>Extr. y fabr.</b>	<b>%</b>	<b>Transp.</b>	<b>%</b>	<b>Construc.</b>	<b>%</b>	<b>Uso</b>	<b>%</b>	<b>Mantenim.</b>	<b>%</b>	<b>Derribo</b>	<b>%</b>	<b>Total</b>
Convencional	6,79	50,0%	0,09	0,7%	0,6971	5,1%	5,50	40,4%	0,20	1,5%	0,30	2,2%	13,59
Modular hormigón	7,51	58,6%	0,08	0,6%	0,0110	0,1%	4,93	38,5%	0,23	1,8%	0,05	0,4%	12,82
Modular madera	3,18	33,9%	0,20	2,2%	0,0090	0,1%	5,65	60,2%	0,30	3,2%	0,04	0,4%	9,38
Modular acero	12,26	65,2%	0,08	0,4%	0,0090	0,0%	6,13	32,6%	0,30	1,6%	0,04	0,2%	18,81

**Total ciclo de vida por indicadores (escenario a 50 años)**

Sistema	Peso		Energía		Emisiones		Tox. amb.		Tox. hum.		Extr. y fabricac.		Construcción	Mantenimiento		Derribo
	kg/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	%	ECA kg/m <sup>2</sup>	%	HCA+HCWkg/m <sup>2</sup>	%	Reciclado	Reciclaje	Reciclaje	Reciclado	Reciclaje	Reciclaje
Convencional	1505,67	100%	20720,02	100%	1554,02	100%	53523,69	100%	13,59	100%	1%	1%	8%	1%	1%	5%
Modular hormigón	972,59	65%	19155,15	92%	1444,41	93%	53201,35	99%	12,82	94%	2%	2%	97%	10%	8%	24%
Modular madera	536,51	36%	17683,08	85%	1278,78	82%	21264,80	40%	9,38	69%	3%	1%	95%	4%	1%	45%
Modular acero	431,66	29%	21142,81	102%	1614,71	104%	78269,69	146%	18,81	138%	10%	10%	92%	16%	13%	36%

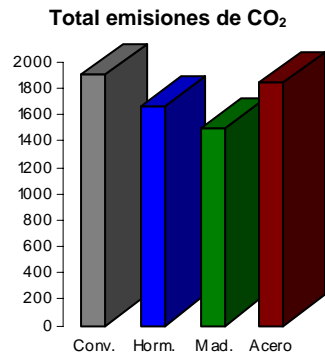
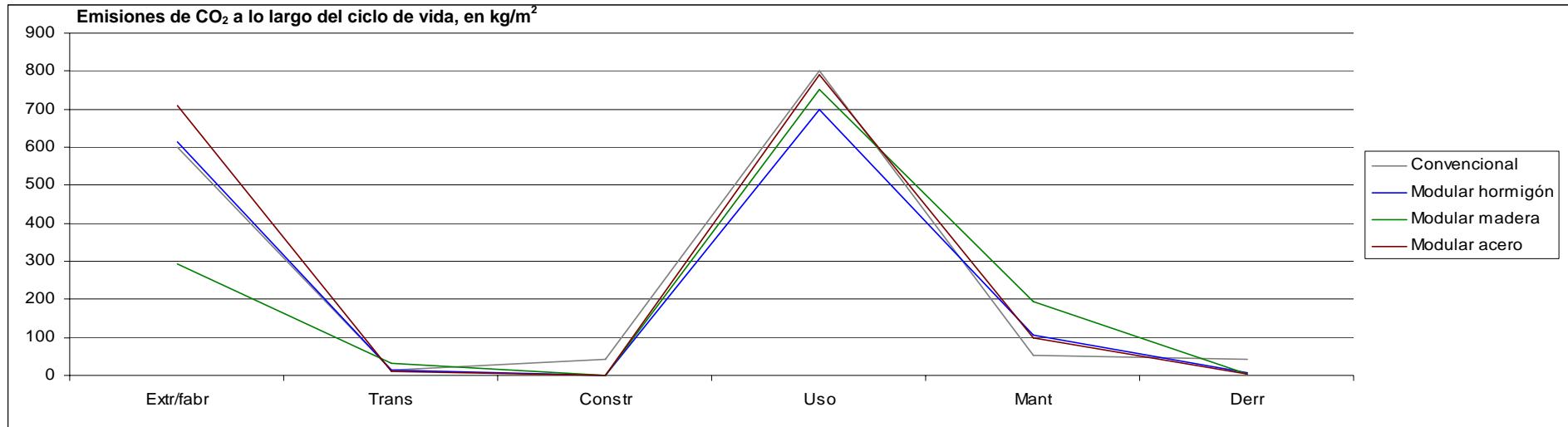


El sistema convencional representa la base de comparación para los otros sistemas, razón por la que presenta un valor de 100% en los seis indicadores. A partir de ello y mediante los valores obtenidos por el resto de los sistemas, los modulares de hormigón, madera y acero, es posible establecer una comparación común.

La silueta más pequeña y, por tanto, que menores impactos globales representa corresponde a la madera, seguida por el hormigón y por último por el acero, con mayores valores en el área de la toxicidad y menores en cuanto a peso y energía.

Respecto de los indicadores sobre reciclaje, casi todos ellos son bajos a lo largo de las distintas etapas del ciclo de vida. Se registran excepciones en la fase de construcción en los sistemas modulares, que se sitúan entre el 92 y el 97% de los residuos generados, aunque debe aclararse que casi en su totalidad se trata de pequeñas cantidades de embalajes, acero y madera. En el derribo los sistemas modulares se sitúan entre el 24% y el 45%, ya que las características del proceso industrial favorecen la recuperación de los materiales.

## 7.7 Conclusiones de este capítulo



### Proyecto Tossa de mar

	KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Proyecto	1.593
Referencia	2.810

Estudio sobre reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y su aplicación en el proyecto de 60 viviendas en Tossa de mar [SaAS et al. 2007].

El estudio del sistema constructivo convencional y de los sistemas modulares de hormigón, madera y acero confirma las tendencias detectadas en otros trabajos que han sido comentados previamente en esta investigación. En tal sentido su principal valor, más que la aportar de cierta información nueva, es ratificar con información propia las tendencias supuestas.

De esta manera, tomando un indicador de indicadores como las emisiones de CO<sub>2</sub>, puede comprobarse que aunque existen grandes diferencias en algunas etapas, en el total del ciclo de vida los sistemas tienden a igualarse debido a su diferente capacidad de respuesta frente a las demandas de cada fase. La madera, por ejemplo, obtiene valores muy bajos en extracción y fabricación<sup>5</sup> que no se mantienen cuando se evalúa el transporte (por la localización lejana de su fábrica) o el uso (su escasa inercia térmica no le permite retener o ceder calor), aunque aun así es el sistema con mejor desempeño global. En el caso del acero su dependencia de materiales de industrialización intensiva y la baja inercia térmica ya comentada en la madera le impiden obtener buenos resultados. El hormigón compensa un elevado coste en extracción y fabricación con un buen resultado en climatización debido a su capacidad de acumulación térmica. El sistema convencional es la opción de mayor impacto global aunque, comparado con la mejor, representa un 20% más de emisiones en el ciclo de vida. Una cifra que confirma que las diferencias no son de gran magnitud y que ligeros cambios en cada uno de estos sistemas podrían alterar las tendencias de esta comparación.

Todos los valores determinados se encuentran dentro de los máximos y mínimos determinados en otro estudio cuyos datos finales se reseñan en el cuadro adjunto, realizado con una metodología similar.

## Pautas de diseño para el sistema modular optimizado

Cuando la mirada se centra en la consideración del cierre del ciclo de los materiales, las diferencias entre el sistema convencional y los modulares se agudizan. Aunque el primero pueda mejorarse y alcanzar valores globales de impacto ambiental más próximos a los sistemas modulares, el consumo de materiales directo o con la consideración de la mochila ecológica incorporada, los residuos generados a lo largo del ciclo de vida y la escasa reciclabilidad encuentran obstáculos insalvables.

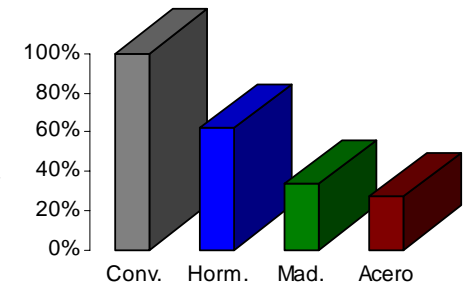
Tal como ha sido dicho, los edificios pueden captar más energía renovable que la que gastan y con ello combatir fuertemente el problema de sus emisiones de CO<sub>2</sub>, pero esta independencia no puede alcanzarse en la dimensión de los materiales. El camino para ello pasa por cerrar de los ciclos y en ello, como ha sido explicado en capítulos anteriores, el sistema modular de edificios desmontables de alquiler presenta ciertas ventajas comparativas que lo aproximan de forma natural al ciclo cerrado.

De la información obtenida en el desarrollo de este capítulo surgen ciertas pautas para el diseño del sistema modular optimizado que se enuncian a continuación y que serán retomadas en el capítulo siguiente, cuando se estudie la mejor configuración posible de cara a la reducción de impactos ambientales y el cierre de los ciclos materiales, sobre la base del mismo edificio plurifamiliar.

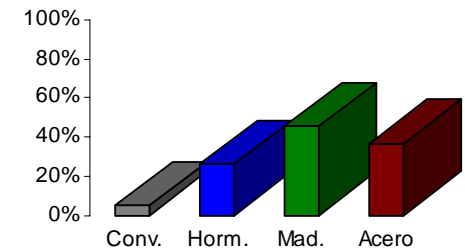
Estas pautas, ordenadas según las fases del ciclo de vida, pueden sintetizarse de la siguiente manera:

- Extracción y fabricación de materiales: emplear materiales de bajo impacto ambiental, como los naturales renovables y reciclados/reciclables, y potenciar al máximo la reciclabilidad.
- Transporte: emplear los proveedores locales, así como también intentar que la localización de la fábrica modular sea próxima a las obras a atender. Racionalizar los movimientos y optimizar cargas.
- Construcción: favorecer al máximo posible la prefabricación del edificio, incluso de las cimentaciones, y la utilización de pocos materiales y juntas reversibles.
- Uso: además de asegurar buenos niveles de aislamiento térmico y protección solar, emplear elementos que aporten masa -inercia térmica- al sistema. Aumentar la captación de energía renovable.
- Mantenimiento: utilizar materiales durables, de bajo impacto ambiental de fabricación así como de mantenimiento y que sean reciclados/reciclables.
- Desconstrucción: utilizar sistemas de junta reversible que potencien la máxima recuperación de los materiales reciclables empleados, evitando la generación de residuos

**Relación proporcional de residuos generados respecto del sistema convencional**



**Porcentajes de reciclaje de los residuos generados para cada sistema**



## Bibliografía:

- [Ay. Barcelona 2007] Ajuntament de Barcelona (autor), *Habitatge assequible i qualitat de vida a Barcelona (2004-2010)*, 1ª edició – 2007, Ajuntament de Barcelona (editor), Barcelona, 2007, ISBN: 978846114829.
- [BBA 2002] *British board of agrément, Building System Agrément Certificate N° 02/S03* (documento electrónico), Warston, Reino Unido, 2002.
- [Compact Habit 2007] *Compact Habit*, Catálogo Compact Habit (documento electrónico descargado desde [www.compacthabit.com](http://www.compacthabit.com) en septiembre de 2007), Cardona, España.
- [die.modulfabrik 2007] die.modulfabrik GmbH, *Building elements catalogue*, descargado de [www.diemodulfabrik.com](http://www.diemodulfabrik.com) en 2007, Katsch, Mur, Alemania.
- [Gencat 2006] *Concurs d'arquitectura per habitatge protegit a Catalunya – Concurs d'assistència tècnica CAT – 126 actuacions 5.396 habitatges*, 1ª edició – desembre 2006, Autor i Editorial: Generalitat Catalunya – Departament Medi Ambient i Habitatge - Direcció General Habitatge i Incasol, Barcelona, 2006, ISBN: 8439373384.
- [Habraken 1979] N. J. Habraken et al., *El diseño de soportes*, Gustavo Gili, Barcelona, España, 2000, ISBN 8425209366.
- [InCaSol 2008] Institut Català del Sòl, *CIT Concurs d'Innovació Tècnica*, Secretaria d'Habitatge, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Barcelona, España, 2008.
- [ITeC 1991] Equipo técnico del Àrea de construcció existent de l'ITeC, *Manteniment de l'edifici. Fitxes*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, 1991, ISBN 8478530304.
- [Mañá et al. 2003] F. Mañá (Dir.), A. Cuchí, D. Castelló, G. Diez, A. Sagraera, *Parámetros de sostenibilidad*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, España, 2003, ISBN 8478534611.
- [Moya 2007] Luís Moya, *VR Vivienda reducida*, Marea Libros, Madrid, España, ISBN 9788493557102.
- [SaAS et al. 2007], J. Sabaté, A. Cuchí, A. Sagraera, G. Wadel, F. López, A. Moreno, J. Vidal, S. Cantos, *Estudio de reducción de emisiones de CO2 en un conjunto de 60 VPO* (doc. electr.), Sabaté associats Arquitectura i Sostenibilitat, Barcelona, España, 2007.
- [WRAP 2007-1] *Waste & Resources Action Programme, WAS 003-003: Offsite Construction Case Study, Waste Reduction Potential of Precast concrete Manufactured Offsite* (doc. electr.), Oxon, Reino Unido, 2007.
- [WRAP 2007-2] *Waste & Resources Action Programme, WAS 003.003 – Offsite Construction Case Study Waste reduction potential of offsite manufactured pods* (doc. electr.), Oxon, Reino Unido, 2007.
- [WRAP 2007-3] *Waste & Resources Action Programme, WAS 003-003: Offsite Construction Case Study, Waste Minimisation through Offsite Timber Frame Construction* (doc. electr.), Oxon, Reino Unido, 2007.
- [WRAP 2007-4] *Waste & Resources Action Programme, WAS 003-003: Offsite Construction Case Study, Waste Reduction Potential of Offsite Volumetric Construction* (doc. electr.), Oxon, Reino Unido, 2007
- [Yorkon 2008] *Building design guidance for architects & designers* (catálogo), Yorkon, descarga on-line 2008 desde <http://www.yorkon.co.uk/>, Huntintong, Reino Unido.



## Notas:

<sup>1</sup> La versión de células de 4,5 m de ancho y 9 m de largo (sistemas constructivo convencional y modular de hormigón armado) tiene 2028 m<sup>2</sup> de superficie construida. La de células de 3,3 m de ancho por 12 m de largo (sistemas constructivos modulares de acero y madera) tiene 1708 m<sup>2</sup>. Estas diferencias responden a la naturaleza constructiva de los sistemas empleados pero no distorsionan el análisis ya que la unidad de comparación es un metro cuadrado de superficie construida.

<sup>2</sup> Decreto sobre requisitos mínimos de habitabilidad en los edificios de viviendas y de la cédula de habitabilidad, de la Generalitat de Cataluña.

<sup>3</sup> En base a mediciones y estudio de impacto ambiental de las instalaciones de Saneamiento, Red de agua fría y caliente, Electricidad e iluminación, Gas y otros combustibles, Climatización y ventilación, Audiovisuales, Aparatos de elevación, Protección contra incendios en el proyecto de un edificio plurifamiliar de 60 viviendas en Tossa de Mar.

<sup>4</sup> La evaluación ambiental del sistema modular de hormigón armado Compact Habit está realizada en base a la información suministrada por la empresa a comienzos de 2007 que, posteriormente, sufrió modificaciones (dosificación del hormigón, reciclabilidad de los materiales, sustitución de materiales de acabados, sistemas de climatización de diferente rendimiento, etc.) que representan una disminución en sus impactos ambientales. La misma evaluación, si se realizara en base a la configuración actual del sistema, podría obtener niveles más bajos en algunos indicadores como por ejemplo el consumo de energía o las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida.

<sup>5</sup> En esta investigación y para la madera se han considerado valores positivos de emisiones de CO<sub>2</sub> en la fase de extracción y fabricación, a pesar de que durante la fase de crecimiento (equivalente a la extracción en este caso) el árbol absorbe y fija tales emisiones de parte de la atmósfera. A partir de ello podría considerarse que la madera, siempre dentro de la fase de extracción y fabricación, podría tener un valor negativo en dióxido de carbono ya que el CO<sub>2</sub> fijado es mayor que las emisiones de la energía empleada en el cuidado del recurso forestal y el tratamiento industrial del árbol derribado hasta convertirlo en material con utilidad en la construcción. Tal afirmación sería cierta si a lo largo del ciclo de vida y, especialmente, al final del mismo, la madera no fuera incinerada o comportada (que son las situaciones más habituales, en las que se libera el CO<sub>2</sub> contenido) sino reintroducida en un nuevo ciclo de utilización (como podría ocurrir en el caso de poderse asegurar su reciclaje de manera indefinida).