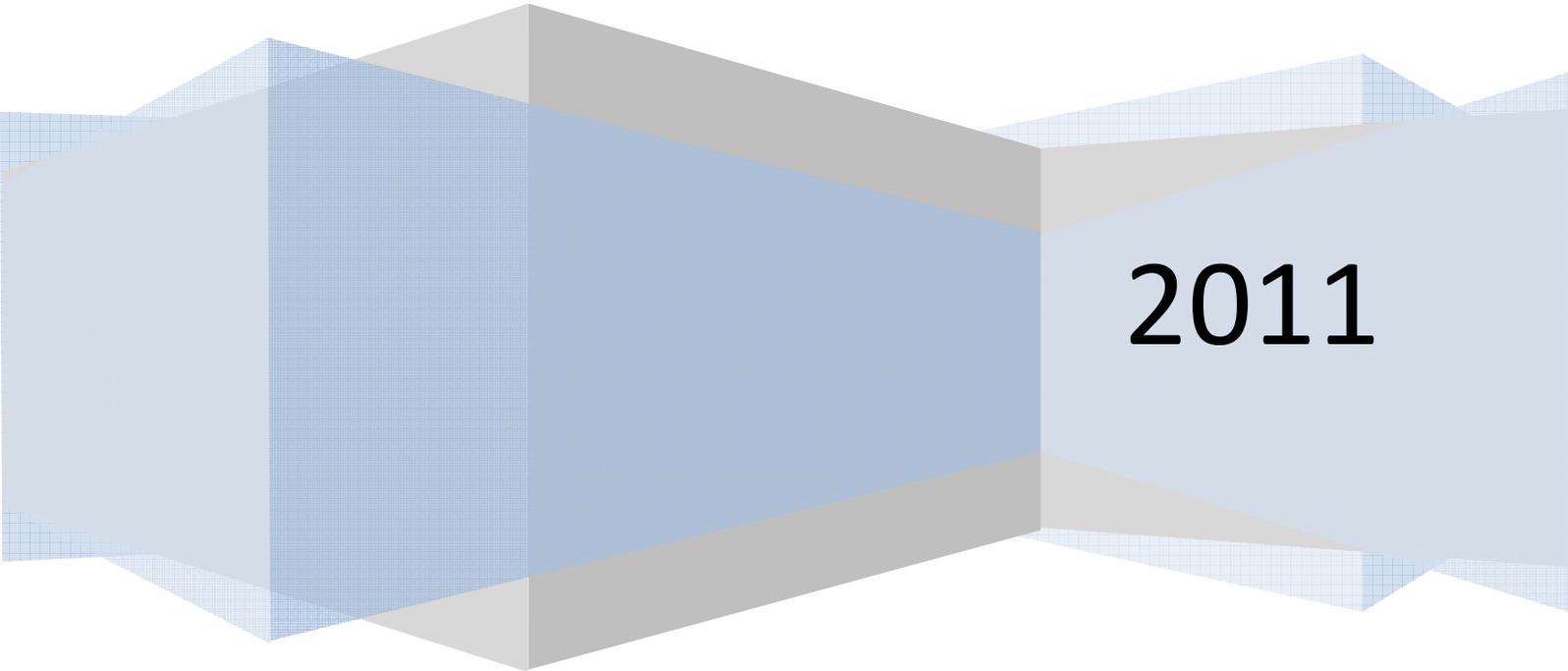


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA UPC  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS  
MÁSTER ARQUITECTURA, ENERGÍA Y MEDIOAMBIENTE

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL  
DE DIFERENTES SISTEMAS  
CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS  
COMPARADO CON UN SISTEMA  
CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL**

TUTOR: Dr. Jaume Avellaneda Díaz, arq.

AUTORA: Cristina Cela Rey, arq.



2011

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
  - 1.1. Industrialización vs prefabricación
  - 1.2. Evolución histórica: antecedentes
  - 1.3. Estado del arte
  - 1.4. Tipos de industrialización de la construcción de viviendas
  - 1.5. Impacto ambiental en el sector de la edificación
  - 1.6. Mejoras posibles en la edificación
2. OBJETIVO
3. METODOLOGÍA
4. DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS
5. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
  - 5.1. Tabla general de materiales
  - 5.2. Radiografía de cada proyecto
    - 5.2.1. Análisis por sistemas
    - 5.2.2. Análisis por materiales
  - 5.3. Efecto de la localización (transporte)
6. COMPARACIONES
  - 6.1. Análisis por sistemas
  - 6.2. Análisis por materiales
  - 6.3. Conclusiones parciales
7. MEJORAS POSIBLES
  - 7.1. Conclusiones parciales
8. CONCLUSIONES
9. BIBLIOGRAFÍA
10. ANEXOS
  - ANEXO 1: Tablas de análisis por proyecto
  - ANEXO 2: Tablas de mejoras por proyecto

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente documento tiene como objetivo el realizar un análisis de la evolución de los sistemas de construcción industrializada, o prefabricación, a lo largo de la historia así como una visión actual de los mismos. Se describirán también los diferentes sistemas de construcción industrializada que existen en la actualidad.

Se hará una reflexión acerca del concepto de la *sostenibilidad* en la construcción de viviendas así como las mejoras que se pueden hacer para conseguirla.

Además, se presentarán cinco obras reales de vivienda realizadas con sistemas industrializados y una obra realizada mediante el sistema de construcción tradicional para compararlos desde el punto de vista del impacto ambiental de sus materiales y de los sistemas constructivos en los que se basa cada uno así como se planteará una reflexión sobre la influencia de la localización de las obras y el transporte.

Por último, se extraerán conclusiones sobre las comparaciones y se propondrán mejoras en los sistemas con el fin de reducir el impacto ambiental de cada uno y volver a compararlos.

### **1.1. Industrialización vs prefabricación**

Antes de empezar cabe destacar que, hoy en día, se tiende a confundir o a englobar el término *industrialización* con el de *prefabricación* sin tener muy claros realmente qué significan estos dos conceptos.

La *prefabricación* se puede definir como aquel sistema constructivo que se basa en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que en su posición definitiva conforman el todo o una parte de un edificio o construcción. Es decir, las operaciones en el terreno son de montaje y no de elaboración.

En cambio, *industrialización* se define como el proceso productivo que emplea materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie para obtener una mayor productividad.

### **1.2. Evolución histórica: antecedentes**

Se podría decir que el primer ejemplo histórico de prefabricación fue en el siglo XVI cuando Leonardo da Vinci planificó una serie de nuevas ciudades en la región del Loire. El planteamiento consistía en establecer, en el centro y origen de cada ciudad, una

fábrica de elementos básicos que permitieran conformar a su alrededor un gran abanico de edificios.

En 1578, en Baffin, Canadá, se levantó una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra. Y en 1624 la Great House, una casa de madera panelizada y modular, se trasladó de Inglaterra a Massachussets.

A finales del siglo XVIII se empezó a industrializar la construcción en Europa mediante la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, pilares y vigas. En Estados Unidos también sucedió algo parecido debido a la aparición de unos edificios que seguían la tipología del "Ballon Frame" consistente en listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente.

A partir de ahí se empieza a experimentar con hormigón y entramados de acero apareciendo, en 1892, el primer edificio totalmente compuesto por elementos prefabricados de hormigón armado, el Casino Municipal de Biarritz.

Por otro lado, a finales de este mismo siglo, el XIX, empiezan a aparecer las viviendas modulares tridimensionales. En 1889 aparece en el EEUU la primera patente de un edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de cajón aplicable y superponible, ideado por Eduard T. Potter. Otros sistemas modulares empezaron a aparecer: módulos cilíndrico (Clarrk Noble Wisner, 1919), módulos cúbicos (Joseph R. Witzel, 1919), etc.

Después de la Segunda Guerra Mundial, a partir del 1945, la edificación prefabricada empezó a adquirir relevancia y volumen. La necesidad de viviendas y la urgencia para su puesta en obra, así como las limitaciones técnicas en la Europa de la posguerra propició que los estándares de calidad y estética de las mismas rayaran lo mínimamente admisible. Uno de los objetivos a la hora de fabricar o industrializar era la de economizar el producto, por eso, la edificación modular no tuvo el éxito esperado.

Durante los años 60 y 70 se pretendió renovar y modernizar el concepto de la vivienda modular aunque no surgieron grandes propuestas. A lo largo de estas dos décadas, la prefabricación basada en sistemas de diseño cerrados, se fue desarrollando en Europa especialmente en los países del Este y los países escandinavos. De todas formas, la industrialización se le imponía al proyectista como una herramienta de economía de construcción y el sistema constructivo representaba un factor incompatible con la arquitectura.

En los 80 se siguió investigando en esta línea y podemos destacar ejemplos como el edificio Sirius de Tao Gofers en Sydney o la Nakagin Capsule Tower de Kisho Kurokawa en Japón.

A finales del siglo XX la construcción industrializada con sistemas cerrados de diseño quedó obsoleta y la construcción de edificios de viviendas en altura se realizaba mediante sistemas tradicionales.

En cambio, fueron los edificios públicos e industriales los que empezaron a desarrollar sistemas de prefabricación.

### **1.3. Estado del arte**

En la actualidad se ha abierto un gran camino a las empresas que realizan elementos prefabricados, sobretodo de hormigón. Los productores y la ingeniería han permitido una mayor flexibilidad en el diseño de edificios prefabricados dando así respuesta a las demandas de calidad mínimas requeridas por el sector. Esta evolución se ha realizado a partir de dos aspectos clave: mejorar los medios de producción, gracias a las mejoras tecnológicas aplicadas a los materiales y a los sistemas productivos; y optimizar la organización de la producción, dotando a las plantas de fabricación de la flexibilidad necesaria para realizar productos que aportan soluciones a distintas partes de la vivienda y creando productos adaptables a diferentes tipos de construcciones para evolucionar hacia un sistema abierto de diseño.

Al dotar a los productos de un alto valor añadido se ha aumentado la calidad de elemento prefabricado y del servicio prestado.

Hasta el momento se pueden clasificar las distintas realizaciones prefabricadas en cuatro grandes tipos: los pods, las viviendas unifamiliares, los edificios en altura y los contenedores.

Los pods son módulos de cocina y/o baño que se fabrican monolíticamente mediante un proceso industrial conteniendo todas las instalaciones de fontanería, electricidad, mobiliario, sanitarios, acabados, etc.

Las viviendas unifamiliares se caracterizan, tanto el proyecto como el montaje, por su sencillez. Empresas españolas que se dedican a su realización son, por ejemplo, Hormipresa o Modultec.

Los edificios de una altura media de cuatro o cinco plantas tienen mayores dificultades de ejecución y dificultades técnicas aunque hay ejemplos de empresas en nuestro país

que se han atrevido con ellos como sería, por ejemplo, Compact Habit y Modultec, anteriormente citada.

En cuanto a la modularidad nos encontramos con los contenedores de acero, muy utilizados en la industria marítima, que apilados y yuxtapuestos generan edificios susceptibles de albergar viviendas u otros usos. Un ejemplo de estos sistemas modulares en España es el Best Rest Hotel en Zaragoza. El ejemplo estrella es, sin duda, a nivel internacional la Torre Dinámica de David Fisher como rascacielos modular ubicado en Dubai.

#### **1.4. Tipos de industrialización de la construcción de viviendas**

Podemos clasificar los tipos de construcción industrializada en cuatro grandes bloques: construcción ligera, construcción con hormigón, construcción modular y otros.

##### **1.4.1. Construcción ligera:**

Construcción mediante perfiles de acero galvanizado de distintos espesores y formas que conforman el esqueleto que soporta las cargas del edificio. Los cerramientos se construyen con distintos materiales dependiendo de la necesidad y de las exigencias. Es una construcción típica de EEUU sobre todo para edificios de hasta tres alturas muy utilizada desde los años 50.

Se puede o bien construir mediante perfiles la parte estructural y luego realizar los cerramientos; o bien construir las paredes interiores y exteriores portantes de cada planta utilizando materiales ligeros con estos perfiles como parte de los paneles con capacidad portante.

Se puede dividir esta tipología en dos sistemas diferenciados:

##### a) paneles estructurales con alma metálica:

pensado para edificios de 4 alturas como máximo con una planta rectangular principalmente. El grosor de los paneles dependerá de la situación de los mismos. El forjado será de chapa colaborante y la unión con los paneles se realizará mediante clavos, tornillos o soldadura.

Las ventajas frente al hormigón son la velocidad, ya que se evita el fraguado y que las uniones son en seco, la eficiencia de la estructura y, en consecuencia, la menor cimentación. Además los paneles tienen un mayor grado de prefabricación reduciendo así el número de operaciones en obra. Los inconvenientes son las restricciones arquitectónicas y la dificultad en la colocación y paso de instalaciones al tener que raspar los paneles.

b) estructura ligera de acero galvanizado:

conocido como Steeframing, consiste en una estructura metálica ligera formada por perfiles de acero galvanizado y ensamblada mediante tornillería o soldadura. Se cambian los pilares por paredes con un entramado de barras de acero. Luego se realizan las divisiones mediante paneles OSB, pladur, etc. según sean interiores o exteriores. Los forjados serán de cualquier tipo de los existentes en el mercado y la unión se realizará mediante tornillería o soldadura.

Las ventajas de este sistema residen en la facilidad de pasar instalaciones por los perfiles agujereados, en que la estructura es más ligera y la cimentación necesaria menor. El mayor inconveniente es que el transporte se realiza por separado así que el montaje es in situ ralentizando la obra. También la limitación en la altura.

#### **1.4.2. Construcción con hormigón:**

Se basa en la sustitución de paneles de obra y estructura de pilares y forjados por paneles de hormigón armado con capacidad portante. Los paneles pueden colocarse una vez el hormigón haya fraguado o realizar el encofrado in situ con hormigón autocompactante.

Los forjados pueden realizarse in situ o mediante otro proceso de prefabricación. Los paneles están formados por tres capas, la exterior que es estructural, la interior que es de hormigón no estructural e incluye las instalaciones y el aislamiento entre ambas capas.

Se puede dividir esta tipología en dos sistemas diferenciados:

a) Hormigonado horizontal (tilt-up):

Consiste en la construcción mediante paneles encofrados en horizontal. Éstos se construyen en una planta de prefabricado de hormigón o in situ en la obra. No tiene limitación en altura aunque a partir de las 4 ó 5 plantas necesita una estructura auxiliar. Los forjados se construyen también mediante paneles y se juntan a los verticales mediante soldadura entre las esperas.

Ejemplos actuales de empresas que realizan este sistema es BSCP.

La ventaja de este sistema es la velocidad que adquiere el proceso de construcción, aunque cuanta más variedad de paneles haya más se ralentiza el proceso de producción y colocación. Además, la posibilidad de que el aislante y las instalaciones vayan incluidos en el panel da mayor rapidez de construcción. Tampoco necesita

puntales. Los inconvenientes radican en que se necesita espacio en obra y personal dedicado a tareas de encofrado, soldadura e izado de piezas; así como la gran inversión inicial que hay que realizar en material.

b) Encofrado vertical:

Denominado como sistema Barcons, es el que se basa en construir edificios con paneles de hormigón encofrados en vertical, es decir, la estructura de los cuales se compone de paredes que tendrán forma similar a pantallas y que se construyen in situ. La ventaja de este sistema es el ahorro en transporte ya que solo se transportan una vez los encofrados. También admite mayor libertad arquitectónica. El inconveniente es que solo sale rentable si se usan los encofrados muchas veces bien sea por multitud de repetición de partes o por un gran número de viviendas iguales.

c) Encofrados especiales:

Consiste en colocar los encofrados de forma que se puedan hormigonar simultáneamente paredes y techos. Ejemplos de tipos de encofrados especiales son los encofrados *túnel* o las *mesas de encofrado Hussor*.

Las ventajas son un mayor monolitismo estructural, menos remaches y aumento de producción. Los inconvenientes principales son una mayor rigidez arquitectónica, un elevado coste de los encofrados y dificultades de hormigonado por la complejidad de las formas de los encofrados.

d) Elementos prefabricados:

Consiste en realizar el diseño, construcción y suministro a obra de todas las piezas industrializadas o prefabricadas necesarias para la construcción. Para ello se crearán paneles portantes de hormigón armado que se construirán en las plantas y que tienen, a su vez, la función de cerramiento. Hay multitud de acabados exteriores.

Las ventajas son la elevada calidad de materiales y acabados, la reducción del espacio para acopio y producción de paneles, y la reducción en el plazo de ejecución de la obra. Los inconvenientes principales son la rigidez en el diseño y que, al trabajar con hormigón, se ralentiza y encarece el proyecto.

### **1.4.3. Construcción modular:**

Consiste en dividir el edificio en bloques que puedan construirse por separado y luego realizar el ensamblaje. Se puede hacer tanto con hormigón como con acero. El transporte, característica muy importante, se suele hacer con camión. Previamente a la construcción del edificio con este sistema hay que realizar un proyecto de industrialización cuyo objetivo es no dejar nada por definir en obra.

Se puede dividir esta tipología en dos sistemas diferenciados:

a) En hormigón:

Ejemplos de empresas que realizan construcción de módulos en hormigón en 3D son Habidite o Compact Habit.

Las ventajas de este sistema son un mayor control de ejecución y acabados ya que se hacen en la planta de fabricación. Además, el aislamiento acústico y térmico están garantizados al ser una construcción en hormigón. El mayor inconveniente que presentan es el transporte y que solo salen rentables si el número de módulos es elevado. Además, hay un exceso de material ya que al ser módulos independientes se doblan las paredes y los forjados.

b) Mixta:

Se basa en el trabajo conjunto del hormigón y el acero. El panel suele llegar a la obra montado de fábrica y está formado por dos chapas grecadas con hormigón en medio. Empresas que lo comercialicen sería Leiro.

Las ventajas que ofrece este sistema es una mayor calidad de acabado en planta y se reduce el peso propio del edificio. Además, el montaje es mucho más corto que otros sistemas. Los inconvenientes, como en otros sistemas, son el transporte y la inviabilidad económica si no se produce a gran escala.

c) En acero galvanizado:

Módulos realizados con estructura metálica atornillada en la fábrica ensamblados en una jaula de vigas transversales y longitudinales hecha en obra. La empresa que se dedica a realizar este sistema es Modultec.

La gran ventaja de este sistema es la rapidez de ejecución de la obra sustituyéndolo el tiempo de ejecución por el de construcción y montaje de los módulos en planta.

d) Módulos in situ:

El módulo viene plegado en el camión y cuando llega a obra es izado con la grúa y adquiere las tres dimensiones. Este sistema está patentado por la empresa Algeco.

La gran ventaja de este sistema es la rapidez de ejecución de la obra sustituyéndolo el tiempo de ejecución por el de construcción y montaje de los módulos en planta.

#### **1.4.4. Construcción con otros materiales:**

a) Madera:

Permite una construcción rápida, barata y acepta gran cantidad de acabados y formas distintas. Se puede construir de forma modular o como ensamblaje de piezas como si de estructura ligera se tratara.

El gran inconveniente de este sistema es la limitación de la normativa europea que solamente permite construcciones de menos de dos plantas.

b) Containers:

Construcción basada en la recuperación de elementos que han tenido otro uso, en este caso contenedores de transporte marítimo.

### **1.5. Impacto ambiental en el sector de la edificación**

Las principales causas del impacto ambiental de la arquitectura se encuentran en el consumo de recursos no renovables y en la generación de residuos contaminantes.

En España, la construcción supone:

- un 32% del consumo de energía, principalmente no renovable <sup>(1)</sup>
- un 30% de la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> de efecto invernadero <sup>(2)</sup>
- un 24% de las extracciones de materiales de la corteza terrestre <sup>(3)</sup>
- un 30-40% de los residuos sólidos generados <sup>(4)</sup>
- un 17% del agua potable consumida <sup>(5)</sup>

Además, hay que tener en cuenta también los procesos industriales de extracción y fabricación de los materiales, la combustión de energía para su transporte, la energía consumida en el uso del edificio y la generación de residuos de derribo.

En general, para valorar el impacto ambiental de los edificios se pueden seguir los siguientes parámetros: energía, agua, materiales, residuos y emisiones de CO<sub>2</sub>.

- Energía: la fabricación de los materiales necesarios para construir 1m<sup>2</sup> de edificación estándar equivale a un consumo de energía de unos 1.650kWh.
- Agua: el agua que ingresa diariamente en una vivienda convencional es de unos 160 litros (90% usada en transporte de residuos y 10% para consumo potable).
- Materiales: la construcción de 1m<sup>2</sup> habitable estándar equivale al uso de 2.500kg de materiales que ingresan en la obra. Si consideramos la mochila ecológica de cada uno podríamos multiplicar la cifra por tres, o sea, 7.500kg/m<sup>2</sup>.
- Residuos: es aproximadamente de unos 3kg persona/día de los que se recicla solamente un 10%.
- Emisiones de CO<sub>2</sub>: el consumo energético de los edificios equivale a unos 2kg CO<sub>2</sub> por persona y día.

Por tanto, hay que llegar a una edificación en que no sea necesario el empleo de agua en la ejecución de las unidades de obra, tendiendo a fabricarlas en factoría, sometiéndolas a un montaje rápido y sencillo. Hay que tender a hacer las fijaciones en seco así como que las conexiones en la construcción de interiores sean también en seco, sencillas y removibles en el tiempo.

## **1.6. Mejoras posibles en la edificación**

El sistema industrializado de construcción puede plantear mejoras ambientales significativas si se optimiza cada fase:

- fase de extracción y fabricación de materiales: cambio a materiales naturales renovables, reciclados o reciclables.
- fase de transporte: ajuste de las medidas de los paneles o de los módulos a un estándar que evite utilizar vehículos especiales o de acompañamiento.
- fase de construcción: sobretodo actuar en el sobredimensionado de la cimentación y de la estructura minimizándolos para utilizar menos material.
- fase de uso: hacer una simulación previa del funcionamiento pasivo del edificio para dimensionar correctamente el aislamiento térmico y las protecciones solares para minimizar el uso de los sistemas activos de climatización. Utilizar, además, instalaciones eficientes y que utilicen energías renovables.
- fase de mantenimiento: utilizar materiales más durables y cuyo ciclo de vida sea superior al del edificio así como materiales de fácil recambio y reciclabilidad.
- fase de deconstrucción: utilización de juntas reversibles y materiales no adheridos para favorecer la separación selectiva y la reutilización directa, rehabilitación o reciclado de los mismos.

## **2. OBJETIVO**

Desde el punto de vista del análisis de los materiales de construcción que forman parte de un proyecto, se trata de estudiar cinco proyectos realizados con distintos sistemas de construcción industrializada para edificios de viviendas y compararlos con otro realizado de forma tradicional para observar si las técnicas industrializadas son un avance en temas de sostenibilidad referido a niveles de peso y consumo de CO<sub>2</sub> y de energía.

También se analizará cada caso por separado y se propondrán mejoras de cada sistema.

Por otra parte, la influencia de la localización de las obras y el consecuente transporte de materiales desde el origen de producción hasta las mismas también se tendrá en cuenta para hacer más completo este análisis comparativo.

Tal y como se ha comentado, la tesina se centra exclusivamente en los valores de energía y CO<sub>2</sub> de los materiales utilizados en cada obra sin tener en cuenta el consumo de agua requerido en la construcción de las mismas.

### **3. METODOLOGÍA**

Para realizar dicho estudio comparativo se seguirán los siguientes pasos:

- a) Se analizarán y verificarán los datos de mediciones y valores de cada material caso por caso, unificando criterios para así poder luego compararlos.
- b) Se dividirá cada caso por sistemas: estructura, fachadas e interiores.
- c) Se dividirá, de nuevo, cada caso por materiales: pétreos, metálicos, sintéticos y orgánicos.
- d) Se analizará la repercusión del transporte en cada caso particular.
- e) Se harán gráficos comparativos de los casos tanto por sistemas como por materiales.
- f) Se extraerán conclusiones y se valorará si realmente la industrialización representa una mejora sobre la construcción tradicional.
- g) Se propondrán mejoras en los sistemas industrializados valorando su impacto ambiental.

## **4. DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS**

Todas las obras analizadas han sido realizadas en Catalunya en los últimos cinco años promovidas por el Institut Català del Sòl INCASOL.

Se encuentran todas finalizadas y habitadas.

### **4.1. Módulos 3d:** Edificio de 30 viviendas en Banyoles.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Banyoles (Girona) realizada por los arquitectos Miguel Morte y Xavier Tragant siguiendo el modelo constructivo del sistema **Compact Habit**.

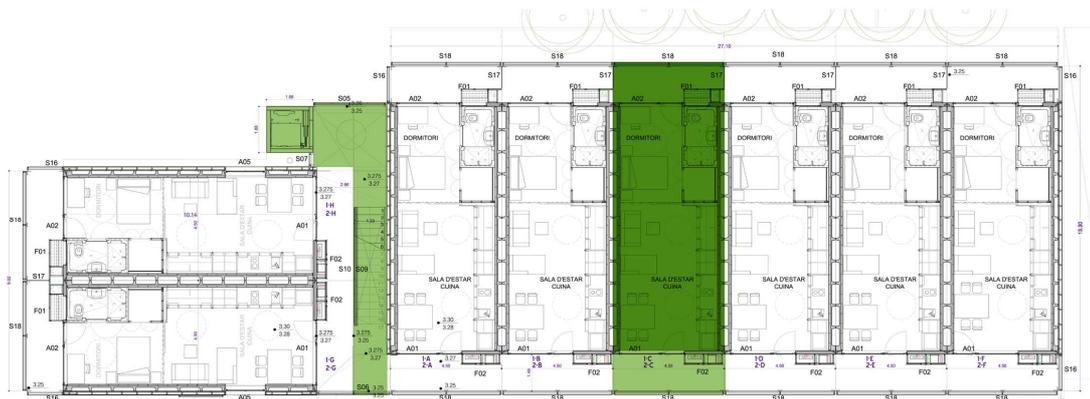
El sistema de Edificación Integral de Compact Habit (EMI) consiste en edificar a partir de pisos enteros fabricados industrialmente. Los módulos, completamente equipados, se trasladan al solar y se amplían formando edificios de hasta 6 plantas (4 plantas en este caso). Una vez apilados los módulos, se conectan las instalaciones verticalmente y entre módulos y se personaliza la fachada y la cubierta según el diseño establecido para cada promoción.

Cada vivienda está formada por un módulo de hormigón armado de alta resistencia con un espacio interior amplio, sin paredes, optimizado para conseguir un alto nivel de polivalencia y utilidad.

El interior de las viviendas es diáfano y, a partir del Compact Block, un rack de servicios colocado longitudinalmente, se crean los distintos ambientes de la vivienda: salón, dormitorio, cocina, etc.

Hay gran variedad de módulos: de 50 m<sup>2</sup>, 60 m<sup>2</sup>, 70 m<sup>2</sup>, 90 m<sup>2</sup>, etc. que se pueden combinar entre sí para dar mayor flexibilidad al proyecto.

En este caso, la promoción consta de cuatro plantas sobre rasante (PB+3) y en cada planta hay 8 módulos que comparten una zona común.



planta tipo



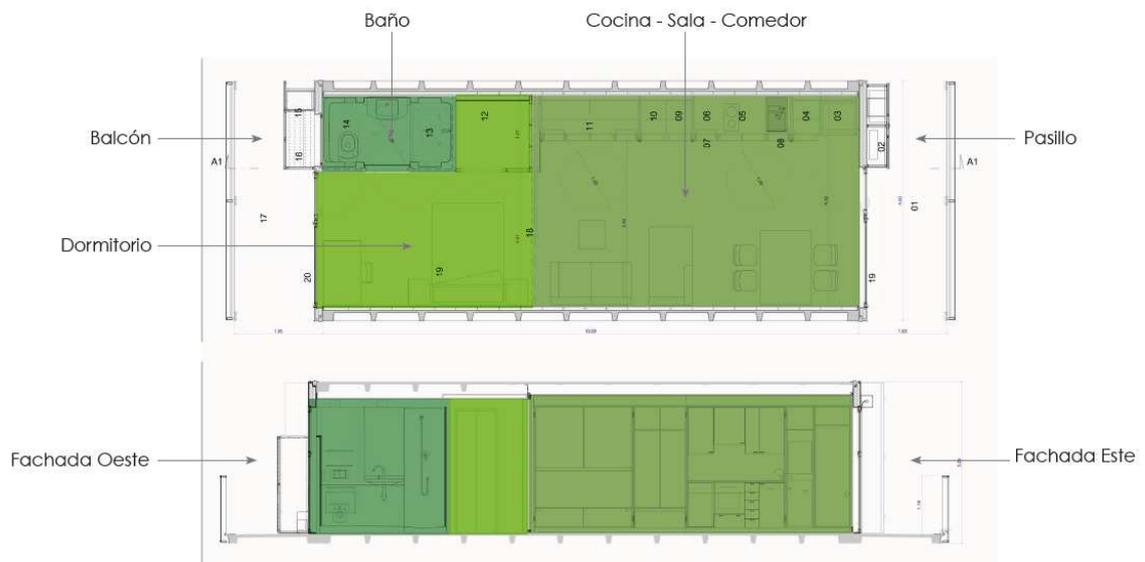
sección longitudinal

Para realizar el trabajo se analizará un módulo de vivienda con la correspondiente superficie de área común que se le repercute por planta.

Área del módulo de vivienda: 53.12 m<sup>2</sup>

Área común por vivienda: 3.29 m<sup>2</sup>

Área total analizada: 56.41 m<sup>2</sup>

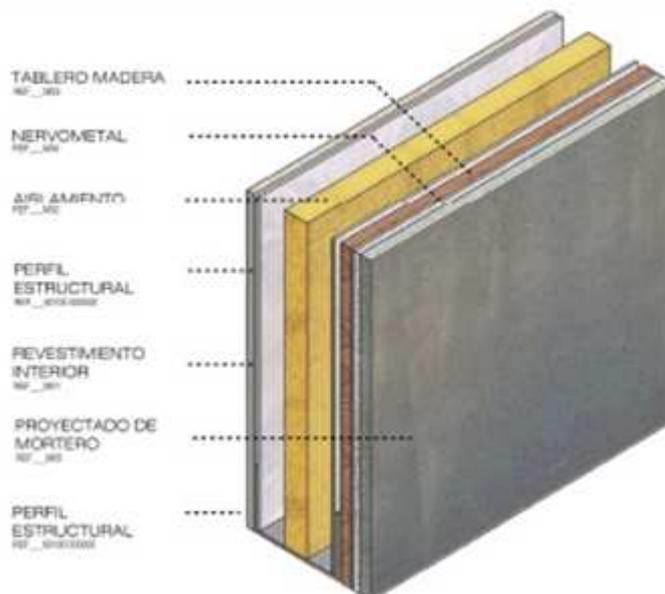


#### 4.2. Paneles sandwich: Edificio de 27 viviendas en Callús.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Callús (Bages) realizada por los arquitectos Arau Mediavilla SCP siguiendo el modelo constructivo del sistema **TECCON**.

El sistema TECCON se basa en una estructura de chapa fina perfilada de acero galvanizado (light steel framing) y se compone de un conjunto de fachadas, paredes interiores y forjados que llegan a la obra premontados y listos para ser instalados en seco. Los materiales utilizados son reciclados, se trabajan en seco, no se generan residuos en obra y al final de la vida útil del edificio permite el desmontado de los componentes y su reutilización o reciclaje en muchos de los casos.

El “Light Steel Framing” se basa en un conjunto de perfiles de acero con una serie de pliegues, previamente calculados, que le hacen aumentar su capacidad portante de forma considerable. Al colocar repetitivamente estos perfiles se consigue un efecto portante similar al de un conjunto de pilares de acero laminado en caliente o de hormigón, con una distribución de las cargas verticales muy uniforme. por tanto, se minimiza el uso de material estructural y el sistema adquiere gran flexibilidad al tener todas las uniones articuladas.



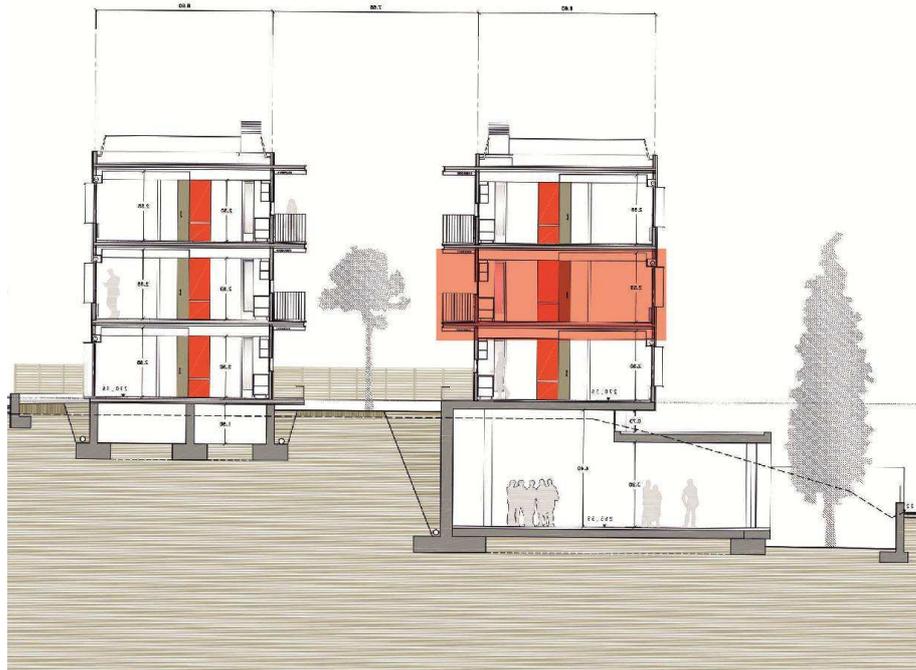
panel tipo

En este caso, se trata de un bloque en forma de H que consta de tres plantas sobre rasante (PB+2) y una bajo rasante con viviendas de 2 y 3 dormitorios con acceso mediante pasarelas exteriores.

En cada planta hay 9 viviendas que comparten una zona común.



planta



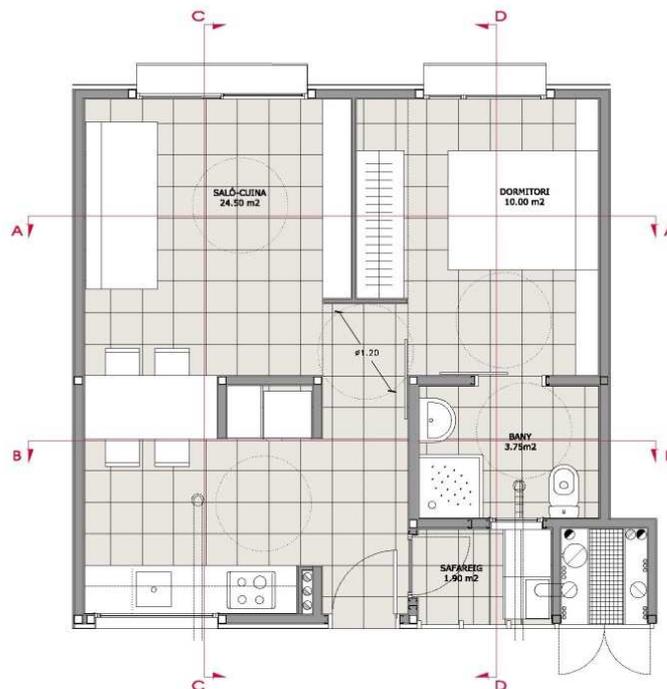
sección transversal

Para realizar el trabajo se analizará una vivienda con la correspondiente superficie de área común que se le repercute por planta.

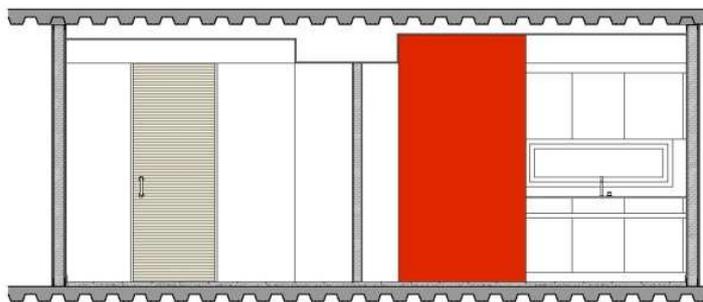
Área del módulo de vivienda: 60.4 m<sup>2</sup>

Área común por vivienda: 11.11 m<sup>2</sup>

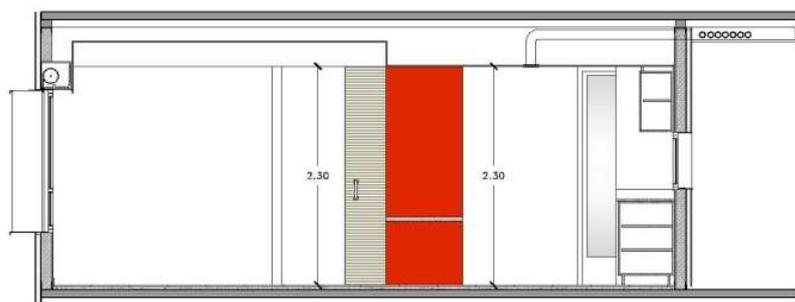
Área total analizada: 71.51 m<sup>2</sup>



planta vivienda



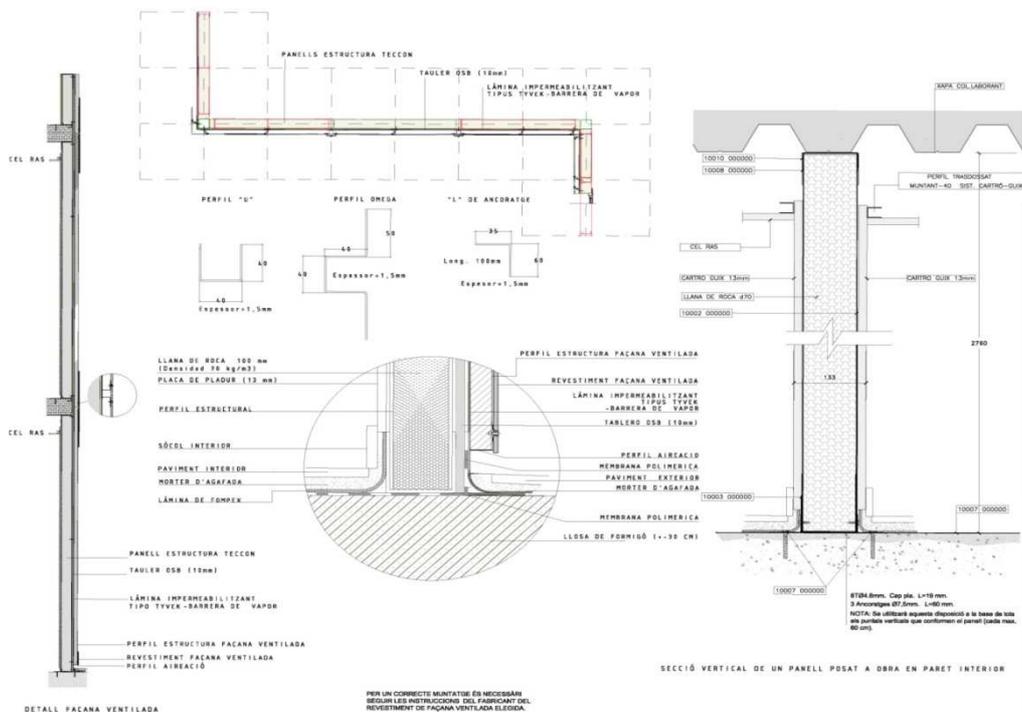
sección 01



sección 02

En el caso de esta obra el panel Teccon utilizado sirve tanto para la estructura como para la fachada siendo esta última portante también.

El siguiente esquema ilustra el tipo de panel utilizado indicando sistema de anclaje y materiales de los que consta.



### 4.3. Paneles de hormigón: Edificio de 23 viviendas en Mataró.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Mataró realizada por los arquitectos Duran & Grau Arquitectes Associats siguiendo el modelo constructivo del sistema **BSCP (Building System with Concrete Panel)**.

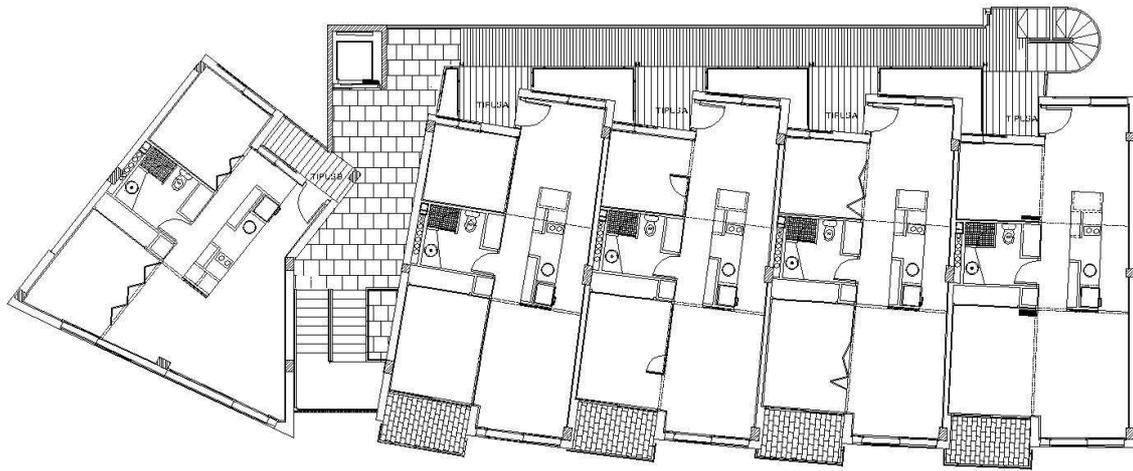
El sistema BSCP se basa en la división de toda la obra en paneles macizos de hormigón. Cada panel se realiza “in situ” y para cada panel se desarrolla el plano de detalle con la armadura interior, las instalaciones que hay que colocar, la ubicación de cajas técnicas y los elementos de acero para la fijación de la pieza.

El Sistema BSCP posee diferentes tipos de piezas (fachada, tabique, forjado, cubierta y escalera) y que dependiendo del tipo que se construya, la fabricación será diferente. El proceso constructivo de cada panel sigue una serie de pasos que se resumen en el siguiente esquema:



Posteriormente a la construcción de los paneles se llega al proceso de industrialización realizado por la propia empresa de construcción que adapta los paneles al diseño del edificio requerido por el arquitecto.

En este caso, la promoción consta de cinco plantas (PB+4) y en cada planta hay 5 viviendas con acceso mediante pasarela exterior que comparten una zona común.



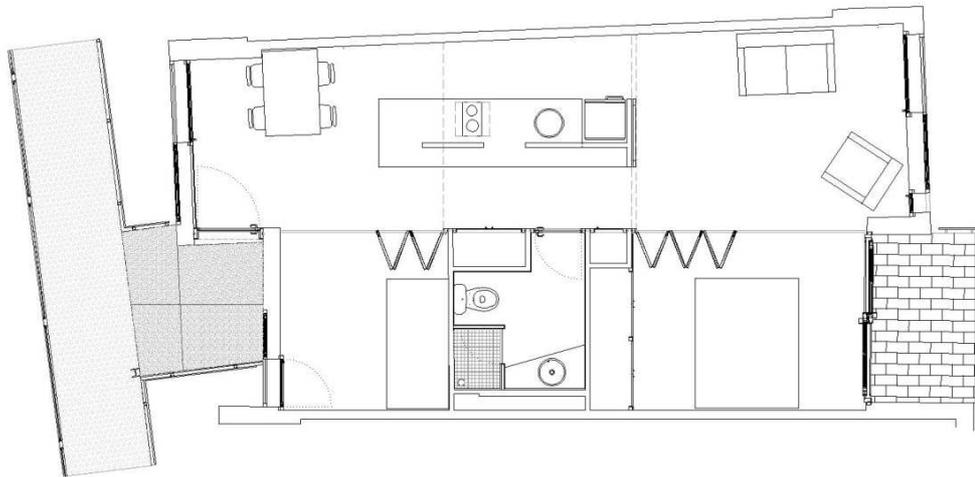
planta tipo

Para realizar el trabajo se analizará una vivienda con la correspondiente superficie de área común que se le repercute por planta.

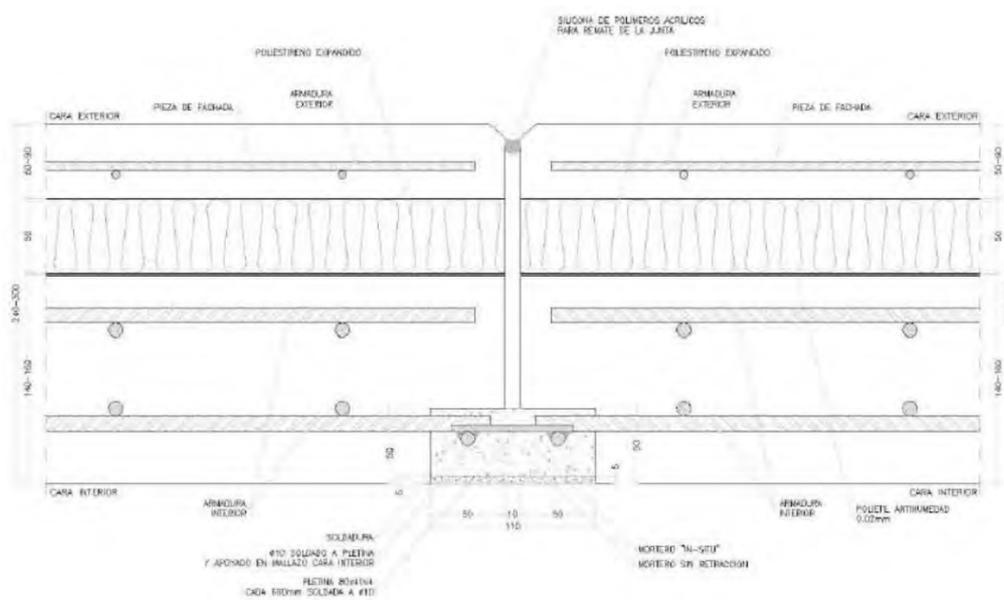
Área del módulo de vivienda: 66.8 m<sup>2</sup>

Área común por vivienda: 13.74 m<sup>2</sup>

Área total analizada: 80.54 m<sup>2</sup>

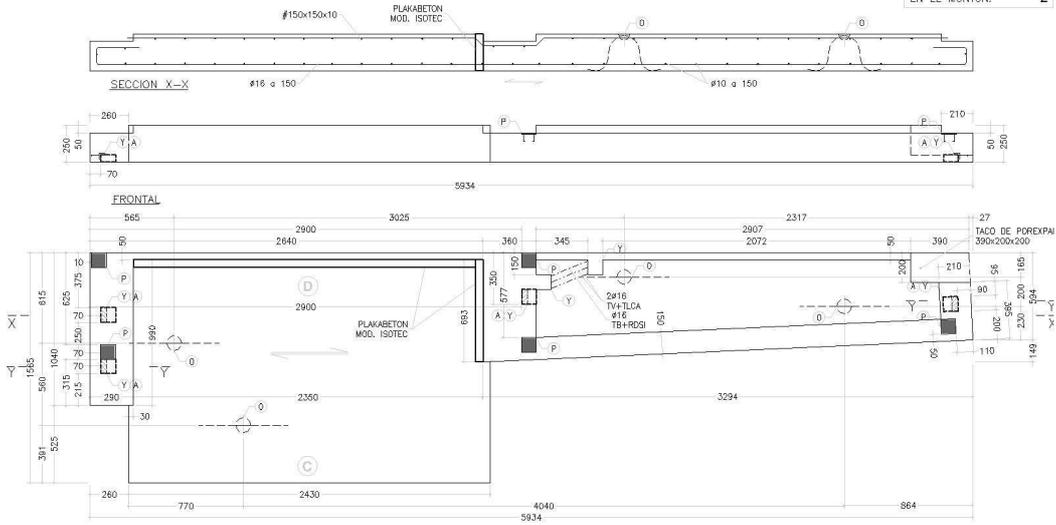


El siguiente esquema ilustra el tipo de panel utilizado indicando sistema de anclaje y materiales de los que consta:



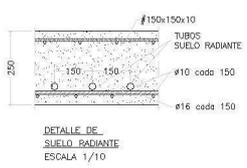
detalle de fachada

FORJADO	
205-03-2	
PIEZA A FABRICAR EN EL MONTON:	2

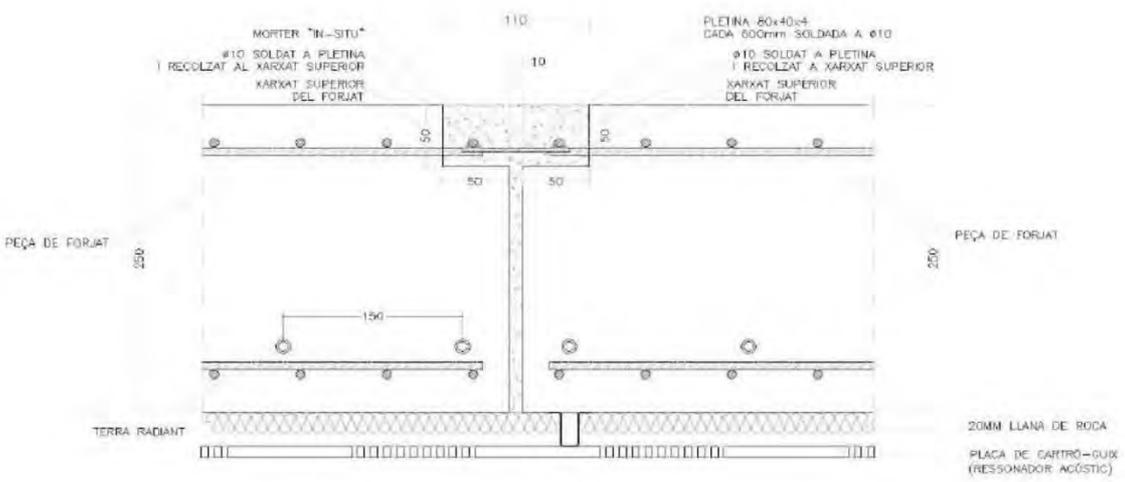


NOTA:  
EL MALLAZO SUPERIOR SOBRESALDRA 4cm  
A PARTIR DEL COMIENZO DE LOS REBAJES  
SUPERIORES DE LA PIEZA.

RS	DESCRIPCION	U/M
P	PLETINA 120x100x4 CON #10 (L=200)	5
Y	TACO DE POREXPAN 100x100x50	6
O	OMEGA DE IZADO #10 (L=1000)	4
A	ANGULAR 40x40x4 (L=100) con #10 (L=200)	4



detalle de forjado



detalle de forjado

#### 4.4. Módulos metálicos: Edificio de 36 viviendas en Torelló.

Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Torelló realizada por los arquitectos Estudi TAC, E. Gascón & J. Roig siguiendo el modelo constructivo del sistema **Modultec**.

El sistema Modultec consiste en un proceso de fabricación de módulos metálicos autoportantes que se ensamblan tanto horizontal como verticalmente hasta conformar una estructura concebida como un mecano, con los interiores totalmente equipados y terminados, y que se transporta hasta el terreno sobre el que se edificará. Los módulos consisten en un sistema de pilares metálicos que conforman la estructura vertical y chapa grecada a modo de forjado superior e inferior que definen la “caja” sobre la cual se insertan los acabados según requerimientos del diseño del proyecto.

Como en los casos anteriores, la construcción industrializada permite el posterior desmontado una vez finalizada la vida útil del edificio.



En este caso, se trata de un bloque lineal que consta de cuatro plantas (PB+3) y en cada planta hay 9 viviendas que comparten una zona común.



planta tipo



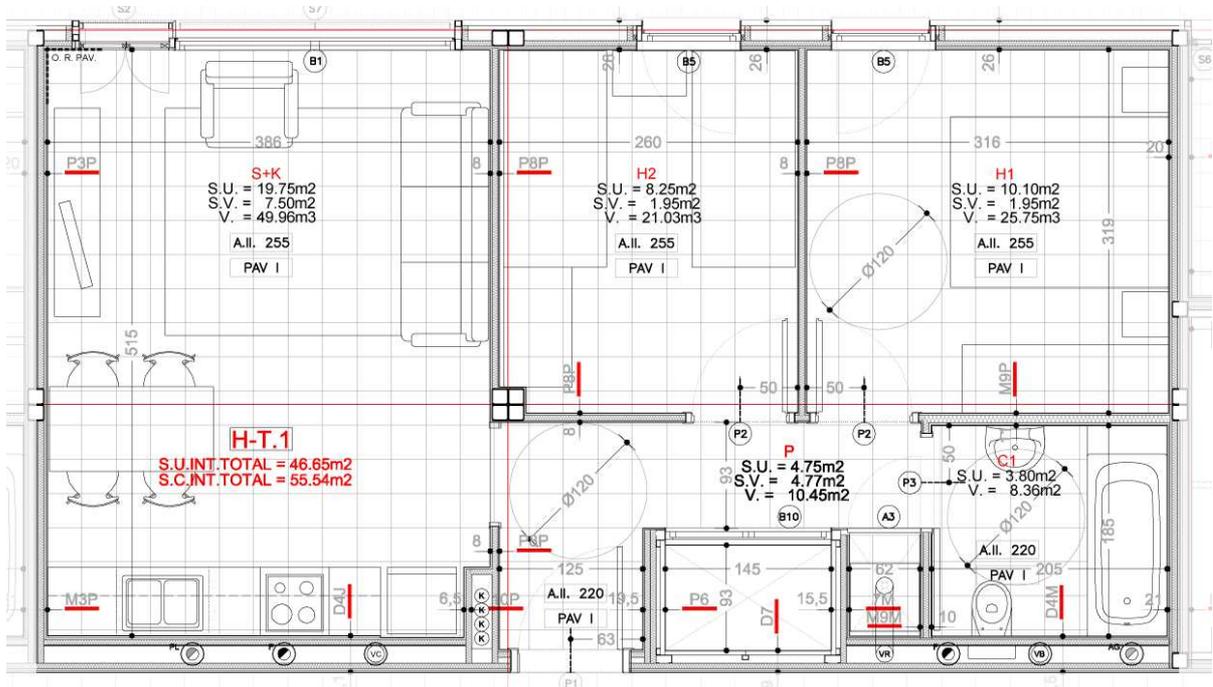
sección longitudinal

Para realizar el trabajo se analizará una vivienda con la correspondiente superficie de área común que se le repercute por planta.

Área del módulo de vivienda: 57.6 m<sup>2</sup>

Área común por vivienda: 8.5 m<sup>2</sup>

Área total analizada: 66.10 m<sup>2</sup>



#### 4.5. Sistema convencional: Edificio de 16 viviendas en la Torre de l'Espanyol.

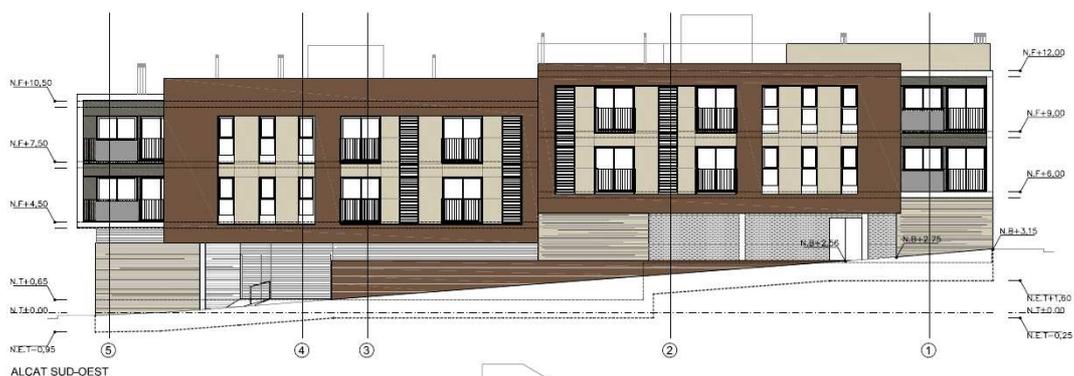
Se trata de una promoción de viviendas en la localidad catalana de Torre de l'Espanyol realizada por el equipo de arquitectos F2m-arquitectura siguiendo el modelo constructivo de la **construcción tradicional**.

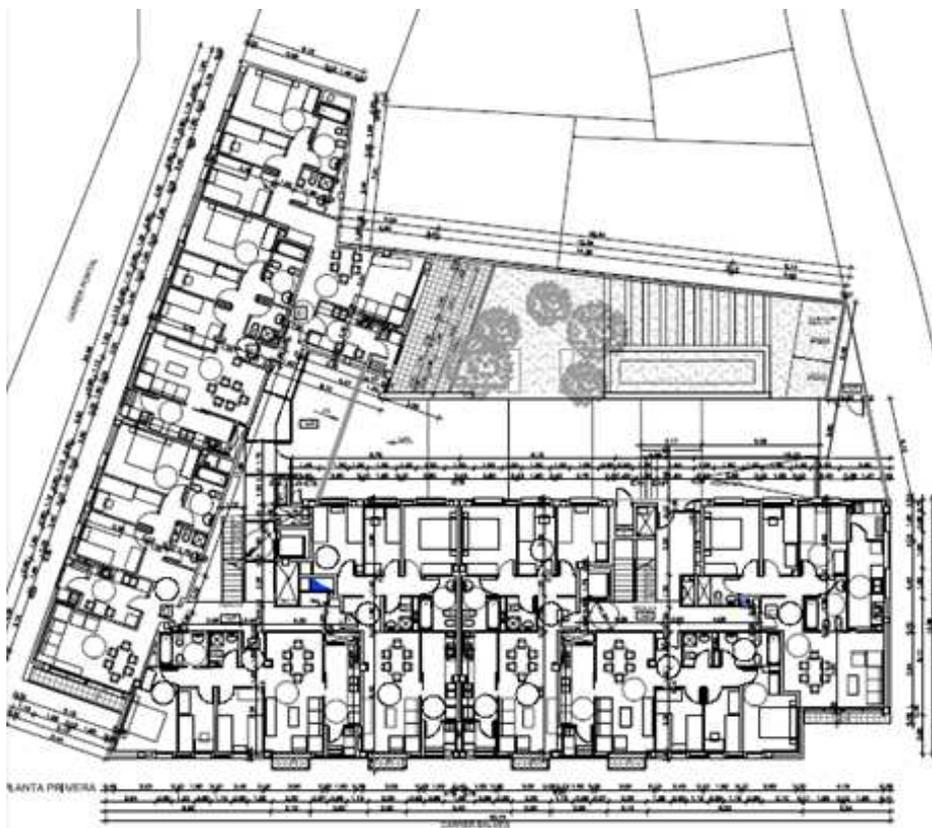
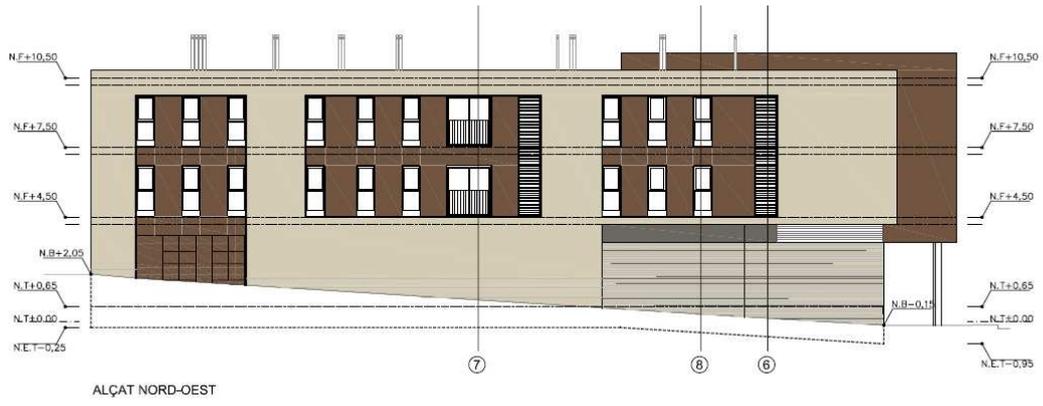
Las construcciones y edificios de la arquitectura tradicional son funcionales adecuándose siempre a la finalidad prevista y a los materiales disponibles en cada lugar. Se caracterizan por una gran economía de medios, volumen y obra, ya que sus constructores buscan el ahorro de trabajo y materiales, ello conlleva que dichos materiales son siempre locales o próximos y se emplean con técnicas sencillas cuyo origen se remonta a épocas anteriores que se han transmitido de una a otra generación mediante la tradición oral.

En la actualidad, decimos que un edificio ha sido construido mediante el sistema convencional cuando las técnicas de construcción utilizadas no tienen ningún grado de industrialización. Suele tratarse de construcciones en las que la estructura es, en su mayoría, de hormigón armado in situ y tanto las particiones interiores como las fachadas son cerámicas.

En este caso, se trata de una promoción en forma de L que consta de tres plantas sobre rasante (PB+2) y una bajo rasante. En cada planta hay 8 viviendas divididas en dos grupos que comparten una zona común cada uno.

La estructura es de hormigón armado in situ, las fachadas son cerámicas aplacadas con fibrocemento y las divisiones interiores son también cerámicas.





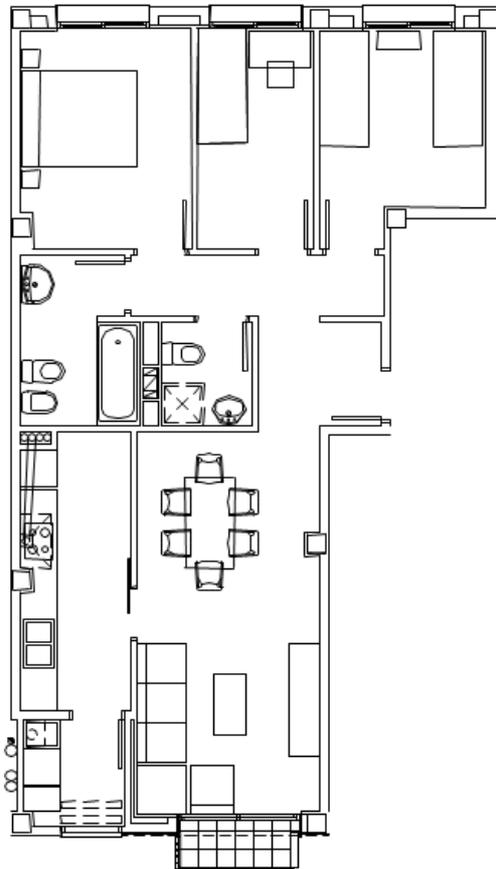
planta tipo

Para realizar el trabajo se analizará la vivienda A con la correspondiente superficie de área común que se le repercute por planta.

Área de la vivienda: 82.42 m<sup>2</sup>

Área común por vivienda: 13.28 m<sup>2</sup>

Área total analizada: 95.70 m<sup>2</sup>



vivienda escogida

## **5. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

El impacto ambiental producido por la industria de la Construcción a la luz de la Revolución Industrial constituye la deuda aún pendiente que han de afrontar las sociedades industrializadas con vistas a este nuevo milenio; lo cierto es que la Revolución Industrial supone un gran cambio en las técnicas empleadas en la producción de los materiales de construcción, dado que hasta entonces, los materiales eran naturales, propios de la biosfera, procedentes del entorno inmediato, de fabricación simple y adaptados a las condiciones climáticas del territorio donde se llevaba a cabo la edificación.

El resultado de este cambio se traduce, en primer lugar, en un gran aumento de la distancia entre la obtención de materias primas y la ubicación de su elaboración o construcción; en segundo lugar, en el agotamiento de los recursos naturales próximos; y finalmente, en el aumento de la emisión de contaminantes derivados de la industria de la Construcción.

Asimismo, la gran demanda de materiales de construcción a mediados del siglo XX comporta la necesidad de extraer y procesar gran cantidad de materias primas, elaborar nuevos materiales y el tratamiento de una elevada cantidad de residuos de construcción y demolición, con el coste energético que ello representa.

No obstante, el reto a superar por la industria de la Construcción, en cualquiera de sus tipologías, sigue siendo fundamentalmente el empleo de materiales de construcción de bajo impacto ambiental, dado que son estos los que más repercuten sobre el medio natural, sin descartar otros impactos relacionados con el consumo de energía o los residuos.

En España aún se encuentran en fase embrionaria los criterios o parámetros de sostenibilidad ambiental aplicados a la Construcción en general, y a la Edificación en particular, relativos al empleo de materiales con menor impacto ambiental para su uso en la edificación con alta eficiencia energética, durabilidad, recuperabilidad y recursos renovables.

La mitad de los materiales empleados en la industria de la Construcción proceden de la corteza terrestre, produciendo anualmente millones de toneladas de residuos de la construcción y demolición. Este volumen de residuos de construcción aumenta constantemente, siendo su naturaleza cada vez más compleja a medida que se diversifican los materiales utilizados. Este hecho limita las posibilidades de reutilización y reciclado de los residuos lo que aumenta la necesidad de crear vertederos y de intensificar la extracción de materias primas.

El sector de la Construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de los residuos generados.

El procesado de materias primas y la fabricación de los materiales generan un alto coste energético y medioambiental aunque no resulta fácil cambiar el actual sistema de construcción y la utilización irracional de los recursos naturales, donde las prioridades de reciclaje, reutilización y recuperación de materiales, brillan por su ausencia frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias naturales.

Los materiales de construcción inciden en el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida, desde su primera fase; esto es, desde la extracción y procesado de materias primas, hasta el final de su vida útil; es decir, hasta su tratamiento como residuo; pasando por las fases de producción o fabricación del material y por la del empleo o uso racional de estos materiales en la Edificación.

### **5.1. Tabla general de materiales**

El primer paso para realizar este análisis comparativo ha sido el de elaborar una tabla con todo el conjunto de materiales que se han utilizado en los diversos casos de estudio asignándoles a cada uno los datos de Energía (medidos en MJ/m<sup>3</sup> o en MJ/m<sup>2</sup>) y Emisiones de CO<sup>2</sup> (medidas en KgCo<sup>2</sup>eq/m<sup>3</sup>, KgCo<sup>2</sup>eq/m<sup>2</sup>, KgCo<sup>2</sup>eq/Kg) que se asocian a la extracción, producción y/o elaboración de cada material. Esta tabla sirve para unificar criterios y así poder comparar los datos que posteriormente se extraigan de cada proyecto.

Estos datos se han obtenido de dos fuentes fundamentalmente:

1. banco BEDEC: base de datos del Institut Tècnic de la Construcció (ITeC)
2. "Construction materials manual", Manfred Hegger, Ed. Birkhäuser.

Material	Energía	Unidad2	Emisiones	Unidad3
acer 20% reciclado	274.750	MJ/m3	28.260	KgCO2 eq/m3
acero	188.400	MJ/m3	13.345	KgCO2 eq/m3
acero inoxidable	54	MJ/Kg	5	KgCO2 eq/Kg
Acero Galvanizado	188.400	MJ/m3	13.345	KgCO2 eq/m3
aluminio primario	432.000	MJ/m3	70.200	KgCO2 eq/m3
arcilla cocida, ladrillo tabique	4.776	MJ/m3	301	KgCO2 eq/m3
arcilla cocida, materiales cerámicos vitrificados	18.000	MJ/m3	972	KgCO2 eq/m3
arena	150	MJ/m3	15	KgCO2 eq/m3
asfalto en tela	13.000	MJ/m3	1.560	KgCO2 eq/m3
Carton Yeso 11-15-40mm	3.213	MJ/m3	300	KgCO2 eq/m3
cemento	8.400	MJ/m3	492	KgCO2 eq/m3
cemento cola	14,44	MJ/m2	2,15	KgCO2 eq/m2
Chapa Grecada Eurocol 60, esp:1,2mm	188.400	MJ/m3	13.345	KgCO2 eq/m3
fabrica de ladrillo vacio	2.960	MJ/m3	180	KgCO2 eq/m3
fábrica de ladrillo macizo	5.130	MJ/m3	306	KgCO2 eq/m3
fábrica de ladrillo perforado	4.004	MJ/m3	238	KgCO2 eq/m3
fibrocemento	18.000	MJ/m3	1.780	KgCO2 eq/m3
gres porcelánico	7.160	MJ/m3	445	KgCO2 eq/m3
heraklith	8,40	MJ/m2	0,42	KgCO2 eq/m2
hormigón H-200	2.750	MJ/m3	275	KgCO2 eq/m3
hormigón prefabricado con 2% armado	4.098	MJ/m3	455	KgCO2 eq/m3
hormigón prefabricado	598	MJ/m3	166	KgCO2 eq/m3
Lámina EPDM	87.400	MJ/m3	2.266	KgCO2 eq/m3
Lana de roca	1.400	MJ/m3	122	KgCO2 eq/m3
lámina plástica impermeable continua	169,13	MJ/KG	24,96	KgCO2 eq/kg
madera	2.400	MJ/m3	48	KgCO2 eq/m3
madera, tablero aglomerados	9.800	MJ/m3	945	KgCO2 eq/m3
madera, tablero contraplacado	2.617	MJ/m3	0	KgCO2 eq/m3
Madera, pino macizo	609	MJ/m3	0	KgCO2 eq/m3
Mortero	1.596	MJ/m2	105	KgCO2 eq/m2
Neopreno	686,40	MJ/m2	101,31	KgCO2 eq/m2
parquet madera clavada	51,53	MJ/m2	2,64	KgCO2 eq/m2
panel Etercolor	75,38	MJ/KG	11,53	KgCO2 eq/kg
Paneles de DM hidrofugos	9.767	MJ/m3	0	KgCO2 eq/m3
PVC primario	168.000	MJ/m3	21.693	KgCO2 eq/m3
pintura plástica	1,40	MJ/m2	0,21	KgCO2 eq/m2
pintura y barnices sintéticos	1,40	MJ/m2	0,21	KgCO2 eq/m2
Poliester con fibra de vidrio	200.700	MJ/m3	4,68	KgCO2 eq/m3
poliestireno expandido	2.400	MJ/m3	301	KgCO2 eq/m3
poliestireno extruido	4.000	MJ/m3	691	KgCO2 eq/m3
poliuretano	369,60	MJ/m2	45,98	KgCO2 eq/m2
Resina Epoxi	171.250	MJ/m3	8.088	KgCO2 eq/m3
terrazo	172,50	MJ/m2	16,51	KgCO2 eq/m2
Vidrio laminado	35.000	MJ/m3	2.200	KgCO2 eq/m3
yeso	3.213	MJ/m3	300	KgCO2 eq/m3

## 5.2. Radiografía de cada proyecto

Para analizar cada proyecto se ha seguido siempre el mismo procedimiento.

Partiendo del listado de materiales de cada caso, se ordena cada material según una jerarquía que va desde los sistemas más generales hasta el elemento en sí que conforman.

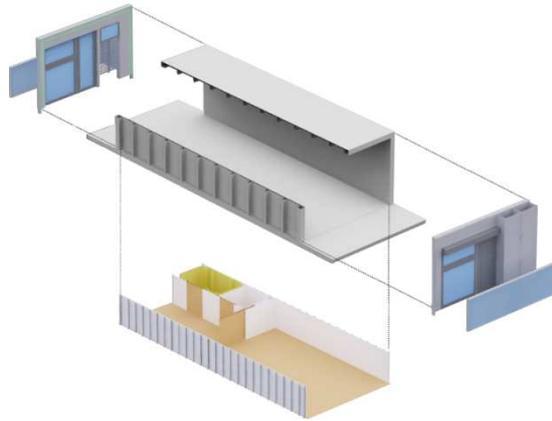
Posteriormente se establece un estado de mediciones para determinar el volumen de cada material y así, una vez asignados los datos de densidad, energía y emisiones de CO<sup>2</sup> que caracterizan a cada uno obtenidos de distintas fuentes y bases de datos, se consigue, para cada proyecto, poder evaluar el impacto ambiental del módulo analizado según dos puntos de vista distintos:

- a) por sistemas: estructura, fachadas e interiores (se incluye, también, la parte de zona común que le corresponde a cada uno).
- b) por el origen de los materiales: pétreo, metálico, orgánico y de síntesis.

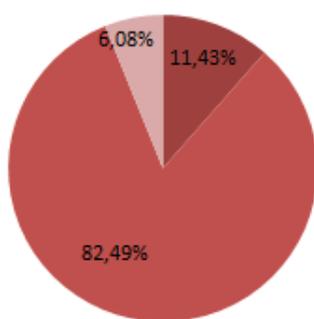
A continuación se presenta un detalle de los resultados totales obtenidos en cada caso según los dos puntos de vista anteriormente citados para luego ser comparados y poder extraer conclusiones.

### 5.2.1. Análisis por sistemas.

- **Módulos 3d:** Edificio de 30 viviendas en Banyoles

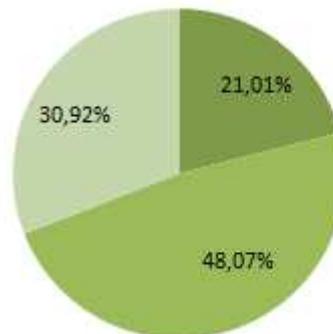


Datos de Extracción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
86,97	662,18	39,21	INTERIORES
627,91	1.515,16	127,59	ESTRUCTURA
46,32	974,53	102,90	FACHADAS
<b>761,19</b>	<b>3.151,87</b>	<b>269,69</b>	<b>TOTAL</b>
11,43%	21,01%	14,54%	INTERIORES
82,49%	48,07%	47,31%	ESTRUCTURA
6,08%	30,92%	38,15%	FACHADAS



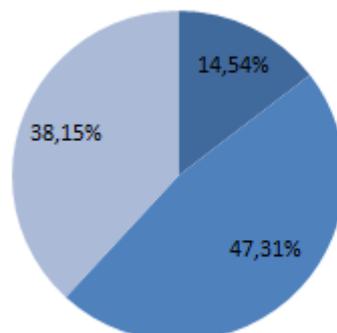
#### Peso

- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS



#### Energía

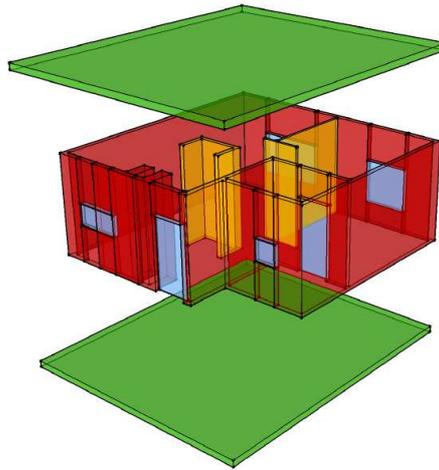
- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS



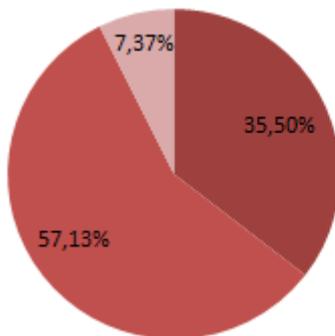
#### Emisiones

- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS

- **Paneles sandwich:** Edificio de 27 viviendas en Callús

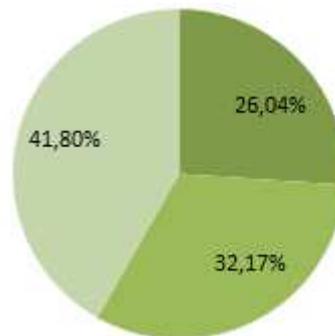


Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
149,40	438,93	35,00	INTERIORES
240,46	542,23	46,23	ESTRUCTURA
31,01	704,60	71,13	FACHADAS
<b>420,87</b>	<b>1.685,76</b>	<b>152,35</b>	<b>TOTAL</b>
35,50%	26,04%	22,98%	INTERIORES
57,13%	32,17%	30,34%	ESTRUCTURA
7,37%	41,80%	46,68%	FACHADAS



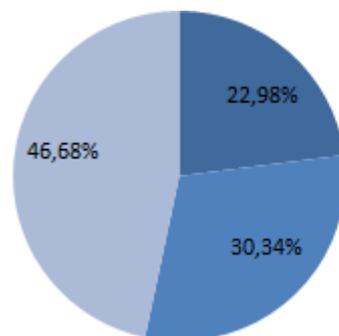
**Peso**

- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS



**Energía**

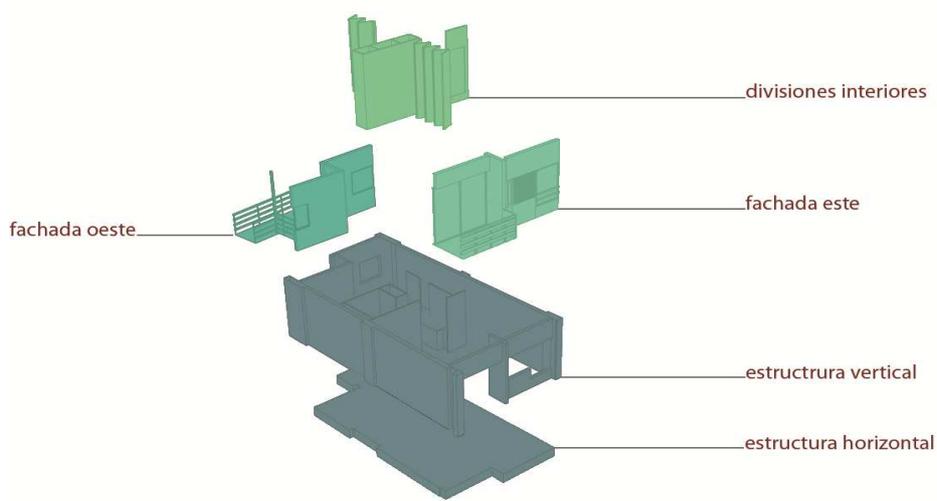
- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS



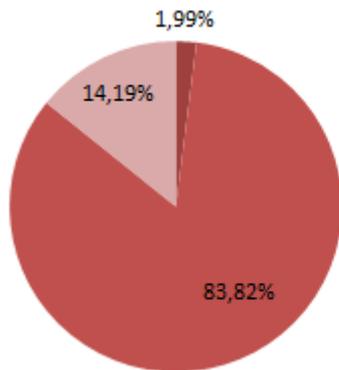
**Emisiones**

- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS

- **PANELES DE HORMIGÓN:** Edificio de 23 viviendas en Mataró

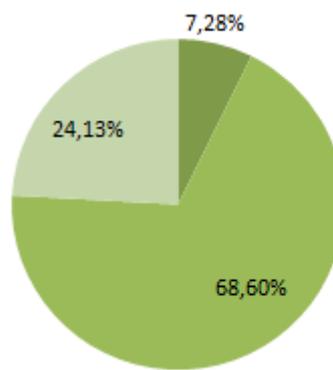


Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m2	MJ/m2	Kg CO2 eq/m2	
13,30	206,01	21,60	<b>INTERIORES</b>
561,38	1.941,18	174,08	<b>ESTRUCTURA</b>
95,06	682,72	69,88	<b>FACHADAS</b>
<b>669,74</b>	<b>2.829,90</b>	<b>265,56</b>	<b>TOTAL</b>
1,99%	7,28%	8,13%	<b>INTERIORES</b>
83,82%	68,60%	65,55%	<b>ESTRUCTURA</b>
14,19%	24,13%	26,31%	<b>FACHADAS</b>



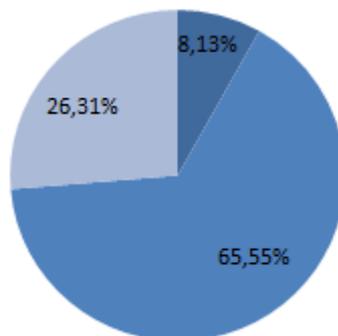
### Peso

- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS



### Energía

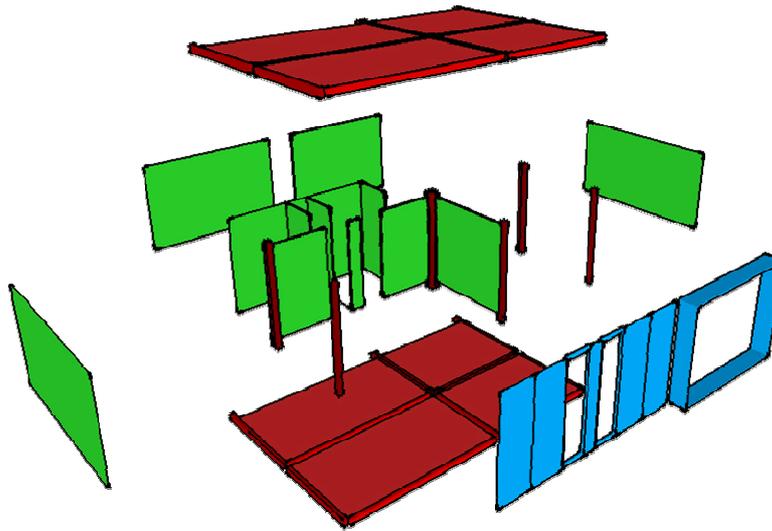
- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS



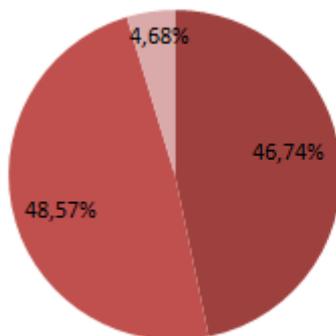
### Emisiones

- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS

- **MÓDULOS METÁLICOS:** Edificio de 36 viviendas en Torelló

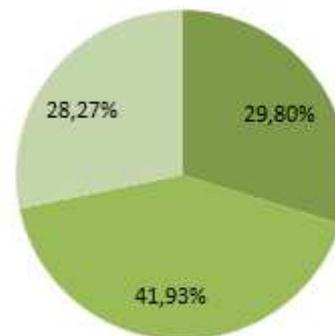


Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
316,65	1.693,27	137,41	INTERIORES
329,06	2.381,92	176,97	ESTRUCTURA
31,73	1.606,10	207,04	FACHADAS
<b>677,44</b>	<b>5.681,29</b>	<b>521,42</b>	<b>TOTAL</b>
46,74%	29,80%	26,35%	INTERIORES
48,57%	41,93%	33,94%	ESTRUCTURA
4,68%	28,27%	39,71%	FACHADAS



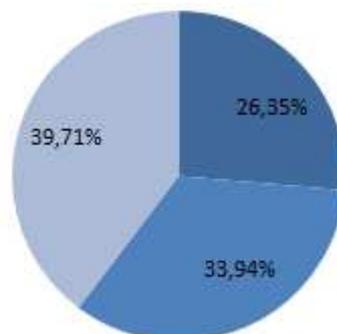
### Peso

- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS



### Energía

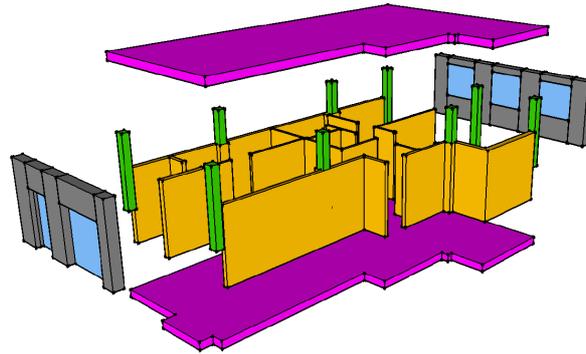
- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS



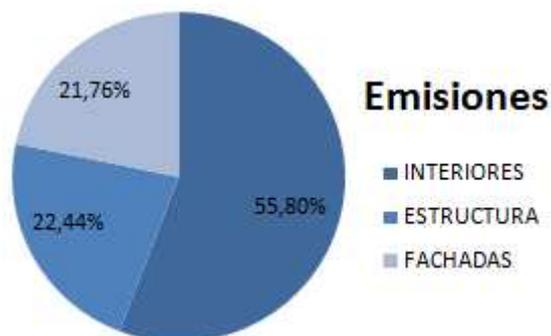
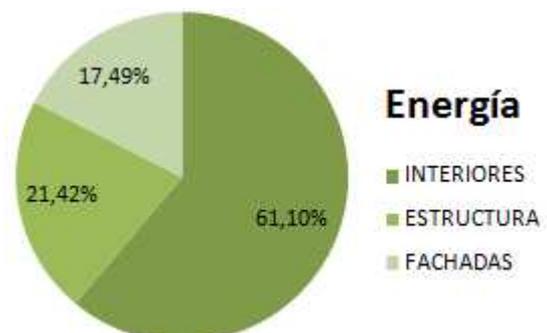
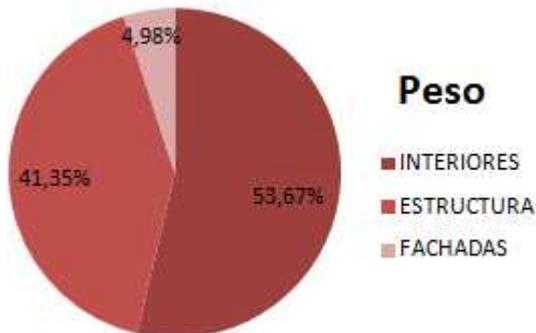
### Emisiones

- INTERIORES
- ESTRUCTURA
- FACHADAS

- **SISTEMA CONVENCIONAL:** Edificio de 16 viviendas en la Torre de l'Espanyol.



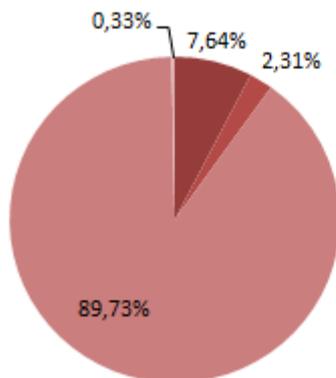
Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
595,22	2.148,46	181,16	INTERIORES
458,49	753,18	72,85	ESTRUCTURA
55,23	614,87	70,64	FACHADAS
<b>1.108,94</b>	<b>3.516,51</b>	<b>324,65</b>	<b>TOTAL</b>
53,67%	61,10%	55,80%	INTERIORES
41,35%	21,42%	22,44%	ESTRUCTURA
4,98%	17,49%	21,76%	FACHADAS



## 5.2.2. ANÁLISIS POR MATERIALES.

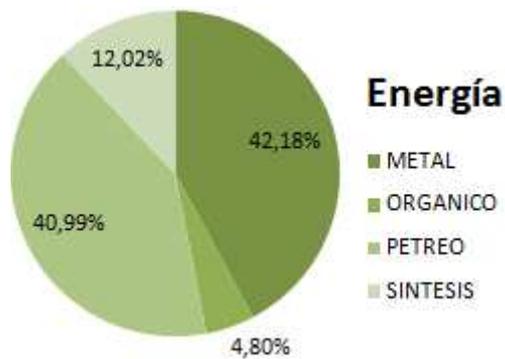
- **MÓDULOS 3D:** Edificio de 30 viviendas en Banyoles

Datos de Extracción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
58,00	1.318,14	108,63	METAL
17,52	150,16	11,80	ORGANICO
681,30	1.281,12	106,74	PETREO
2,47	375,77	40,85	SINTESIS
<b>759,29</b>	<b>3.125,20</b>	<b>268,02</b>	<b>TOTAL</b>
7,64%	42,18%	40,53%	METAL
2,31%	4,80%	4,40%	ORGANICO
89,73%	40,99%	39,83%	PETREO
0,33%	12,02%	15,24%	SINTESIS



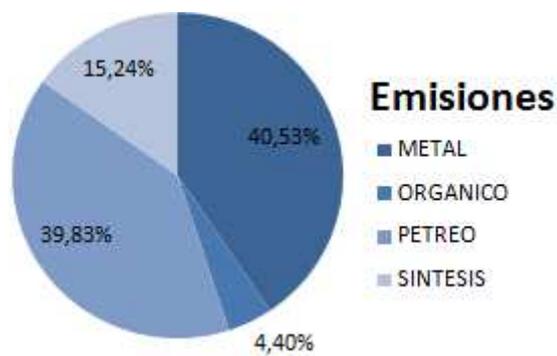
**Peso**

- METAL
- ORGANICO
- PETREO
- SINTESIS



**Energía**

- METAL
- ORGANICO
- PETREO
- SINTESIS

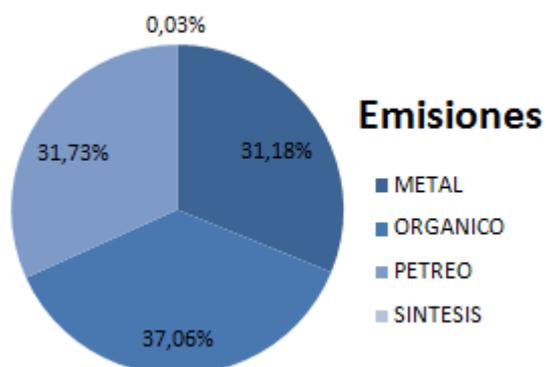
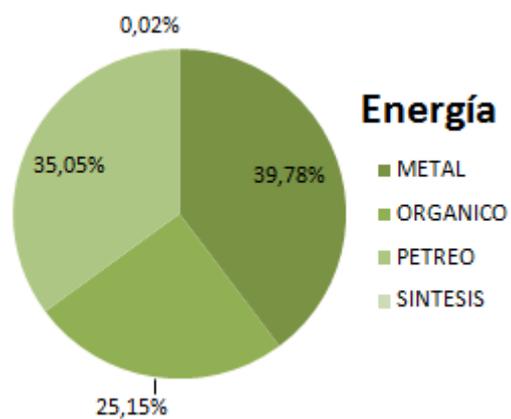
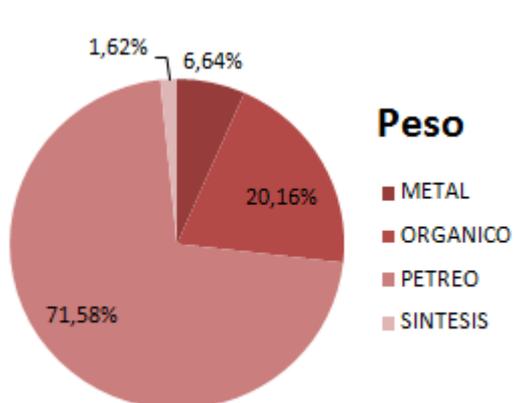


**Emisiones**

- METAL
- ORGANICO
- PETREO
- SINTESIS

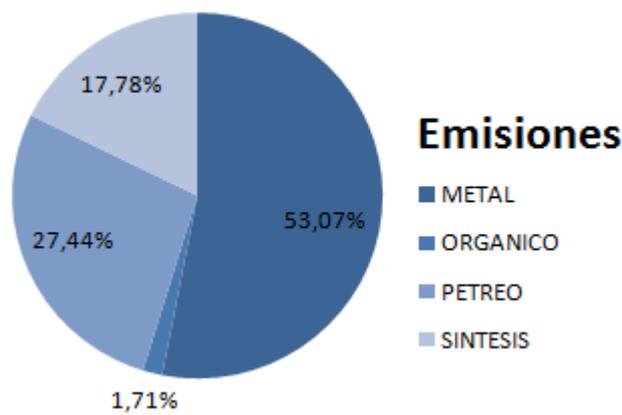
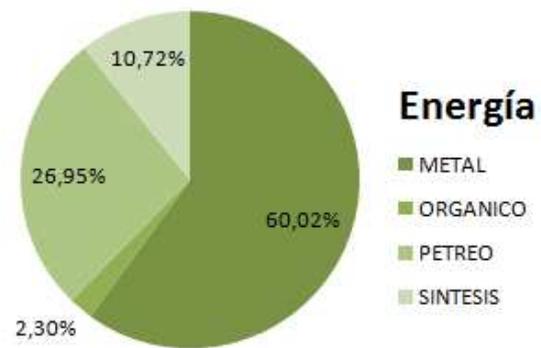
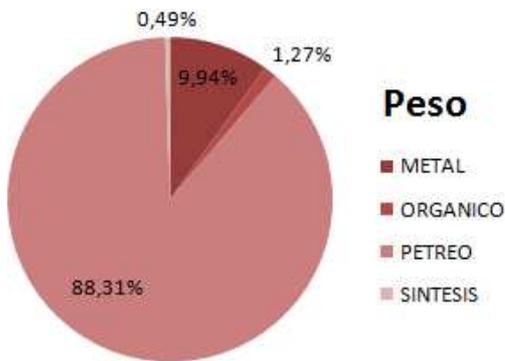
- **PANELES SANDWICH:** Edificio de 27 viviendas en Callús

Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
27,94	670,66	47,50	<b>METAL</b>
84,83	423,92	56,46	<b>ORGÁNICO</b>
301,27	590,90	48,34	<b>PETREO</b>
6,83	0,29	0,04	<b>SÍNTESIS</b>
<b>420,87</b>	<b>1.685,76</b>	<b>152,35</b>	<b>TOTAL</b>
6,64%	39,78%	31,18%	<b>METAL</b>
20,16%	25,15%	37,06%	<b>ORGANICO</b>
71,58%	35,05%	31,73%	<b>PETREO</b>
1,62%	0,02%	0,03%	<b>SINTESIS</b>



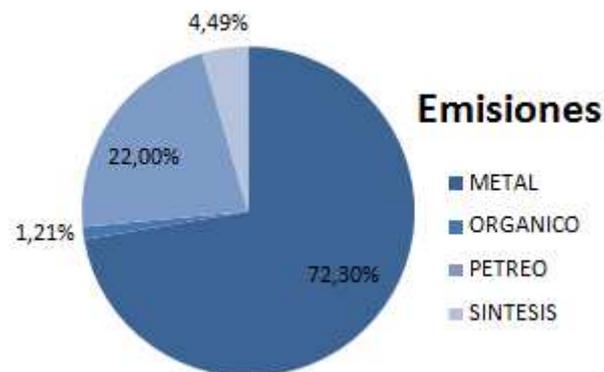
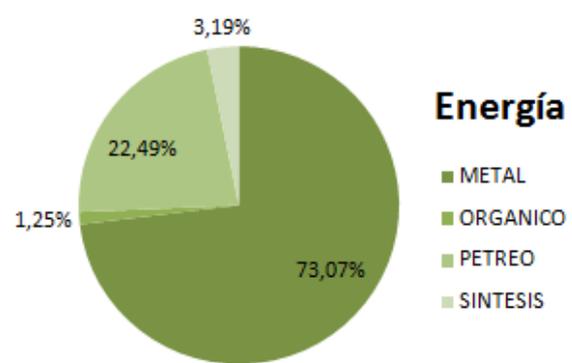
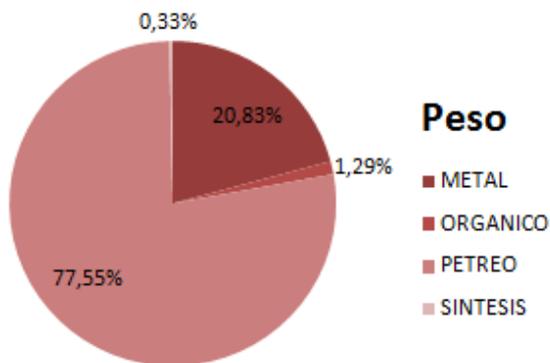
- **PANELES DE HORMIGÓN:** Edificio de 23 viviendas en Mataró

Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
67,15	1.786,26	146,43	METAL
8,56	68,47	4,71	ORGANICO
596,79	802,06	75,71	PÉTREO
3,32	319,15	49,06	SINTESIS
<b>675,83</b>	<b>2.975,94</b>	<b>275,91</b>	<b>TOTAL</b>
9,94%	60,02%	53,07%	METAL
1,27%	2,30%	1,71%	ORGANICO
88,31%	26,95%	27,44%	PETREO
0,49%	10,72%	17,78%	SINTESIS



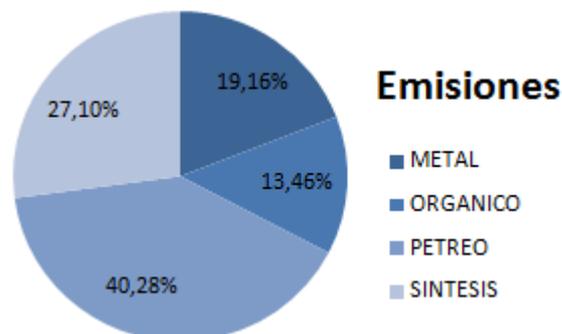
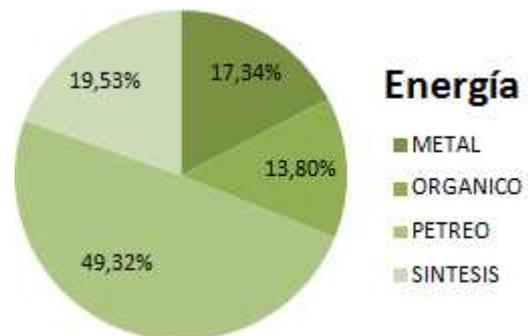
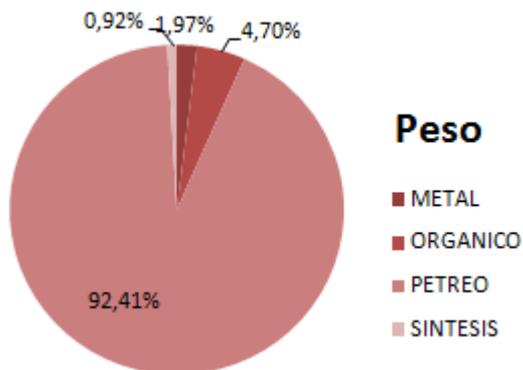
- **MÓDULOS METÁLICOS:** Edificio de 36 viviendas en Torelló

Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emisiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
141,09	4.151,29	376,99	METAL
8,74	70,76	6,29	ORGANICO
525,34	1.277,77	114,70	PETREO
2,27	181,47	23,43	SINTESIS
<b>677,44</b>	<b>5.681,29</b>	<b>521,42</b>	<b>TOTAL</b>
20,83%	73,07%	72,30%	METAL
1,29%	1,25%	1,21%	ORGANICO
77,55%	22,49%	22,00%	PETREO
0,33%	3,19%	4,49%	SINTESIS



- **SISTEMA CONVENCIONAL:** Edificio de 16 viviendas en la Torre de l'Espanyol

Datos de Construcción			
Peso	Energía	Emissiones	
kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	
18,12	597,70	61,43	METAL
43,24	475,69	43,17	ORGANICO
849,68	1.700,06	129,15	PETREO
8,45	673,29	86,90	SINTESIS
<b>919,49</b>	<b>3.446,74</b>	<b>320,65</b>	<b>TOTAL</b>
1,97%	17,34%	19,16%	METAL
4,70%	13,80%	13,46%	ORGANICO
92,41%	49,32%	40,28%	PETREO
0,92%	19,53%	27,10%	SINTESIS



### 5.3. Efecto de la localización (transporte)

Hoy el transporte absorbe la mitad del petróleo consumido anualmente y es, junto con las centrales termoeléctricas de carbón, la principal causa de las lluvias ácidas, debido a la emisión de óxidos de nitrógeno y de dióxido de azufre.

El transporte contribuye a las emisiones de gases de invernadero, acelerando el cambio climático, y a la destrucción de la capa de ozono, debido a la utilización de clorofluorocarbonos (CFCs) en las espumas de los asientos y en los sistemas de acondicionamiento de aire del parque actual o sus sustitutos (HCFC, HFC).

El automóvil destruye el ozono de la estratosfera, donde es más necesario, pero aquí abajo, en la troposfera, donde no lo necesitamos, el automóvil produce grandes cantidades de ozono troposférico al reaccionar los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos en presencia de la luz solar, dañando la salud de las personas, los cultivos, los árboles y las plantas en general, y contribuye además con un 8% al efecto invernadero.

En España, según los datos del gobierno en el año 2000, el transporte emitió a la atmósfera el 30% de las emisiones de dióxido de carbono, 3 millones de monóxido de carbono, 620 mil toneladas de óxidos de nitrógeno, 600.000 de compuestos orgánicos volátiles, 61.000 de dióxido de azufre y 31.000 toneladas de partículas.

Ni el aumento de la eficiencia energética, ni los nuevos combustibles (con la excepción del hidrógeno consumido en pilas de combustible o la electricidad procedente de células solares fotovoltaicas), ni los nuevos materiales, impedirán la crisis ambiental.

La construcción de un kilómetro llano de autopista de 4 carriles requiere 1.500 kilogramos equivalentes de petróleo en asfalto o combustible para la maquinaria de obras públicas. Las infraestructuras de transporte tienen una repercusión irreversible en la ocupación del suelo, en el paisaje y en la fragmentación de hábitats.

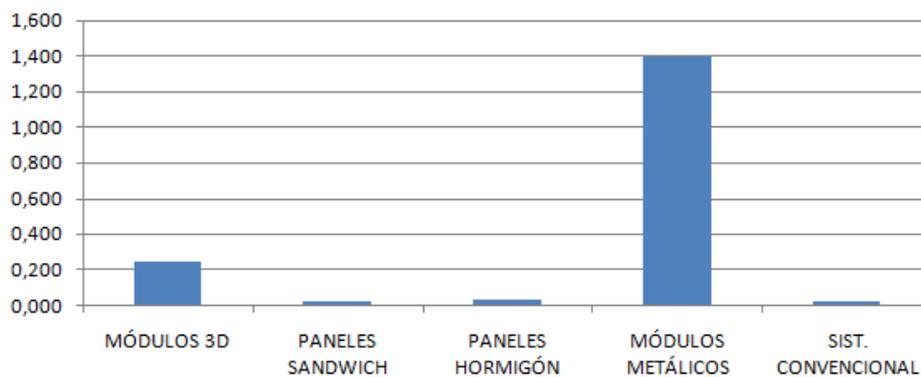
Los materiales de construcción necesariamente han de ser transportados desde su origen de producción hasta la localización en donde se encuentran ubicadas las obras. Es, por tanto, determinante en temas de impacto ambiental la distancia entre materiales y obras como otro factor a tener en cuenta en el cómputo global de energía y emisiones de CO<sup>2</sup> ya que, en casos en los que los materiales de construcción puedan tener un bajo impacto ambiental se pueden ver “penalizados” debido al factor del transporte.

En el siguiente esquema se detallan los lugares donde se emplazan las obras y las distancias máximas que recorren los materiales que las componen.



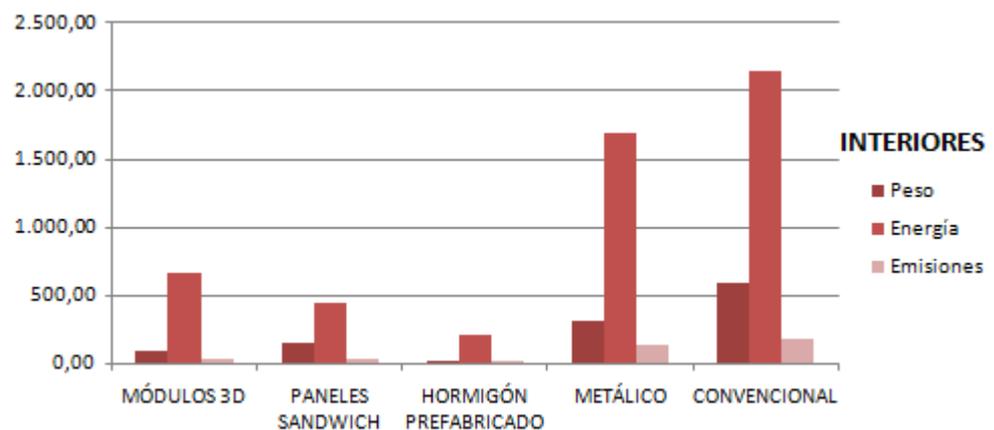
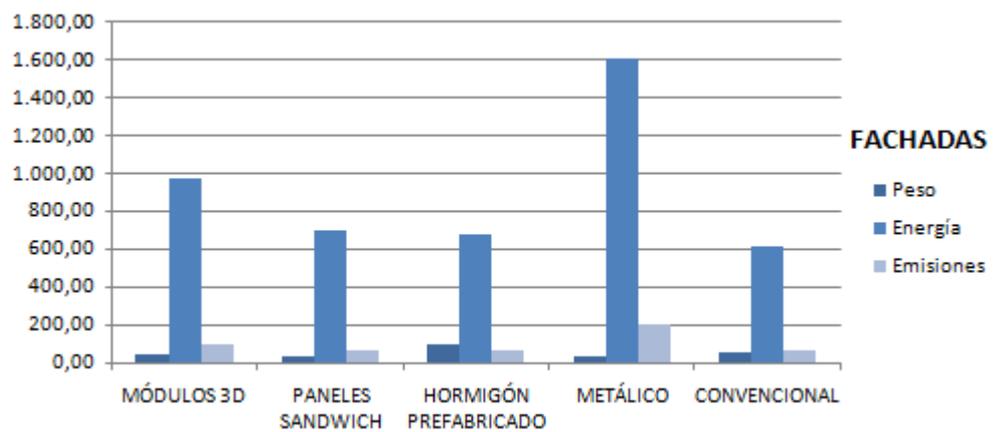
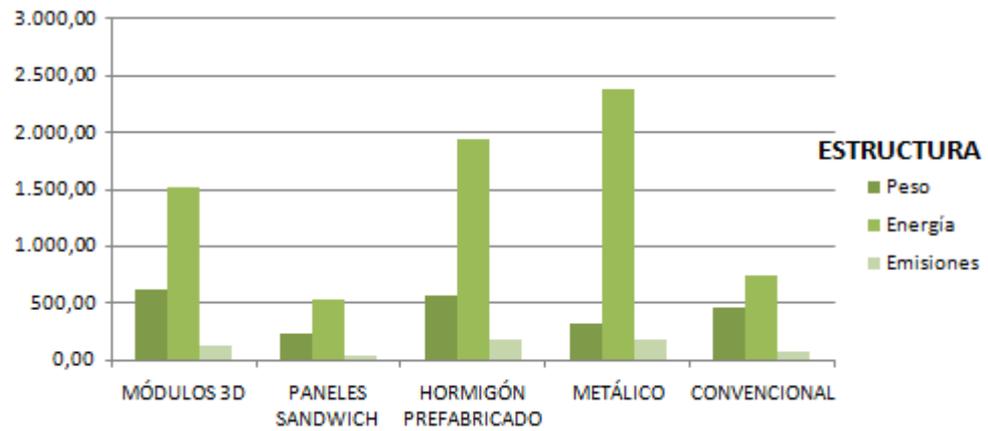
	ORIGEN	DESTINO	KM	PESO (kg/m <sup>2</sup> )	km/kg
<b>MÓDULOS 3D</b>	Cardona	Banyoles	182	761	0,239
<b>PANELES SANDWICH</b>	Santpedor	Callús	6	420	0,014
<b>PANELES DE HORMIGÓN</b>	Barcelona	Mataró	30	1129	0,027
<b>MÓDULOS METÁLICOS</b>	Gijón	Torelló	945	677	1,396
<b>SISTEMA CONVENCIONAL</b>	extrarradio	orre espanyol	20	1109	0,018

km/kg

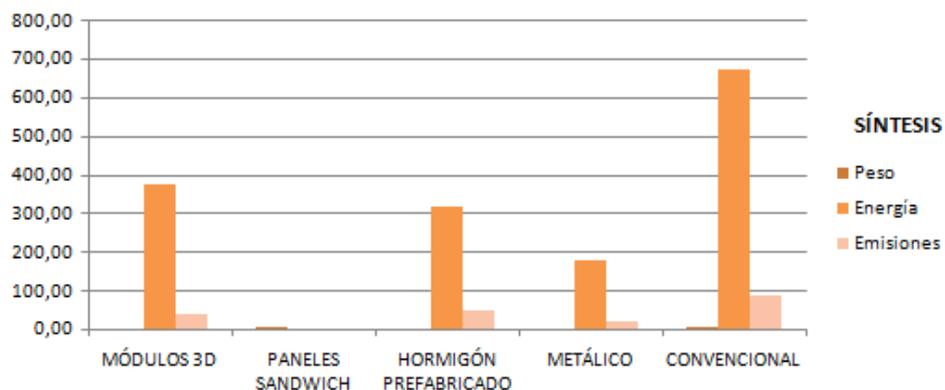
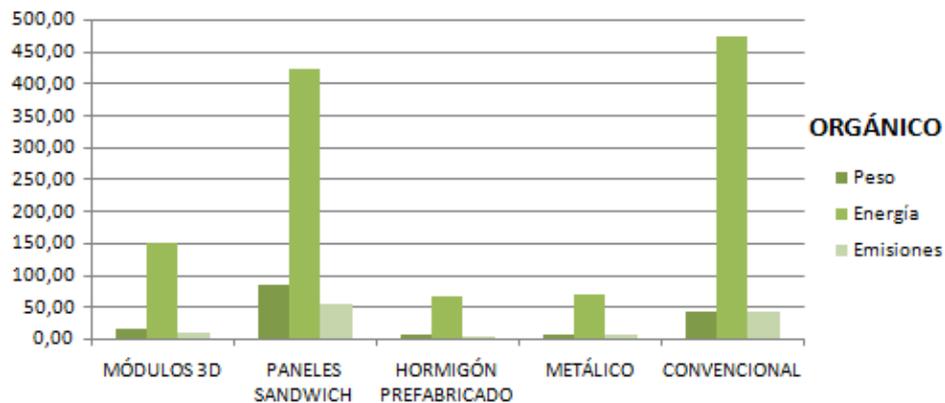
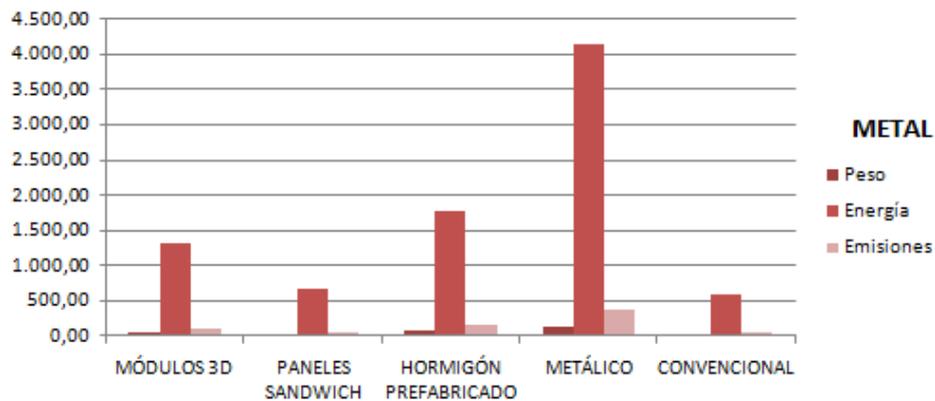
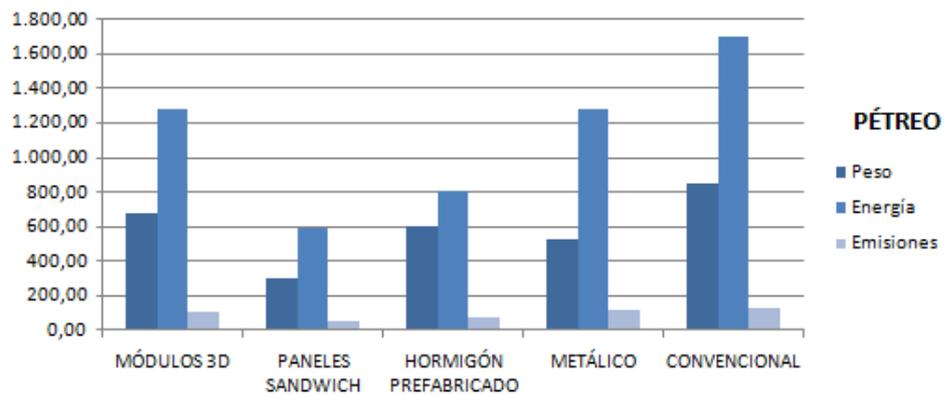


## 6. COMPARACIONES

### 6.1. ANÁLISIS POR SISTEMAS:



## 6.2. ANÁLISIS POR MATERIALES:



### 6.3. CONCLUSIONES PARCIALES:

- El análisis por sistemas nos demuestra que, en todos los casos, la estructura es la parte del edificio que mayor impacto ambiental tiene debido, principalmente, al peso del hormigón y al volumen de acero del que se compone. Las fachadas y los interiores tienen una repercusión mucho menos importante en comparación. Por tanto, es en esta parte del edificio en la que se debe actuar para reducir gastos energéticos y emisiones de CO<sup>2</sup>.
- Sobre las fachadas cabe destacar el hecho de que, a pesar de que no tienen un gran valor respecto al peso total del edificio, sí que son importantes respecto al consumo energético de los materiales debido, sobretodo, a las carpinterías y las persianas.
- En cuanto a los interiores se ve reflejado claramente que en los casos de los sistemas industrializados el impacto de los materiales en el interior es muy bajo ya que suelen ser ligeros y están muy optimizados. En cambio, la construcción convencional utiliza sistemas de separación interior pesados de origen pétreo.
- El análisis por materiales nos enseña que los materiales de origen pétreo y los metálicos son los más abundantes en todos los casos y, además, los que más inciden en el peso del edificio. Los metales, sobretodo, inciden también en los valores de energía y de emisiones de CO<sup>2</sup>.

Se observa también que, a pesar de que los materiales de origen orgánico son los que menos perjudican al medioambiente, son los menos utilizados en todos los casos.

Los de origen sintéticos son de gran impacto ambiental aunque se puede observar que el volumen de utilización es bajo en general.

## **7. MEJORAS POSIBLES**

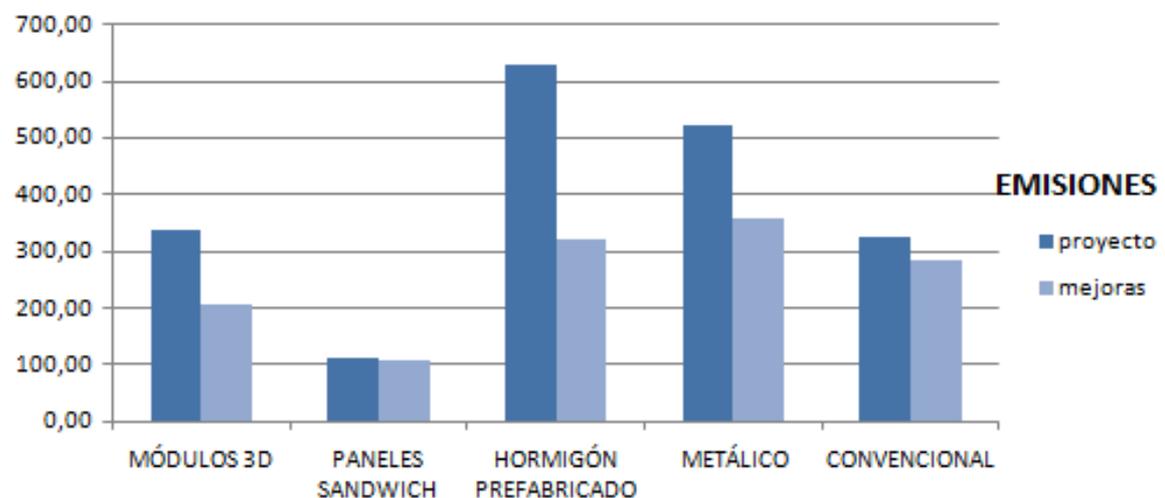
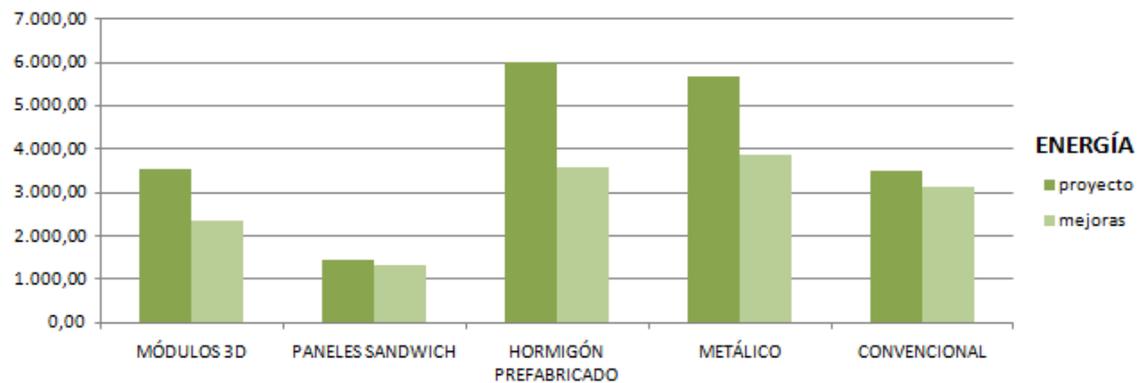
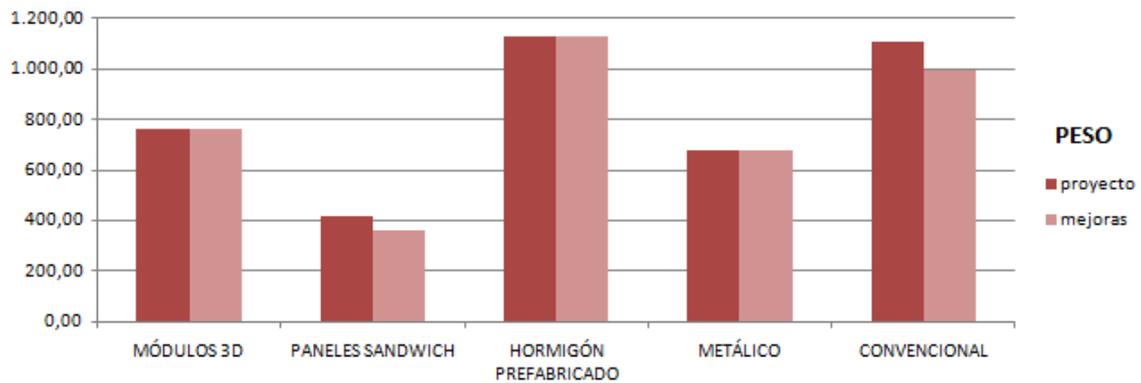
Una vez analizados todos los casos se proponen una serie de cambios que consisten en la sustitución de materiales de mayor impacto ambiental por otros de menor impacto. Se trata, por tanto, de cambiar metales de primera fusión por metales de segunda fusión o con un mayor porcentaje de material reciclado, sustituir materiales de origen sintético por materiales de origen orgánico, materiales pesados por materiales más ligeros, etc.

En general, se han aplicado estos criterios de sustitución de materiales en todos los casos con pequeños matices en cada uno que se especificarán a continuación.

- **MÓDULOS 3D:** Edificio de 30 viviendas en Banyoles
  - acero de 1ª fusión por acero de 2ª fusión
  - carpinterías de aluminio por carpinterías de madera
  - persianas de PVC por persianas de aluminio reciclado
  - poliéster con fibra de vidrio por cartón yeso con terrazo
  - aislamiento de poliuretano por lana de roca
  
- **PANELES SANDWICH:** Edificio de 27 viviendas en Callús
  - carpinterías de aluminio por carpinterías de madera
  - pavimento de terrazo por parquet de madera nacional
  - acero de 1ª fusión por acero de 2ª fusión
  
- **PANELES DE HORMIGÓN:** Edificio de 23 viviendas en Mataró
  - aluminio de 1ª fusión por aluminio de 2ª fusión
  - aislamiento de poliestireno extruido por lana de roca
  - acero de 1ª fusión por acero de 2ª fusión
  
- **MÓDULOS METÁLICOS:** Edificio de 36 viviendas en Torelló
  - aluminio de 1ª fusión por aluminio de 2ª fusión
  - acero de 1ª fusión por acero de 2ª fusión
  - carpinterías de aluminio por carpinterías de madera
  
- **SISTEMA CONVENCIONAL:** Edificio de 16 viviendas en la Torre de l'Espanyol
  - aluminio de 1ª fusión por aluminio de 2ª fusión
  - pavimento de gres y terrazo por parquet de madera nacional
  - acero de 1ª fusión por acero de 2ª fusión
  - aislamiento de poliestireno extruido por lana de roca

Resultados totales y gráficas comparativas entre los datos de los proyectos originales y los proyectos con las mejoras aplicadas.

	PESO			ENERGÍA			EMISIONES		
	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN
<b>MÓDULOS 3D</b>	761,00	761,34	<b>0%</b>	3.539,26	2.334,21	<b>34%</b>	336,61	204,78	<b>39%</b>
<b>PANELES SANDWICH</b>	419,81	358,73	<b>15%</b>	1.446,42	1.330,23	<b>8%</b>	113,27	107,19	<b>5%</b>
<b>PANELES HORMIGÓN</b>	1.128,51	1.130,59	<b>0%</b>	6.016,41	3.585,43	<b>40%</b>	627,99	320,22	<b>49%</b>
<b>MÓDULOS METÁLICOS</b>	677,44	677,44	<b>0%</b>	5.681,29	3.881,44	<b>32%</b>	521,41	358,95	<b>31%</b>
<b>CONVENCIONAL</b>	1.108,94	996,74	<b>10%</b>	3.516,50	3.115,45	<b>11%</b>	324,64	283,74	<b>13%</b>



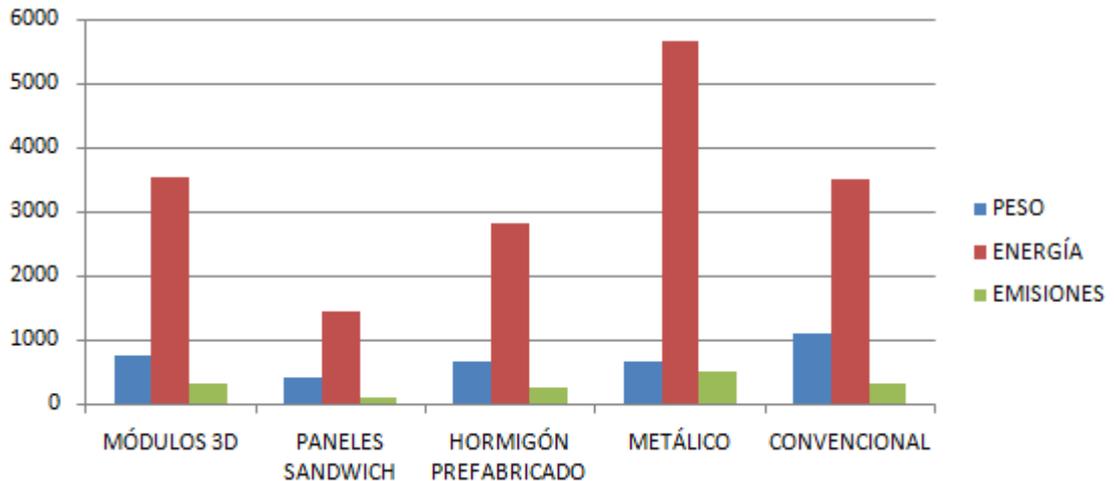
	METAL								
	Peso			ENERGÍA			EMISIONES		
	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN
MÓDULOS 3D	58,00	58,00	0%	1.318,14	962,19	27%	108,63	81,34	25%
PANELES SANDWICH	27,24	27,94	-3%	670,66	575,83	14%	47,50	44,80	6%
HORMIGÓN PREFABRICADO	67,15	61,07	9%	1.786,26	1.031,99	39%	146,43	93,99	36%
METÁLICO	141,09	137,56	3%	4.151,29	2.350,67	43%	376,99	376,99	0%
CONVENCIONAL	18,12	18,12	0%	537,70	292,64	51%	61,43	27,31	56%
	ORGANICO								
	Peso			ENERGÍA			EMISIONES		
	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN
MÓDULOS 3D	17,52	17,78	-1%	150,16	151,68	-1%	11,80	11,88	-1%
PANELES SANDWICH	83,78	22,70	73%	423,92	163,22	61%	56,46	14,01	75%
HORMIGÓN PREFABRICADO	8,56	13,42	-57%	68,46	165,69	-142%	4,71	13,18	-180%
METÁLICO	8,74	12,28	-41%	70,76	71,54	-1%	6,29	6,29	0%
CONVENCIONAL	43,24	70,02	-62%	475,69	486,56	-2%	43,16	44,03	-2%
	PETREO								
	Peso			ENERGÍA			EMISIONES		
	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN
MÓDULOS 3D	681,30	684,29	0%	1.281,12	1.156,21	10%	106,74	109,96	-2%
PANELES SANDWICH	301,27	301,27	0%	530,90	530,90	0%	48,34	48,34	0%
HORMIGÓN PREFABRICADO	596,79	596,75	0%	802,06	802,06	0%	75,71	75,71	0%
METÁLICO	525,34	525,34	0%	1.277,77	1.277,77	0%	114,70	114,70	0%
CONVENCIONAL	849,68	916,65	-8%	1.700,06	1.749,61	-3%	129,14	132,75	-3%
	SINTESIS								
	Peso			ENERGÍA			EMISIONES		
	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN
MÓDULOS 3D	2,47	0,74	70%	375,77	76,41	80%	40,85	2,96	93%
PANELES SANDWICH	6,83	6,83	0%	0,29	0,29	0%	0,04	0,04	0%
HORMIGÓN PREFABRICADO	3,35	0,54	84%	319,15	41,38	87%	49,30	1,08	98%
METÁLICO	2,26	2,26	0%	181,47	181,47	0%	23,43	23,43	0%
CONVENCIONAL	8,45	8,32	2%	673,28	658,34	2%	86,90	85,01	2%

## 7.1. CONCLUSIONES PARCIALES:

- Al tratarse de una actuación de “cambio” de materiales, es decir, se sustituye un material de mayor impacto ambiental por otro de menor impacto, no se está actuando sobre los valores de PESO de cada módulo analizado. Por eso, este dato no se ve modificado en prácticamente ningún caso se mejora en un porcentaje muy bajo.
- En cuanto a los valores de Energía se puede observar que en los dos casos que resultaban más desfavorables, el de los paneles de hormigón y los módulos metálicos, el cambio de un material por otro ha sido muy efectivo y se han obtenido reducciones muy significativas. El porqué se debe a que los materiales de origen metálico, que en estos dos casos tienen una gran cantidad de volumen, son materiales que requieren una gran energía para su elaboración pero que permiten un buen reciclado.
- Sobre los valores obtenidos respecto a las emisiones de CO<sup>2</sup> nos encontramos con los mismos resultados que para el caso de la Energía. Los motivos son los mismos.

## 8. CONCLUSIONES

Tabla resumen comparativa:



- Analizando cuatro casos de sistemas industrializados distintos y comparándolos con un sistema convencional de construcción podemos observar que, a nivel de materiales, el sistema convencional no es el de mayor impacto ambiental. Tal vez sí es el de mayor peso pero respecto a los valores de consumo energético y de emisiones de CO<sup>2</sup> no es el de mayor repercusión ambiental.
- Por otro lado, teniendo en cuenta que los materiales de construcción de un sistema convencional suelen ser locales, la repercusión del transporte en estos sistemas es menor que en otros de carácter industrializado cuyos lugares de fabricación están muy alejados de la ubicación de las obras.
- También se puede observar que los sistemas constructivos industrializados son fácilmente mejorables respecto al impacto ambiental simplemente actuando sobre los materiales de construcción pero los sistemas constructivos convencionales no admiten demasiadas mejoras.
- Finalmente, y como conclusión definitiva, se podría decir que los sistemas de construcción convencional no tienen un mayor impacto ambiental que los industrializados si nos quedamos solamente con la idea de extracción y construcción de los edificios. Pero si tenemos en cuenta que al final de la vida útil de un edificio éste en vez de ser demolido puede ser “deconstruido” y “reutilizado”, todo o por partes, la construcción convencional es un sistema constructivo de gran impacto ambiental.

El cierre del ciclo de vida de los materiales implica convertir los residuos en recursos y la construcción convencional está muy lejos de permitir esto. Este es su gran hándicap.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- V. Gómez Jáuregui, "Habidite: viviendas modulares industrializadas", Informes de la Construcción, Vol. 61, 513, 33-46, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Madrid, enero-marzo 2009.
- Escrig, Christian, "Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón".
- Gómez Muñoz, D., Tutores: Aguado de Cea, A. y Fernández Lillo, C. "Estudio comparativo entre distintas metodologías de industrialización de la construcción de viviendas", Tesina de especialización. Departamento de Ingeniería de la Construcción (UPC). Barcelona, Junio 2008.
- Wadel, G., Tutores: Avellaneda, J, y Cuchí, A., "La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales", Informes de la Construcción, Vol. 62, 517, 37-51, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Madrid, enero-marzo 2010.
- Queipo, J., Navarro, J.M., Izquierdo, M., del Águila, A., Guinea, D., Villamor, M., Vega, S., Neila, J., "Proyecto de investigación INVISOR: industrialización de viviendas sostenibles", Informes de la Construcción, Vol. 61, 513, 73-86, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Madrid, enero-marzo 2009.
- UPC, "Construir amb sistemes industrialitzats", 2005-2006.
- Solanas, T., Cuchí, A., Folch, R., Mitre, E.M., "Vivienda y sostenibilidad en España", Ed. Gustavo Gili, 2007.
- José Santamarta Flórez, "Transporte y medioambiente", 2002.

## REFERENCIAS

- 1. Datos de IDAE para los sectores domésticos y de servicios
- 2. Cuchí y A. Pagés, "Sobre una estrategia para dirigir el sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero", Ministerio de la Vivienda, octubre de 2007.
- 3. Wuppertal Institute
- 4. Informes del PROGROC, Programa de Gestió de Residus d'Obres de Construcció de Catalunya.
- 5. Estadísticas e informes del Ministerio de Medio Ambiente, Medio MARino y Rural.

## WEBS CONSULTADAS

- [www.compacthabit.es](http://www.compacthabit.es)
- [www.tecconeolution.com](http://www.tecconeolution.com)
- [www.bscp.es](http://www.bscp.es)
- [www.itec.es/bedec](http://www.itec.es/bedec)
- [www.wikipedia.es](http://www.wikipedia.es)

## ANEXOS

## ANEXO 1: TABLAS DE ANÁLISIS POR PROYECTO

- **MÓDULOS 3D:** Edificio de 30 viviendas en Banyoles

Tabla de estructura de trabajo

Subsistema	Localización	Elemento constructivo	Area	m2
Acabados de techo	Suelo	Acero de refuerzo	Vivienda	53,12
Acabados de muro	Arco	Aislamiento acústico	Área común/piso	26,34
Acabados de suelo	Techo	Aislamiento	Nº viviendas/piso	8
Acabados especiales	Exterior	Aislamiento térmico	A. C./Vivienda	3,29
Carpintería	Muro	Barandilla	Total	56,41
Cerramientos opacos	Puerta	Caja porta persiana		
Cerramientos transparentes	Ventana	Carpintería		
Complementos	Viga	Fajado		
Horizontal		Muro de carga		
Tabiquería		Pavimento		
Vertical		Persiana		
		Perfil		
		Pintura		
		Placa		
		Panel		

Tabla de materiales

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
		kg/m3	MJ/m3	KgCO2eq/m3
acer 20% reciclado	Metal	7.850	274.750,00	28.260,00
aluminio primario	Metal	2.700	432.000,00	70.200,00
fibrocemento	Pétreo	2.000	18.000,00	1.780,00
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750,00	275,00
madera	Orgánico	800	2.400,00	48,00
madera, tablero aglomerados	Orgánico	700	9.800,00	945,00
madera, tablero contraplacado	Orgánico	430	2.617,00	0,00
PVC primario	Síntesis	2.100	168.000,00	21.693,00
poliuretano	Síntesis	40	264.000,00	32.842,85
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000,00	2.200,00
Lámina EPDM	Síntesis	1.150	87.400,00	2.265,60
Lana de roca	Orgánico	70	1.400,00	122,00
Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400,00	13.345,00
Resina Epoxi	Síntesis	1.250	171.250,00	8.087,50
Poliéster con fibra de vidrio	Pétreo	1.800	200.700,00	4,68
yeso	Pétreo	1.250	3.212,50	300,00

- **PANELES SANDWICH:** Edificio de 27 viviendas en Callús

Tabla de estructura de trabajo

Subsistema	Localización	Elemento constructivo	Area	m2
Horizontal	Suelo	Aislamiento	Vivienda	60,4
Vertical	Muro	Carpintería	Área común/piso	100
Cerramientos transparentes	Ventana	Fojado	Nº viviendas/piso	9
Cerramientos opacos	Puerta	Pavimento	A. C./Vivienda	11,11
Tabiquería	Tabique	Persiana	<b>Total</b>	<b>71,51</b>
Carpintería	Techo	Perfil		
Acabados de suelo		Placa		
Acabados de techo		Panel		
		Ventana		
		Pintura		

Tabla de materiales

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750	275
madera	Orgánico	800	2.400	48
madera, tablero aglomerados	Orgánico	700	9.800	945
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000	2.200
Lana de roca	Orgánico	70	1.400	122
Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Acero	Metal	7.850	188.400	13.345
lámina plástica impermeable continua	Síntesis	2.150	169	25
panel Etercolor	Síntesis	198	75	12
Carton Yeso 11-15-40mm	Pétreo	1.250	3.213	300
pintura y barnices sintéticos	Síntesis	2.100	1,40	0,21
parquet madera clavada	Orgánico	600	52	3
heraklith	Síntesis	700	8,40	0,42
Mortero	Pétreo	2.000	1.596	105
aluminio primario	Metal	2.700	432.000	70.200
terrazo	Pétreo	3.700	173	16,51

- **PANELES DE HORMIGÓN:** Edificio de 23 viviendas en Mataró

Tabla de estructura de trabajo

Sistema	Subsistema	Localización	Elemento constructivo	Area	m2
Área común	Acabados de cielo	Suelo	Acero de refuerzo	Vivienda	66,8
Cubierta	Acabados de muro	Arco	Aislamiento acústico	Área común/piso	68,73
Divisiones y acabados	Acabados de suelo	Cielo	Aislamiento	Nº viviendas/piso	5
Estructura	Acabados especiales	Exterior	Aislamiento térmico	A. C./Vivienda	13,74
Fachada Este	Carpintería	Muro	Barandilla	<b>Total</b>	<b>80,54</b>
Fachada Norte	Cerramientos opacos	Puerta	Caja porta perciana		
Fachada Oeste	Cerramientos transparentes	Ventana	Carpintería		
Fachada Sur	Complementos	Viga	Fojado		
	Horizontal		Muro de carga		
	Tabiquería		Pavimento		
	Vertical		Perciana		
			Perfil		
			Pintura		
			Placa		
			Panel		

Tabla de materiales

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
acer 20% reciclado	Metal	7.850	274.750	28.260
aluminio primario	Metal	2.700	580.500	99.900
arcilla cocida, materiales cerámicos vitrificados	Pétreo	1.800	18.000	972
arena	Pétreo	1.500	150	15
asfalto en tela	Pétreo	1.300	13.000	1.560
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750	275
madera	Orgánico	800	2.400	48
madera, tablero aglomerados	Orgánico	700	9.800	945
madera, tablero contraplacado	Orgánico	430	2.617	0
Mortero	Pétreo	2.000	1.596	105
poliestireno extruido	Síntesis	40	4.000	691
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000	2.200
Lámina EPDM	Síntesis	1.150	87.400	2.266
Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Resina Epoxi	Síntesis	1.250	171.250	8.088
cemento	Pétreo	1.200	8.400	492

- **MÓDULOS METÁLICOS:** Edificio de 36 viviendas en Torelló

Tabla de estructura del trabajo

Sistema	Subsistema	Localización	Elemento constructivo	Area	m2
Estructura	Acabados de muro	Area comun	Aislamiento	Vivienda	57,6
Divisiones y acabados	Acabados de techo	Vivienda	Barandilla	Área común	8,5
Fachada Norte	Acabados de suelo		Carpintería	<b>Total</b>	<b>66,1</b>
	Acabados especiales		Suelo		
	Carpintería Hoja		Pavimento		
	Carpintería Marco		Persiana		
	Cerramientos opacos		Perfil		
	Cerramientos transparentes		Placa		
	Complementos		Zuncho		
	Estructura		Zocalo		
	Forjado		Viga		
	Horizontal		Ventana Pivotante		
	Tabiquería		Ventana Fija		
	Vertical		Ventana Corredor		
			Remate		
			Puerta		
			Jacena		
			Pilar		

Tabla de materiales

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
Paneles de DM hidrofugos	Organico	725	9.767	0
Carton Yeso 11-15-40mm	Pétreo	1.250	3.213	300,00
madera, tablero aglomerados	Organico	700	9.800	945
Madera, pino macizo	Organico	450	609	0
Aluminio primario	Metal	2.780	432.000	70.200
Barras de Acero	Metal	7.850	188.400	13.345
Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Chapa Grecada Eurocol 60, esp:1,2mm	Metal	7.850	188.400	13.345
IPE 200mm	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfil de HEB-140mm	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfil Hueco de 140mm	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfiles de C de Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfiles de Omega de Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750	275
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000	2.200
gres porcelánico	Pétreo	1.900	7.160,00	445,00
Mortero	Pétreo	2.000	1.596	105
Lana de Roca, 70kg/m3	Pétreo	70	1.400	122
PVC primario	Síntesis	2.100	168.000	21.693
Perfiles de U de Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfiles Tubo de Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345

- **SISTEMA CONVENCIONAL:** Edificio de 16 viviendas en la Torre de l'Espanyol

Tabla de estructura del trabajo

Sistema	Subsistema	Localización	Elemento constructivo	Area	m2
Estructura	Horizontal	Pilar	Tabique	Vivienda	82,42
Fachada SurOeste	Vertical	Viga	Aislamiento	Área común/piso	
Fachada NorOeste	Cerramientos opacos	Forjado	Ventana	Nº viviendas/piso	
Divisiones y acabados	Cerramientos transparentes	Suelo	Barandilla	A. C./Vivienda	13,28
	Complementos	Techo	Persiana	<b>Total</b>	<b>95,70</b>
	Acabados de suelo	Tabique	Carpintería		
	Acabados de techo	Acabado	Muro		
	Acabados especiales	Puerta	Pavimento		
	Tabiquería	Remate	Perfil		
		Muro	Acabado		
		Ventana	Placa		
		Terraza	Panel		
			Pilar		
			Forjado		
			Viga		

Tabla de materiales

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750	275
madera	Orgánico	800	2.400	48
madera, tablero aglomerados	Orgánico	700	9.800	945
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000	2.200
Acero	Metal	7.850	188.400	13.345
lámina plástica impermeable continua	Síntesis	2.150	169	25
fibrocemento	Pétreo	2.000	18.000	1.780
poliestireno expandido	Síntesis	20	2.400	301
fábrica de ladrillo perforado	Pétreo	1.400	4.004	238
fábrica de ladrillo vacío	Pétreo	1.000	2.960	180
poliestireno extruido	Síntesis	40	4.000	691
aluminio primario	Metal	2.700	432.000	70.200
Mortero	Pétreo	2.000	1.596	105
PVC primario	Síntesis	2.100	168.000	21.693
gres porcelánico	Pétreo	1.900	7.160	445
terrazo	Pétreo	3.700	173	17
arena	Pétreo	1.500	150	15
fábrica de ladrillo macizo	Pétreo	1.800	5.130	306
yeso	Pétreo	1.250	3.213	300
acero inoxidable	Metal	7.850	54	5
hormigón prefabricado	Pétreo	260	598	166
Carton Yeso 11-15-40mm	Pétreo	1.250	3.213	300

## ANEXO 2: TABLAS DE MEJORAS POR PROYECTO

- **MÓDULOS 3D:** Edificio de 30 viviendas en Banyoles

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
		kg/m3	MJ/m3	KgCO2eq/m3
acer 20% reciclado	Metal	7.850	274.750,00	28.260,00
aluminio primario	Metal	2.700	432.000,00	70.200,00
fibrocemento	Pétreo	2.000	18.000,00	1.780,00
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750,00	275,00
madera	Orgánico	800	2.400,00	48,00
madera, tablero aglomerados	Orgánico	700	9.800,00	945,00
madera, tablero contraplacado	Orgánico	430	2.617,00	0,00
PVC primario	Síntesis	2.100	168.000,00	21.693,00
poliuretano	Síntesis	40	264.000,00	32.842,85
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000,00	2.200,00
Lámina EPDM	Síntesis	1.150	87.400,00	2.265,60
Lana de roca	Orgánico	70	1.400,00	122,00
Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400,00	13.345,00
Resina Epoxi	Síntesis	1.250	171.250,00	8.087,50
Poliéster con fibra de vidrio	Pétreo	1.800	200.700,00	4,68
yeso	Pétreo	1.250	3.212,50	300,00
acero 100% reciclado	Metal	7.850,000	133.450	11.775
aluminio 80% reciclado	Metal	2.700,000	62.100,000	7.020,000
Cartón Yeso 11-15-40mm	Pétreo	1.250	3.213	300
terrazo	Pétreo	3.700	172,50	16,51
SUSSTITUIR ALUMINIO POR MADERA				
SUSSTITUIR PVC POR ALUMINIO 80% RECICLADO				
SUSSTITUIR ACERO POR ACERO 100% RECICLADO				
SUSSTITUIR POLIÉSTER CON FIBRA DE VIDRIO POR CARTÓN-YESO CON TERRAZO				
SUSSTITUIR POLIURETANO POR LANA DE ROCA				

- **PANELES SANDWICH:** Edificio de 27 viviendas en Callús

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750	275
madera	Orgánico	800	2.400	48
madera, tablero aglomerados	Orgánico	700	9.800	945
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000	2.200
Lana de roca	Orgánico	70	1.400	122
Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Acero	Metal	7.850	188.400	13.345
lámina plástica impermeable continua	Síntesis	2.150	169	25
panel Etercolor	Síntesis	198	75	12
Carton Yeso 11-15-40mm	Pétreo	1.250	3.213	300
pintura y barnices sintéticos	Síntesis	2.100	1.40	0,21
parquet madera clavada	Orgánico	600	52	3
heraklith	Síntesis	700	8,40	0,42
Mortero	Pétreo	2.000	1.596	105
aluminio primario	Metal	2.700	432.000	70.200
terrazo	Pétreo	3.700	173	16,51
acero 100% reciclado	Metal	7.850,000	133.450	11.775
SUSSTITUIR ALUMINIO POR MADERA				
SUSTITUIR TERRAZO POR PARQUET				
SUSTITUIR ACERO POR ACERO 100% RECICLADO				

- **PANELES DE HORMIGÓN:** Edificio de 23 viviendas en Mataró

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
acer 20% reciclado	Metal	7.850	274.750	28.260
aluminio primario	Metal	2.700	580.500	99.900
arcilla cocida, materiales cerámicos vitrificados	Pétreo	1.800	18.000	972
arena	Pétreo	1.500	150	15
asfalto en tela	Pétreo	1.300	13.000	1.560
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750	275
madera	Orgánico	800	2.400	48
madera, tablero aglomerados	Orgánico	700	9.800	945
madera, tablero contraplacado	Orgánico	430	2.617	0
Mortero	Pétreo	2.000	1.596	105
poliestireno extruido	Síntesis	40	4.000	691
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000	2.200
Lámina EPDM	Síntesis	1.150	87.400	2.266
Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Resina Epoxi	Síntesis	1.250	171.250	8.088
cemento	Pétreo	1.200	8.400	492
acero 100% reciclado	Metal	7.850,000	133.450,000	11.775,000
aluminio 80% reciclado	Metal	2.700,000	62.100,000	7.020,000
Lana de roca	Orgánico	70	1.400	122,000
SUSSTITUIR ALUMINIO PRIMARIO POR ALUMINIO 80% RECICLADO				
SUSTITUIR POLIESTIRENO EXTRUIDO POR LANA DE ROCA				
SUSTITUIR ACERO 20% RECICLADO POR ACERO 100% RECICLADO				

- **MÓDULOS METÁLICOS:** Edificio de 36 viviendas en Torelló

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
Paneles de DM hidrofugos	Organico	725	9.767	0
Carton Yeso 11-15-40mm	Pétreo	1.250	3.213	300,00
madera, tablero aglomerados	Organico	700	9.800	945
Madera, pino macizo	Organico	450	609	0
Aluminio primario	Metal	2.780	432.000	70.200
Barras de Acero	Metal	7.850	188.400	13.345
Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Chapa Grecada Eurocol 60, esp:1,2mm	Metal	7.850	188.400	13.345
IPE 200mm	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfil de HEB-140mm	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfil Hueco de 140mm	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfiles de C de Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfiles de Omega de Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750	275
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000	2.200
gres porcelánico	Pétreo	1.900	7.160,00	445,00
Mortero	Pétreo	2.000	1.596	105
Lana de Roca, 70kg/m3	Pétreo	70	1.400	122
PVC primario	Síntesis	2.100	168.000	21.693
Perfiles de U de Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
Perfiles Tubo de Acero Galvanizado	Metal	7.850	188.400	13.345
acero 100% reciclado	Metal	7.850,000	133.450,0	11.775,0
aluminio 80% reciclado	Metal	2.700,000	62.100,0	7.020,0
SUSSTITUIR ALUMINIO PRIMARIO POR ALUMINIO 80% RECICLADO				
SUSSTITUIR ACERO PRIMARIO POR ACERO 100% RECICLADO				
SUSSTITUIR CARPINTERÍAS DE ALUMINIO POR MADERA				

- **SISTEMA CONVENCIONAL:** Edificio de 16 viviendas en la Torre de l'Espanyol

Material	Familia	Densidad	Energía	Emisiones
hormigón H-200	Pétreo	2.350	2.750	275
madera	Orgánico	800	2.400	48
madera, tablero aglomerados	Orgánico	700	9.800	945
Vidrio laminado	Pétreo	2.500	35.000	2.200
Acero	Metal	7.850	188.400	13.345
lámina plástica impermeable continua	Síntesis	2.150	169	25
fibrocemento	Pétreo	2.000	18.000	1.780
poliestireno expandido	Síntesis	20	2.400	301
fábrica de ladrillo perforado	Pétreo	1.400	4.004	238
fábrica de ladrillo vacío	Pétreo	1.000	2.960	180
poliestireno extruido	Síntesis	40	4.000	691
aluminio primario	Metal	2.700	432.000	70.200
Mortero	Pétreo	2.000	1.596	105
PVC primario	Síntesis	2.100	168.000	21.693
gres porcelánico	Pétreo	1.900	7.160	445
terrazo	Pétreo	3.700	173	17
arena	Pétreo	1.500	150	15
fábrica de ladrillo macizo	Pétreo	1.800	5.130	306
yeso	Pétreo	1.250	3.213	300
acero inoxidable	Metal	7.850	54	5
hormigón prefabricado	Pétreo	260	598	166
Carton Yeso 11-15-40mm	Pétreo	1.250	3.213	300
aluminio 80% reciclado	Metal	2.700,000	62.100,000	7.020,000
acero 100% reciclado	Metal	7.850,000	133.450,000	11.775,000
Lana de roca	Orgánico	70	1.400	122,000
parquet madera clavada	Orgánico	600	52	3
SUSSTITUIR ALUMINIO POR ALUMINIO 80% RECICLADO				
SUSSTITUIR GRES Y TERRAZO POR PARQUET				
SUSSTITUIR ACERO POR ACERO 100% RECICLADO				
SUSSTITUIR POLIESTIRENO EXTRUIDO POR LANA DE ROCA				