

CAPÍTULO 5

EL ESTADO ACTUAL DE LA VIVIENDA MODULAR Y LIGERA VISTO DESDE UNA CONSIDERACIÓN AMBIENTAL

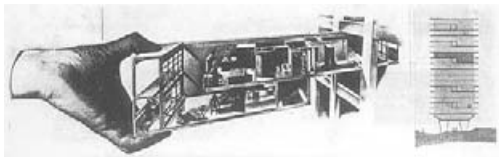
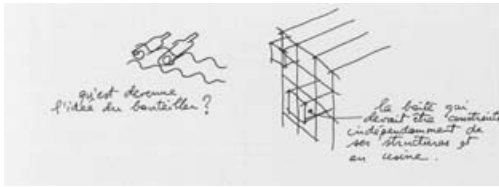
5.1 Edificios a partir de cajas

El presente capítulo intenta continuar el análisis ambiental de la arquitectura industrializada de la vivienda, ya iniciado con la revisión de los principales tipos históricos desarrollada en el anterior, aunque centrándose ahora sobre la tipología constructiva más interesante para este estudio: los módulos tridimensionales ligeros que dan lugar a los edificios desmontables, susceptibles de ser alquilados. Tal como ha sido dicho en otros capítulos, el alquiler de unidades o de edificios desconstruibles hasta llegar a obtener de ellos partes reutilizables o materiales reciclables, es una característica que permitirá acercar la edificación al cierre de los ciclos materiales, condición central en la respuesta que la arquitectura puede dar frente a las demandas físicas de la sostenibilidad.

Las cajas han servido desde siempre para guardar o trasladar todo tipo de cosas y su utilidad aumenta cuando son de igual medida y se pueden apilar. Las cajas grandes que se utilizan en la arquitectura también resultan más útiles cuando cumplen ambas características y la discusión sobre su tamaño ideal ha estado ligada siempre a sus mayores o menores posibilidades de transporte. Y en ello tiene mucho que ver la norma ISO 6346 que regula la dimensión de los contenedores de transporte intermodal, facilitando su carga, traslado y descarga por medio de camiones, trenes, barcos y aviones en todo el mundo. El primer contenedor fue embarcado en Newark, EEUU, en 1956 y desde entonces el sistema ha ido transformándose en el medio más seguro, económico y extendido de transporte de mercancías. El contenedor que predomina es el de 20 pies (2,44 m de ancho, 2,44 m de alto y 6,1 2m de largo), a tal punto que los volúmenes de carga se miden en TEU (Twenty foot Equivalent Unit).

El interés de la arquitectura en estos contenedores queda demostrado por la innumerable cantidad de proyectos y obras que han sido realizadas con módulos de dimensiones similares, o directamente con las propias cajas de transporte recicladas. Las mismas ventajas que ofrecen para el transporte general son útiles en la construcción, ya que la posibilidad de trasladar unidades de edificios completamente acabadas en fábrica, reduciendo las tareas en obra a la ejecución de cimentaciones e instalaciones, resulta de especial interés para la prefabricación.

En las páginas siguientes será vista una selección de módulos habitables estándar, proyectos experimentales, edificios modulares y finalmente edificios modulares de quita y pon, realizada sin ánimo de inventario exhaustivo sino desde la pretensión de hacer un barrido suficientemente representativo desde el punto de vista de las ventajas ambientales que este tipo de construcción presenta.



Ideas desarrolladas por Jean Prouvé para la prefabricación ligera de unidades de vivienda, a la manera de cajas en un botellero, para la Unidad de habitación de Marsella de Le Corbusier.

La intención es obtener conclusiones útiles para la etapa siguiente, que es la definición de un edificio prototipo a ser analizado bajo los condicionantes del cierre del ciclo de los materiales.

- Módulos estándar y módulos adaptados

Aquí se reseñan los sistemas modulares que, dirigidos a la realización de construcciones temporales o permanentes, están conformados por unidades tridimensionales estándar que habitualmente reciben poco o ningún tratamiento para adaptarse a las condiciones del sitio o del edificio del que formarán parte. También se incluyen aquellos sistemas estandarizados que sí se adaptan a los requerimientos específicos de un proyecto o clima particulares o bien, y en forma contraria, implican la adecuación de éste a las condiciones de la construcción modular. A éstos se los denomina módulos adaptados.

- Proyectos experimentales

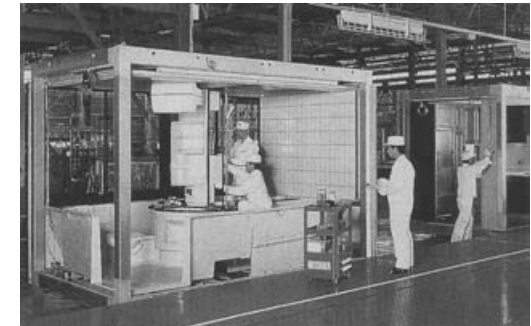
Se refiere al nivel de desarrollo de ideas o anteproyectos de arquitectura basada en módulos tridimensionales que no han llegado a construirse pero que, por su singularidad o sus aportaciones en cuanto a aprovechamiento de suelos no aptos para la construcción convencional¹, flexibilización de restricciones normativas, modelos de gestión alternativos, adaptabilidad a usos cambiantes y a la evolución de las necesidades, facilidad de desconstrucción de los edificios o ventajas ambientales son de especial interés para este estudio.

- Edificios modulares no desconstruibles

Se trata de construcciones que responden a la lógica de la coordinación dimensional y la prefabricación modular tridimensionales, aunque no necesariamente hay en ellos una correspondencia entre las unidades modulares y funcionales o bien no están pensados para ser desconstruidos y vueltos a construir. Aunque esta última condición dificulta reutilizar, rehabilitar y reciclar unidades, componentes y materiales, muchos de estos edificios contienen información que podría ser útil en esos aspectos.

- Edificios modulares desconstruibles y reconstruibles

En este apartado se engloban los edificios que en principio resultan de mayor interés, que son los que pueden construirse y desconstruirse ya que esta condición hace posible que puedan volverse a utilizar o bien ser reaprovechados sus recursos una vez sean desmontados completamente en fábrica. Esto último se asegura cuando las unidades o los edificios se gestionan en ciclos de alquiler, sistema que como se ha comentado es de especial interés de cara a las demandas del cierre de los ciclos materiales.



Prefabricación de unidades modulares de baño y cocina para ser montadas en diversos edificios, tradicionalmente denominadas *pods*, producidas por Toyota en Japón.



Montaje de una vivienda modular fabricada por la empresa inglesa Rollalong Limited.



Módulos estándar en edificios temporales: Vall d'Hebron, Barcelona y Bercy, París.



Contenedores de transporte en un campamento, África.



Módulos estándar sobre un edificio en rehabilitación, Londres.

5.2 Módulos estándar y módulos adaptados

La mayoría de los módulos ligeros de alquiler que se comercializan en el mercado europeo responden a las dimensiones del estándar ISO para transporte intermodal, ya que ello facilita tanto su transporte como su combinación para formar espacios mayores, uniéndolos por sus lados largos y prescindiendo de uno o más cerramientos laterales, o bien espacios repetitivos mediante la simple adición o apilamiento de unidades. Su estructura consiste en un bastidor tridimensional que suele estar ensamblado a partir de un forjado, cuatro pilares y una estructura de cubierta unidas por medio de juntas atornilladas, o bien consiste en un prisma monolítico con juntas soldadas. Si bien existen módulos completamente realizados en madera, el material más utilizado es el acero galvanizado o lacado, bajo la forma de perfiles laminados y secciones tubulares, aunque también se utilizan perfiles extruidos cuando se necesitan mayores prestaciones estructurales, generalmente debidas al aumento de la luz entre apoyos y el apilamiento. Los perfiles tubulares y laminados no suelen exceder los 3 mm de espesor de pared y los extruidos generalmente no sobrepasan los 140 mm de lado máximo. Pueden construirse edificios de hasta tres plantas, sin necesidad de estructura independiente.

El peso oscila alrededor de los 150 kg/m^2 cuando se emplean forjados ligeros, con una base de chapa plegada que recibe un tablero contrachapado, y de los 300 kg/m^2 cuando se utilizan forjados pesados, realizados mediante la misma base y una capa de hormigón de compresión. Este último se utiliza cuando se requiere una mejor barrera acústica o simplemente para disminuir el efecto de vibración al caminar y ambos pueden recibir diversos pavimentos, no obstante las losetas de PVC adheridas resultan la opción habitual. En los cerramientos verticales interiores y exteriores se suelen emplear paneles sándwich de 30 a 60 mm de espesor, conformados por dos hojas de acero lacado, grecado o gofrado, y un núcleo de material aislante térmico de 30 a 50 mm que habitualmente es de espuma de poliuretano. El material predominante en las carpinterías suele ser el aluminio.

La cubierta, de abajo hacia arriba, está formada por un falso techo de placas de acero lacado sobre el que se dispone una capa de aislamiento térmico, generalmente de lana de vidrio o de roca, en espesores de 40-60 mm o superiores. Por la cara superior el conjunto se cierra mediante una única hoja de chapa plegada de acero galvanizado que, gracias a un ligero curvado, descarga aguas hacia los lados menores, donde un canalón las conduce hacia los bajantes que discurren entre los pilares y sus forros. Esta disposición permite que, en caso de apilamiento, no sea necesaria ninguna instalación pluvial.

Los módulos pueden transportarse de diversas maneras. Cuando no hay restricciones suelen ser trasladados de fábrica a obra y viceversa, generalmente en camión, completamente montados ya sea con sus cuatro lados cerrados o bien con alguno de ellos abierto y protegido temporalmente mediante un cierre plástico que es removido cuando las unidades son finalmente acopladas.

No obstante, en diversas ocasiones y gracias al bajo peso de este sistema constructivo es posible trasladar más de un módulo en altura. Con todas sus partes desmontadas y dispuestas en su interior, el forjado y la cubierta actúan de cierres inferior y superior de una caja plana que apenas ocupa un tercio de la altura del módulo desplegado y de esta forma es posible triplicar la capacidad de carga de cualquier medio. Si el transporte a utilizar es un barco, las unidades desplegadas pueden ser apiladas en hasta tres o cuatro alturas ya que no existen las limitaciones de altura de los otros medios.

El peso de un módulo de seis metros de largo, si no incluye forjado de hormigón, oscila alrededor de los 2.250 kg y ello hace posible que las operaciones de carga y descarga, cuando no se necesita un radio de giro especial y la altura de la construcción no supera las dos plantas, sean realizadas por grúas ligeras montadas sobre el mismo camión.

Los módulos de alquiler admiten un número importante de ciclos de uso, al cabo de los cuales regresan a planta para ser reparados o rehabilitados y puestos en circulación nuevamente. Los fabricantes sitúan su vida útil en unos 30 años o más, dependiendo del mantenimiento que hayan podido recibir y de los daños que hayan podido sufrir en las operaciones de transporte, siendo los principales problemas que afectan a su durabilidad la corrosión o la deformación de la estructura de acero. Gracias a que todas las partes son intercambiables y a que las juntas son secas y reversibles, la sustitución de ventanas, paneles de fachada, partes de cubiertas, etc., se realiza fácilmente. Un ejemplo de la capacidad de este sistema constructivo para adaptarse a la demanda de usos temporales del mercado puede verse en las construcciones escolares modulares de Cataluña. Cada año un buen número de edificios es desmontado, trasladados sus módulos a fábrica, rehabilitados allí, transportados a un nuevo emplazamiento y vuelto a montar con ellos un edificio con la configuración original u otra. Hasta 800 módulos de alquiler de distintas empresas participan en el sistema y cada verano unos 150 son reutilizados, haciendo posible albergar temporalmente a los alumnos de las escuelas que se encuentran en construcción, rehabilitación o ampliación. Los módulos popularmente son denominados barracones -ésta suele ser la percepción que la sociedad tiene de la prefabricación temporal en España- y realizan todo el ciclo en apenas seis semanas.



Módulos estándar plegados para transporte en avión. Vivienda de emergencia.



Módulos estándar montados sobre una barcaza. Río Támesis, Londres.



Módulos estándar a la espera de ser rehabilitados para su uso en escuelas temporales. Sant Andreu de la Barca, España.



Módulos de madera adaptados en un hotel temporal en los juegos de invierno. Italia.



Módulos adaptados Rollalong para vivienda plurifamiliar. Reino Unido.



Módulos estándar Washington Internacional en un edificio en rehabilitación. Barcelona.

Los módulos tridimensionales ligeros, aunque en menor proporción con respecto al acero, también son producidos en madera. Básicamente existen dos tipos de construcción, una primera que podría considerarse heredera del balloon frame, formulada a base de bastidores de madera laminada recubiertos de tablas o tableros del mismo material, y una segunda que se basa en paneles macizos de cierta capacidad estructural formados por varias capas de madera laminada con las vetas invertidas y espesores de 90, 100 mm o más. Este es el sistema empleado por la empresa austriaca diemodulfabrik. Mediante ambos sistemas se obtiene una capacidad estructural que permite el apilamiento de módulos hasta cuatro niveles, así como también gruesos de cámara en los muros exteriores capaces de alojar un aislamiento térmico de hasta 200mm que, combinado con las buenas prestaciones térmicas de la madera permiten llegar a valores de transmitancia de la envolvente muy reducidos.

Los módulos tridimensionales de madera son construidos en forma similar a los metálicos, enteramente en fábrica y comenzando por el bastidor del forjado inferior.

El transporte se realiza de idéntica manera ya que las dimensiones finales no varían demasiado, con anchos de 2,44 a 3 m y largos de entre 6 y 12 m. Existen módulos sin lateral, que permiten el acoplamiento de varias unidades para formar un mismo espacio de uno, dos o más anchos por el largo del módulo.

Los módulos estándar pueden ser apilados directamente unos sobre otros, sin necesidad de estructuras adicionales, hasta una altura estándar de dos, tres, o cuatro plantas según el sistema. Cuando es necesario alcanzar mayores alturas, habitualmente se recurre a dos tipos de estructuras independientes. La primera de ellas consiste en una plataforma elevada que recibe al edificio modular, montada sobre pórticos o pilares y dejando libre la planta baja de la edificación para permitir el paso de vehículos u otros usos. La segunda, que se utiliza en alturas mayores, está conformada por una retícula de celdas que alojan los módulos de a uno o en grupo, funcionando a la manera de un botellero gigante y pudiendo alcanzar las seis u ocho plantas. Estas estructuras, también modulares, desmontables y recuperables gracias a sus uniones atornilladas, son realizadas con perfiles macizos y celulares de acero extruido o plegado.

Habitualmente y gracias al bajo peso del sistema constructivo, se soportan sobre cimentaciones superficiales o sobre dados de hormigón construidos sobre el suelo, sin necesidad de excavaciones. En ocasiones y sobre suelo de baja resistencia pueden ser necesarias cimentaciones más profundas, aunque siempre con dimensiones mucho menores a las habituales, ya que el peso de este tipo de edificios suele situarse entre un 15% y un 30% del que tendría uno convencional.

Algunas empresas que han comenzado su actividad fabricando módulos estándar de alquiler destinados a construcciones temporales han ampliado su línea de producto, ofreciendo soluciones constructivas y arquitectónicas de mayor calidad y complejidad para edificios semipermanentes o permanentes. Tal es el caso de la inglesa Portakabin, que creó su empresa subsidiaria Yorkon, dedicada específicamente al sector de la construcción modular de oficinas, hoteles, escuelas y, en menor medida, también viviendas colectivas. Yorkon responde a un primer patrón de concepción de la construcción modular que, a diferencia de un segundo que será explicado seguidamente a través de la experiencia de la empresa Modultec, se basa en la organización modular del proyecto. En efecto, en este caso la idea del proyecto parte de considerar una unidad modular básica que, con mayores o menores variaciones, pueda ser repetida para formar el edificio por adición de partes. De esta manera una oficina, aula o habitación tipo pueden ser, a partir de uno o más módulos combinados en obra, las unidades modulares a fabricar la mayor cantidad de veces posible, haciendo al sistema más eficiente.

Los módulos para construcción permanente no se diferencian de los temporales, ya que responden a un mismo sistema constructivo y dimensional, con idénticas limitaciones estructurales y de transporte.

El camino inverso a partir de la célula para llegar a la conformación del edificio es comenzar por la conformación del edificio final para arribar a la célula. Aunque esta segunda manera presenta más inconvenientes técnicos que la primera, algunas empresas de construcción modular como la asturiana Modultec trabajan de esta forma, construyendo edificios a partir de secciones volumétricas prefabricadas. Un equipo de especialistas trabaja en paralelo a los proyectistas, intercambiando información para adaptar el proyecto a las necesidades de la modulación, sufriendo el primero modificaciones para encajar dentro de las posibilidades de la prefabricación y el transporte.

En este sistema, basado en una estructura de perfiles de acero y cerramientos de diversos materiales, los módulos no son entendidos ya como unidades espaciales -células de aula, dormitorio, oficina, etc.- sino como las porciones tridimensionales en que el volumen edificio puede ser subdividido sin que se pierdan las posibilidades de la prefabricación y el transporte. Debido a que las estructuras deben quedar expuestas para terminar de ser montadas en obra existen importantes limitaciones para alcanzar el acabado total en fábrica. A partir de ello no resulta posible aplicar la totalidad de los revestimientos, carpinterías, pavimentos, etc. en planta, debiendo completarse estas tareas en obra.

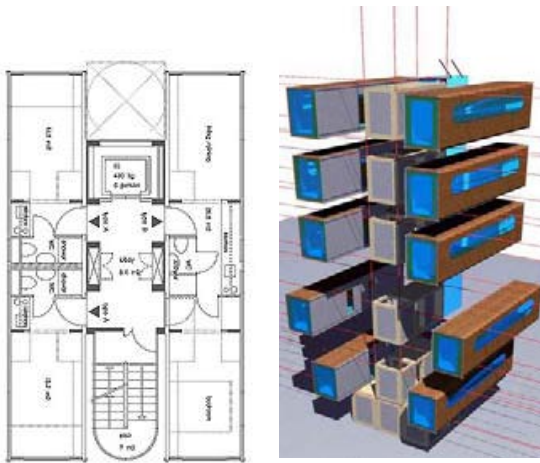


Módulos adaptados Yorkon para un edificio de viviendas. Reino Unido.



Módulos adaptados Modultec para un edificio escolar. España.

5.3 Proyectos experimentales



La facilidad de transporte y el bajo peso de los módulos ha permitido la formulación en Inglaterra de Modular Accommodation System, MAS, un sistema basado en un torre estructural de acero a la que pueden fijarse unidades estándar a diferente altura y hasta seis niveles, con las cuales se pueden formar viviendas de 20, 40 y hasta 80 m² por planta según los cuatro módulos base que forman cada nivel estén unidos entre sí o no. La torre, que es lo primero que se construye y concentra las cimentaciones, aloja el núcleo de circulación vertical y actúa a la vez de grúa para el izado de los módulos que, una vez posicionados, son fijados a la estructura por medio de anclajes mecánicos. La conexión de las instalaciones se realiza con acometidas removibles, que permiten un fácil desmontaje. Los módulos, de ancho estándar 2,44 m, están previstos en acero. La propuesta va más allá de un sistema constructivo modular. La idea central es que la unidad vivienda sea permanente pero el edificio no, es decir que los módulos puedan acompañar a su propietario en distintas localizaciones a lo largo de su vida. Basándose en el bajo precio del transporte de contenedores de carga, la vivienda entera formada por uno o más módulos podría ser transportada con todas sus pertenencias dentro, y montada en una nueva torre y sitio.

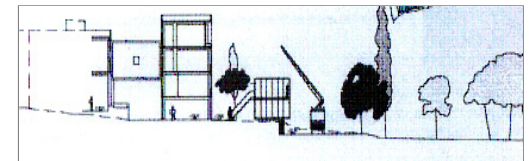
Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



En la edición 2004 de Construtec, salón de la construcción de la Feria de Madrid, fue presentado el proyecto domino.21, una propuesta de edificio modular desmontable compuesto a partir de componentes de catálogo de diferentes marcas, intercambiables y compatibles entre sí. El objetivo era conseguir viviendas colectivas adaptables a las necesidades de diversos ocupantes y fáciles de modificar en el tiempo. El proyecto, una continuación de la investigación posdoctoral llevada a cabo en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid y Coordinado por el profesor J. M. Reyes, fue desarrollado en los cursos lectivos 2002/03 y 2003/04 con la ayuda de alumnos y docentes. Su exposición en la feria respondió a la prueba de puesta a punto y construcción del prototipo, donde fueron ensayados ensambles, tiempos de montaje, coordinación entre empresas y productos, etc. La estructura empleaba un sistema estándar de estabilización de fachadas basado en pilares y jácenas modulares de acero, combinada con vigas de madera laminada. Los forjados fueron realizados con viguetas de un sistema de encofrado modular y tableros contrachapados, ambos de madera. La estructura de los módulos, con tubos de acero y los cerramientos, con paneles prefabricados y carpinterías de diversos materiales. Los componentes fueron recuperados una vez acabada la feria.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

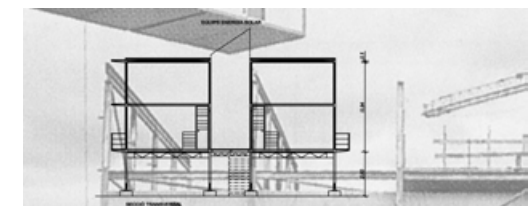
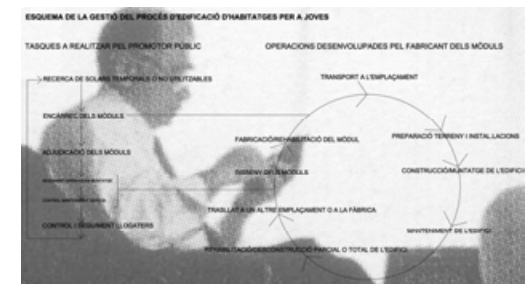
En octubre de 2001, la Universidad Politécnica de Cataluña convocó a un concurso abierto para la ampliación de la Escuela de Arquitectura del Vallès. Otros profesionales y el autor de esta investigación presentaron una propuesta basada en un edificio experimental de quita y pon, capaz de crecer o decrecer según las necesidades de los ciclos académicos, que era soportado por cimentaciones superficiales y removibles. Basado en módulos ligeros contruidos en acero, intentaba resolver la ampliación del edificio original sin aumentar su impacto ambiental, utilizando sistemas modulares existentes en el mercado bajo la forma de alquiler en ciclos de 5 años, para lo cual se estableció un acuerdo con la empresa proveedora (Ormo, S.A., hoy Algeco España) según el cual se les irían incorporando gradualmente mejoras ambientales. De esta manera el sistema constructivo modular evolucionaría en cuanto a la gestión de los recursos materiales intentando cerrar sus ciclos mediante el reciclaje y, en relación a los recursos energéticos, pretendiendo alcanzar el máximo posible de autosuficiencia.



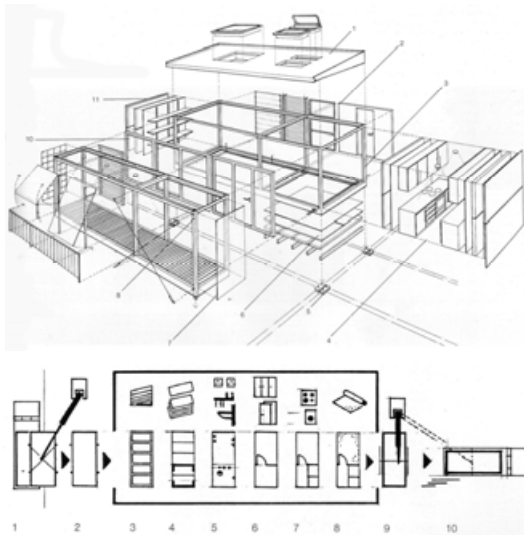
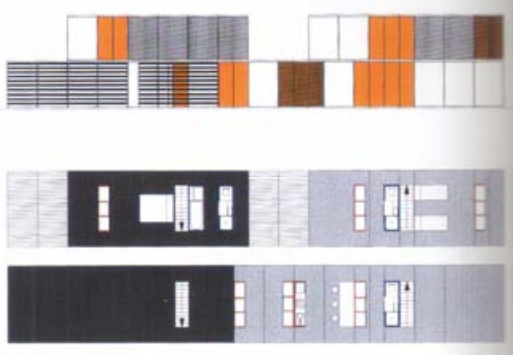
La modalidad del alquiler fue objetada por la administración de la universidad, ya que se interpretó que el nuevo edificio debía suponer una adquisición patrimonial y no un gasto regular por la prestación de un servicio. La propuesta, reconocida por el jurado con una mención, se encuentra documentada en el Anexo 2.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

La idea del edificio temporal desmontable fue continuada en un concurso convocado por el Institut Català del Sòl de Cataluña en 2002 donde Albert Cuchí, Albert Sagrera, y el autor de este trabajo junto con Algeco Construcciones Modulares, S.A. presentaron una propuesta de vivienda joven basada en módulos tridimensionales ligeros y estructuras metálicas de alquiler que promovía la habitabilidad entendida como un servicio y no como propiedad. El proyecto impulsaba un cambio en el rol del promotor público de viviendas, trasladando la construcción, el mantenimiento, la desconstrucción e incluso la propiedad del edificio (no así la del solar) a la industria, aunque manteniendo su autoridad en la planificación y el control de todo el proceso. Mientras que el promotor busca solares, determina su edificabilidad, asigna proyectos a fabricantes, controla la construcción, asigna las viviendas a sus ocupantes y verifica el mantenimiento, la industria se encarga de todo lo relacionado con la materialidad del edificio, asumiendo la gestión de los recursos a lo largo del ciclo de vida y haciendo posible que los materiales se muevan dentro de un ciclo cerrado. La idea, además, favorecía el uso de solares de baja capacidad portante y la afectación del suelo durante ciclos de 5 años luego de los cuales podía destinarse a otros usos. La propuesta, reconocida por el jurado con una mención, se encuentra documentada en el Anexo 2.



Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



Bajo el nombre de Actar Arquitectura, un grupo de arquitectos formado por M. Gausa, O. Gelpí, I. Pérez Arnal, F. Raveau, M. Aureli Santos formularon en 1998 un proyecto de viviendas basado en un menú de módulos intercambiables denominado Casas a la carta, a ser construidas en 2000 en distintas localizaciones en Nantes, Francia. Los módulos, que forman una retícula de 0,90 x 4,50 m en el suelo, tenían una altura de 2,80 m y estaban conformados por una estructura de bastidor de acero fija, estudiada para permitir su acoplamiento tanto lateral como vertical con otras unidades. Estas células básicas podían ser combinadas por yuxtaposición y superposición, ofreciendo un número ilimitado de configuraciones basadas en la variación de los espacios exteriores semicubiertos, interiores de una o más alturas, sistemas verticales de circulación, etc. Los cerramientos exteriores e interiores estaban previstos con paneles de diferentes materiales, texturas, colores y aplicaciones de imagen. La posibilidad de personalizar las casas sobre una configuración modular estándar no sólo se basaba en la elección del color y la serigrafía exterior sino también en ciertas posibilidades de modificar los diseños y detalles constructivos originales. Estaba previsto que estas viviendas de catálogo fueran prefabricadas completamente y trasladadas a distintos emplazamientos como la montaña, la ciudad, el mar, etc.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

Dentro de la misma línea de construcción industrializada modular de la Yacht House proyectada en 1984, R. Horden y A. Vogler desarrollan en 1988 el sistema de células tridimensionales combinables Skydeck. Inspirados en la precisión y la calidad de la industria automovilística, náutica y de la aeronavegación, las unidades modulares que componen el edificio son concebidas para ser prefabricadas completamente.

Una vez en obra, la construcción del edificio se reduce al montaje de los módulos sobre las cimentaciones, a través del izado mediante grúa hasta cuatro niveles, y al acoplamiento de los mismos entre ellos y con las acometidas de las instalaciones.

El sistema constructivo responde a una sofisticada combinación de elementos sobre un bastidor tridimensional de perfiles de acero, compuestos por diferentes opciones de cerramiento, divisiones interiores, cubiertas, balcones, protecciones solares, equipamientos e instalaciones que admiten combinaciones y variantes para responder a la personalización de cada proyecto. El ancho de los módulos es de 3 m, pudiendo combinarse varias unidades sin cerramientos laterales para conseguir espacios de 6, 9 o 12 m.

El sistema Skydeck preveía además ciertas innovaciones como aplicación de informática en el control de la climatización y de motorización de protecciones solares para ahorrar energía.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

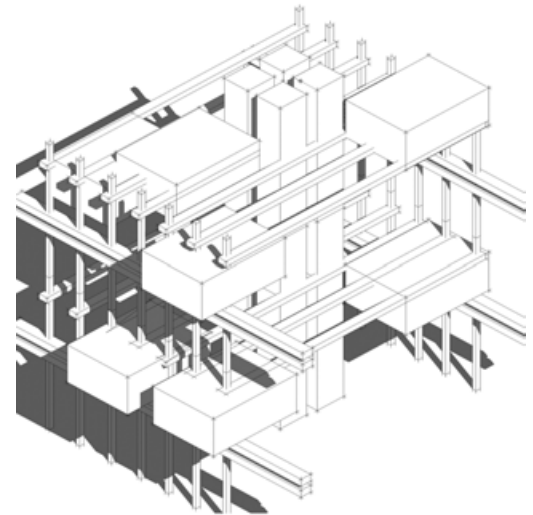
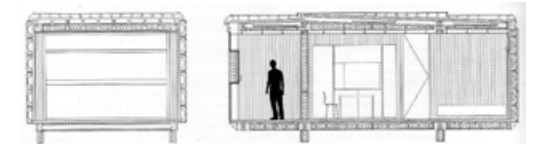
En la edición de 2005 del salón Construmat de Fira de Barcelona se presentó el proyecto APTM, dirigido por J. Bohigas, bajo el objetivo de investigar y potenciar la construcción de viviendas de bajo coste, adaptables a las nuevas necesidades sociales y en espacios mínimos. Uno de los prototipos presentados era Chiken, diseñado por S. Cirujeda, especialmente concebido como una solución de vivienda de quita y pon que aprovecha diversos materiales de catálogo que combinados se organizan bajo un esquema modular tridimensional y ligero.

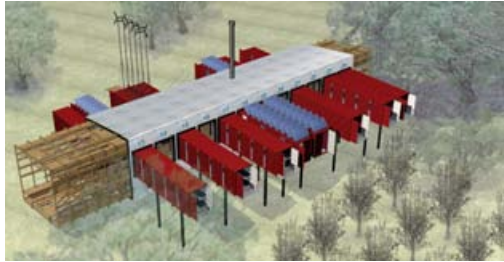
Además de la recuperabilidad de materiales que hace posible el sistema constructivo, resulta de interés una segunda característica diferencial con respecto al resto de opciones presentadas, que es la utilización temporal del suelo. En efecto, Chiken puede construirse sobre suelos tradicionalmente no aprovechados, existentes en muchas de las ciudades españolas, especialmente en áreas en transformación, ya sea porque es posible disponer de ellos en forma temporal mientras se decide su usos definitivo o se liberan las restricciones de disponibilidad que pudieran haber, o porque su baja capacidad portante no admite soluciones constructivas convencionales. Muchos de los materiales empleados son reciclados, como la estructura que reaprovecha un sistema de perfiles metálicos de estabilización de fachadas.

Valoración ambiental: desconstruible / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

El reaprovechamiento de una estructura metálica situada en un solar entre medianeras con fachada a dos calles, en una manzana de edificios de cuatro plantas en Montreal, ha servido a L. Ferguson y a J. Wittaker en 2004 para la formulación del proyecto Ten year hotel, que propone la utilización temporal del sitio con una construcción basada en contenedores de transporte reciclados. El solar, destinado a la construcción de un hotel pero desocupado por un lapso de entre cinco a diez años -y por tanto aprovechable para usos temporales durante ese tiempo- tenía como preexistencia una estructura de perfiles de acero que estabilizaba las antiguas fachadas, que no debían derribarse para mantener intacto el volumen de la manzana, y que al mismo tiempo soportaba los esfuerzos horizontales de los edificios vecinos. El completamiento de esa estructura mediante una retícula de acero basada en las medidas de los contenedores y soportada sobre micropilotes, para evitar la construcción de grandes cimentaciones, permitía la ubicación de los módulos en el espacio como botellas en un botellero. Las habitaciones se obtenían a partir de uno o más módulos apareados y la conexión entre ellos se realizaba mediante pasarelas aéreas. El conjunto se completaba con el núcleo de circulación vertical y diversos servicios del hotel, también realizados con contenedores de transporte descartados.

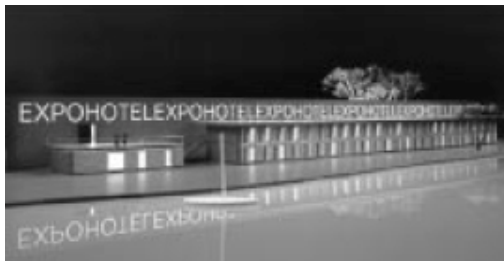
Valoración ambiental: desconstruible / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión





El despacho de arquitectos LOT-EK de Nueva York basa buena parte de su propuesta arquitectónica en la prefabricación y en el aprovechamiento de productos industrializados, incluso aquellos que no provienen del sector de la construcción. La recurrencia modular, transportable y transformable de sus propuestas arquitectónicas hace que muchas de sus ideas puedan ser valoradas también desde el punto de vista de sus posibilidades como arquitectura desconstruible y reconstruible y, por tanto, de interés desde el punto de vista del cierre del ciclo de los materiales. Algunas de sus obras y proyectos se basan en la utilización de módulos tridimensionales ligeros, en ocasiones mediante el reaprovechamiento de contenedores de transporte como en el caso del Mountain Inn, un albergue para el entorno natural de Big Pine, en California, donde los dormitorios colectivos y los servicios están realizados con estas grandes cajas metálicas rehabilitadas. Los contenedores de acero son forrados por dentro con una capa de aislamiento térmico de lanas minerales y posteriormente con un revestimiento de tableros de madera. Las ventanas se realizan mediante el troquelado en la chapa plegada de los cierres laterales, que reciben una carpintería metálica. El edificio, de gran ligereza, se eleva del suelo por medio de una esbelta estructura que descansa en cimentaciones puntuales.

Valoración ambiental: desconstruible / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



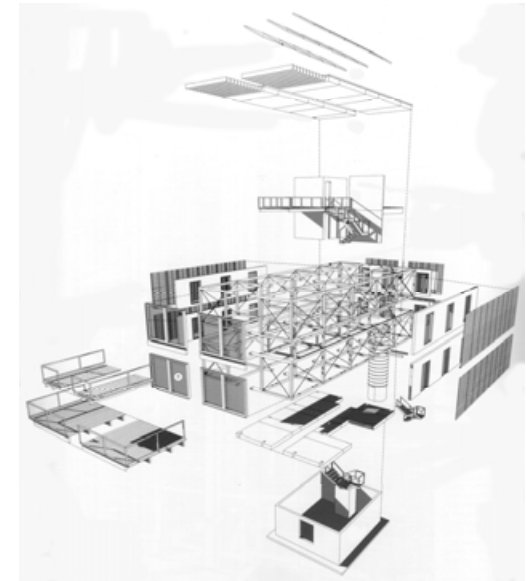
El estudio Bauart Architekten, de Berna, Suiza, una de cuyas líneas de especialización se centra en construcciones modulares, desarrolló en 1997 un prototipo de hotel temporal o desmontable denominado Expohotel. Basado en el sistema constructivo Modular-T creado por Bauart, inicialmente estuvo pensado como un proyecto puntual destinado a alojar los visitantes de una exposición temporal, aunque posteriormente se ha convertido en un prototipo de hotel de quita y pon aplicable a un gran número de casos. Su organización es muy sencilla, se trata de una hilera de habitaciones de una sola planta realizada con módulos alineados cuyos lados menores dan al pasadizo de acceso y a fachada respectivamente, elevada ligeramente del suelo y soportada por cimentaciones puntuales y poco profundas. Debido a que el material del Expohotel era la madera y a que la normativa suiza no permitía la construcción estructural en materiales combustibles, se decidió realizar una serie de ensayos de sometimiento al fuego a escala real, que sirvieran como base no sólo para esta tipología de edificio sino para cualquier otra a ser realizada con el sistema Modular-T y en más de una planta. Los ensayos confirmaron que el uso de detectores de calor, aspersores contrafuego y materiales de revestimiento interior no combustibles permiten controlar el riesgo de fuego, dando tiempo a la evacuación antes de la estructura entre en combustión.

Valoración ambiental: desconstruible / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

5.4 Edificios modulares no desmontables

Anderson Architecture, de EEUU, ha desarrollado a partir de 2003 diversos proyectos de vivienda basados en un prototipo de edificio plurifamiliar modular ligero realizado con estructura de acero y cerramiento vertical y horizontal de paneles SIPS de 15 cm de espesor llamado Yosemite Cabin. Este prototipo, de planta baja libre con servicios agrupados y dos niveles de vivienda, se basa en una retícula espacial de 2,44 x 3,66 x 2,44 m de tubos de acero de 15 x15 cm. Cada planta ocupa tres módulos de ancho por cinco de largo, con juntas atornilladas en la mitad del módulo central, en el sentido del ancho, para facilitar el transporte. El emplazamiento exigía un alto nivel de autosuficiencia del edificio, razón por la cual aloja instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas, así como captación de aguas de lluvia y reciclaje de aguas grises, todo ello incluido en la estructura modular. La estructura tubular recibe en fábrica el cerramiento interior y exterior de paneles SIPS, las carpinterías, los revestimientos ligeros, los pavimentos y todas las instalaciones. El traslado de cada media planta, un volumen de 2,44 x 3,66 x 18,3m, se realiza en camión y se posiciona en obra con una grúa ligera. Las cimentaciones suelen ser superficiales, puntuales y de reducidas dimensiones, gracias al bajo peso del sistema.

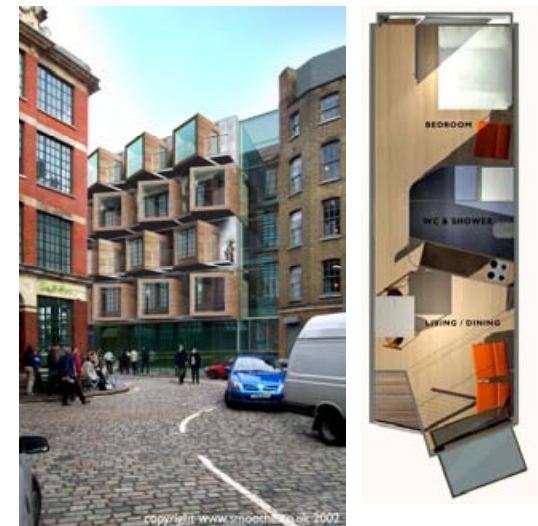
Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



Piercy Conner, un estudio de arquitectura de Londres, diseñó en 2001 un edificio de minipisos modulares de 25 m² para profesionales y trabajadores de renta elevada que desean vivir muy cerca de sus trabajos, llamado Microflat. El emprendimiento, que reavivó la polémica acerca de los límites mínimos de la vivienda, se basa en la tecnología de construcción de las caravanas y los yates. La construcción, una vivienda asequible entendida como producto industrial en palabras de los propios arquitectos, está resuelta sobre un bastidor tridimensional tubular de acero que comprende el minipiso e incluye un núcleo prefabricado que contiene baño y cocina, cerramientos interiores y exteriores, carpinterías, revestimientos, pavimentos e instalaciones, todo lo cual es montado en fábrica.

El transporte hasta la localización, habitualmente solares entre medianeras el centro de los grandes núcleos urbanos ingleses, se realiza en camión y el montaje se realiza enchufando la célula a un núcleo de circulación vertical y servicios, de manera similar a la usada en la Nagakin Tower de K. Kurosawa. La diferencia más importante entre esta propuesta de Microflat Company y otras experiencias de edificios modulares de vivienda es el tratamiento de la fachada, conformada por novedoso un juego de volúmenes cerrados y balcones producto de la yuxtaposición de secciones de módulos a 45 grados.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión





Living homes es una empresa de California, EEUU, especializada en la prefabricación de casas a medida en base a un sistema modular de estructura de perfiles de acero que admite tanto diferentes configuraciones espaciales como combinaciones de materiales. La prefabricación en unidades tridimensionales alcanza el nivel de acabados en taller y el montaje de todos los módulos sobre las cimentaciones puede realizarse en apenas tres días, siendo algunas de las tareas de obra realizadas en construcción húmeda.

Los niveles de calidad ambiental que alcanzan las viviendas son reconocidos por las categorías del sistema de certificación Leadership in Energy and Environmental Design, LEED. La utilización de materiales de bajo impacto ambiental, la calidad del aire interior, el ahorro energético que producen el aislamiento térmico, la protección solar y el equipamiento de climatización e iluminación eficientes, la captación de energías renovables, las instalaciones de ahorro de agua, etc. alcanza, en algunos casos, una reducción de consumo energético de hasta un 36% respecto del estándar habiendo obtenido la categoría Gold del sistema LEED.

El trabajo conjunto del fabricante con asociaciones de reciclaje de materiales ha hecho posible que algunos casos hasta un 76% de los mismos sean reutilizados cuando la casa llega al final de su vida útil y es desconstruida con técnicas de separación selectiva

Valoración ambiental: desconstruible / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



Otro sistema también basado en la prefabricación en taller de partes del edificio que llegan a obra semiacabadas es Modultec, cuya fábrica se encuentra en Gijón, Asturias. Los módulos fabricados por esta empresa poseen una estructura metálica autoportante y pueden apilarse en varias plantas. Las cimentaciones del edificio suelen ser superficiales gracias al bajo peso del sistema. Las instalaciones de evacuación y la urbanización son realizadas en el sitio de emplazamiento simultáneamente a la fabricación de los módulos.

El edificio se proyecta a partir de unas dimensiones base que en el ejemplo de la imagen, el Centro de educación preescolar Les Borges Blanques, corresponden a 3 x 3 x 18 m por ser éste el máximo volumen transportable en camión sin recurrir a equipos especiales.

Si bien es deseable que las modulaciones funcional y estructural coincidan no siempre esto ocurre y en consecuencia los módulos pueden salir de fábrica con algunas de sus caras e incluso parte de la estructura a medio acabar. Ello obliga a terminar algunas tareas de cerramientos, particiones, revestimientos, etc., directamente en obra.

Los materiales empleados en fachadas, pavimentos y revestimientos, carpinterías, etc., pueden variar aunque deben ser ligeros y soportar los movimientos a los que los someterá el desplazamiento de los módulos.

Valoración ambiental: desconstruible / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

Habidite es una de las empresas españolas dedicadas a la construcción modular pesada. De reciente creación, basa su planteamiento técnico en la racionalización y la modulación de la construcción convencional, ofreciendo la prefabricación del edificio a partir de módulos de estructura de hormigón armado que pueden combinarse con diferentes materiales hasta alcanzar la apariencia de la construcción in situ. Ello supone un minucioso trabajo de estudio del detalle constructivo y de los encuentros entre distintos materiales que conviven en sus soluciones técnicas, pues el edificio finalmente es monolítico. Como en otros casos ya comentados el proyecto debe partir de unas dimensiones base reguladas por las posibilidades de fabricación de los sistemas de encofrados de Habidite. En el proyecto se debe intentar, por tanto, que las modulaciones funcional y estructural coincidan o al menos que la segunda sea submúltiplo de la primera.

Los módulos semiacabados en planta son transportados hasta su ubicación definitiva en camión donde, con la ayuda de grúas, se posicionan y conectan mediante apoyos elásticos y anclajes mecánicos. Luego las canalizaciones previstas para las juntas se hormigonan, uniéndose entre sí los módulos de manera definitiva y haciéndose solidarios en la transmisión de los esfuerzos. El edificio puede alcanzar una altura de 6 plantas.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



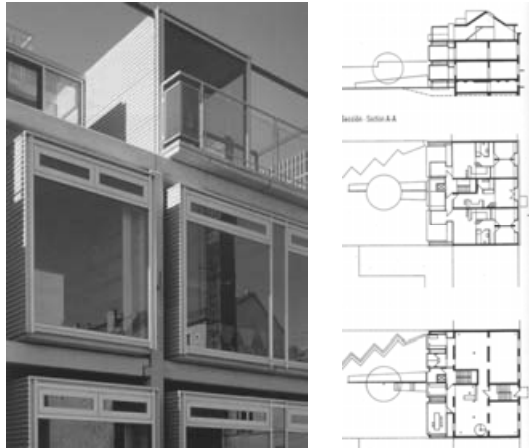
Entre los sistemas de prefabricación pesada basados en el hormigón armado como material para su estructura se encuentra otro sistema de interés, Oldcastle, que cuenta con 60 fábricas en EEUU. Oldcastle es un grupo dedicado a diversas áreas de la construcción, desde fabricación de materiales hasta construcción de puentes y la construcción modular es parte de su área de hormigón prefabricado, dedicada también a obras de infraestructura.

Los módulos son monolíticos y autoportantes, pueden apilarse hasta 6 plantas y para aligerarlos han sido diseñados con hormigón nervado pudiendo llegar, en los tramos entre los nervios, a espesores de fabricación de unos pocos centímetros. Las cimentaciones de los edificios modulares pueden ser superficiales y también prefabricadas, gracias al bajo peso que el sistema tiene respecto de las soluciones convencionales. Sistemas de cuatro y cinco caras prefabricadas.

La unidad estructural de los edificios a construir es el módulo y ésta puede coincidir o no con la unidad funcional, cuyas dimensiones pueden ser mayores. El edificio y sus espacios resultan, por tanto, de la adición de rebanadas (módulos con una o dos caras abiertas) prefabricadas que se anclan mecánicamente y reciben sus acabados por el lado interior en obra. La cara exterior de los módulos, con la excepción de las juntas y las terminaciones de la cubierta, llega a obra completamente acabada.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión





Hacia 1998 los arquitectos alemanes J. Keim y K. Sill resolvieron la ampliación de un edificio antiguo comercial y residencial en Ratenow, Alemania, mediante la adición de una nueva ala posterior conformada por una retícula de cimentaciones pilares y vigas de hormigón armado que aloja 24 módulos prefabricados. La construcción de las unidades, destinadas a espacios habitables y a sanitarios, se realizó enteramente en una fábrica ubicada a 500 km del sitio de emplazamiento, por lo que sus dimensiones debieron adaptarse al ancho de transporte convencional en camión. Una vez en obra, los módulos debieron ser izados mediante una grúa ligera por sobre la construcción existente, de dos plantas altas extendidas entre medianeras, ya que debían de ser instalados por detrás, sobre la estructura prefabricada de hormigón armado. Los módulos poseen una estructura tridimensional de perfiles y tubos de acero, que recibe unos cerramientos opacos conformados, de afuera hacia dentro, por chapa de aluminio corrugado, láminas de impermeabilización, aislamiento térmico de lana mineral, y paneles de madera o cartón yeso. Las carpinterías, que abarcan enteramente el lado frontal de las unidades, son de perfiles de aluminio. El forjado, que de acuerdo a las exigencias estructurales podría haber sido ligero, debió recibir unas losetas de hormigón armado para poder cumplir la normativa de incendios.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

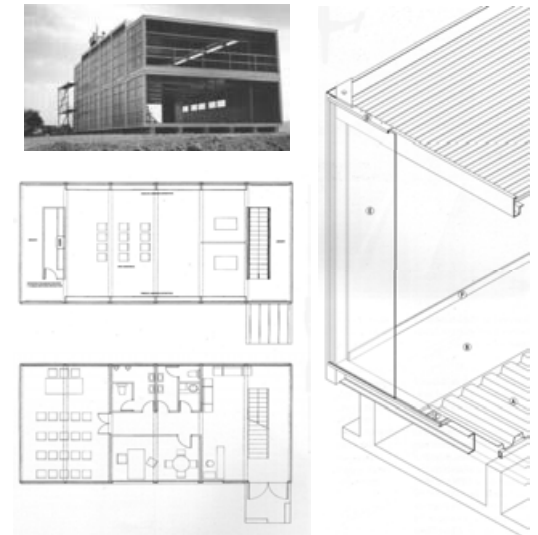


Promovido por Peabody Trust y el estudio Cartwright Pickard la empresa Yorkon construyó entre 1998 y 1999 el edificio de viviendas Murray Grove en Londres. Con planta en forma de L y cinco niveles, está resuelto mediante el apilamiento de 74 módulos tridimensionales ligeros autoportantes. Las caras orientadas hacia la calle y el patio interior están dotadas de pasillos de acceso y balcones, respectivamente, realizados con una estructura modular de acero. La unión entre ambas alas de la L recibe un núcleo de circulación vertical que si bien es prefabricado no responde a la modulación de las unidades de vivienda. Las cimentaciones convencionales de hormigón armado y las acometidas de las instalaciones fueron realizadas durante el tiempo de fabricación de los módulos, de modo que al llegar los mismos a obra el edificio fue conformándose mediante el posicionamiento de las unidades realizado a través de una grúa que las recogía desde los camiones que las transportaron de dos en dos, operación que demoró 10 días. Fueron necesarias 17 semanas más para la instalación de las partes no montadas en fábrica (escaleras, pasillos, balcones, revestimientos cerámicos de la fachada, cubierta, etc.) demorando todo el proceso 44 semanas, alrededor de cuatro meses y medio menos que una obra convencional del mismo promotor. El coste final fue muy similar al de las promociones habituales.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

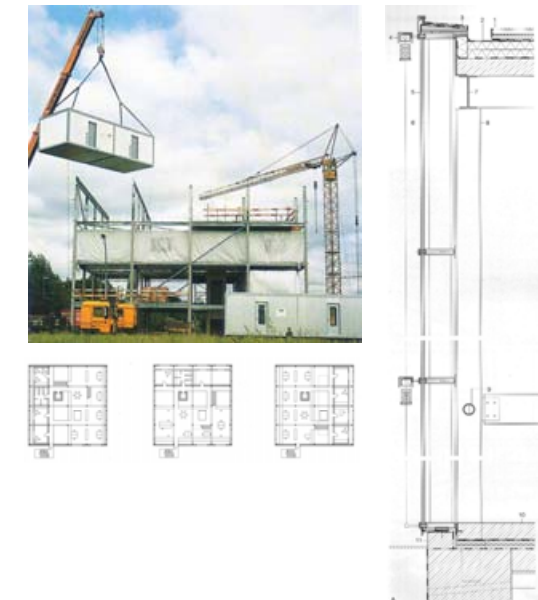
Empleando módulos autoportantes estándar, L. Feduchi diseñó en 1993 un centro de información en Puertollano, España, para la empresa Elcogás. El poco tiempo disponible para la obra hizo que se recurriera a un sistema modular que, con ligeras modificaciones en los acabados, es el mismo que se utiliza en las oficinas temporales de alquiler. Dos plantas conformadas por seis módulos de estructura de perfiles tubulares de acero de 2,44 x 7,20m se apoyan sobre una losa de cimentación que recibe seis durmientes de hormigón armado dispuestos a lo largo de la planta. Esta estructura, mucho mayor que la habitualmente necesaria para la ligera carga del sistema, fue necesaria debido a que el edificio se asienta sobre tierras de relleno. Los forjados se resolvieron mediante la utilización de chapa de acero galvanizado plegada, colaborante, y capa de compresión de hormigón armado, mientras que los revestimientos empleados fueron tablero contrachapado hidrófugo de madera por el exterior y placas de cartón yeso por el interior, aplicados sobre rastreles de acero galvanizado. Entre ambos materiales hay un núcleo de paneles sándwich de acero lacado con aislamiento térmico de espuma de poliuretano, también utilizados en la cubierta. Los módulos llegaron a obra casi completamente acabados, excepto por el pavimento, el revestimiento de fachada y las piezas de conexión entre ellos.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



En 2001 se construye en Fellbach, Alemania, un edificio de oficinas modular diseñado por Dollmann + partner. La construcción, de cuatro plantas y forma cúbica, se basa en una retícula espacial de perfiles de acero que aloja y soporta los módulos prefabricados destinados a espacios de trabajo y a locales sanitarios, a la manera de un cajón de botellas, dejando celdas libres en las que se organizan espacios mayores de acceso y de oficina abierta. La fachada y la cubierta son independientes de la construcción modular y revisten todo el volumen. La primera utiliza placas de hormigón con núcleo de aislamiento térmico en los testeros y muro cortina de perfiles de madera y vidrio cámara en los frentes. La cubierta, por su parte, está realizada con una losa de hormigón armado prefabricado que recibe diferentes capas de aislamiento térmico e impermeabilización, luego de las cuales hay un sustrato vegetal y un plantado de tipo extensivo. A pesar de que la envolvente resuelve el aislamiento térmico, los módulos interiores compuestos por estructura tubular de acero, revestimientos interiores de tablero de madera e interiores de chapa de aluminio repiten no sólo esta solución sino también las impermeabilizaciones, debido a que el módulo utilizado es habitualmente fabricado para su exposición directa al clima. A su llegada a obra están completamente acabados, a excepción de ciertas partes del revestimiento exterior, de los acabados interiores y de las juntas.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión





La empresa suiza Erne, fundada en 1965 y originalmente dedicada a todo tipo de edificaciones en madera, ha ido especializándose en la construcción modular de escuelas, hospitales, oficinas y bancos con su división Modul-Tech. Si bien sus edificios no parecen temporales, e incluso en ocasiones tampoco modulares, en la mayoría de los casos pueden ser desmontados, trasladados y vueltos a montar en otro sitio. Los clientes de Erne recurren a ellos generalmente debido a que no pueden determinar la durabilidad necesaria para un edificio o no pueden asumir las complejidades de una obra habitual en cuanto a los mayores plazos, el ruido, la suciedad, o la preexistencia de edificios en uso.

El sistema constructivo se basa en módulos tridimensionales de estructura y cerramientos de madera de dimensiones variables, aunque situadas alrededor de los 3 a 3,5 m de ancho y hasta 18 m de largo para favorecer el transporte, dotados de aislamiento térmico de gran grueso, completamente prefabricados y apilables hasta seis plantas. Los forjados o los cerramientos verticales pueden recibir aplacados de hormigón, para resolver exigencias acústicas o antifuego. Una vez los módulos van llegando a obra, en cantidades de hasta 300 para una escuela de gran tamaño, el montaje se realiza entre tres y cinco días, necesitándose tres semanas más para los acabados y ajustes.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



El rápido crecimiento urbano de la periferia de ciertas ciudades en Cataluña demanda equipamientos de rápida construcción, como el Centro de Educación Infantil Primario Can Roca, en Sabadell. Licitada con carácter de urgencia, con un proyecto ejecutivo listo en enero de 2005, las obras se completaron en agosto de ese mismo año, mediante su adaptación a un sistema constructivo modular de la empresa DRACE, basado con estructura de perfiles extruidos de acero tipo IPN o tubulares y cerramientos a base de distintos aplacados. Para la cimentación y debido a que la escuela se encuentra sobre una antigua riera se utilizó una pequeña pantalla de hormigón, innecesaria habitualmente en este tipo de construcciones. La dimensión de los módulos, que se apilan en dos plantas, es de 2,70 m de ancho por 2,88 m de alto, con largos de entre 5,40 y 10,80 m. Ciertas partes del edificio, como el vestíbulo y el comedor, donde eran necesarios grandes espacios abiertos están resueltas mediante pilares y vigas Vierendel o pórticos de perfiles acero, que reciben una planta superior de módulos. Para evitar el típico doblado de la estructura en la construcción modular, la mayoría de los módulos apoyan en ménsulas dobles y simétricas, compartiendo un mismo pilar. Este tipo de construcción, no habitual hasta ahora en escuelas en Cataluña, se aplica a otros centros como los CEIP L'Olivera y Can Roca 2.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

5.5 Edificios modulares desmontables y reconstruibles

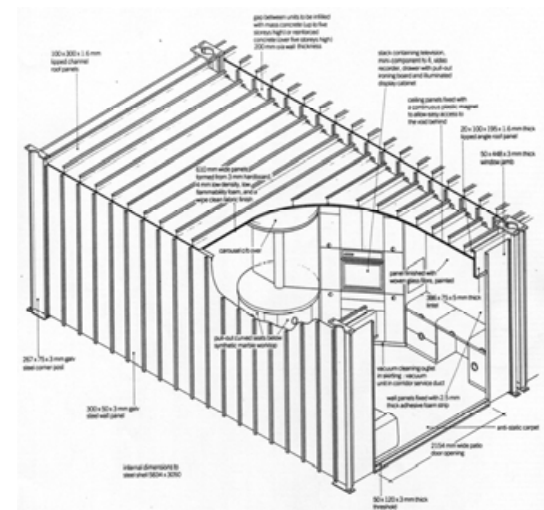
Reconocido con el premio Stirling del Royal Institute of British Architects de 2005 por el proyecto Fawood Children's Centre en Londres, el sistema constructivo de Container City ha sido usado en viviendas, oficinas y escuelas. Basado en el apilamiento y la unión de contenedores que después de un cierto tiempo de uso no cumplen las exigencias del transporte intermodal internacional que pueden combinarse con estructuras y cerramientos verticales independientes, permite la construir en una o más plantas de altura uniendo varios módulos para formar espacios mayores. Estos módulos de estructura de bastidor y chapa corrugada de acero, que son capaces de resistir apilamientos de una decena o más de unidades cargadas, son adaptados para construcción habitable mediante un trasdosado interior conformado por aislamiento térmico y aplacado de revestimiento, quedando la cara exterior sin modificaciones. Las carpinterías se instalan mediante el troquelado de los laterales chapa corrugada que, removidos completamente, generan espacios de doble ancho o más. La operación se completa con las instalaciones y la aplicación de pavimentos y falsos techos atendiendo siempre a espesores delgados, para no restar medida a las reducidas dimensiones interiores de los contenedores.

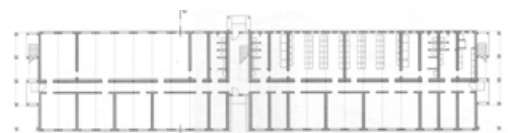
Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



Basado en la técnica de la prefabricación modular de cocinas y baños, la empresa inglesa Trinity Modular Technology construyó en 1991 el prototipo de vivienda unipersonal Microflat, un contenedor de estructura de chapa plegada de acero de 2,43 m de ancho por 3,05 m de alto y 6,09 m de largo, completamente acabado en fábrica. Mediante unas pletinas en los ángulos del prisma se realiza la unión horizontal con otras unidades y la estructura horizontal de balcones y pasillos de acceso y vertical hasta una altura de cinco plantas. La envolvente es muy delgada para no restar medida interior a las células y, desde dentro hacia fuera, está compuesta por paneles formados por tableros de fibras de madera de alta densidad, placas de aislamiento de espuma sintéticas y finalmente la chapa plegada de acero en forma de omega de con un ancho de 300 mm que, soldados entre sí y montados sobre perfiles L conforman las caras horizontales y verticales del prisma. El forjado, por su parte, está resuelto con una chapa plegada de 103 mm de alto de onda a la que se atornilla un tablero contrachapado de 18 mm, al cual se adhiere el pavimento ligero. Sólo en los refuerzos y en los ángulos se utilizan perfiles extruidos de acero. Si bien el sistema está pensado para ser hormigonado entre módulos y formar un conjunto monolítico, también puede recibir un cerramiento exterior de tipo ligero y montado en seco.

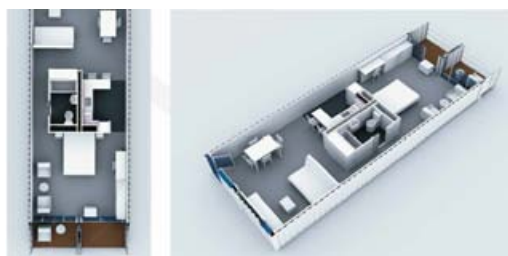
Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión





Los arquitectos Guggenbichler y Netzer construyeron en 1997 en Munich, Alemania, un edificio de temporal de oficinas resuelto mediante el apilamiento en tres plantas de dos filas de módulos tridimensionales de alquiler, de 2,44 m de ancho por 2,80 m de alto y 6 m de largo y autoportantes, organizadas a través de un pasillo central resuelto por dentro de las unidades. Las escaleras y el hall central del edificio están formadas mediante una estructura de perfiles de acero independiente del sistema modular, aunque con medidas coordinadas para permitir el acoplamiento con las células inmediatas. Si bien cada módulo va provisto de su cubierta impermeable, se dispuso una de general de chapa plegada en un plano elevado aproximadamente entre 0,50 y 1,50 m por encima de la última planta para generar una cámara de aire ventilada, apoyada sobre los módulos mediante pilares y viguetas de acero. Las unidades, formadas por un bastidor estructural de perfiles de acero y paneles de cerramiento de chapa grecada de acero y núcleo de aislamiento térmico, conforman distintos espacios de oficina, archivo, reuniones, sanitarios, etc., uniéndose lateralmente hasta formar ambientes de 6 módulos, es decir, de casi 6 x 15 m. Las cimentaciones, gracias al escaso peso del sistema constructivo, son superficiales, puntuales y se resuelven mediante dados de hormigón prefabricado.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



Habitainer es una empresa española con sede en Las Palmas de Gran Canaria, que basa su oferta de edificios modulares en la reutilización de contenedores de transporte regulados bajos normas ISO que van quedando fuera de uso y son rehabilitados para su uso en edificación. La caja de un módulo de transporte posee gran resistencia estructural, pudiendo apilarse hasta 12 niveles tal como se ve en grandes barcos, de modo que su reconversión en espacios habitables no necesita de refuerzos estructurales, se centra en la apertura de huecos para carpinterías, la incorporación de aislamiento térmico y revestimientos interiores y en la dotación de instalaciones. La unidad básica es el contenedor de transporte (2,44 x 2,80 m de sección) con largo variable, que llega a obra completamente acabado.

Este sistema modular ofrece diferentes configuraciones de viviendas unifamiliares y plurifamiliares y espacios de trabajo que pueden elegirse por catálogo, aunque también pueden realizarse proyectos especiales a cargo de técnicos de edificación. Los módulos pueden combinarse entre sí, mediante la remoción de uno o varios de sus lados, para formar espacios de doble, triple o más anchos. En las escaleras, pasadizos, balcones, terrazas se utilizan también elementos prefabricados y existentes en el mercado, como andamios y otros elementos auxiliares modulares habitualmente utilizados en la construcción convencional.

Las cimentaciones se proveen con el sistema, siendo superficiales, ligeras y recuperables.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

Algeco es una de las empresas de alquiler y venta de módulos para usos temporales más grandes de Europa, abarcando su oferta desde los módulos estándar hasta la realización de edificios modulares de todo tipo de usos. Entre su línea de producto destaca una serie de reciente incorporación, Algeco Progress, destinada a la realización de edificios de mayores prestaciones de habitabilidad que las versiones estándar, aunque de carácter provisional y por tanto desmontables y reutilizables. Existen muchos sistemas similares con difusión en España (Alco, Balat, Washington International, Wiron, etc.) sin grandes diferencias en el sistema constructivo de bastidor conformado por pilares y vigas de acero laminado sobre las que se atornillan tableros de cerramiento con núcleo aislante de espuma sintética.

El edificio a construir es entendido como la adición de diversos módulos cuyas dimensiones están reguladas por las normas ISO de transporte internacional. Existen módulos habitables, sanitarios, escalera, pasadizo, terraza, con lados libres para formar grandes espacios, etc., que se acoplan entre sí en obra, donde sólo se realizan las cimentaciones, acometidas de servicios y juntas interiores y exteriores.

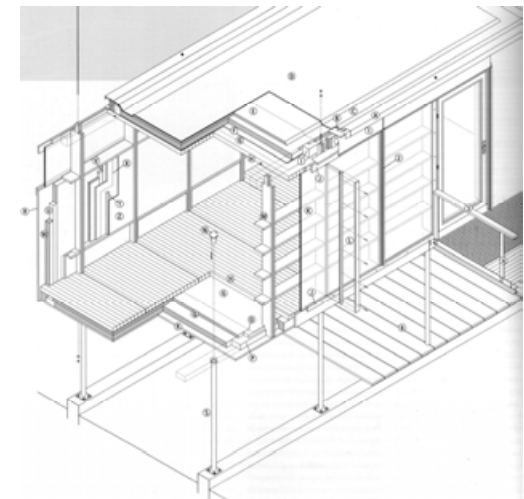
Las dimensiones del módulo son: ancho fijo de 2,44 m, altura entre 2,60 y 2,80 m y el largo variable, predominando en el mercado 6 m.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



El estudio Kaufmann 96, ha desarrollado en 1999, en Alemania, viviendas modulares completamente prefabricadas en taller con estructuras y cerramientos de madera y materiales derivados. El modelo Su-Si, un monovolumen autoportante pensado para ser trasladado en camión en una sola pieza y montado sobre pequeños pilares de acero, se conecta fácilmente a las redes de servicios, quedando lista para su uso. Sus dimensiones de planta son 3,50 m x 12,50 m y 3,00 m de alto, con un peso de 10 t (230 kg/m²). La estructura está resuelta en piezas de madera laminada de distintas secciones dispuestas cada 60 o 120 cm que conforman el forjado, cuyo plano de cierre se resuelve con tableros contrachapados, así como también los cerramientos horizontales y la cubierta. Esta retícula se rigidiza mediante la adición de tableros de virutas de madera orientadas, atornillados por la cara interior y formando la cavidad donde se alojará el aislamiento térmico de lana de roca de gran espesor. La construcción de la cubierta es similar a la del forjado sólo que con sus capas en distinto orden -cerramiento de tableros contrachapados, aislamiento térmico mineral y estructura de viguetas- y acabada con una lámina de PVC blando sobre manta geotextil. La capa exterior de las fachadas está resuelta con tablero contrachapado de madera lacada y la cimentación de los pilares es una zapata corrida de hormigón.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión





Inicialmente denominada Smallhouse y más tarde Option -un proyecto del estudio suizo Bauart Architekten ubicado en Neuchâtel desarrollado dentro del programa Bois 2000- es una casa prefabricada en dos módulos tridimensionales y autoportantes de madera prefabricados íntegramente y transportados hasta que emplazamiento por carretera que pueden montarse sobre las cimentaciones, previamente realizadas, en un solo día. La casa está formada por sala, comedor y cocina en planta baja y baño y dos dormitorios en planta alta, todo ello contenido en un volumen de 4,14 m de ancho, 10,40 m de largo, 5,95 m de alto y una superficie interior útil de 66 m². Su peso es de entre 8 y 9t, lo que representa entre 185 y 210 kg/m². La estructura es de perfiles laminados revestidos por lamas en el lado exterior y tableros contraplacados en el exterior, todo ello en madera, alojando en su interior una membrana barrera de vapor y paneles de aislamiento térmico de lanas minerales de 20 cm de espesor. Tanto los pavimentos como los falsos techos están acabados con tableros de madera y el cerramiento de cubierta es de chapa plegada de acero galvanizado. La calefacción, compuesta por una sola estufa central, funciona con madera o biomasa. La cimentación consiste en una solera de hormigón in situ, que además de transmitir las cargas a tierra cumple las funciones de rigidizar el conjunto.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



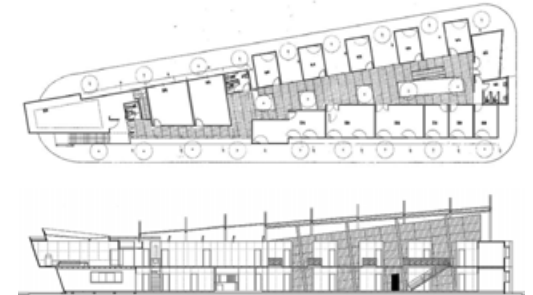
En 1997 Javier Mozas diseñó para un polígono industrial de Vitoria-Gasteiz, una oficina modular transportable en camión y adaptable a distintas localizaciones gracias a que por su ligereza no necesita de grandes cimentaciones, resueltas habitualmente con dados de hormigón. El proyecto, denominado G e idea del estudio A+T, consiste en dos contenedores (G1 y G2) que alojan la oficina y el baño respectivamente y son transportados por carretera hasta el sitio de emplazamiento. La estructura está realizada en tubos de acero soldados y el cerramiento vertical ventilado se compone, de afuera hacia adentro, de dos hojas de vidrio unidas por un butiral translúcido, tablero aglomerado hidrófugo revestido en melamina blanca, tablero rígido de espuma sintética de 50 mm de espesor, y finalmente placas de cartón yeso como acabado interior. No obstante, admite diferentes tipos de aplacado exterior. El forjado, resuelto con la misma estructura y cerramiento de doble tablero contrachapado de madera de 19 mm de espesor, descansa en una sobre pórticos de perfiles extruidos de acero apoyados sobre la cimentación, previamente realizada en el emplazamiento. En la cubierta se utilizan paneles sándwich de chapa y núcleo de aislamiento de espuma sintética dispuestos por sobre el falso techo de cartón yeso y aislamiento de lanas minerales. Las carpinterías son de perfiles de aluminio extruido.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

Construido en tres meses y medio a finales de 1991, un edificio modular albergó espacios administrativos, de exposición y docencia para el American Center en París, Francia, durante los dos años y medio que duró la construcción del proyecto definitivo. El concurso para el edificio provisional, ganado por Nasrine Seraji, disponía de un plazo de 10 días para el proyecto y de cuatro meses para la elaboración de la documentación de obra. Aun con tiempos tan cortos se consiguió un edificio de una calidad tal que, cuando debió ser desmontado en febrero 1994 porque el definitivo ya estaba acabado, algunos habitantes del barrio se organizaron para intentar impedirlo.

La preexistencia en el sitio de emplazamiento, la plaza Leópolo de Bercy, de redes de infraestructura subterráneas y árboles condicionaron el proyecto, encontrándose que la mejor solución se alcanzaría mediante el uso de módulos tridimensionales ligeros de estructura y cerramientos metálicos que no necesitaban de cimentaciones importantes y cuya disposición podía adaptarse al arbolado. Formando un patio triangular que sigue la forma de la plaza, las unidades descansan unas sobre otras en dos plantas y, junto con la estructura de pórticos metálicos de la cubierta de tela tensada que vuela sobre todo el conjunto, descansan sobre una cimentación corrida de hormigón armado de sólo 20 cm de profundidad (la plaza tenía redes de infraestructura a baja profundidad).

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

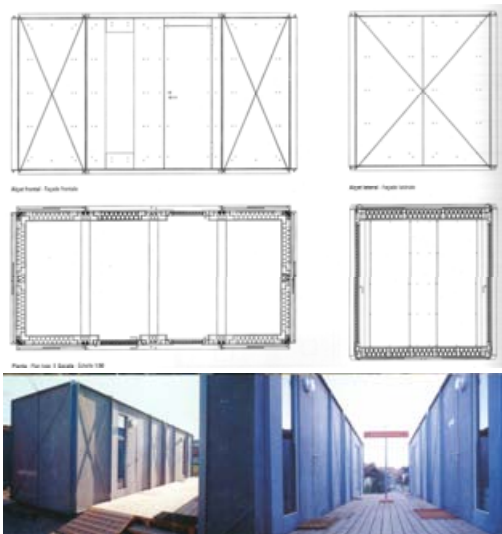


El proyecto Spacebox, del estudio De Vrij de Róterdam, Holanda, se basa en una vivienda modular de un ambiente capaz de ser transportada, agrupada y combinada de diferentes maneras para formar conjuntos residenciales, hasta ahora instalados sólo en universidades como Utrech, Delft, Eindhoven, Hilversum, etc. Las unidades de 19 m² de superficie están equipadas con baño y una cocina integrada a la sala dormitorio, todo ello dentro de un módulo autoportante y completamente acabado en fábrica de 3,00 m de ancho, 6,50 m de largo y 2,82 m de altura, con un peso de 2,5 t (132 kg/m²).

Los paneles de fachada y cubierta son de tipo sándwich, compuestos de dentro hacia fuera por capas de acabado decorativo, resistencia al fuego, tablero contrachapado de madera, espuma aislante térmica de poliestireno expandido y un acabado exterior de laminado de poliéster y fibra de vidrio. El panel de suelo tiene idéntica composición, sólo que descansa sobre viguetas de madera capaces de soportar una carga de 175 kg/m². Una estructura independiente de pilares tubulares de acero permite levantar hasta tres niveles de módulos autoportantes, descansando el conjunto sobre una cama de perfiles tubulares de acero galvanizado cuyas patas apoyan sobre losetas de hormigón armado que, junto con las acometidas de las instalaciones, se realizan previamente en el sitio de emplazamiento.

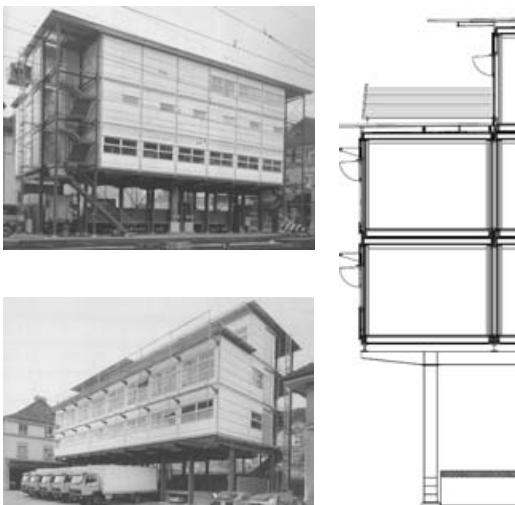
Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión





En 1998 un grupo de artistas de la Universidad de Graz, Austria, convocó un concurso de viviendas para indigentes. El proyecto ganador, de R. Christ, TU Graz y P. Schreibmayer fue construido por Kern Metalltechnik y Zimmerei Hofbauer y se basa en una vivienda modular de dimensiones mínimas que agrupable y apilable. Se trata de una sola habitación, con una superficie de 10m², que no incluye ni baño y cocina. El sistema constructivo parte de una estructura de perfiles extruidos de acero galvanizado soldados que forman un bastidor tridimensional que recibe el forjado, los cerramientos exteriores verticales y la cubierta, sin particiones interiores. Las células, que pueden soportar una planta superior, descansan sobre cimentaciones superficiales de hormigón armado resueltas con pequeños dados e incorpora rigidizadores para esfuerzos horizontales mediante cruces de San Andrés formadas por tensores de acero. Las fachadas están realizadas por una piel exterior de placas de fibrocemento, mientras que por el interior reciben un tablero de madera con aislamiento térmico de espuma sintética adherido, de gran espesor. La cubierta y el forjado tienen similar resolución, sólo que el cerramiento exterior de la primera es de chapa de acero galvanizada. Los módulos, de ancho 2,44m llegan a obra completamente acabados y son posicionados sobre sus esperas mediante el uso de una grúa ligera.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



La construcción del edificio de la Oficina Federal de Estadística Suiza en Neuchâtel, en 1993 dio origen a un sistema constructivo modular de madera, Modular-T, con el que el estudio Bauart Architekten realizó diversos edificios administrativos, escuelas, pabellones y hoteles. La primera construcción realizada con Modular-T fue un edificio de oficinas para el servicio de estadística, en la estación de ferrocarril de Neuchâtel. Esta construcción resume las características del sistema y se basa en una estructura de pilares y vigas de acero que deja la planta baja libre para un parking de camiones y recibe los módulos enteramente prefabricados en taller mediante el uso de una grúa.

Concebidas para una durabilidad mínima de 30 años, estas unidades de estructura y cerramientos de madera han sido realizadas con la colaboración del Instituto Suizo de Ecobiología, ya que debían aprovechar los recursos forestales no convencionales, estar libres de toda toxicidad, y generar materiales o componentes reciclables en un 95%. Los módulos pueden apilarse sin necesidad de refuerzos ni estructuras adicionales hasta una altura de tres o cuatro plantas y llevan incorporado un aislamiento térmico de gran espesor en forjado, fachadas y cubierta. En el caso del edificio de Neuchâtel, la envolvente se completa con parasoles resueltos con screens y una sobre cubierta de estructura y cerramiento de chapa de acero galvanizado.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión

El desarrollo Modular-T inspiró a la casa Smallhouse u Option ya comentada, así como a un segundo sistema constructivo también basado en módulos tridimensionales de madera: Züri-Modular. Bauart Architekten desarrolló este nuevo sistema como respuesta a un encargo de las autoridades locales de Zurich, que consistía en realizar un prototipo de escuela que no sólo se montara rápidamente sino que pudiera ser deconstruido, trasladado y reconstruido en un nuevo sitio. Las células tridimensionales están resueltas mediante estructura y cerramientos de madera, con aislamiento térmico mineral de gran espesor, al igual que en el sistema Modular-T. Sus dimensiones son variables, aunque responden al patrón de las medidas predominantes en los espacios escolares como aulas, auditorios, despachos, núcleos sanitarios, etc. El ancho del módulo, de alrededor de 3 m, debió mantenerse por exigencias de transporte, de modo que los locales de grandes dimensiones se logran mediante la combinación de pares o más de unidades, en cuyo caso carecen de uno o ambos cerramientos laterales. A diferencia del Modular-T y para responder mejor a la condición de sencilla deconstrucción, en la configuración final del edificio es mucho más evidente la modulación, así como también las cimentaciones realizadas sobre pies metálicos y dados de hormigón que mantienen al edificio separado del suelo.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión



Inspirados en la construcción de viviendas modulares de hormigón armado de una sola pieza cuyos antecedentes se remontan a los años 20 en EEUU, la empresa Constructora d'Aro y los arquitectos X. Tragant y M. Morte desarrollaron en Cataluña el sistema Compact Habit que, a pesar de no ser considerado ligero, tiene especial interés porque sus unidades pueden recuperarse y el edificio ser trasladado. El módulo tridimensional es autoportante y puede apilarse hasta seis plantas sin necesidad de estructura adicional. Sus dimensiones son hasta 5 m de ancho por 3 m de alto y 12 m de largo y su peso promedio es 800 kg/m².

El sistema de fabricación se basa en el hormigonado en horizontal de un molde de tres piezas que, una vez plegadas, conforman el forjado y las paredes de la célula, recibiendo la placa de cubierta y rellenándose de hormigón los ángulos para formar un conjunto monolítico con sus caras menores abiertas para alojar las carpinterías.

Por dentro esta célula recibe aislamiento térmico y acabado de diferentes tipos de placas, así como también un baño y un mueble que contiene la cocina, ambos prefabricados. Los cerramientos exteriores de las partes ciegas también admiten diferentes aplacados, así como la cubierta que es común a todo el edificio. Las unidades son transportadas a obra completamente acabadas y allí son montadas sobre las cimentaciones construidas previamente mediante una grúa de mediano porte.

Valoración ambiental: desmontable / cimentaciones recuperables / materiales de bajo impacto / ahorro energético en el uso / fácil transporte / tipología adecuada / ventajas de gestión





5.6 Características de interés ambiental en la construcción modular

Tal como ha sido dicho, el interés de la construcción modular de cara a la consideración del cierre de los ciclos materiales en la arquitectura se centra en las potencialidades que ésta ofrece para poder mantener de los recursos físicos a lo largo de su ciclo de vida dentro de un ciclo de reciclaje constante que evite la generación de residuos. En tal sentido la posibilidad de trabajar con pocos materiales, optimizar el uso de los mismos, reducir y controlar los residuos en fábrica y, finalmente, recuperar los materiales al final de la vida útil del edificio son sus principales ventajas.

La revisión realizada sobre módulos habitables estándar, proyectos experimentales, edificios modulares y finalmente edificios modulares de quita y pon permite detectar ciertas características que ayudan a seleccionar los ejemplos que ofrecen las mejores posibilidades.

Se define así una selección dentro del gran conjunto de la construcción modular que hace posible establecer las tipologías de edificios y los sistemas constructivos que presentan las mejores condiciones para un potencial ciclo cerrado de los materiales, las cuales que serán estudiadas cualitativa y cuantitativamente en el capítulo 7.

Las características de especial interés ambiental detectadas, a tener en cuenta en la definición de los modelos a estudiar, son las siguientes:

- Una combinación de unidades modulares que forme edificios de entre tres y cuatro plantas, que es el límite de altura sin necesidad de estructura adicional, con una profundidad edificable 6-12 m para permitir buena ventilación e iluminación naturales.
- Uso de cimentaciones superficiales, puntuales, prefabricadas y recuperables que permitan reducir drásticamente el peso ambiental que este apartado tiene habitualmente sobre el total los recursos afectados en un edificio.
- Sistemas constructivos basados fundamentalmente en acero y madera, ya que la tecnología de ambos materiales está suficientemente difundida así como también resulta técnica y económicamente posible su reciclaje dentro del sistema técnico-industrial o biosférico respectivamente. Si bien en los casos del hormigón y el aluminio no responden de igual manera frente a tales condiciones, podrían ser estudiados también a efectos de establecer un espectro de comparación más amplio.
- Edificios que puedan construirse, desconstruirse, ser trasladados y montados nuevamente en otra localización para un nuevo uso, o bien que puedan desmontarse parcial o totalmente en fábrica para reutilizar, rehabilitar o reciclar unidades modulares, componentes y materiales. Esta condición es facilitada por el alquiler de componentes, asegurando el retorno a fábrica de los materiales.

- Edificios plurifamiliares más que unifamiliares, puesto que en los primeros las estructuras, cimentaciones, particiones, circulación vertical, etc., se reparte en un mayor número de unidades, reduciéndose su repercusión por unidad de superficie. Por otra parte y si bien la altura de tres o cuatro plantas señalada antes podría no ser suficiente en tejido urbano de alta densidad, los edificios plurifamiliares guardan relación directa con modelos urbanísticos de ciudad compacta, donde el impacto ambiental del uso del suelo, de las infraestructuras y de la movilidad tienen una repercusión *per cápita* mucho menor.
- El uso de dimensiones modulares acorde con los límites de volumen del transporte multimodal y el bajo peso, para evitar el uso de transporte y medios de elevación especiales que implican mayores dificultades operativas y consumos energéticos.

También han sido detectadas ciertas características con incidencia ambientalmente negativa, a ser tenidas en cuenta en las etapas de análisis posteriores, que pueden resumirse en las siguientes.

- La ausencia, en casi la mayoría de los ejemplos comentados, de objetivos ambientales en su diseño y proceso productivo, así como también de medidas específicas para la reducción del impacto ambiental de la arquitectura. En tal sentido y, más allá de las potenciales ventajas de la condición modular que ya han sido explicadas, no han sido detectadas otras estrategias que puedan tener interés desde el punto de vista ambiental.
- La utilización de ciertos materiales y técnicas que dificultan el proceso de separación selectiva y recuperación de los componentes y materiales que forman el edificio o las unidades modulares al final de la vida útil. Entre otros se cuentan aquí los materiales compuestos, las juntas húmedas, las fijaciones por adhesión y la no coincidencia entre las modulaciones seguidas en el proceso de fabricación o construcción y en la conformación de las unidades funcionales, como en el caso de la prefabricación de módulo y fracción o fracciones de módulos.
- La escasa capacidad de adaptación de algunos modelos o tipos a las variaciones climáticas que los distintos emplazamientos, aún de los países donde se fabrican los módulos, pueden presentar. El desaprovechamiento de las estrategias pasivas de climatización, como el aislamiento y la inercia térmicas, la captación y la protección solar, la ventilación cruzada, etc., provoca un uso intensivo de sistemas activos que redundan en un elevado gasto energético.



Bibliografía:

[Anderson, Anderson 2007] Mark Anderson, Peter Anderson, *Prefab Prototypes: Site-specific Design for Offsite Construction*, PABPress publication, Nueva York, EEUU, 2007, ISBN 1568985606.

[COAC 2002] *Quaderns d'arquitectura i urbanisme N° 224 Destellos* (revista), Colegio de Arquitectos de Cataluña, Barcelona, España, 2002.

[COAC 2003] *Quaderns d'arquitectura i urbanisme N° 227 Nomadismo* (revista), Colegio de Arquitectos de Cataluña, Barcelona, España, 2002.

[Detail 1998-5] *Construir con sistemas, Serie 1998.5* (revista), Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, Munich, Alemania, 1998.

[Detail 1998-8] *Arquitectura móvil, Serie 1998.8* (revista), Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, Munich, Alemania, 1998.

[Detail 2001-4] *Construir con sistemas, Serie 2001.4* (revista), Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, Munich, Alemania, 1998.

[Echavarría 2005] Pilar Echavarría, *Arquitectura Portátil, entornos impredecibles*, Structure, Barcelona, España 2005, ISBN 8496424103.

[fabprefab 2007] Michael Sylvester, *fabprefab* (base de datos on-line en <http://fabprefab.com>), Huntington Beach, California, EEUU.

[Huth 1977] Steffen Huth, *Construir con células tridimensionales. Análisis de un método constructivo*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España, 1977, ISBN 8425206669.

[Riess 2007] Hubert Riess, *Riess Wood3: Modulare Holzbausysteme*, Kapfinger, Otto, & Wieler, Ulrich, eds., Vienna, Austria, 2007.

Notas:

¹ Si un edificio a construir es fácilmente desmontable y de bajo peso, como los que se realizan con construcción modular ligera, muchos solares actualmente descartados porque no se dispone de ellos a perpetuidad o porque poseen escasa capacidad portante podrían ser utilizados. Superficie de este suelo no convencional existe en cualquier ciudad y aún puede ser aumentada si se considera también la posibilidad de extensión de edificios existentes en casos en que no se encuentra agotada la edificabilidad del solar, como por ejemplo las operaciones de remonta.