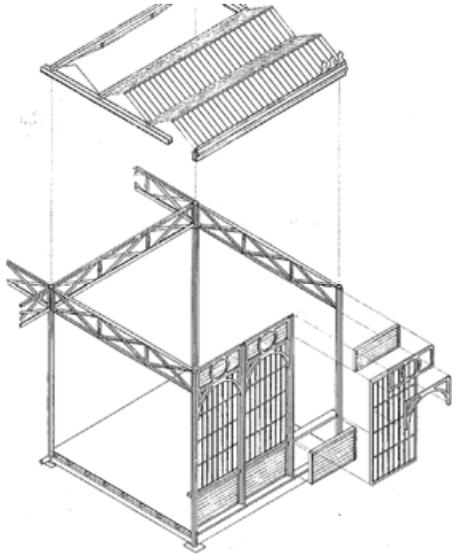
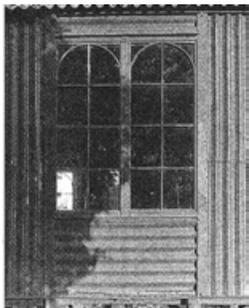


## CAPÍTULO 4

# **LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA VIVIENDA INDUSTRIALIZADA Y LIGERA VISTA DESDE UNA CONSIDERACIÓN AMBIENTAL**



Estructura y cerramientos modulares prefabricados en el Cristal Palace de Joseph Paxton, 1851



Casa en Coventry Street, 1850. Fachada y detalle. Tectónica

## 4.1 Un análisis desde la consideración del cierre de los ciclos materiales

Como ha sido visto en los capítulos anteriores, esta investigación intenta formular un sistema de gestión de recursos que aproxime la arquitectura al cierre de sus ciclos materiales. Para ello se vale del tipo constructivo que según se ha analizado presenta más ventajas técnicas iniciales para mantener los recursos dentro del ciclo de gestión industrial. Ha sido visto que los sistemas prefabricados modulares, tridimensionales y ligeros, si bien no han sido formulados desde una visión ambiental, cuando son gestionados en alquiler permiten el retorno de los módulos empleados a la fábrica, haciendo posible la reutilización, rehabilitación o reciclaje tanto de las unidades enteras como de sus componentes o materiales constitutivos. Se evita de esta manera la transformación de los recursos en residuos una vez se ha alcanzado el agotamiento de su utilidad y los mismos son desordenados, un proceso que es habitual cuando se emplean otros sistemas constructivos y de gestión.

Para definir la construcción industrializada se ha creído que no basta con referirse a un alto nivel de prefabricación de los componentes que se montan en obra, ni tampoco la producción en serie, estandarizada y apoyada en procesos técnicos mecanizados, puesto que frente a determinados sistemas plantea ambigüedades difíciles de resolver. Se empleará la definición planteada por A. Cuchí<sup>1</sup> que la define como aquella en que en sus procesos productivos mantienen a todos los elementos de capital activos durante su desarrollo. Esto implica que las máquinas, infraestructuras, etc., que se han dispuesto para efectuar la transformación de materias primas en productos se encuentran ejerciendo su función en cualquier momento en el que el proceso productivo está en funcionamiento.

La prefabricación, especialmente aquella que se aplica a la vivienda, hunde sus raíces hasta la primera parte del siglo XIX. Algunos autores fijan sus comienzos alrededor de 1833, que es cuando han podido datarse en Chicago las primeras construcciones montadas sobre bastidores de madera serrada fabricados antes de ser erigidos en su emplazamiento, ampliamente difundido más tarde bajo el nombre de *Balloon frame*. A lo largo del tiempo transcurrido desde entonces se han ido produciendo innovaciones, tanto constructivas como de gestión, que resulta de interés repasar en este capítulo bajo el objetivo de detectar cuáles de ellas pueden ser consideradas como aportaciones ambientales significativas. Sin pretender realizar un análisis exhaustivo de los diferentes sistemas, patentes, técnicas, procesos, etc. empleados en la historia ni tampoco realizar un barrido cronológico que abarque de manera completa su evolución técnica, la atención se centrará en los avances que desde la consideración del cierre del ciclo de los materiales puedan resultar útiles.

Si hubiera que restringirse a la condición más importante de un determinado sistema constructivo de cara a establecer la gestión de los materiales dentro de un ciclo cerrado, quizás sería que se mantuviera el control sobre ellos de manera permanente. Esto se lograría determinándolos, según su composición física y su forma de relacionarse con el resto de componentes, de modo tal que una vez utilizados puedan recuperarse y reciclarse totalmente dentro de los ciclos de producción industrial, manteniendo a la vez la capacidad de disponer de ellos a lo largo de todo su ciclo de vida para su salida del circuito técnico.

A partir de esta consideración, algunos de los ejemplos de prefabricación de viviendas que serán analizados en el punto siguiente resultan de mayor interés que el resto, a partir de que su definición técnica incluye algunas características de diseño, composición material, fabricación, montaje, gestión, transporte, etc., de las cuales se puede sacar partido desde el punto de vista ambiental. Las innovaciones a detectar se resumen en dos grupos:

#### Características útiles para la gestión del cierre de los ciclos materiales

- Menor consumo de materiales: Soluciones constructivas que reduzcan la cantidad de materia, entendiendo por ello la intensidad por unidad de servicio o mochila ecológica.
- Número reducido de materiales: Pocos tipos y clases, para reducir el número de procesos técnicos e industrias involucradas y simplificar la gestión de los recursos en el ciclo de vida.
- Materiales reciclados y reciclables: Recursos cuyos ciclos de reciclaje sean técnica y económicamente viables para lograr que no pierdan su condición de recursos.
- Elementos intercambiables: Que puedan ser reemplazados mediante juntas reversibles, para combinar las distintas durabilidades de las partes y permitir la separación selectiva.
- Desconstruible y reconstruible: Que pueda desmontarse, transportarse nuevamente a otro emplazamiento para ser reutilizado, o a fábrica para ser rehabilitado o reciclado.

#### Características útiles para la disminución de los efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes: Uso de productos que favorezcan la reducción de las emisiones a la atmósfera y al agua en sus procesos de fabricación y uso.
- Reducción de los residuos: Materiales con baja generación de desechos sólidos en el proceso de fabricación, construcción y derribo o desconstrucción.
- Ahorro del consumo de agua: Productos de baja intensidad de agua en los procesos de fabricación, así como disminución de la demanda y aumento de la eficiencia en el uso.
- Disminución del consumo de energía: Productos de baja intensidad de energía de fabricación, así como disminución de la demanda y aumento de la eficiencia en el uso.
- Transporte eficiente: Empleo de materias primas y materiales de origen local, para reducir las distancias de traslado y los impactos relacionados.



Imagen del sistema

**Obra, sistema, año**  
Autor/es, empresa

---

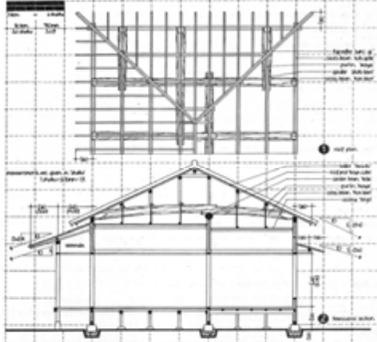
**Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

**Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Modelo de ficha resumen de las potenciales ventajas ambientales detectadas en los diferentes sistemas a analizar.



### Kiwari, 1600

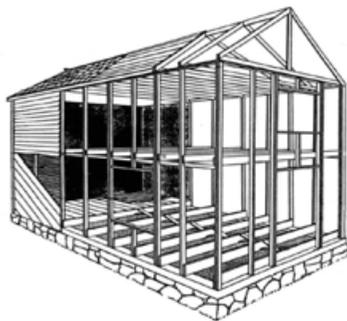
Sistema tradicional popular, Japón

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### Balloon frame, 1833

Sistema tradicional popular, Chicago, EEUU

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

## 4.2 Evolución histórica y oportunidades ambientales

Uno de los sistemas constructivos más antiguos es el del Kiwari japonés, cuyo primer manual de carpintería conocido data del año 1608 (Shomei). De gran influencia en la arquitectura moderna por su rigurosa composición geométrica, el Kiwari basa su modulación en el Ken, la dimensión estándar entre columnas que equivale a 6-6,5 Sakhu o pies (unos 183-198cm) que luego se divide en módulos menores. Este sistema se extendió rápidamente por todo el país, implicando un cierto grado de prefabricación en la vivienda que a mediados del siglo XVIII ya alcanzaba a buena parte de la estructura de madera y a las carpinterías. Si bien es cierto que la regularidad de las medidas y la repetición de componentes permitían optimizar el uso de los materiales, el Kiwari no puede ser considerado un sistema prefabricado ya que muchas de las partes de la vivienda se realizaban in situ y además cada proyecto básico de los manuales de carpintería debía ser adaptado a las preferencias de los clientes, por lo que la repetición y la estandarización no eran muy frecuentes. Desde el punto de vista del clima y la eficiencia energética, el kiwari presenta una adaptación curiosa. Los muros exteriores removibles y los interiores correderos permitían una sobre ventilación cruzada, muy útil en verano, aunque no en invierno.

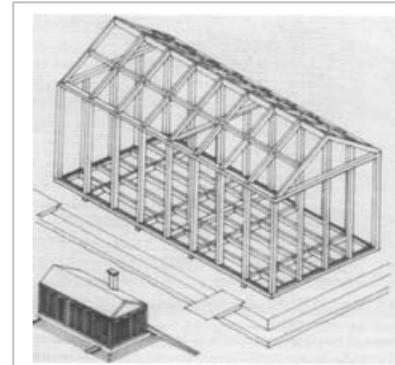
La primera construcción realizada con el sistema Balloon frame se sitúa en 1833 en Chicago, EEUU. La prefabricación a base de bastidores de madera para muros y suelos (Platform frame) y luego posicionados in situ para conformar la caja de la construcción, a base de montantes de sección 50 y 100mm separados cada 40cm y unidos mediante juntas ya tradicionales en la carpintería, permitió construir rápidamente edificios de una, dos y tres plantas a bajo coste. La extensión casi universal del Balloon frame, que influyó posteriormente a muchos otros sistemas de bastidores de madera y metálicos, se basó en dos aspectos clave. En efecto, tanto la disposición de madera proveniente de los bosques nativos como el desarrollo industrial de la sierra de vapor (1793) y la fabricación automatizada de clavos (1807) impulsaron su extraordinaria difusión y utilización popular.

Algunas construcciones alcanzaron una vida útil muy larga llegando, incluso, a desmontarse y volverse a montar en otra localización. Esta característica, junto a la utilización racional de los recursos que la organización modular del sistema supone, permite hablar de dos aspectos de cierto interés ambiental: la optimización en el consumo material, que hacía posible construir con menos recursos, y la recuperabilidad de los materiales utilizados que podían reutilizarse. Además se debe mencionar que se basa en un material natural y de origen local, la madera, que puede gestionarse en forma sostenible.

También hacia 1830 en Inglaterra comenzaban a producirse las casas prefabricadas que más tarde serían conocidas como Colonial Portable Cottages. Estas viviendas completamente descompuestas en piezas seriadas, numeradas y embaladas en grandes cajas eran transportadas por barco hacia las colonias inglesas, especialmente Australia y Sudáfrica, para ser montadas in situ sin la ayuda de carpinteros ni constructores. La estructura -forjado, paredes y cubierta- estaba compuesta por listones de madera a la manera de pilares y vigas, con las juntas de ensamblaje ya realizadas. La modulación respondía a las necesidades de aprovechamiento de las secciones estandarizadas de la de la industria de la madera, así como a las medidas de las puertas y paneles de fachada y divisiones interiores más usuales en el mercado inglés en aquel tiempo. Todas las piezas del sistema podían ser manipuladas por una sola persona y gracias a que las herramientas especiales no eran necesarias en el montaje, en algunos casos podían desmontarse y trasladarse a una nueva localización. Hacia 1850 el sistema había producido una primera variante con chapas corrugadas de acero para el revestimiento en muros y cubiertas. Posteriormente el uso del acero se extendió a la estructura.

La necesidad de reducir el peso y el volumen a transportar -las cantidades de materiales- la facilidad de montaje y desmontaje -la recuperabilidad de las partes- resultan de interés.

Sobre 1908 en Nueva Jersey, EEUU, aparecen las Sears Roebuck Houses, otro tipo de viviendas de catálogo basada en un sistema constructivo de estructura y cerramientos de madera. Todas piezas componían un *kit* embalado sólo en dos cajas que podía ser enviado a cualquier punto del país, esencialmente por tren. El montaje se realizaba en forma rápida con la ayuda del catálogo y la numeración de las piezas con juntas preformadas en forma sencilla, sin necesidad alguna de conocimientos o herramientas específicas de carpintería ni construcción. Todos los componentes y accesorios de montaje a junta seca eran provistos por el fabricante, puertas, paneles, techos, pavimentos e incluso hasta los clavos y la pintura, aunque no así las partes que se realizaban *in situ* por necesidad -como las cimentaciones- o debido a preferencias del cliente -como los muros de ladrillo que en ocasiones eran agregados-, diferenciándose de esta manera la prefabricación de todo aquello que no lo era. El fabricante afirmaba que la reducción de horas hombre en la fabricación y montaje de una de estas casas llegaba al 40% con respecto a la construcción artesanal. No obstante, el interés ambiental del sistema se centra en que se basa en la optimización del uso de los recursos y del transporte, así como en la facilidad con la que las piezas pueden ser desmontadas y separadas en materiales simples.



### Portable Cottages, 1830

Sistema tradicional popular, Inglaterra

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### Sears Roebuck, 1908

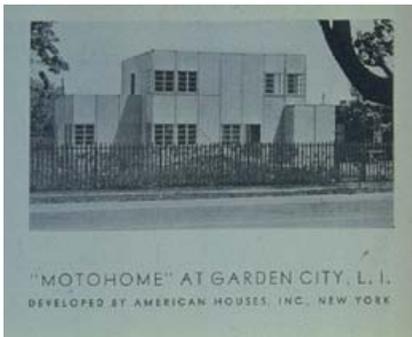
Sears Houses, Carlinville, EEUU

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### Motohome, 1930

American Houses, South Kearney, EEUU

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Más situado en el espíritu del movimiento moderno, General Houses (de General Electric y Pullman Car) hace su aparición en el mercado norteamericano hacia 1930. Intentando aplicar la tecnología de fabricación de los coches, las partes de estas casas prefabricadas eran proporcionadas por distintos proveedores que aplicaban los últimos avances técnicos de la industria. El sistema se basaba inicialmente en paneles portantes de acero con espacio para aislamiento térmico que podían intercambiarse. Más tarde fueron reemplazados por bastidores y tablero contrachapado en el interior, ambos de madera, y de asbesto cemento en el exterior. Paralelamente era desarrollado el sistema de American Houses, de características muy similares, que lanzaba al mercado su prototipo Motohome. Como parte de estos proyectos, las empresas proveedoras desarrollaron productos como los paneles sandwich de cerramiento con revestimiento de madera y núcleo de aislamiento térmico que mucho más tarde darían lugar a sistemas constructivos portantes.

A diferencia de los *kits* embalados en cajas de los sistemas anteriores, los componentes de estos sistemas eran trasladados hasta la obra en forma convencional y una vez allí eran montados por personal especializado.

La inclusión del aislamiento térmico dentro del sistema constructivo y su relación con la eficiencia energética de uso quizás sea su característica más importante.



### House-on-wheels, 1930/1940

Sistema tradicional popular, EEUU

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Con sus antecedentes en las caravanas gitanas en Europa y las carretas de los colonos del oeste en Norteamérica la casa sobre ruedas, house-on-wheels, se difunden hacia 1930-40. Fundamentalmente en EEUU y ayudadas por el crecimiento del número de automóviles, lo que inicialmente era un hábitat temporal pensado para vacaciones fue convirtiéndose en la primera vivienda modular tridimensional estable gracias a la creación de parques para caravanas donde podían ser instaladas definitivamente. Producidas artesanal o industrialmente, debían ser ligeras y poco voluminosas, exigencias que impulsaron la utilización de materiales hasta ese momento ajenos a la construcción, como el aluminio y los primeros compuestos plásticos. La estructura estaba conformada generalmente por perfiles tubulares de acero y los cerramientos por paneles, generalmente de aluminio por fuera y de tablero contrachapado de madera por dentro. La restricción del ancho permitido en carreteras, 8 pies o 2,44 metros, limitaba la amplitud del espacio. No obstante, mediante los modelos plegables, extensibles, acoplables y telescópicos, así como el ancho especial de 10 pies o 3 metros, la house-on-wheels encontró la manera de aumentar el espacio habitable.

Resulta interesante especialmente la movilidad -además de un uso optimizado de los materiales- en tanto permitiría la recuperación de los recursos una vez cumplida su vida útil, ya que no hay derribo.

Los períodos de guerra, además de al horror, suelen dar paso a innovaciones técnicas. Y no sólo bélicas sino muchas otras que, derivadas de las primeras o producto de desarrollos creados para otros fines, pueden tener repercusiones en el ámbito de la edificación y posteriormente ser adaptadas como viviendas. Tal es el caso de los albergues quonset creados por la Compañía G.A. Fuller por encargo de las fuerzas armadas de EEUU durante la segunda guerra mundial usados como alojamiento en sus bases navales. El encargo exigía que fueran económicas, sencillas de montar, ligeras y fácilmente transportables, aptas para diversos climas e incluso desmontables. El resultado fue una construcción en forma de medio cilindro de 2,5m de radio y 11m de largo cerrada por módulos de chapa ondulada atornillados sobre nervios semicirculares de perfiles de acero extruido que incluían pequeñas y escasas ventanas. Por el lado interior una segunda chapa constituía el cerramiento y, entre ambas pieles, se disponía un manto de aislamiento térmico de lanas minerales. Los testeros, completamente verticales, estaban realizados con los mismos materiales y alojaban los accesos. El forjado estaba formado por un entramado de vigas metálicas sobre las que se atornillaba un entablado. La construcción, prefabricada y embalada, gracias a su bajo peso podía ser transportada por avión y se montaba sobre una ligera cimentación de losetas de hormigón prefabricadas, piedra o diversos materiales del lugar.



### Quonset hut, 1941

G.A. Fuller Company, EEUU

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

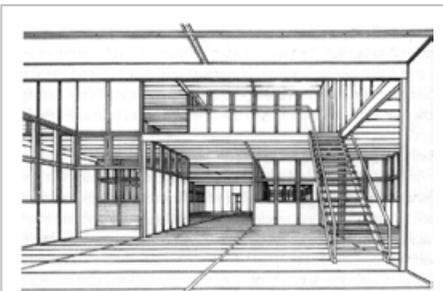
- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Hacia 1942 se conocía en EEUU el proyecto Packaged house, que recogía parte de la experiencia de la escuela Bauhaus sobre la relación entre industria y arquitectura. Esta vivienda se basaba en un sistema de paneles modulares industrializados que permitían entre dos y cuatro combinaciones entre ellos, logradas a través del ingenioso diseño de un conector múltiple que luego fue reemplazado por una junta más simple. Todos los elementos compositivos, puertas, ventanas, partes opacas, divisiones interiores, falsos techos y cubiertas debían adaptarse a la modulación del panel básico, cuyo material constructivo era fundamentalmente madera.

El sistema permitía la realización de viviendas de distinto tamaño y configuración variable en una o dos plantas, para lo cual fue necesario estandarizar también las escaleras y los elementos de doble altura.

Se alcanzó a construir un prototipo que fue presentado con éxito a distintas industrias y también a la administración pública. Incluso se llegó a montar una fábrica de paneles aunque por diversos motivos, tanto técnicos como políticos, no se logró la puesta en producción del sistema completo y la planta fue reconvertida para a producir puertas de panel sándwich.

La intercambiabilidad de las partes de la Packaged house podría facilitar el agotamiento de la vida útil y la separación selectiva, simplificando la gestión ambiental de los recursos.



### Packaged house, 1942

Walter Gropius y Konrad Wachsmann

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



**Dymaxion house, 1946**

Richard Buckminster Fuller, EEUU

**Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

**Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Otro de los proyectos surgidos de la reconversión de las fábricas de aviones en la segunda posguerra en EEUU fue Dymaxion House, iniciado en 1946. Su responsable era R. Buckminster Fuller, quien ya había diseñado en 1928 el primer prototipo de esa misma vivienda, realizado en metal, de planta hexagonal y suspendida de un mástil central. En 1936 proyectó su baño compacto y modular que optimizaba el uso del agua, que más tarde sería muy utilizado en hoteles con ligeras variaciones. La experiencia de los tres proyectos se aplicó en la Wichita House, considerada la versión final de la Dymaxion House, que se alcanzó a construir. También de planta circular y con habitaciones dispuestas a la manera de los trozos de un pastel, esta casa tenía una estructura de perfiles y tensores de acero, mientras que las paredes y la cubierta eran revestidas de chapa de aluminio. El conjunto, que hubiera soportado la carga de 120 personas en su interior, pesaba 2.722 kg y podía ser transportado por un solo camión. Su diseño aerodinámico, la disposición de un conducto de aire y un sombrerete giratorio favorecían la ventilación, aportando o extrayendo calor en forma natural o con la ayuda del sistema de climatización, reduciendo el consumo energético en verano y en invierno. La casa había sido pensada originalmente para el alquiler, ya que esta modalidad permitía un control más estricto de la energía y los recursos implicados a lo largo de su ciclo de vida, muy optimizados.



**Lustron House, 1946**

Morris Beckham, Chicago, EEUU

**Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

**Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

En 1946 otro emprendimiento de prefabricación de viviendas, Lustron House, era impulsado en EEUU a partir de un nuevo material, la chapa de acero con esmalte vítreo. Este recubrimiento inorgánico de boroaluminio y silicatos fundidos a alta temperatura actúa de modo dieléctrico entre el metal y el medio exterior, obteniéndose gran resistencia a la corrosión y al ataque químico, así como estabilidad del color frente a la luz. Muy difundido en la fabricación de cocinas, también tiene aplicación en revestimientos. Además del acero vitrificado utilizado en muros, particiones interiores y cubiertas, otras innovaciones de Lustron House eran las ventanas de perfiles de aluminio, los ruptores de puente térmico en los paneles exteriores, la calefacción por suelo radiante y los paneles sanitarios con las instalaciones insertas. La prefabricación se realizaba en líneas de montaje como en la industria del automóvil y el conjunto era montado sobre una solera de hormigón, con gran reducción de horas hombre y transporte. El *kit* de la vivienda incluía hasta 30.000 piezas, algunas de ellas muy complejas, todo lo cual dificultó la difusión del sistema que apenas alcanzó las 2.500 viviendas construidas. Desde el punto de vista ambiental el uso de materiales de alta intensidad energética, como el aluminio y el acero vitrificado, son los puntos débiles de este sistema. No obstante, por los esfuerzos puestos en la racionalidad en el uso de los recursos y en el control térmico de la envolvente, resulta de interés.

La apuesta por materiales innovadores en la prefabricación de viviendas se profundiza en Norteamérica con AIROH House, un proyecto de 1947 conocido como el bungalow de aluminio que aprovechó la capacidad ociosa de la industria de la aviación luego de la segunda guerra mundial. La vivienda estaba realizada a base de paneles de estructura de perfiles extruidos y cerramiento de láminas de aluminio rellenos de hormigón celular para aislamiento térmico, que eran revestidos por el lado interior con yeso. La estructura y el cerramiento de la cubierta también estaban realizados en aluminio. Sólo en el forjado y el pavimento se utilizaba la madera, en la forma habitual de construir hasta entonces.

La planta de AIROH House era capaz de producir una de las cuatro secciones que conformaban una vivienda, con todas sus partes y acabados, cada 12 minutos. Éstas eran luego trasladadas a obra en camión, donde un sistema de autoposicionado, similar al que se usa en los contenedores de transporte, ayudaba a posicionarlas. Posteriormente se realizaba artesanalmente el trabajo de juntas *in situ*, luego del cual era prácticamente imposible distinguir las uniones originales.

La utilización intensiva del aluminio, un material con impactos ambientales elevados, no constituye una ventaja ambiental. No obstante, la mínima utilización de materia, su larga vida útil y su reciclabilidad podrían ser relevantes.

Otra innovación interesante es la tecnología de acero laminado plegado, de uso estructural, y el revestimiento de láminas de aluminio que Jean Prouvé desarrolló para distintos proyectos en Francia. Entre ellos destacan las Maisons Meudon, catorce casas que le fueran encargadas por el Ministerio de la Reconstrucción hacia 1949, de las cuales algunas aún permanecen en buenas condiciones.

Este proyecto, realizado con el sistema constructivo Métropol de vivienda cáscara soportada por un pórtico central, sintetiza la arquitectura prefabricada y ligera que Prouvé proponía frente a los sistemas de hormigón armado que acabaron imponiéndose posteriormente. Incluía características innovadoras como estructuras de chapa plegada, uniones soldadas en taller, carpinterías y revestimientos de aluminio, paneles sándwich con aislamiento térmico, nuevos materiales aislantes como la espuma sintética reforzada con fibra de vidrio, fachadas ligeras independientes de la estructura y el preensamblaje total, con el que algunas de sus casas llegaban a obra completamente acabadas y equipadas con todo lo necesario para entrar a vivir. Prouvé también innovaba en el proceso de producción, adaptando la maquinaria y los materiales de otras industrias o creándolos cuando era necesario. Su búsqueda constante de la mínima utilización de materiales y procesos constructivos, así como de la eficiencia energética, es de interés ambiental.



### **AIROH House, 1947**

Aircraft Ind. Research Organization on Housing, EEUU

#### **Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### **Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### **Maison Meudon, 1949**

Jean Prouvé, Paris, Francia

#### **Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### **Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### Eames house, 1949

Charles Eames, Pacific palisades, EEUU

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### New Airey Duo Slab, 1955

Consorcio de autoridades locales, Inglaterra

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

En 1949 Charles Eames diseña su propia casa en Pacific palisades, EEUU, a partir de piezas estándar que combina, creando un conjunto prefabricado por adición de partes ya existentes. Tanto la estructura de perfiles extruidos como las carpinterías de la Eames House fueron seleccionadas a partir de los catálogos de la fabricación masiva de productos destinados a construcciones industriales. Los pilares y vigas metálicas celulares así como el cerramiento de la cubierta de chapa de acero plegada, a diferencia de otros sistemas en los que eran revestidos, fueron dejados a la vista como en una nave industrial. Grandes paneles de vidrio y chapa de acero conformaban la envolvente del volumen único de la casa, que probablemente tendría importantes problemas de puente térmico, formado por una simple sucesión de pórticos compuestos en obra a partir de piezas atornilladas.

Si bien el proyecto no incluía la posibilidad de ser desmontado, la utilización de componentes estándar y juntas secas lo hubieran permitido, puesto que las piezas hubieran podido recuperarse intactas.

La idea original era que la Eames House, una vez ensayada como prototipo, pudiera luego ser comercializada a partir de un catálogo, aunque esta etapa nunca llegó a ponerse en marcha. La utilización de productos optimizados por su producción masiva, muy ligeros, y la recuperabilidad de los materiales son interesantes para la gestión ambiental de los recursos.

New Airey Duo Slab es el nombre de un sistema de prefabricación a base de hormigón armado y perfiles de acero, fundamentalmente, con el que se realizaron cerca de 26.000 casas en Inglaterra hacia 1955. Los pilares eran construidos in situ y recibían vigas metálicas celulares sobre las que se disponían losas prefabricadas para la formación de la planta superior. La estructura de la cubierta inclinada estaba formada por cerchas, viguetas y correas de perfiles de acero extruido. La fachada estaba compuesta por losetas de hormigón dispuestas horizontalmente, que eran aisladas térmicamente con fibra de vidrio y finalmente revestidas con pasta de yeso por la cara interior. También podían trasdosarse con obra de fábrica de bloques de mortero, utilizada también en las particiones interiores que también ocasionalmente se realizaban con tabiques de entramado de madera enyesado.

El proyecto New Airey Duo Slab es representativo de un conjunto de hasta 27 sistemas que operaban en la segunda posguerra en Inglaterra, basados fundamentalmente en piezas prefabricadas de hormigón armado. Quizás no pueda considerárselo un sistema estrictamente prefabricado, aunque su racionalización, estandarización, producción en masa y bajo coste permiten situarlos en este sector.

Desde el punto de vista ambiental quizá no revista demasiado interés aunque el uso de un material de bajo coste energético, el hormigón, hace necesaria su consideración.

Mobile house es la denominación que hacia 1955 comenzaron a tener una serie de casas construidas a partir de uno o más módulos tridimensionales de 10 pies o 3 metros de ancho, completamente prefabricadas en talleres. Si bien sus características constructivas son similares a la house-on-wheels ya comentada y a la manufactured home que se reseñará más adelante, la mobile house una vez instalada en su sitio definitivo carece de chasis y ruedas, situación que le impide ser trasladada. Esta casa surgió como respuesta a las restricciones urbanísticas que fueron impuestas a todas las viviendas que pudieran considerarse móviles - como el código HUD en EEUU- las cuales eran consideradas precarias o no permanentes, causando perjuicios económicos y fiscales a sus propietarios así como impidiéndose su instalación en numerosas áreas de las ciudades donde no estaban permitidas. Las mobile houses eran transportadas en camiones de caja plana -su chasis temporal- para ser instaladas mediante una grúa sobre las cimentaciones in situ preparadas en el emplazamiento definitivo. El sistema constructivo se basa habitualmente en una estructura tridimensional de perfiles metálicos o piezas de madera, sólo que más robusta que en las casas tipo on-wheels o manufactured, de modo de poder izarlo. Su interés ambiental radica en la modularidad, la transportabilidad y la optimización de recursos.

Una serie de sistemas de construcción industrializada muy relacionados con los estudios de coordinación modular de los años 50 y 60, más dirigidos a la construcción de escuelas que a la vivienda, tuvieron lugar en Inglaterra. CLASP, SCOLA, CLAW, Onward MACE i SEAC son algunos de los proyectos de prefabricación impulsados por los consorcios de autoridades locales inglesas para hacer más económicos sus equipamientos y construirlos más rápidamente. La coordinación modular es fruto de los esfuerzos por racionalizar, estandarizar y optimizar el uso de los materiales, así como por la necesidad de aumentar la calidad de la construcción y acortar los tiempos de ejecución de obra. Se basa generalmente en grillas de módulos de dos o tres dimensiones, frecuentemente subdividida en medidas estructurales y funcionales, que permite ajustar todos los elementos constructivos a medidas previsibles y, si el sistema utiliza juntas reversibles, hacerlos intercambiables entre sí. Aunque posteriormente incorporaron obra húmeda como la fábrica de ladrillos en sus fachadas, todos estos sistemas nacieron basados en la junta seca y en la utilización de materiales como el acero, el aluminio, la madera contrachapada, el fibrocemento, aptos para la prefabricación y el control dimensional. Desde el punto de vista ambiental el interés en todos ellos se centra en la optimización de los recursos materiales, la recuperabilidad de los mismos y el control en la generación de residuos.



### Mobile house, 1955

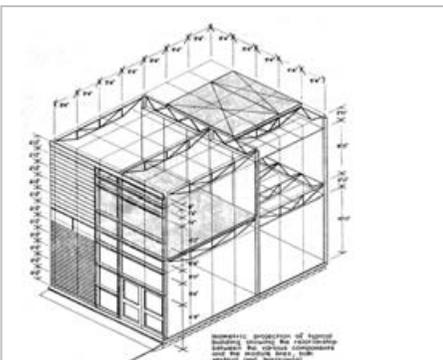
Sistema tradicional popular

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### CLASP, 1950/1960

Consorcio de autoridades locales, Inglaterra

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### Habitat '67

Moshe Safdie, Canadá

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

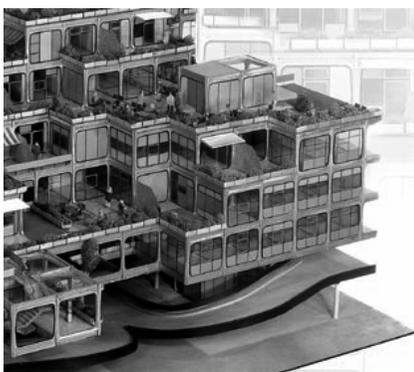
#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

En coincidencia con la celebración de su primer centenario, la ciudad canadiense de Montreal organizaba una exposición internacional cuyo proyecto de nueva área residencial fue seleccionado a través de un concurso internacional.

El proyecto ganador, de Moshe Safdie, consistió en la recreación de la vivienda de planta baja, con sus terrazas, jardines, relaciones de vecindad y calles de acceso típicas, aunque realizada en altura. Un complejo entramado irregular de espacios llenos y vacíos se alza hasta alcanzar la altura de 12 plantas y su célula básica es un módulo portante de hormigón armado de 5,3 x 3 x 11,5 m que llega a obra prefabricado a excepción de sus acabados interiores. Una vez allí es descargado de los camiones e izado mediante grúas hasta su posición final, asentándose completamente sobre otro módulo o bien sobre éste y las vigas y pilares de hormigón de la estructura complementaria. Los 354 módulos se unen entre sí mediante un sistema de barras, cables y armaduras postensadas, haciendo que cada parte del edificio participe en la distribución de cargas.

La elección de los materiales, especialmente el hormigón armado acabado visto, respondió a criterios de bajo coste, reducido mantenimiento y alta durabilidad. Cuarenta años después de su construcción, aún con muchas críticas sobre el modelo de urbanización que propone, Habitat '67 sigue siendo un lugar valorado por sus vecinos y por quienes esperan para serlo.



### Metastadt, 1965-1972

Richard Dietrich, Alemania

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Una idea similar a Hábitat '67 desde el punto de vista formal aunque con un origen y una técnica diferentes es el sistema constructivo Metastadt, desarrollado por Richard Dietrich entre 1965 y 1972. Se trata de prefabricación ligera, basada perfiles de acero atornillados, que forman un módulo repetitivo de 4,2 x 4,2 x 3,6 m cuya gran rigidez en los nudos les permite tanto la superposición como el voladizo. La dimensión de la célula base fue estudiada para permitir diferentes usos, no sólo vivienda, así como también para alcanzar un apilamiento de hasta 12 plantas. Tanto los módulos estructurales como los paneles de fachada y las particiones interiores, submódulos de 4,2 x 3,6 m eran removibles e intercambiables.

En 1969 R. Dietrich y B. Steigerwald acuerdan con Okal, la mayor empresa de prefabricación de Alemania de entonces, la puesta en marcha de Metastadt y, en 1971, se alcanza a realizar una prueba piloto, un pequeño edificio montado en terrenos de una universidad (Technische Hochschule) y destinado a oficinas administrativas de la empresa. En el mismo año el sistema es presentado en la feria de Hannover, aunque sin alcanzar posteriormente mayor difusión.

Metastadt fue un proyecto de gran ambición que superó la dimensión de sistema constructivo para alcanzar la de planeamiento urbano, arquitectura e ingeniería estructural.

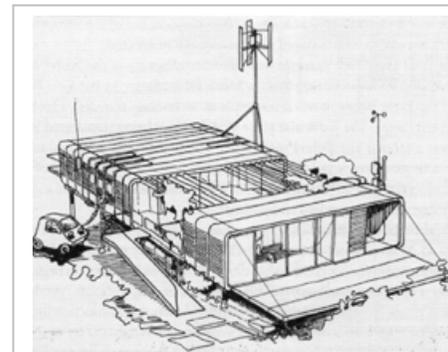
Un concurso convocado en 1968 dio lugar a la Zip-up House de Richard Rogers. Esta casa, dividida en dos volúmenes separados por un patio, estaba montada sobre una plataforma asentada en pilares metálicos, a la manera de palafitos. Utilizaba un cerramiento de panel sándwich de revestimiento de aluminio y núcleo de espuma sintética en su envolvente, que completaba con grandes paños vidriados. La utilización de ventanas similares a las de un bus, la sección tubular del volumen con ángulos redondeados, el uso de tensores de acero para aguantar las cargas de una terraza en voladizo, la utilización de pilares telescópicos para adaptarse a distintas topografías y las particiones interiores movidas por sistemas neumáticos aumentaban el repertorio de innovaciones. Además, esta casa se sitúa en una época en la que la preocupación por la eficiencia energética y el uso de energías renovables se hace patente en muchos arquitectos, apareciendo en ella sistemas de protección solar, molinos eólicos, paneles fotovoltaicos o térmicos solares y hasta un coche eléctrico recargable gracias a su conexión a la instalación de la vivienda.

Rogers llegó a construir una versión de la Zip-up house para su propia madre, aunque asentada directamente sobre el terreno.

El interés ambiental de esta casa se centra, más que en las estrategias sobre los materiales, en la búsqueda sobre la eficiencia energética y las energías renovables.

Dentro de una época de difusión de los materiales plásticos, la revista Canadian Homes convocó en 1969 a un concurso de vivienda prefabricada en el que Barton Myers Associates y la mayor compañía de acero de la época, Stelco, presentaron un sistema modular basado en una grilla de 3,6 x 3,6 m. La estructura estaba conformada por cuatro pilares de perfiles de acero sobre los que se montaba una retícula de viguetas metálicas celulares dispuestas en dos direcciones, elemento que era utilizado indistintamente como forjado y cubierta. El cerramiento exterior, así como las particiones interiores, se resolvían mediante paneles sándwich de 0,9 x 3,6 m ciegos, con puertas, ventanas, sanitarios, etc. Los paneles tenían dos caras de chapa de acero pintado con revestimiento plástico y un núcleo de aislamiento térmico de uretano, se instalaban sobre el bastidor estructural mediante anclajes de velcro industrial y finalmente eran sellados con una junta elástica de neopreno.

Desde el punto de vista de la gestión resulta de interés comentar que el sistema Stelco House, si bien nunca llegó a comercializarse, incluía un catálogo de productos y una guía de instalación que permitían, a personal no adiestrado, determinar tanto el tipo de edificio a construir y listar de piezas necesarias como montarlo de manera sencilla. El sistema hacía posible apilar módulos hasta tres niveles así como también intercambiar sus partes y desconstruir el edificio, recuperando los materiales gracias al uso de juntas reversibles.



### Zip-up house, 1968

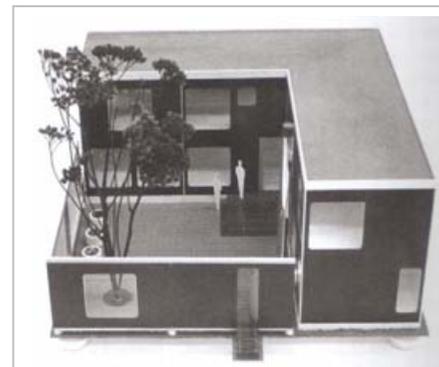
Richard Rogers, Inglaterra

#### Cierre de ciclos materiales

Menor consumo de materiales  
 Número reducido de materiales  
 Materiales reciclados y reciclables  
 Elementos intercambiables  
 Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

Sistemas menos contaminantes  
 Reducción de los residuos  
 Ahorro del consumo de agua  
 Ahorro de energía  
 Transporte eficiente



### Stelco House, 1969

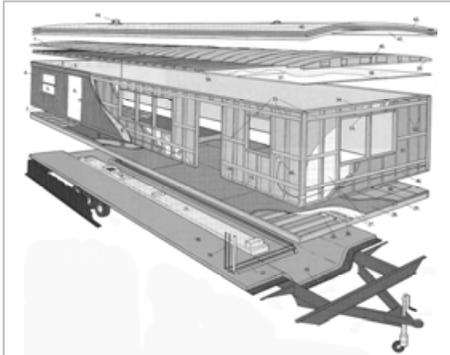
Barton Myers Associates, Canadá

#### Cierre de ciclos materiales

Menor consumo de materiales  
 Número reducido de materiales  
 Materiales reciclados y reciclables  
 Elementos intercambiables  
 Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

Sistemas menos contaminantes  
 Reducción de los residuos  
 Ahorro del consumo de agua  
 Ahorro de energía  
 Transporte eficiente



### Manufactured home, 1970

Sistema popular, Florida, EEUU

#### Cierre de ciclos materiales

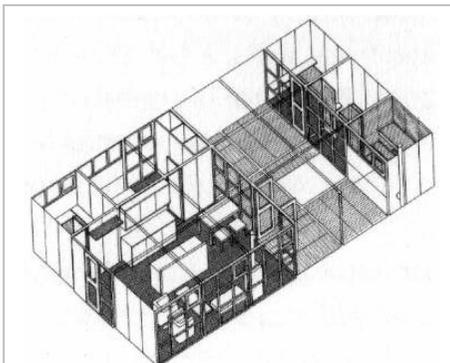
- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

El término *Manufactured Home* designa en EEUU a las casas montadas enteramente en fábrica, ya sea en una o varias secciones acoplables *in situ*, sobre un chasis que sirve para remolcarlas hasta su destino final, donde las ruedas desaparecen y se apoyan sobre cimentaciones convencionales. Su gran difusión comenzó hacia 1970, especialmente en el estado de Florida. Las dimensiones máximas para un solo volumen transportable, sin recurrir a transportes especiales, es de 2,44 por hasta 12,00 metros. Las casas frecuentemente son montadas a doble ancho, es decir uniendo dos módulos para alcanzar 4,88 metros en su lado corto o más aun, si se recurre a tráileres de especiales.

El sistema constructivo no se diferencia del que podría tener una vivienda de estructura y revestimiento de placas de madera con núcleo aislante térmico, heredero del *balloon frame*, a excepción de la aparición de una plataforma de perfiles laminados y celulares de acero, o chasis de transporte. Las fábricas no están demasiado automatizadas ni estandarizadas, sino que repiten el modelo de producción semiartesanal que tendría una obra *in situ* con el mismo sistema constructivo, aunque con mayor eficiencia en tiempo y materiales invertidos. Este sistema presenta una característica de especial interés: el chasis permite trasladar la casa a otros sitios, evitando su derribo y la conversión de los materiales en residuos antes del fin de su vida útil.



### Moduli 225, 1971

K. Gullichsen y J. Pallasmaa, Finlandia

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Con antecedentes en la tradición constructiva nórdica de esqueleto estructural y cerramientos de madera, en 1971 K. Gullichsen y J. Pallasmaa desarrollan en Finlandia el sistema constructivo *Moduli 225*. El nombre respondía a la medida del módulo base del sistema, de 2,25 m en las tres dimensiones, que podía descomponerse en un submódulo de 0,75 m de ancho por 2,25 m de alto utilizado para los paneles de cerramiento exterior e interior, las carpinterías, etc. La ausencia de cerramientos en una o más caras del módulo permitía la creación de espacios de mayores dimensiones aunque con pilares intermedios. El mobiliario, parte del sistema, seguía la misma lógica de submodulación.

El punto que concentraba la complejidad técnica y por tanto donde estuvo puesto el mayor esfuerzo de la innovación era, como en muchos sistemas espaciales, el nudo que vincula los pilares, las viguetas de forjado o techo y el pilar inferior o el tronco de la cimentación. Este punto, donde confluyen seis piezas, estaba enteramente realizado en acero e incluía tanto mecanismos de regulación de la altura como anclajes por encastre entre las distintas partes permitiendo, al mismo tiempo, montar rápidamente y nivelar la construcción. La realización de los paneles, viguetas y pilares, en cambio, no difiere de otros sistemas constructivos similares basados en la industrialización de la madera. *Moduli 225* fue utilizado principalmente para la construcción de viviendas unifamiliares, ligeras y racionales.

El arquitecto japonés Kisho Kurokawa creó en 1972 la Nagakin Capsule Tower para el área de Ginza en Tokio. Un edificio de 140 pequeños apartamentos de hotel realizados en hormigón prefabricado, concebidos como células monovolumen que debían ser renovadas en el transcurso del tiempo, acopladas mecánicamente a un núcleo central de instalaciones y circulaciones verticales constituido por una torre estructural, también realizada en hormigón armado aunque *in situ*. El edificio, relacionado con las propuestas de renovación de movimientos tales como el Metabolismo japonés y el Archigram inglés, inspiró a otros hoteles de cápsula en las ciudades japonesas. Bajo la teoría de Kurokawa, el edificio debía tener su propio metabolismo, de manera que las unidades para oficinas, los talleres y los hogares concebidos de esta forma eran diseñados para ser separables y reemplazables. Así, las cápsulas de la Nagakin Capsule Tower fueron construidas enteramente en fábrica y llegaron a su emplazamiento hasta con los interiores acabados. Una vez allí fueron izadas por una grúa y literalmente colgadas de la torre central con apenas cuatro anclajes metálicos. Contrariamente a como había sido previsto y a los repetidos reclamos de Kurokawa, las cápsulas nunca fueron reemplazadas y actualmente presentan problemas de conservación. Esta idea hubiera permitido la recuperación de los materiales, así como la evolución tecnológica de la construcción.

Próxima a las ya comentadas House-on-wheels (caravana), Mobile home (casa sin chasis) y Manufactured home (casa con chasis), se encuentra la Modular house, una casa prefabricada basada en la combinación de células básicas conformadas por módulos tridimensionales de dimensiones próximas a las de los contenedores de transporte (de 2,50 a 3,50 metros de ancho y entre 6 y 12 metros de largo). Las similitudes se centran en que todos estos sistemas se basan en la modularidad tridimensional, el uso de los materiales ligeros y el nivel de acabado casi total con el que llegan al sitio de emplazamiento, donde las principales tareas son el posicionamiento sobre las cimentaciones, la conexión a las instalaciones y las uniones entre secciones. No obstante, la Modular house tiene una característica diferenciadora derivada del módulo que la inspira, el contenedor, y es que su estructura resiste el apilamiento de unidades. Si bien hay versiones realizadas en bastidor y cerramientos de tableros de madera, la mayoría se basa en la estructura de perfiles laminados o extruidos de acero. Su peso puede rondar los 200 kg/m<sup>2</sup> y su difusión comenzó sobre 1975. Desde el punto de vista de la gestión de los recursos resulta interesante que, por tratarse de unidades removibles suelen alquilarse, retornando los materiales siempre a la fábrica.



### **Nagakin Capsule Tower, 1972**

Kisho Kurokawa, Tokio, Japón

#### **Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### **Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### **Modular House, 1975**

Paul Rudolph, New Haven, EEUU

#### **Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### **Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### Almere House, 1984

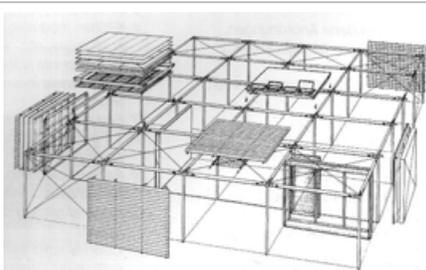
Benthem Crouwel Architects, Holanda

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### Yacht House, 1984

Richard Horden, Inglaterra

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Una propuesta presentada por el despacho Benthem Crouwel Architects en el concurso Unusual homes de 1984, una competición que demandaba que las viviendas fueran desconstruibles al punto de poderse recuperar sus cimentaciones, aptas para apoyarse sobre cualquier tipo de terreno y que prescindieran completamente de la construcción húmeda, dio origen a la Almere House.

El edificio descansa sobre una plataforma formada por una estructura estéreo tubular que se apoya en pocos puntos sobre losetas superficiales de cimentación, ya que el edificio tiene muy bajo peso. Un forjado ligero recibe los paneles de partición interiores que alojan unos pilares metálicos de soporte de la cubierta, anclada a las cimentaciones para resistir la succión del viento, que quedan ocultos. Se produce así un efecto curioso ya que la estructura que transmite a tierra las cargas de la cubierta, oculta en el pequeño núcleo sanitario central de la vivienda, no sólo no resulta visible sino que parece estar compuesta por unas delgadas barras de acero que, en realidad, son tensores que actúan ante la presión y la succión del viento. El cerramiento exterior es de vidrio en tres caras del prisma de la vivienda, y en la cuarta fachada de paneles de chapa de acero y núcleo de espuma sintética.

Almere House despertó gran interés en la crítica, que destacó la simplicidad del sistema constructivo y la facilidad de replicarla. No obstante, sólo se construyó un prototipo.

En 1975 Michael Hopkins construye su propia casa a partir de una estructura de perfiles de acero celulares y cerramientos metálicos o de vidrio cuya simplicidad constructiva era tal que podría haberse montado a partir de elementos de catálogo industrial, como un Meccano de gran medida. Hacia 1984 y desde la misma concepción constructiva, Richard Horden diseña la Yacht house, un proyecto pensado como una transferencia de tecnología. Como la casa Hopkins, era un sistema de construcción en seco a partir de componentes estándar que se basaba en una estructura de módulos tridimensionales montada a partir de la adición de elementos lineales. La base de la grilla volumétrica era un mástil tubular de aluminio y un nudo que realizaba la unión de varios de ellos, todo combinable dentro de un sistema ortogonal. La Yacht house se desarrollaba en planta baja, a partir del esqueleto de mástiles que luego era completado con paneles de suelo, cubierta, fachada o divisiones interiores prefabricadas que cerraban el volumen. Los patios se formaban mediante módulos vacíos.

Si bien estas casas están formuladas desde la intención de la prefabricación, su fabricación no fue industrial sino más bien artesanal. Tampoco llegaron a ser adaptadas para la producción en serie. La principal aportación ambiental que podrían tener estos proyectos es la capacidad de recuperar o reciclar sus elementos constructivos, gracias a la junta seca y la estandarización de las medidas.

Entre las tecnologías de más reciente incorporación en la prefabricación de viviendas se encuentra la denominada SIPS (Structural Insulated Panels), que se basa en paneles de cierta capacidad estructural formados por un núcleo aislante de espuma sintética revestido por dos placas de tablero de virutas orientadas o bien contrachapado de madera, adheridos, con un espesor de hasta 150 mm. A semejanza del cartón pluma o foamboard que se aplica en la construcción de maquetas, que permite saltarse ciertas reglas estructurales en ellas, la notable capacidad mecánica del sistema SIPS se basa en el comportamiento homogéneo de las tres capas de los paneles, entre las que se forman tensiones tangenciales que aumentan su rigidez y por tanto la resistencia a las cargas verticales. Las construcciones de paneles SIPS pueden alcanzar las dos plantas sin necesidad de estructura adicional, así como importantes valores de aislamiento térmico. El despiece permite realizar en fábrica paneles de grandes dimensiones que, una vez numerados, se trasladan al emplazamiento donde son fijados mediante juntas mecánicas. La cara exterior podría simplemente pintarse, aunque se suele revestir con placas cerámicas o metálicas.

El sistema SIPS no presenta ventajas ambientales reconocibles, más allá de la optimización del uso de los materiales. La difícil separación de los componentes adheridos del panel dificulta su reciclaje.

Las Flat Pack Houses inglesas son casas basadas no en paneles autoportantes sino en una estructura de vigas y pilares de madera de roble verde prefabricada a la medida de cada proyecto, con juntas y troqueles acabados. La utilización de sistemas CAD/CAM (diseño y fabricación asistidos por ordenador) permite que una misma maquinaria fabrique piezas completamente diferentes, simplemente alternando los archivos informáticos que contienen las órdenes a seguir por las herramientas de corte y montaje, que se mueven en tres dimensiones. Los cerramientos son realizados en paneles SIPS no portantes. La tecnología del diseño y la fabricación asistidos por ordenador significa un cambio radical frente a la producción en serie y la línea de montaje, que hasta el momento de su aparición en la década del 60, era el paradigma dominante. La posibilidad de reducir un gran número de máquinas especializadas en determinadas tareas a unas pocas multipropósito, mediante la robotización de los movimientos, así como la desaparición de las limitaciones de la estandarización, mediante el cambio informático de las órdenes, aportó a la prefabricación la capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios del producto. Esta tecnología no fue creada para optimizar el uso de los recursos, pero bien podría hacerlo. En la industria del mueble se la utiliza no sólo para fabricar variado y rápido, sino para realizar los diseños y los despieces con máximo aprovechamiento de las piezas macizas y los tableros de madera.



### **SIPS, contemporáneo**

Tecnología popular, Inglaterra

#### **Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### **Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### **Flat pack house, contemporánea**

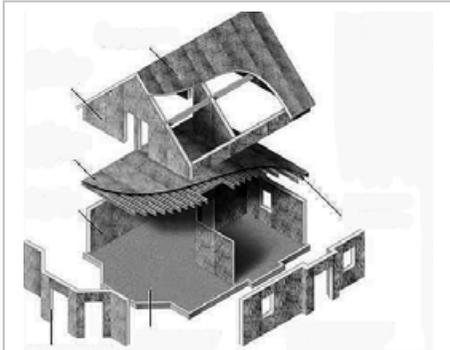
Border Oak, Inglaterra

#### **Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### **Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente



### Space4 house, contemporánea

Fabricantes asociados, Inglaterra

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

Otra hibridación entre estructura de bastidor de madera y paneles sándwich es la Space4 House, que se produce en Westbury, Inglaterra, en una planta de 22.000 m<sup>2</sup>. El sistema constructivo está formado por paneles de muro, cubierta y suelo prefabricados, que incluyen el aislamiento térmico, las instalaciones y las carpinterías. Todo ello no significa una innovación, pero el grado de automatismo y flexibilidad alcanzado en la producción mediante el uso de la tecnología CAD/CAM sí. Dentro de ciertos límites, el sistema de diseño y fabricación a la medida de cada proyecto es capaz de realizar paneles personalizados, cada uno de ellos diferente del resto, sin necesidad de pausas en la producción y hasta alcanzar las 5.500 casas al año, una cantidad sólo comparable con ciertas fábricas japonesas. El plano de cada casa a fabricar es literalmente panelizado, adaptándose la prefabricación a los requerimientos del proyecto.

El proyecto Space4 House es la demostración de cómo la aplicación de la informática y la robótica son capaces de transformar los estándares productivos que rigieron hasta hace poco la prefabricación, haciendo posible una respuesta constructiva a casi cualquier demanda arquitectónica y prácticamente de forma inmediata (cuya eficiencia material se pone en duda). Al igual que las Flat Pack, las casas Space4 no están concebidas desde objetivos ambientales.



### Daiwa, contemporánea

Daiwa, Japón

#### Cierre de ciclos materiales

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

#### Menores efectos ambientales

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

El máximo exponente de la prefabricación automatizada en la era digital es Japón, donde hasta 120.000 casas personalizadas a partir de planos base son fabricadas con los sistemas Daiwa, National Panahome, Sekisui House, Sekisui Heim, Misawa y otros a partir de encargos realizados a distancia por la red comercial y enviados vía Internet a las fábricas. Cada uno es diferente del resto y por lo tanto dividido en partes a partir de una panelización distinta. Una primera línea de robotización realiza operaciones de corte, doblado, ensamblaje, adhesión, troquelado, etc., de los paneles variables, que luego reciben las carpinterías, herrajes, accesorios, etc., en una segunda cadena de montaje, en las que apenas hay hombres controlando. Los paneles son identificados mediante una etiqueta con código de barras y agrupados de acuerdo a cada envío, pudiendo transportarse una casa de cuatro dormitorios en seis camiones. El tiempo que va entre el encargo de una casa y la salida de fábrica de los paneles es de cuatro semanas, necesiándose treinta días más para dejarla lista para ser habitada. Total, ocho semanas. El sistema constructivo es simple y conocido, se basa en paneles para muros de estructura de chapa de acero galvanizada, aislamiento térmico sintético y tableros de madera, cartón yeso o compuestos. Los sistemas basados en la tecnología CAD/CAM han logrado reducir costes y tiempos, así como también flexibilizar la prefabricación, no obstante su valoración ambiental aun está por conocerse.

El rápido repaso de la historia de la prefabricación de la vivienda que ha sido realizado en este capítulo ha intentado detectar cuáles podrían ser sus potenciales ventajas ambientales. Han sido vistos más de veinte proyectos, sistemas constructivos o modelos de producción a lo largo de más de un siglo de industrialización que, sin pretensión de agotar ni la lista ni el tema, fueron seleccionados de un conjunto mayor como los más representativos e interesantes para el análisis propuesto. Los principales aspectos tenidos en cuenta fueron el grado de influencia que tuvieron o tienen en el sector, la representatividad respecto de otros sistemas que no se incluyeron, la constatación en ellos de ventajas y desventajas ambientales y, finalmente, la disposición de información al respecto.

En general ha podido verse que la prefabricación, si bien no supone una mejora ambiental en sí misma ni necesariamente responde a las demandas de la sostenibilidad, presenta ciertas oportunidades que podrían ayudar a gestionar los recursos bajo el objetivo de cerrar el ciclo de los materiales en la arquitectura.

Después de este repaso, el conteo de las estrategias reseñadas en las fichas resumen de la mayoría de los sistemas analizados da como resultado las siguientes ventajas:

- La reducción del consumo de los materiales de construcción, aunque sin contemplar la mochila ecológica de la extracción y fabricación de los productos utilizados.
- La reducción y separación selectiva de los residuos generados en los procesos de fabricación y obra, así como sus posibilidades de aprovechamiento.
- El aumento en el potencial de recuperación de componentes y materiales invertidos, en los casos en que se emplean juntas secas y reversibles.
- El retorno de los recursos empleados al proceso de fabricación, en los casos de las unidades modulares tridimensionales susceptibles de ser comercializadas en alquiler.

No obstante, esta revisión también permite detectar aspectos que resulta necesario tener en cuenta, dado que una falta de control sobre ellos podría implicar desventajas:

- La dificultad de separación de los materiales al final de su vida útil, cuando se emplean uniones por adhesión o materiales compuestos.
- El posible aumento de la mochila ecológica de los materiales, dado que en general todos ellos son de industrialización intensiva.
- La falta de inercia térmica que pueda incidir en la climatización, almacenando energía, en climas de cierta amplitud térmica y cuando se utilizan sistemas ligeros.
- En los sistemas con tecnología CAD/CAM, un posible aumento en la generación de residuos a partir de la adaptación de cualquier proyecto a la panelización<sup>2</sup>.



**Ficha resumen, prefabricación ligera**  
Principales ventajas ambientales

**Cierre de ciclos materiales**

- Menor consumo de materiales
- Número reducido de materiales
- Materiales reciclados y reciclables
- Elementos intercambiables
- Desconstruible y reconstruible

**Menores efectos ambientales**

- Sistemas menos contaminantes
- Reducción de los residuos
- Ahorro del consumo de agua
- Ahorro de energía
- Transporte eficiente

### Bibliografía:

- [Bahamon 2003] A. Bahamón, *Prefab: adaptable, modular, dismountable, light, mobile architecture*, HarperCollins Publishers, 2003, ISBN 0060513586 .
- [Bergdoll et al. 2008] B. Bergdoll P. Christensen, *Home Delivery: Fabricating the modern dwelling*, The Museum of Modern Art, Nueva York, EEUU, 2008 ISBN 9780870707339.
- [Burkhart et al. 2002] B. Burkhart y A. Arieff, *Prefab*, Gibbs Smith, Layton EEUU, 2002, ISBN 1586851322.
- [Cordescu et al. 2002] Andrei Cordescu (textos), J. Siegal (editor), R. Kronenburg (textos), *Mobile: The art of portable architecture*, Princeton Architectural Press, Nueva York, EEUU, 2002, ISBN 1568983344.
- [Davies 2005] Colin Davies, *The Prefabricated Home*, Reaktion books, Trowbridge, Reino Unido, 2005 ISBN 1-86189-243-8.
- [Guidot 1983] Raymond Guidot (comisario de exposición), *Architecture et industrie*, Centre de Création Industrielle / Centre Georges Pompidu, París, Francia, 1983, ISBN 2858502021.
- [Haller 1989] Fritz Haller, *System-Design Fritz Haller: bauten, möbel, forschung*, Birkhäuser, Basilea, Suiza, 1989, ISBN 3764323256.
- [Krausse et al. 2001] J. Krausse, C. Lichtenstein (editores), *Your private sky. R. Buckminster Fuller discourse*, Lars Müller Publishers, Zurich, Suiza, 2001 ISBN 3907044940.
- [Olivieri 1972] Mario Olivieri, *Prefabricación o metaproyecto constructivo*, Editorial Gustavo Gili, 1972, Barcelona, España.
- [Scmid et al. 1969] T. Schmid y C. Testa, *BySystemsBuilding Bauen mit Systemen Constructions modulaires*. Editions d'Architecture Artemis, Zurich, Suiza, 1969.

## Notas:

---

<sup>1</sup> Comunicación verbal de Albert Cuchí, septiembre de 2008.

<sup>2</sup> Una de las ventajas anunciadas en los sistemas asistidos por informática y robótica es que con ellos es posible fabricar cualquier proyecto. Si los paneles base del sistema, fabricados en dimensiones estándar, deben adaptarse cualquier geometría o cualquier dimensión de proyecto es muy posible que se produzcan desaprovechamientos de material, recortes, etc., que generen residuos y reduzcan la eficiencia material del sistema.