

## CAPÍTULO 3

# **¿ES POSIBLE CERRAR EL CICLO DE LOS MATERIALES?**



Construcción y derribo. La generación de residuos es una constante a lo largo a lo largo del ciclo de vida de los edificios.

### 3.1 Los condicionantes del ciclo abierto en la arquitectura

En el capítulo precedente han sido analizados los principales problemas y efectos del impacto ambiental de la producción de la arquitectura, detectándose que su superación depende en buena medida de la transformación del sistema productivo dominante, desde la secuencia lineal extracción>fabricación>residuo que lo caracteriza en la actualidad hacia el ciclo reciclaje-fabricación-reciclaje que debería caracterizarlo en el futuro.

Han sido repasadas también las principales herramientas disponibles para calcular y analizar los distintos efectos del impacto ambiental de la arquitectura, así como también para determinar las soluciones de mejora que pueden aplicarse en las etapas de construcción y uso de los edificios, para disminuirlos. Se ha comentado que tales mejoras, caracterizadas habitualmente por la reducción gradual del consumo de materiales, de la generación de residuos, del gasto de energía, de las emisiones asociadas, etc., durante las etapas de construcción y uso de los edificios conforman unas estrategias paliativas, que como tales evidentemente mejoran el resultado global aunque no resuelven el problema de fondo. No alcanzan, por tanto, a modificar las condicionantes ambientales del modelo de producción descrito, o dicho de otra manera a poder ser consideradas como estrategias definitivas.

En esta investigación se pretende trabajar en el campo las estrategias definitivas, entendiendo que éstas no persiguen ya una mayor o menor disminución del impacto ambiental de la arquitectura sino el establecimiento de una posición lo más próxima posible al cierre del ciclo de los materiales, la condición que ocupa el lugar central en la respuesta que se pretende formular a la demanda de la sostenibilidad física en la edificación. Para ello es necesario actuar en forma integral sobre la cadena de producción, conformada actualmente por una sucesión de ciclos industriales abiertos, que configura el modo más extendido de producir en la actualidad y que invariablemente genera residuos en todas las etapas del proceso: extracción y transporte de las materias primas, fabricación, transporte de los productos, construcción, uso y derribo del edificio.

A continuación se analizará, para cada una de las etapas señaladas, el problema de la generación de residuos derivado del ciclo abierto de producción de la edificación, hoy dominante.

La industria de la construcción comienza con la actividad extractiva de recursos, dedicada básicamente a obtener los minerales necesarios para la elaboración de materiales y energía que intervienen en la fabricación de los productos y en su transporte. De todos los recursos de la corteza terrestre afectados en este proceso, como se ha visto cuando se ha hablado sobre del concepto de mochila ecológica en el capítulo 2, la mayor parte se convierte en

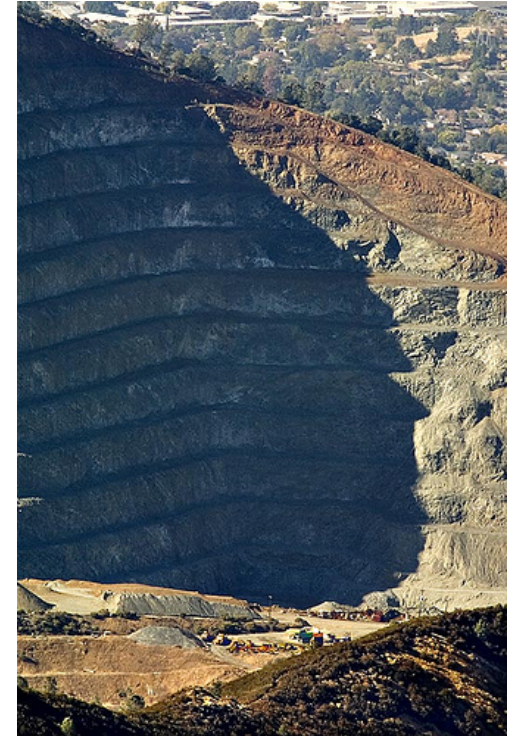
residuos casi inmediatamente. En efecto, para llegar a obtener los minerales útiles en los procesos de producción industrial, los únicos a los que se les asigna un valor monetario actualmente, es necesario mover grandes cantidades de masa forestal, tierras, rocas y agua, que conforman el primer eslabón de la cadena de residuos de construcción.

La evolución del requerimiento total de materiales de la sociedad o RTM en España presenta ciertas características que es importante tener en cuenta. Repasándola es posible visualizar que la mayor capacidad de procesar materias primas por parte de la industria y el aumento del poder adquisitivo han producido un incremento constante de la demanda de productos, que ha actuado y actúa como disparador del consumo de los materiales y de la energía necesaria para producirlos. A partir de ello, España presenta en la actualidad un índice de RTM por persona que multiplica casi por cinco el de hace cincuenta años y sigue en aumento, habiendo pasado aproximadamente de 4 t/habitante/año a 19 t/habitante/año<sup>1</sup>. La tendencia que surge de analizar la contabilidad de flujos de materiales a escala de Europa, si bien no se dispone de una serie histórica tan extensa ni tampoco del mismo indicador, también es de crecimiento aunque de mucha menor intensidad<sup>2</sup>.

También la procedencia de las materias primas ha ido modificándose, haciendo posible que se haya invertido la relación entre el material extraído del territorio español y las materias primas y productos acabados de importación. En efecto, desde hace varias décadas y gracias a la extensión del transporte horizontal estas últimas son las que predominan. En resumen, la evolución de los RTM en España muestra una tendencia de crecimiento sostenido del consumo de recursos, sin que se prevea de momento ninguna inflexión en ella, así como también exhibe una externalización de los costes ambientales de extracción (más adelante se verá que otro tanto ocurre con el derivado de la etapa de fabricación de productos), que recaen sobre los territorios que exportan sus recursos hacia España. La cuestión implica, de hecho, una exportación de impacto ambiental español hacia terceros países.

En el sector de la construcción la evolución de los RTM sigue un ritmo similar. Si bien en este caso no se dispone de información del total de España, una tesis que analiza la evolución del sector en los últimos años en Cataluña elaborada por C. Sendra permite afirmar que la tendencia también es de un marcado crecimiento<sup>3</sup>.

Analizada la etapa de extracción de recursos de la corteza terrestre, la cuestión se centra en los costes ambientales derivados del transporte, que interviene en dos momentos básicos del proceso de construcción: un primer movimiento, que es el que efectúan las materias primas desde su lugar de extracción hasta el de la fabricación de los productos y un segundo movimiento, representado por el trayecto que realizan estos últimos desde la fábrica hasta el



Minas de Río Tinto, Huelva.



Línea de alimentación de arcilla (caolita) proveniente de importación en una fábrica de gres porcelánico en Castellón.

sitio donde se encuentra la obra a construir. Entre ambos pueden sumar cientos y a veces miles de kilómetros, como veremos en los ejemplos que se comentan seguidamente.

De acuerdo con datos recogidos en esta investigación en entrevistas realizadas en el sector industrial es habitual que ciertos materiales, a pesar disponerse en calidad y cantidad suficiente en el entorno local español, sean importados desde sitios tales como China, Ucrania, o Turquía, por citar sólo algunos de sus posibles orígenes, llegando al extremo de causar su transporte un consumo energético y una contaminación asociada aún mayores que la necesaria para la fabricación de los productos transportados. Casi en cualquier feria de construcción española es posible encontrar, por ejemplo, cerámica China o piedra natural Turca, dos materiales de uso masivo en la construcción local en los que, además, España destaca como uno de los principales productores mundiales. Es decir, no se trata de una oferta complementaria a la producción local, sino de una superposición sobre productos ya disponibles. En la obras de construcción se verifica que, casi siempre debido a un precio menor de compra (que naturalmente no refleja los costes ambientales), tales materiales han ido ganando una cuota de mercado e integran la canasta habitual de productos de edificación.

Asimismo, en visitas realizadas a la industria de la cerámica plana española, concentrada casi en un 90% en la provincia de Castellón, se ha podido ver que una buena parte de las arcillas y otros minerales utilizados como materia prima de fabricación del gres porcelánico provienen de Ucrania, realizando un trayecto en camión de alrededor de 3.000 km. No obstante, los técnicos consultados señalaban que muchas de estas materias primas pueden obtenerse en calidad y cantidad suficiente en la vecina provincia de Teruel, en yacimientos ubicados a sólo 80 km de ciudades como Villareal, Onda o Burriana, donde se localizan muchas de las fábricas visitadas. La razón en este caso no parece ser sólo económica, ya que las materias primas con origen en Ucrania dan lugar a la elaboración de pasta para gres porcelánico de coloración blanca y a partir de las que provienen de Teruel, en cambio, se obtendría pasta roja. A partir de aquí las opiniones se dividen, siendo la de los técnicos consultados que no hay diferencias apreciables entre la pasta roja, que era hasta no hace mucho tiempo el material tradicional de fabricación en España, y la pasta blanca, tradicional en los productos italianos, respecto de la calidad final de la baldosa fabricada. Muchos catálogos de cerámica italiana, por el contrario, señalan mayores capacidades de resistencia a la abrasión, al hielo o a la rotura en las piezas fabricadas a partir de pasta blanca.

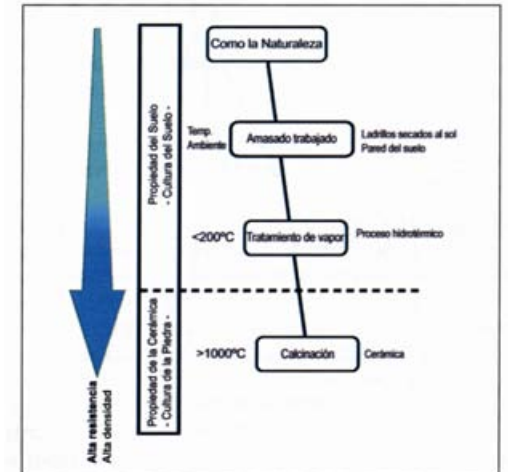
Es probable que alguna de las dos opiniones, muy discutidas en las publicaciones técnicas del sector, se acerque más a una verdad definitiva, aunque quizás debido a la presión del marketing y a la búsqueda de una expansión para sus mercados, las empresas españolas se

hayan visto obligadas a cambiar de materia prima en pos del criterio del producto italiano, implicando esto la procedencia ucraniana de parte de sus materias primas. No obstante, y desde el punto de vista del análisis que se viene desarrollando en este trabajo, las pequeñas diferencias de características técnicas que pudiera haber entre dos materias primas no es, ni mucho menos, una cuestión central.

Sí parece fundamental, en cambio, preguntarse si la cerámica que se está produciendo es la que se necesita, dado que las altas prestaciones del gres porcelánico podrían ser excesivas para las demandas del uso a las que habitualmente es expuesta o bien para al tiempo real en que permanecerá en uso. Muchos de los pavimentos y los revestimientos interiores realizados con gres porcelánico no necesitan de un producto de características técnicas de tan altas prestaciones, ya sea porque el uso no es ni intensivo ni agresivo o porque debido a los cambios de preferencia estética de los usuarios respecto de los acabados suelen ser reemplazados mucho antes de agotar su durabilidad. A partir de ello, la cantidad de energía necesaria para producir un material como el gres porcelánico, en base a minerales que deben ser portados desde miles de kilómetros puede ser puesta en duda, así como también la cantidad de energía necesaria para cocer el material a 1200°C o más, empleada para llegar al grado de calcinación que este tipo de cerámica exige<sup>4</sup>.

El problema del transporte de las materias primas y los materiales como la cerámica, que consume recursos no renovables y genera emisiones contaminantes, resulta difícil de cuantificar, dada la gran dispersión de origen de los productos disponibles. Algunas bases de datos de análisis de ciclo de vida permiten conocer la magnitud de este impacto, por ejemplo, en el caso de la madera, seleccionando entre opciones de procedencia europea o de otros continentes, que puede llegar a doblar o triplicar la energía incorporada en un productos que en primera instancia se sitúan en valores parecidos, con una generación de residuos contaminantes de proporciones parecidas.

Un ejemplo ilustrativo sobre la incidencia del transporte en el impacto ambiental de los materiales puede verse en el caso de la piedra natural en España y sin salir sus límites. En el valle de la Cerdaña, situado entre las provincias de Gerona y Lérida, frecuentemente las cubiertas deben construirse en piedra pizarra debido a exigencias normativas que buscan conservar el carácter histórico de la arquitectura de la zona y a dar oportunidades de trabajo a empresas y proveedores locales. Debido a que las canteras de la comarca no alcanzan a abastecer la fuerte demanda de los años recientes, la mayor parte de la pizarra proviene de Galicia. Contando que para trasladar la piedra se debe realizar un viaje de 1000 km en camión, ello implica multiplicar por cinco la energía incorporada en el material (extracción y mecanización de la piedra)<sup>5</sup>.



La cerámica de la tierra según Emile Ishida, de Inax Corporation Japan. Recuperación de técnicas tradicionales para obtener productos menos intensivos en energía y ajustados a las calidades efectivas que el uso les exigirá. Publicado en las actas del congreso Qualicer de 2004.

EN VOLUMEN, MATERIALES + EMBALAJES

Material	cim/estr	cerram.	acabad.	total	%
hormigón, fábrica	0,0056	0,0483	0,0210	0,0749	59,9
madera	0,0008	0,0017	0,0037	0,0062	4,9
plástico	0,0047	0,0023	0,0068	0,0138	11,0
papel y cartón	0,0008	0,0040	0,0079	0,0127	10,1
metales	0,0033	0,0006	0,0021	0,0060	4,8
otros		0,0006	0,0005	0,0011	0,9
yeso			0,0105	0,0105	8,4
Totales	0,0150	0,0575	0,0525	0,1250	100

EN PESO, MATERIALES SOBRANTES

Material	tm/m <sup>2</sup>	total
obra de fábrica	0,0150	1,70%
hormigón	0,0320	3,64% Materiales sobrantes
pétreos	0,0020	0,23% de obra 57%
otros	0,0010	0,11%
madera	0,0285	3,24%
plástico	0,0061	0,69% Residuos de
papel y cartón	0,0030	0,35% embalaje 43%
metales	0,0004	0,04%
Totales	0,0880	0,100

Residuos de obra nueva para 1m<sup>2</sup>.

Fichas técnicas sobre residuos. Oficina Consultora Técnica del Colegio de Arquitectos de Cataluña

La extensión del transporte horizontal es ayudada por unos costes económicos de traslado que no incluyen casi ninguna consideración ambiental (a excepción de los derivados del cumplimiento del Protocolo de Kyoto que en ciertos casos puntuales comenzarán a aplicarse pronto en la industria automotriz), así como por la diferencias de los valores de materias primas y mano de obra entre las economías de distintos países. De tal forma la procedencia de los materiales no afecta significativamente su precio final y, mientras estas condiciones continúen, tanto la energía como los residuos derivados resultan muy difíciles de cuantificar y más aún de controlar.

Si las etapas de extracción de materias primas y de fabricación de productos con destino en el sector de la construcción presentan ciclos abiertos que generan una gran cantidad de residuos, las dos siguientes fases, la construcción de edificios y su posterior demolición, así como también ocurre con su uso y mantenimiento, no escapan a este problema.

En efecto, de las algo más de dos toneladas de materiales que es necesario poner en obra para construir un metro cuadrado habitable de vivienda con los estándares constructivos actuales [Mañá et al. 2003] hasta un 6,3% (125 kg/m<sup>2</sup>) se convierte en residuos sólo durante el proceso de edificación. Si se toma, por ejemplo, la planilla electrónica para la justificación del cumplimiento de los decretos de residuos de la construcción de la Generalitat de Cataluña<sup>6</sup> elaborada por la Oficina Consultora Técnica del Colegio de Arquitectos de Cataluña, OCT-COAC, en base a datos estadísticos [ITeC 2000], podrá verse que por cada metro cuadrado de nueva construcción estándar se estima una producción de residuos de 0,088 t de materiales, que equivalen a un volumen de 0,125 m<sup>3</sup>. Desglosados por fase de obra un 17% se asigna a las cimentaciones, un 46% a los cerramientos y un 37% a los acabados. Cuando lo que se analiza es la proporción de residuos que corresponden a embalajes y protecciones para el transporte, por una parte, y a la manipulación de los materiales con respecto a los sobrantes de ejecución de obra, por la otra, la relación resulta sorprendente: un 43% y un 57% respectivamente. Casi la mitad del volumen de los residuos de obra nueva son embalajes.

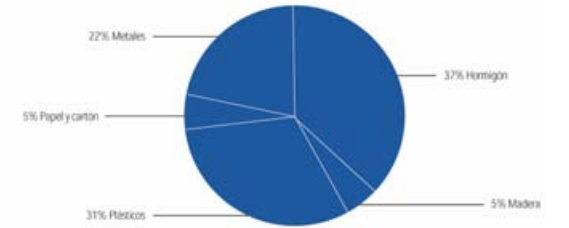
Estos números son de por sí significativos y si se tiene en cuenta que existen sistemas constructivos prefabricados ligeros que pueden llegar a satisfacer las demandas de la habitabilidad en la vivienda con un consumo de materiales puestos en obra de entre 100 y 200 kg/m<sup>2</sup> lo son aún más<sup>7</sup>. Dicho de otra manera y descontando de momento la repercusión de las mochilas ecológicas de los sistemas convencionales y prefabricados respectivamente así como la naturaleza de los materiales, la cantidad de masa de materiales convertida en residuos durante el proceso de construcción de un edificio convencional se acerca bastante a la totalidad del peso de los materiales empleados en ciertos edificios prefabricados.

Aún más, estudios de seguimiento llevados cabo mediante el conteo directo de producción de residuos en un número determinado obras representativas del universo de la edificación de vivienda en Cataluña<sup>8</sup> [ITeC 2000] presentan una repercusión de peso aún mayores que las ya comentadas. Según datos del estudio, la construcción de un metro cuadrado de edificación, con los sistemas constructivos que predominan actualmente en la edificación convencional de viviendas -estructura de hormigón armado y cerramientos cerámicos revocados, de ejecución in situ- genera 0,12m<sup>3</sup> de residuos diversos (aquí los valores casi se mantienen), que suponen 0,125 t. En el caso anterior, las planillas del Colegio de Arquitectos de Cataluña, eran 0,088 t por lo que se registra un incremento del 30%. La distribución de residuos generados según los capítulos de obra resulta del 12% para las estructuras, del 46% para los cerramientos y del 42% para los acabados.

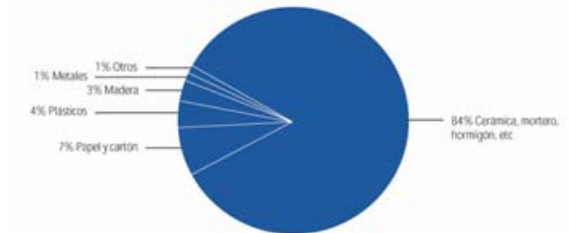
Durante la fase de uso de los edificios se registran nuevos consumos de materiales de mantenimiento y rehabilitación que resultan muy difíciles de cuantificar, ya que en buena medida dependen de los sistemas constructivos y el plan de gestión de mantenimiento que siga el edificio a lo largo de su vida útil. En términos promedio y respecto del parámetro de energía de extracción y fabricación de materiales pueden llegar a suponer hasta un 25% de la fase de construcción [SaAS et al. 2007].

No obstante, la repercusión de impacto ambiental mayor en esta etapa se centra en el consumo de energía empleada en el funcionamiento de los edificios -en las funciones de climatización, agua caliente sanitaria, iluminación, cocina y electrodomésticos-. Ello tiene una repercusión directa en el consumo de materias primas de origen fósil como diferentes tipos de carbón, derivados del petróleo y gas natural, los combustibles más utilizados en la generación de la energía eléctrica y también, los dos últimos, empleados en forma directa en el calentamiento de agua, la cocción de alimentos y la calefacción. De acuerdo con las fuentes consultadas una vivienda estándar ubicada en Cataluña, con 90 m<sup>2</sup> de superficie, ocupada por cuatro personas, con uso estándar y en base a datos oficiales de consumo<sup>9</sup> se sitúa en unos 11.837 kWh al año. La generación de residuos, contando de momento sólo las emisiones de CO<sub>2</sub> y dejando de lado otros desechos tales como los óxidos de azufre y nitrógeno, el monóxido de carbono, las partículas volátiles y los compuestos orgánicos, alcanza los 3.059 KgCO<sub>2</sub>, también anuales [Mañá et al. 2003]. La repercusión por metro cuadrado se sitúa en unos 131,5 kWh/año y 34 KgCO<sub>2</sub>/año, respectivamente, sin que se registre ningún tipo de reciclaje de residuos.

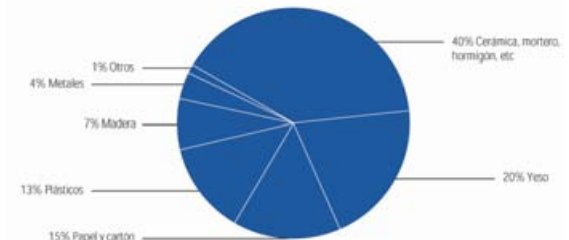
La tendencia del consumo de energía del sector residencia en España, según puede verse en diversos documentos editados por el IDAE, Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía de España, es creciente y, si bien todos los planes de eficiencia energética de la



Fase: cimentación y estructuras (encofrados metálicos)



Fase: cerramientos



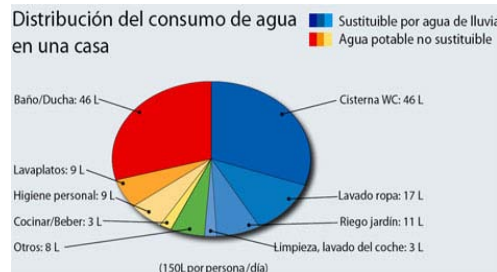
Fase: acabados (convencionales)

Valores de referencia en volumen para las tipologías de residuos producidos.

Equipo técnico del ITeC, *Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos en el sector de la construcción*, Programa Life, Barcelona, 2000

Repartición por usos	kg CO <sub>2</sub> / vivienda/año	%
Calefacción	992,9	32
Agua caliente	633,1	21
Cocina y horno	211	7
Aparatos domésticos	942,5	31
Iluminación	279,5	9
<b>TOTAL</b>	<b>3059</b>	<b>100</b>

Emisiones promedio de CO<sub>2</sub> debidas al uso de una vivienda estándar de 90m<sub>2</sub> ocupada por cuatro personas.  
En base a datos del Institut Català de l'Energia, 2000.



Distribución del consumo de agua doméstico según usos y valores estadísticos.

administración central y autonómicas se proponen su reducción, no parece registrarse hasta ahora ninguna inflexión en su curva de ascenso<sup>10</sup>.

Otro tanto ocurre con el agua. Actualmente y según datos de 2005 del Instituto de Estadística de España, el consumo promedio en el sector residencial se sitúa en 166 litros por persona y día, factor que varía desde 195 en Andalucía hasta 139 en las Islas Baleares. En Cataluña, según datos de la Agència Catalana de l'Aigua de 2007 el promedio es similar al de España y la variación va desde 90 litros por persona en algunos municipios de la primera corona metropolitana de Barcelona<sup>11</sup> hasta 450 en municipios como Cabriels, donde predomina un modelo de urbanización de viviendas unifamiliares con jardín y piscina.

De acuerdo con algunos estudios [Mañá et al. 2003] de tales consumos, sólo un 5% (unos 8,6 litros en promedio) tiene un uso que exige la calidad potable. El resto se utiliza básicamente como vehículo para alejar diferentes tipos de residuos de la vivienda. Si bien no se dispone de una información exhaustiva, diversas encuestas llevadas a cabo por la Generalitat de Cataluña señalan que casi no existe reciclaje de aguas domésticas in situ, con lo que la generación de residuos –las aguas contaminadas- corresponde al 100% del agua potable ingresada, es decir a 172 litros por día y persona en promedio.

La etapa siguiente en el ciclo de vida de los edificios es el derribo, que da lugar al aprovechamiento o a la disposición final de los residuos. Volviendo a las dos fuentes de información utilizadas en la consideración de la etapa de construcción, las hojas técnicas del Colegio de Arquitectos de Cataluña y diversos estudios llevados a cabo por el Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, ITeC, puede estimarse qué cantidad de residuos se producen cuando se decide poner fin a un edificio [ITeC 2000].

Las hojas técnicas del colegio profesional otorgan, para el derribo de una construcción estándar de vivienda en edificios con estructura de hormigón armado, una generación de 1,14t/m<sup>2</sup> que equivalen a un volumen de 0,96m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. De ellos un 62% corresponde a hormigón, un 30% a obra de fábrica, un 4,5% a pétreos y el resto, un 3,5% se distribuye entre metales, madera, vidrio, materiales sintéticos, etc.

Si se toma como referencia el estudio del ITeC, cuyas cifras han sido contrastadas y verificadas con las que disponen las empresas de demolición más importantes de acuerdo con sus propias estadísticas, la cantidad de residuos de derribo se sitúa en 0,97m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, para el mismo tipo de edificio. La repartición proporcional otorga a los hormigones un 54,2%, a la obra de fábrica un 39,4% y a los pétreos, maderas, metales, plásticos, vidrios y otros materiales el 16,4% restante. Este estudio no ofrece información respecto del peso asociado al cálculo volumétrico de los residuos.



La pregunta acerca de qué porcentaje de estos residuos de derribo son reciclados lleva a consultar el documento de revisión del PROGROC 2004-2006, Programa de Gestión de Residuos de la Construcción de la Agència de Residus de la Generalitat de Catalunya. En él aparece una evaluación de la gestión de este tipo de residuos llevada a cabo en el período 97-03 que puede ser de utilidad para conocer su evolución. En efecto, en el año 2003, que es el último contabilizado en este informe y en el que ha habido un mayor control gracias al crecimiento de la red de gestión y los alcances de la aplicación de los decretos autonómicos ya mencionados, se registran 6.154.451 t de residuos con destino en vertederos controlados, de las que 150.832 t han sido valorizadas o recicladas. Lo anterior supone que la tasa de reciclaje en la etapa final de la gestión de los residuos, una vez han abandonado la obra y sin tener en cuenta ninguna estrategia de reciclaje en el sitio de derribo, alcanza un 2,45%.

Más recientemente este valor ha trepado al 7% y en la actualidad<sup>12</sup> se sitúa en un 10%. Y, si se suman los derribos en que se llevan a cabo operaciones de reciclaje o reutilización in situ [Mañà et al. 2000] que escapan de la contabilización que se realiza en los vertederos y plantas de reciclaje se estaría alcanzando hasta un 20-25% de reciclado en los residuos generados<sup>13</sup>.

Si se considera un promedio de 2,3 t/m<sup>2</sup> de materiales diversos invertidos en la edificación estándar de vivienda<sup>14</sup>, y se le restan los residuos de construcción (0,125 t/m<sup>2</sup> según el estudio del ITeC mencionado) así como los de derribo (1,14 t/m<sup>2</sup> según los documentos de la OCT-COAC citados) se aprecia una diferencia de alrededor de 1,035 t/m<sup>2</sup>. Esta cifra estaría representando el incremento registrado en la cantidad de materiales utilizados, entre los modelos constructivos actuales y los de los edificios que predominan en los derribos cuya edad se sitúa entre 60 y 100 años. Las diferencias constructivas más importantes que han sido detectadas entre ambas generaciones de edificios y que pueden explicar el mayor peso por unidad de superficie de los actuales pueden sintetizarse fundamentalmente en la utilización de una estructura portante más robusta<sup>15</sup>, de hormigón armado macizo o nervado, y en la aparición de una o varias plantas subterráneas conformadas por muros de contención o muros pantalla de gran espesor y ocasionalmente losas de subpresión de gran canto.

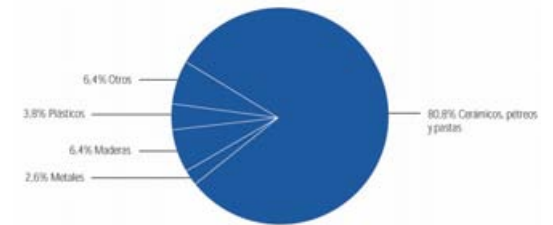
La brecha registrada en el consumo de materiales entre los edificios construidos hace 60-100 años y en la actualidad muestra una tendencia creciente en el consumo de recursos que recuerda a la del RTM (requerimiento total de materiales) de la sociedad española para un período muy similar, comentadas al comienzo de este apartado.

El aumento del consumo de materiales en el sector de la edificación, analizado en los párrafos precedentes en base a una unidad constante de superficie representada por un metro cuadrado de edificación estándar, viene también a contradecir la ya comentada

Material	Peso t	% s/total	Vol. m <sup>3</sup>	% s/total
obra de fábrica	0,338	29,65	0,383	39,84
hormigón	0,711	62,37	0,525	54,72
pétreos	0,051	4,47	0,035	3,61
metales	0,016	1,40	0,004	0,38
madera	0,002	0,15	0,005	0,49
vidrio	0,002	0,14	0,001	0,10
plástico	0,001	0,07	0,007	0,73
betún	0,009	0,79	0,001	0,13
otros	0,009	0,79	0,002	0,16
Totals	1,14		0,96	

Residuos de obra derribo para 1m<sup>2</sup>.

Fichas técnicas sobre residuos. Oficina Consultora Técnica del Colegio de Arquitectos de Cataluña



Composición de los residuos que llegan a vertedero, procedentes de obras de construcción y derribo. Equipo técnico del ITeC, *Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos en el sector de la construcción*, Programa Life, Barcelona, 2000

**Global resources used in buildings**

Resource	Building use (%)
Energy	50
Water	50
Materials (by bulk)	50
Agricultural land loss	80
Coral reef destruction	50 (indirect)

**Global pollution**

Pollution	Building related (%)
Air quality (cities)	24
Global warming gases	50
Drinking water pollution	40
Landfill waste	20
CFCs/HCFCs	50

Principales impactos ambientales del sector de la edificación: Recursos empleados (arriba) y Residuos emitidos (abajo).  
 Brian Edwards, *Rough guide sustainability*, RIBA Enterprises, Londres, 2005

tendencia hacia la desmaterialización de la economía que estaría caracterizando la sociedad actual post industrial, de los servicios, o de la información. Por el contrario, los edificios se construyen actualmente empleando una mayor cantidad de recursos materiales que hace 60 o 100 años y dado que el sistema de producción de la construcción basado en el ciclo abierto no ha sido modificado, también implican una generación de residuos mayor. De momento nada permite pensar que el crecimiento en el consumo de recursos y en la generación de residuos haya encontrado un límite o se haya estabilizado y, por el contrario, hasta sería posible que la tendencia creciente en ambos casos continúe.

De acuerdo con diversas fuentes y autores<sup>16</sup> el impacto ambiental de la edificación respecto del producido por el conjunto de la sociedad, que como se ha visto se encuentra muy relacionado a la condición abierta de sus ciclos materiales, se puede sintetizar en las afectaciones de recursos y la emisión de residuos siguientes:

- Materiales extraídos de la corteza terrestre, hasta el 25%
- Energía, principalmente no renovable, hasta el 30%
- Emisiones de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>), hasta el 45%
- Agua, principalmente potable, hasta el 43%
- Residuos de construcción, hasta el 45%

### 3.2 Las posibilidades del ciclo cerrado en la arquitectura

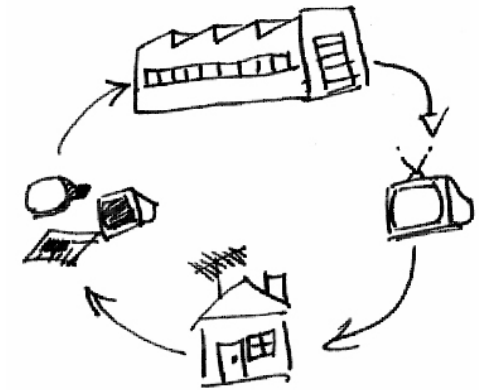
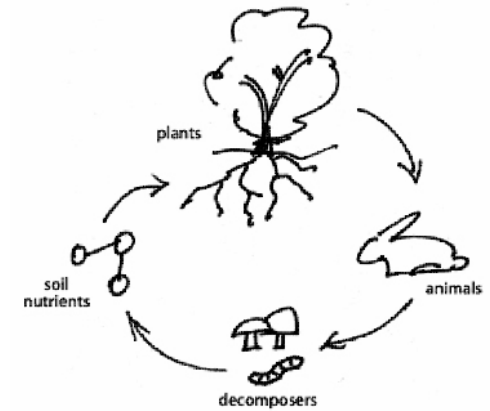
La larga cadena de residuos que se extiende a lo largo del sistema de producción de la arquitectura, que abarca desde la extracción de materias primas para la fabricación de los materiales hasta la deposición del producto del derribo de los edificios, está formada por un gran número de ciclos abiertos que resulta muy difícil controlar [Cuchi 2005]. La gran dispersión geográfica de la industria de la construcción, la gran cantidad de agentes que en ella intervienen tanto directa como indirectamente y un número muy grande de materiales, componentes y sistemas constructivos que coexisten en el mercado y forman parte de las obras dificultan las acciones que permitirían cerrar tales ciclos mediante el reciclaje, haciendo que la gran mayoría de los materiales –con la excepción de unos pocos que puedan reutilizarse o reciclarse- se conviertan en residuos.

Desde hace décadas, algunas administraciones e industrias desarrollan con poco éxito acciones de fomento para la coordinación modular y la prefabricación<sup>17</sup>, buscando que en la fabricación de los materiales se optimice el uso de las materias primas y que el proceso de construcción reduzca la generación de residuos.

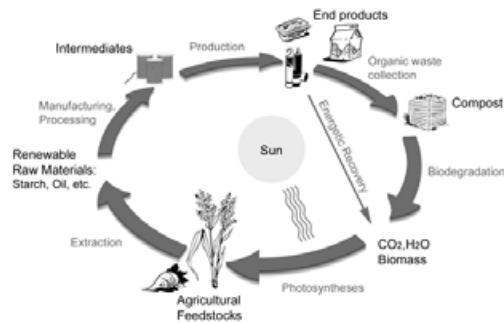
También han sido numerosos los intentos, sin que logran extenderse en el mercado, por estandarizar componentes constructivos y aplicar una modulación al proyecto tales que faciliten la combinación y el intercambio de las piezas que componen los edificios, tanto en las operaciones de construcción como de mantenimiento, rehabilitación, ampliación o reforma, procurando de esta manera reducir el consumo de materiales y la emisión de residuos a lo largo del ciclo de vida de las construcciones.

Otro tanto ha ocurrido con la búsqueda de productos con mayor durabilidad y bajo mantenimiento, bajo la premisa de aumentar el rendimiento de los materiales con que se construye un edificio y reducir la incorporación de otros a lo largo de su uso.

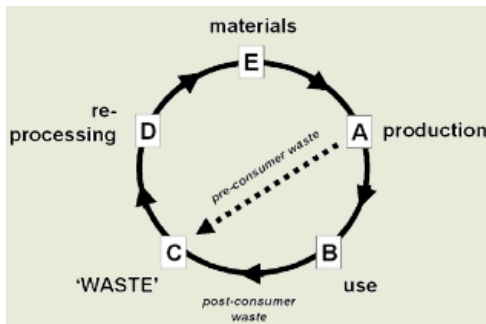
A la complejidad de la organización del sector de la construcción y a la dificultad para llevar adelante acciones que sean capaces de controlar el consumo de materias primas y la generación de residuos se le suma otro problema central, que es la dispersión de la propiedad de los bienes y, por tanto, de la responsabilidad sobre la gestión de los recursos puestos en juego. Desde la extracción de los minerales hasta el vertido de los derribos, un gran número de personas físicas y jurídicas ostentan el dominio del bien, que es traspasado sucesivamente bajo formas de organización físicas que abarcan desde los materiales base hasta los edificios completos, sin que en ninguna oportunidad la transacción incluya la responsabilidad de la gestión de los recursos empleados una vez han perdido utilidad económica y, por tanto, su valor monetario en el mercado. De tal manera, materiales



El cierre de los ciclos materiales en los productos biosféricos y técnicos.  
McDonough Braungart Desing Chemistry



El cierre de los ciclos materiales en la biosfera se produce mediante la conversión de los materiales en nutrientes. No hay residuos



El cierre de los ciclos materiales en el sistema técnico se produce mediante el reciclaje de los residuos en nuevas materias primas

indirectamente relacionados con la construcción, como las rocas que se encuentran sobre un determinado mineral a ser extraído del subsuelo o de los envoltorios de un palet de baldosas cerámicas, o bien materiales directamente relacionados, como el mismo mineral ya purificado o las baldosas cerámicas de ese embalaje, una vez han perdido su utilidad se transforman irremediablemente en residuos de los que hay que deshacerse, y cuanto antes mejor. La larga cadena de trasposos de propiedad y responsabilidad sobre los materiales tiene mucho que ver con las dificultades que se presentan a la hora de intentar cerrar los ciclos abiertos.

Llegado el desarrollo del tema a este punto puede decirse que para cerrar el ciclo de los materiales en la arquitectura existen condicionantes de diversas clases: técnicos, de mercado, de gestión, de organización, culturales, económicos, relativos a la propiedad y a la responsabilidad sobre los bienes, etc. De la resolución de cada uno de ellos depende la posibilidad de superar el modelo productivo actual [McDonough, Branguart 2005].

Podría preguntarse si, para comenzar a cerrar los ciclos materiales en la arquitectura, el camino más adecuado pasa por la creación de un nuevo sistema -a partir de cero- o bien por detectar qué sectores, empresas, técnicas, formas de gestión, sistemas constructivos, etc., presentan las mejores condiciones de partida y, a partir de ellos, intentar formular un nuevo modelo de producción para la edificación. Probablemente ambos caminos son válidos, aunque esta investigación se centra en el segundo debido a que se propone demostrar la viabilidad técnica del cierre de los ciclos materiales, aunque también su factibilidad económica, y para ello será muy útil recurrir a ejemplos y casos prácticos existentes el mercado. Los casos que se citarán en el desarrollo de esta tesis y que se encuentran en incipiente fase de explotación comercial son considerados de gran interés, puesto que aún compitiendo dentro de un sistema económico que ignora los costes ambientales -los costes de reposición del stock del capital natural- logran hacer económicamente viable el planteamiento de la ecología industrial, el modo de producir que intenta aprovechar el ejemplo de los metabolismos de la biosfera.

No todo lo que se hace en el mundo de la edificación se identifica con los problemas descritos hasta ahora, o, dicho de otro modo, se ha detectado que existen formas alternativas de producción de arquitectura que por sus características se aproximan más a las condiciones de partida para el ciclo cerrado de los materiales.

Si, como se ha señalado, una de las condiciones clave es el control de los flujos materiales a lo largo del ciclo de vida de la edificación, no resultará igual trabajar con un gran número de materiales que ajustarse a sólo a aquellos que presenten el mínimo impacto ambiental, las mejores condiciones para el reciclaje, o la máxima vida útil. Tampoco dará lo mismo utilizar unos sistemas constructivos que impliquen tener que demoler indiscriminadamente el edificio,

mezclando todos los materiales e impidiendo su recuperación, en lugar de otros que permitan una desconstrucción ordenada y una separación selectiva de componentes y materiales que facilite su reutilización, rehabilitación o reciclaje. De forma similar, si la propiedad de los bienes es traspasada repetidamente y sin que se asegure la responsabilidad sobre la gestión de los materiales el proceso presenta más complicaciones que si, por ejemplo, sólo hubiera un responsable durante todas sus etapas y éste asumiera la gestión durante todo el ciclo de vida.

En forma resumida, las características anteriormente enunciadas podrían resumirse en unas directrices básicas, que orientarían la búsqueda de alternativas, modelos y sistemas de gestión. Estas premisas, resumidas en las cuatro fundamentales, serían:

- a) Reducir el número de materiales que conforman el edificio, determinando que sean reciclados, que puedan reciclarse y que supongan un bajo impacto ambiental.
- b) Disminuir la cantidad de materia por unidad de servicio, incluyendo la consideración de la mochila ecológica.
- c) Asegurar que el sistema constructivo permita la sustitución de las partes, para hacerlo perfectible, y la desconstrucción total del edificio, para obtener materiales básicos y no mezclados.
- d) Establecer que los materiales nunca saldrán del ciclo técnico industrial, es decir que siempre serán gestionados como materias primas.

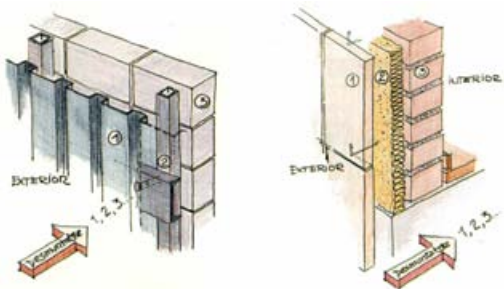
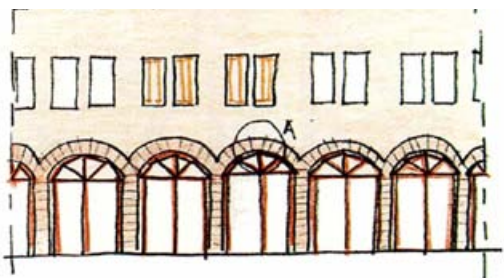
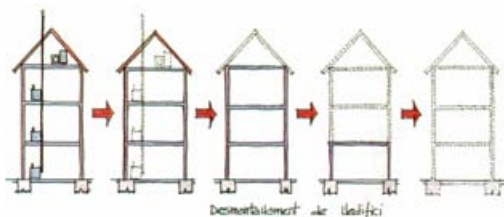
En cuanto a la primera premisa -utilizar menos materiales- debe decirse que de la gran cantidad de sistemas constructivos que existen, aquellos que mejores condiciones de partida presentan son los basados en materiales naturales y sistemas tradicionales (por ejemplo la arquitectura de la tierra o de la piedra, que utiliza apenas estos recursos más la madera y las fibras vegetales) y los basados en materiales industriales y sistemas industrializados (por ejemplo la arquitectura del hormigón armado prefabricado, que resuelve una buena parte del edificio, cimentaciones, estructura y cerramientos fijos con acero y hormigón).

La segunda premisa -disminuir la cantidad de materia involucrada- no resulta tan sencilla de identificar en los distintos sistemas constructivos, debido a que la contabilización de la intensidad material por unidad de servicio, o MIPS, es un valor no tenido en cuenta en la visión convencional del análisis constructivo. Como se ha visto anteriormente en este mismo capítulo, la cantidad de materia directamente empleada en obra para resolver las demandas técnicas de la habitabilidad ha ido creciendo en las últimas décadas, de modo que el avance técnico alcanzado en el mismo período no guarda relación alguna con la reducción de la cantidad de materia por unidad funcional.



El cierre de los materiales puede realizarse en el sistema biosférico o en el sistema técnico. Cada material puede tener su propia estrategia de cierre de ciclos.

A. Cuchi, F. López, A. Sagrera y G. Wadel, *Ecomateriais. Estratégias para a melhoria ambiental da construção*. Exponor, Feira Internacional do Porto, Portugal, 2005



Recuperación de materiales mediante técnicas de desconstrucción y separación selectiva. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Manual de desconstrucció, Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient, Barcelona, 1995.

Un aumento en los materiales empleados en obra, sin que cambie el sistema constructivo, implica directamente una mochila ecológica mayor y en este sentido los tal como ha sido visto en el apartado anterior edificios construidos han ido involucionando, más que evolucionando. La cuestión se complica aun más si se introducen cambios en el sistema constructivo -por ejemplo si consideráramos sistemas industrializados- debido a que el MIPS o intensidad material por unidad de servicio de los materiales cambia drásticamente entre uno y otro, con tendencia a la intensificación cuanta más aplicación de procesos industriales tienen los materiales que lo componen.

La conclusión preliminar que puede obtenerse de esta mirada a los sistemas constructivos bajo la segunda premisa es que no puede establecerse una relación directa entre el peso de los materiales de un edificio y su requerimiento total de materiales (RTM) contado a partir de la extracción de los recursos primarios. Las diferencias entre un sistema pesado y uno ligero, contadas según los materiales puestos en obra, puede invertirse cuando de incorpora el MIPS de los distintos materiales a la contabilidad. A partir de allí la mejor opción será aquella que menor cantidad de materiales emplee, lo que debe verificarse calculando las mochilas ecológicas o MIPS involucradas. La predeterminación de los sistemas constructivos que mejores condiciones de partidas presentan queda, de momento, pendiente para ser retomada más adelante.

Se llega así a la consideración de la tercera premisa -asegurar que las partes sean sustituibles y que pueda hacerse una desconstrucción total del edificio-, donde los modelos constructivos existentes muestran ventajas o desventajas de un modo más evidente que en la anterior condición. En un edificio construido con un sistema convencional la junta húmeda y la adhesión entre sus partes implica que cualquier sustitución de materiales conlleva una emisión de residuos, condición no admitida en esta búsqueda. Otro tanto ocurre en la etapa de derribo, ya que las mismas condiciones hacen imposible la separación selectiva de todos los materiales involucrados, impidiendo convertirlos nuevamente en materias primas.

El caso de la construcción industrializada supone otro análisis, puesto que mientras que determinados sistemas utilizan juntas húmedas y productos formados por varios materiales adheridos entre sí, otros se basan en la unión seca y reversible, empleando sólo componentes formados por materiales no adheridos entre ellos. En el primer caso, que podría ejemplificarse en los sistemas de hormigón prefabricados que se montan en obra recurriendo a operaciones de hormigonado in situ, no se cumple ninguna de las dos condiciones de la premisa, ya que la sustitución de las partes y la desconstrucción implican operaciones de destrucción que generan residuos de materiales diversos, mezclados. En el segundo caso, que podría ejemplificarse en los sistemas metálicos de juntas clipadas o atornilladas (es decir

reversibles y sin implicar operaciones de destrucción ni de generación de residuos) que utilicen componentes monomateriales o multimateriales pero no adheridos, se cumplen ambas condiciones: las partes pueden sustituirse y la desconstrucción con separación selectiva de materiales no presenta inconvenientes. La preferencia, bajo la mirada de la tercera premisa, está dada por los sistemas constructivos englobados en la última descripción: aquellos que tienen juntas reversibles.

La revisión bajo la cuarta premisa -verificar que los materiales nunca saldrán del ciclo técnico industrial para no perder su condición de recursos- hace que el análisis gire nuevamente hacia la consideración de la propiedad y la responsabilidad de los bienes involucrados en la vida útil de los edificios. En efecto, la naturaleza del sistema constructivo parece no guardar una relación directa con la responsabilidad de la gestión de los materiales durante los sucesivos traspasos de propiedad y cambios de organización que éstos experimentan a lo largo de su ciclo de vida. Desde los sistemas constructivos de la arquitectura tradicional basados en los materiales naturales, pasando por los convencionales que emplean la estructura de hormigón in situ y los cerramientos cerámicos, hasta los sistemas prefabricados pesados y ligeros, en todos ellos se repite el inconveniente de la generación de residuos en las etapas de extracción de materias primas, fabricación, uso y derribo. Podrá cambiar la cantidad de materia desperdiciada, su composición, o el grado de contaminación que ella provoca, pero el problema de los ciclos abiertos continúa en todos y cada uno de ellos.

Si el problema a resolver para cumplir con la cuarta premisa no guarda una relación directa con el sistema constructivo, sí la tiene con la propiedad de los materiales. ¿Qué pasaría si ellos pertenecieran siempre a un único agente que los gestionara bajo la forma de un ciclo continuo, volviendo a introducir en el sistema de producción los materiales recuperados al final de la vida útil del edificio? Probablemente comenzaría a desaparecer el concepto de residuo, comenzándose a cerrar el ciclo de los materiales.

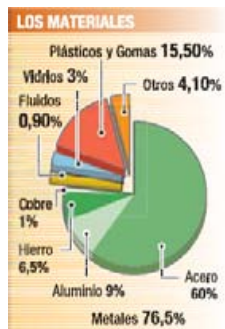
Asegurar la cadena de custodia en la responsabilidad de los materiales involucrados es una de las claves en el proceso de gestión de los recursos, y ello encuentra un inconveniente muy difícil de salvar en el actual sistema de traspasos de la propiedad a lo largo de su ciclo de vida, porque en cada uno de ellos existe un desentendimiento que lleva a convertir una buena parte de los recursos en residuos. Se podría pensar que lo que hace falta en este caso es la creación de un sistema de certificación que asegure la cadena de custodia, como ocurre en el caso de la madera con los sellos FSC y PEFC<sup>18</sup>, o bien una agencia de la administración pública destinada a crear, desarrollar y controlar programas de gestión de los recursos con miras a fomentar el cierre de los ciclos actualmente abiertos. La cuestión central



Recuperación de materiales mediante técnicas de desconstrucción selectiva.  
 Directory of Wood-Framed Building Deconstruction and Reused Building Materials Companies, 2005.



Madera con sello de certificación de la cadena de custodia de los recursos.  
PEFC Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes.



La normativa europea actual exige que el 85% de los materiales que constituyen un coche fabricado en la UE sea reciclable.

a resolver en ambos casos sería cómo lograr coordinar tantos agentes y tantos productos involucrados en las técnicas y procesos que intervienen en la construcción de los edificios, y ello además durante todas las etapas de su vida útil.

Otra manera de considerar el asunto sería pensando en la posibilidad de rediseñar el sistema comercial, de manera de ofrecer no ya la titularidad de un edificio sino el servicio que él presta, que podríamos sintetizar en una determinada habitabilidad definida en una superficie, unas prestaciones de confort, unos valores estéticos, etc. Tal como se alquilan viviendas, coches, equipos de vídeo, herramientas, etc., podrían existir materiales, componentes, unidades de habitación y hasta edificios cuyo uso por períodos cortos o largos de tiempo no implicaran la compra, es decir, uno de aquellos sucesivos traspasos de la propiedad y pérdida de la responsabilidad en la gestión de los recursos ya comentados. Si se alquilan en lugar de comprarse, siempre volverían a fábrica. Y si vuelven a la fábrica, siempre podrán reciclarse en el propio proceso o bien ser entregados a un reciclador.

Ha sido dicho también que si los productos y sus procesos de fabricación -ya sean un componente o una vivienda- fueran diseñados para ser reciclados, al cabo de su utilización podrían reinsertarse en el sistema como una nueva materia prima, desapareciendo el concepto de residuo. Si por un lado se asegurara esta condición y por la otra fuera posible que el material regresara siempre a la fábrica, gracias a que la propiedad y la responsabilidad sobre él han sido mantenidas más allá del tiempo en que ha estado en uso, ciertos ciclos abiertos del metabolismo industrial involucrado podrían comenzar a cerrarse.

Un sistema de comercialización que eluda la cadena de traspasos de la propiedad y sea capaz de mantener el control sobre los recursos materiales puestos en juego es una condición necesaria para el cumplimiento de la cuarta premisa. Las nuevas las formas de comercialización detectadas en el mercado, como el alquiler de partes o unidades de vivienda, pueden ser de gran ayuda.



### 3.3 La investigación a desarrollar

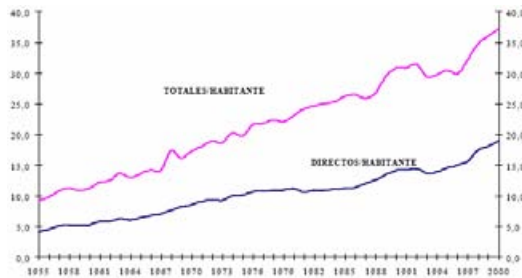
De la consideración conjunta de las tres primeras premisas desarrolladas en el punto anterior sobre los distintos sistemas constructivos (disminuir el número de materiales y que éstos sean reciclados; reducir la cantidad de materia por unidad de servicio incluida la mochila ecológica; y asegurar la sustitución de partes así como la desconstrucción total en materiales simples) se podría concluir en que tanto los sistemas constructivos tradicionales basados en los materiales bióticos renovables que mantienen sus condiciones naturales, como los sistemas constructivos prefabricados basados en los materiales reciclables que permiten su separación, presentan las mejores condiciones de partida para estudiar el cierre de los ciclos materiales.

En el primer caso -sistemas tradicionales- la propia ley de generación del sistema constructivo, basado en la disponibilidad natural y en la acumulación de conocimiento derivado de la experiencia, se ha encargado de reducir el número de materiales y optimizar los consumos de recursos a la menor expresión posible. La desconstrucción en este caso no es el proceso clave, al menos no entendido como la desagregación ordenada de las partes que tiene lugar en otros sistemas. Los materiales involucrados, siempre y cuando sean de origen biótico y no hayan sido alterados con tratamientos que impidan su degradación, cerrarán igualmente sus ciclos al final de la vida útil del edificio si se los somete a la descomposición natural, proceso que los devolverá en forma de nutrientes al medio, donde serán reprocesados por la naturaleza en la formación de nuevos materiales.

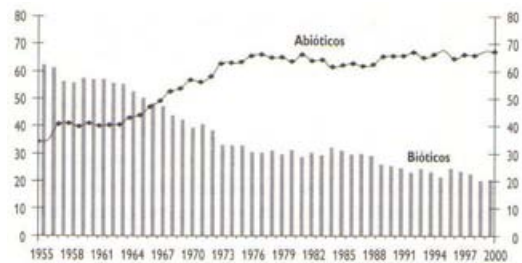
En el segundo caso -sistemas prefabricados de junta reversible- la disminución del número de materiales y la reducción de la materia total involucrada en algunos casos<sup>19</sup> se ven fomentadas por el interés de la industria de reducir los costes de las materias primas y del transporte mediante una menor cantidad de material involucrado en la fabricación, aunque como se ha apuntado unas páginas atrás queda pendiente la verificación de la mochila ecológica asociada. La posibilidad de intercambiar de las partes y desconstruir en materiales simples se asegura mediante una de las características propias del sistema, que es la junta reversible. A diferencia del caso anterior el cierre del ciclo de los materiales involucrados al finalizar la vida útil del edificio no se produce en forma espontánea mediante el retorno de los recursos al medio natural, ya que se trata de materiales cuya degradación es muy lenta y con frecuencia, contaminante. Se necesita, en este caso, un sistema de gestión técnica que sea capaz de retornarlos a las fábricas donde, imitando el modo en que lo hace la biosfera, un metabolismo industrial pueda devolverles la calidad de materias primas, reintroduciéndolos en el circuito de producción [Ayres 2002], [Graedel, Allenby 1995].



Dos sistemas constructivos que presentan características de interés para el estudio del cierre de los ciclos materiales: sistemas tradicionales basados en materiales naturales renovables (viviendas en Indonesia) y sistemas prefabricados basados en materiales técnicos reciclables (casa Dymaxion, B. Fuller).



Requerimiento de materiales total y directos en la economía española entre 1955 y 2000, t/habitante. Oscar Carpintero, Recursos naturales y crecimiento económico en España (1955-2000): de la "economía de la producción" a la "economía de la adquisición", paper, 2007



Relación porcentual entre recursos abióticos y bióticos en los flujos directos totales de la economía española entre 1955 y 2000. Oscar Carpintero, *El metabolismo de la economía española*, Fundación César Manrique, Lanzarote, España, 2005.

Bajo el análisis de la cuarta premisa (los materiales nunca deben salir del ciclo técnico industrial, siempre deberán ser gestionados como materias primas) lo que resulta importante no es tanto el tipo de sistema constructivo a emplear sino la modalidad de la gestión de los recursos. Tanto un sistema constructivo tradicional como uno industrializado pueden, a lo largo del ciclo de vida del edificio, tener un número indeterminado de ciclos abiertos en los que ciertos recursos pierden la condición de utilidad, transformándose en residuos. O bien podrían garantizar la cadena de custodia de los recursos a través de un sistema de gestión propio que incluyera esta condición.

Los sistemas tradicionales pueden utilizar esencialmente materiales de origen biótico y los prefabricados, de origen abiótico. Ciertas mediciones realizadas por la contabilidad de los recursos indican que, en el conjunto de la sociedad y también en el sector de la construcción, hay un claro predominio en la utilización de los materiales abióticos sobre los bióticos [Carpintero 2005], [McDonough, Branguart 2005]. Más aún, las tendencias de participación de ambos tipos de materiales en los requerimientos totales de la economía indican que la brecha va en aumento, con lo que resulta de vital importancia estudiar alternativas de cierres de ciclo en el sector de los materiales que se alejan del estado natural, es decir los industrializados. Asimismo, la cantidad de viviendas que se construyen utilizando sistemas constructivos tradicionales (y materiales bióticos) resulta significativamente menor que las ejecutadas mediante sistemas constructivos prefabricados (y materiales abióticos). Esto último realza el interés de esta investigación sobre los sistemas prefabricados, puesto que se intenta influir en aquellos sectores donde la concentración de los problemas ambientales es más significativa y, por tanto, donde las posibles soluciones que puedan surgir tendrían una mayor repercusión.

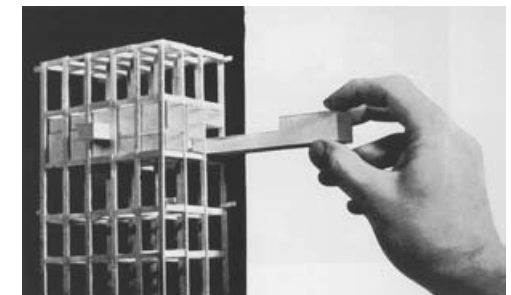
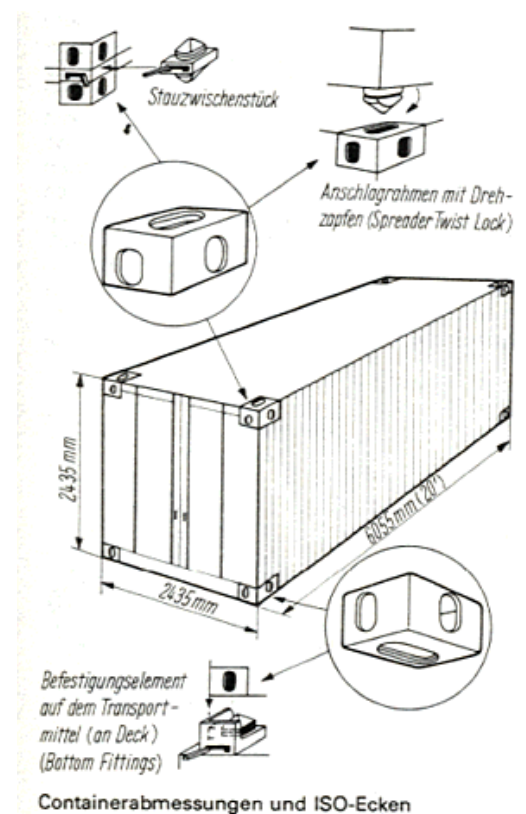
No obstante, en principio ningún material puede ser descartado porque más allá de su naturaleza biótica o abiótica lo que realmente importa es si presenta la oportunidad de establecer sobre él una estrategia que permita cerrar sus ciclos [Ayres 1999]. Y ello puede mediante la utilización de la biosfera, para los materiales renovables, o mediante la utilización del sistema técnico industrial, para los materiales reciclables [Cuchí et al. 2005]. Los ejemplos de la madera con certificación de explotación forestal sostenible en el primer caso y del acero reciclado de horno de arco voltaico en el segundo son suficientemente significativos<sup>20</sup>.

Ha sido detectado un sistema constructivo que, además de cumplir con las tres primeras premisas (pocos materiales, reducida cantidad de materia y desconstrucción total) presenta interesantes condiciones de partida para el cumplimiento de la última, gracias a que buena parte de los edificios modulares que con él se construyen se alquilan, regresando al término del contrato todas las unidades al parque industrial y pudiéndose recuperar con ello el 100%

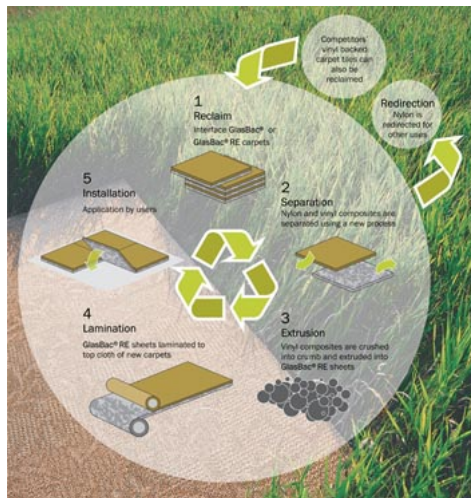
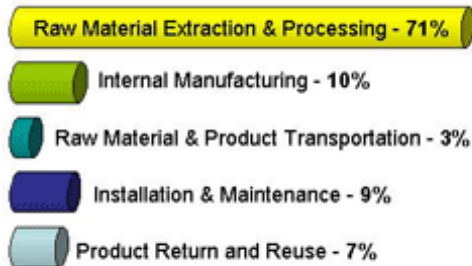
de los materiales invertidos para nuevos usos o para su reciclaje. Se trata de lo que comúnmente se conoce como módulos tridimensionales ligeros, un sistema basado en paneles de construcción en seco montados sobre un bastidor de acero, cuyas dimensiones provienen del sistema modular de los contenedores de transporte estandarizados bajo la norma ISO 6346<sup>21</sup>. Gracias a la estandarización de las medidas<sup>22</sup>, se adaptan a los sistemas convencionales de movilidad de carretera, vías férreas y navegación fluvial y marítima. El sistema estructural de estos módulos está compuesto por pilares y vigas ligeras, de chapa de acero galvanizado plegada o de secciones tubulares y refuerzos de perfiles extruidos según el caso, que admiten cerramientos, revestimientos, pavimentos, cubiertas, carpinterías de diversos tipos. Según el sistema pueden apilarse hasta cuatro niveles de módulos y para alturas mayores se recurre a una estructura independiente de acero y en ocasiones de hormigón, que permite levantar con cierta facilidad ocho plantas.

El alquiler de unidades representa algo más que una forma de comercialización alternativa, puesto que es un cambio estructural en la concepción de los edificios entendidos únicamente como bienes de propiedad. Se plantea aquí un cambio fundamental en los modelos de gestión para la obtención de la habitabilidad, algo que no resulta equivalente a los modelos de gestión para la obtención de los edificios. Estos últimos, los edificios, no son sostenibles o insostenibles en sí mismos porque esta condición es inherente a las actividades a que dan lugar, habitar en el caso de la vivienda. A partir de ello un edificio sin uso, aunque sobre él se hayan aplicado muchas estrategias para la reducción del consumo de recursos y la disminución de la emisión de residuos, no puede alcanzar la condición de sostenibilidad.

La habitabilidad como finalidad específica de los edificios, no puede ser separada de las funciones que tiene, de las necesidades que cubre y de los recursos necesarios para satisfacerlas. La exigencia de calidad ambiental –entendida ésta como el consumo de recursos y la emisión de recursos para alcanzar una determinada habitabilidad- pide considerar la utilidad que se procura y su variabilidad según las posibilidades técnicas para satisfacerla. Frente a ello la habitabilidad estática, rígida y determinada por las estrictas condiciones espaciales de la vivienda y de las relaciones entre sus partes debe ser reconsiderada, redefiniéndola como una demanda variable, flexible y que debe ser continuamente gestionada. Y, dentro de esta gestión continua la administración de los recursos necesarios por proveerla toma un papel determinante. Satisfacer la demanda de habitabilidad supone no tanto la generación de un producto estático -como es ahora la edificación- sino el establecimiento de un proceso de gestión capaz de adaptarse a la evolución de la habitabilidad en un marco cada vez más restrictivo con respecto al acceso a los recursos y a la generación de residuos [Cuchí et al. 2008].



### Life Cycle Emissions of Carpet



Diseño de producto y proceso productivo de moquetas a partir de las exigencias del cierre de los ciclos materiales.  
Interface, consulta en línea 06/2008, [www.interfaceinc.com](http://www.interfaceinc.com)

De tal forma la habitabilidad, que es el servicio que la edificación presta y la finalidad para la cual se construyen edificios, puede entenderse como un servicio que se requiere más que como algo que se debe poseer. Del mismo modo que, por ejemplo, la movilidad supone la disposición de un servicio -un sistema de transporte integrado- y no necesariamente la posesión de un automóvil. Y esta idea —el servicio más que el bien material- presenta condiciones para el desarrollo de estrategias de cierre del ciclo de los materiales.

El cambio de la idea de la propiedad a la prestación del servicio ni es nueva ni se restringe al mercado de la construcción [Avellaneda, Mrkonjic 2009] tal como ya proponía Buckminster Fuller con la casa Wichita. El alquiler a mediano y largo plazo de coches, fotocopiadoras, ordenadores, maquinaria industrial, edificios e inclusive materiales de construcción es una modalidad comercial instalada y consolidada a la que muchas empresas o personas recurren para la satisfacción de sus demandas de servicios [Fussler 1999]. Lo que sí resulta novedoso es que aquello que concebimos como indefectiblemente inamovible -el edificio- y que por tanto destinado irremediabilmente al derribo al final de su vida útil, gracias al alquiler y a las condiciones del sistema constructivo pueda construirse, desconstruirse, y volverse a construir en otro sitio o bien reciclarse completamente. Aun más, debido al bajo peso del sistema constructivo, que ronda los 150-250kgm<sup>2</sup>, en la mayoría de los suelos hasta las cimentaciones pueden realizarse de forma tal que una vez ha sido quitado el edificio también ellas sean removidas, dejando el solar en estado natural.

En ciertas partes del mundo<sup>23</sup> es posible alquilar los pavimentos de moqueta en lugar de comprarlos, con lo que el fabricante se asegura, habiendo previamente adaptado el producto y su proceso de fabricación a las condiciones de la reciclabilidad, la disponibilidad de materias primas para un futuro en el que no dispondrá del principal insumo de su industria, el petróleo [Anderson 1999]. También algunas empresas del sector del acero han comenzado a alquilar el metal que interviene en la estructura de los edificios<sup>24</sup> que emplean sistemas constructivos de montaje en seco durante toda su vida útil, puesto que bajo ciertas condiciones de montaje y desconstrucción es posible recuperar hasta un 95% del material puesto en obra, el cual admite un número ilimitado de reciclajes sin mermas de calidad. El fabricante se asegura, también en este caso, la disponibilidad de las materias primas a largo plazo, cuando la presión social y la regulación normativa quizás no le permitan disponer, como hasta ahora, de la extracción ilimitada de recursos de la corteza de la tierra y la generación, también ilimitada, de residuos contaminantes.

Algunas minas no están ya en la montaña, sino dentro de nuestra sociedad. El stock de materiales que ya circula en nuestro sistema técnico, que tradicionalmente acababa como un flujo de residuos, comienza a ser entendido como la fuente de las nuevas materias primas.

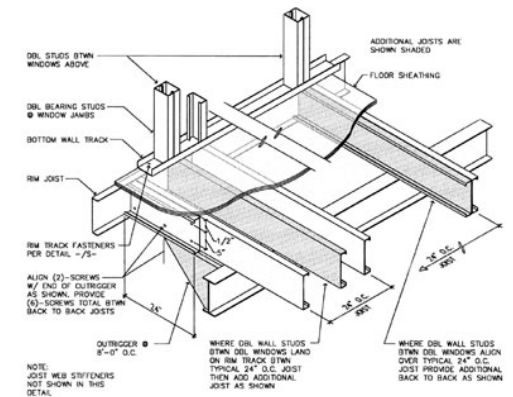
Desde el enfoque de las premisas consideradas el tipo de construcción a emplear no es absolutamente determinante. Si bien el sistema basado en los módulos tridimensionales ligeros ha sido escogido para explorar sus posibilidades bajo la consideración del cierre de los ciclos materiales, otros tipos constructivos podrían ofrecer similares condiciones de partida en esta hipótesis. Lo que sí resulta decisivo es que el sistema modular permite el alquiler o la venta con obligación de recompra por parte del fabricante de unidades, ya que con ello el mantenimiento de los materiales en el sistema técnico queda asegurado. Se evita de esta manera su salida del sistema a través de la habitual conversión a residuos, a la que se seguramente se verían sometidos si la modalidad de la comercialización fuera otra.

De todo ello puede deducirse que, más que una realizar una investigación sobre la sostenibilidad en la arquitectura modular ligera, lo que se propone es estudiar cómo podría ser la gestión de los recursos físicos en la arquitectura, bajo las condiciones del cierre de ciclo de los materiales, y para ello ha sido considerado que el sistema modular es el que mejores condiciones de partida presenta. El problema central es crear, más que un sistema constructivo, un modelo de gestión.

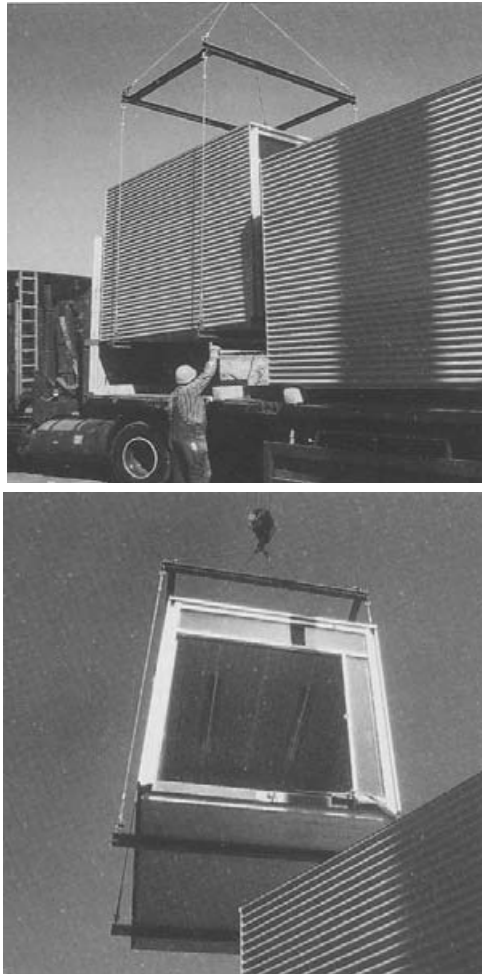
La investigación a realizar se centra en las etapas de fabricación, construcción, comercialización y uso del sistema modular elegido como objeto de estudio, en las cuales se realizará tanto el análisis como las propuestas de mejora que se consideren más oportunas para satisfacer las demandas del cierre del ciclo de los materiales. Las fases de extracción de materias primas y de gestión final de los materiales también serán consideradas, mediante las opciones que presente la realidad del mercado.

El análisis a realizar pretende establecer un balance de los materiales y de la energía que transita por el sistema en las fases mencionadas, asociando su utilización con los impactos globales reconocidos y descritos por la literatura científica que se reseña en la bibliografía. A partir de allí se establecerá una relación entre la información obtenida durante ese análisis y el objetivo esencial de acercar el uso de los recursos hacia un modelo que cierre los ciclos materiales, mediante la substitución de recursos, el aumento de la eficiencia en su uso, la disminución del impacto ambiental e, inclusive, el diseño de nuevos procesos de gestión. La finalidad es detectar las oportunidades de mejora ambiental que el sistema presenta y actuar sobre ellas en función de las posibles optimizaciones a conseguir y de la influencia, ya sea multiplicadora o limitante, que puede tener la combinación entre ellas o con las oportunidades detectadas en otros campos.

Se desarrollará una evaluación medioambiental de los sistemas modulares vigentes de mayor difusión, utilizando como indicadores principales el consumo de energía, la generación de emisiones de gas CO<sub>2</sub> y la generación de residuos sólidos (o las posibilidades de reciclaje)



Detalle de una estructura de perfiles chapa de acero galvanizado plegados, que mediante uniones reversibles (atornilladas) permite recuperar el material al final del ciclo de vida del edificio.



a lo largo de su ciclo de vida, así como otros efectos ambientales que se consideren relevantes.

El estudio de la energía resulta de especial interés porque está relacionada al consumo de recursos no renovables, a la contaminación causada por su combustión y al trabajo que la intensidad de su uso expresa. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se consideran de interés debido a su capacidad de distinguir las fuentes de energía según su grado de contaminación, su incidencia en el efecto invernadero y la relación con otros contaminantes como los óxidos de azufre, nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, etc., que habitualmente se encuentran presentes en los procesos de combustión de energías fósiles. La relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y cambio climático también otorga interés en este indicador, ya que este fenómeno ha sido definido por los gobiernos de muchos países del mundo como una de las prioridades en sus políticas ambientales y sus efectos sobre la sociedad resultan ampliamente conocidos. Los residuos sólidos, finalmente, adquieren relevancia debido a que su magnitud relativa expresan con claridad la proximidad o el alejamiento de un determinado sistema respecto del cierre de los ciclos materiales.

También se establecerá una comparación de impacto ambiental entre el sistema modular y el sistema convencional en la construcción de edificios de vivienda, según los parámetros ya mencionados y a lo largo del estudio, para disponer de una referencia constante con lo que el mercado de la construcción produce. Como resultado de estos procesos, las posibles opciones de reducción del impacto ambiental y de cierre de los ciclos materiales que se formulen darán lugar a la determinación de un prototipo de construcción modular o sistema modular optimizado -siempre basado en las dimensiones ISO 6346- y a su correspondiente modelo de gestión para el cierre de los ciclos materiales.

Para el análisis de alternativas de mejora de la etapa de construcción de los módulos se tendrán cuenta estrategias para reducir el impacto ambiental, relacionadas con los materiales y las soluciones constructivas [Sassi 2006]. Entre ellas, fundamentalmente,

- La optimización en el uso de recursos por unidad de servicio
- La utilización de materiales reciclados y reciclables
- El empleo de materiales naturales renovables
- La potenciación de la durabilidad física y funcional

Así como también y en forma complementaria,

- El bajo mantenimiento
- La eliminación de materiales de alto impacto medioambiental

- La incorporación de productos con distintivos de garantía de calidad medioambiental

Para el análisis de alternativas de mejora de la etapa de uso de los módulos, aunque no resulta central en la consideración del cierre del ciclo de vida, serán consideradas todas las alternativas posibles para la reducción de la demanda energética y para el aumento de la eficiencia energética, de modo de resolver las demandas de climatización, agua caliente e iluminación con la menor cantidad posible de energía y emisiones asociadas.

En la investigación, cuya metodología se basa en el análisis de ciclo de vida resumido y se explica en el capítulo 6, destacan en por su importancia las siguientes fases:

- Fase de identificación de datos, que incluye la determinación de un sistema constructivo y un edificio representativo de la construcción estándar de viviendas en Cataluña, la búsqueda de datos y valores de referencia respecto del peso, la energía, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los residuos de los materiales y sus procesos de producción, el establecimiento de los indicadores de referencia ambientales para la comparación entre sistemas constructivos y para la evaluación de las posibles mejoras (en principio se propone trabajar con energía, emisiones de CO<sub>2</sub> y residuos, relacionándolos con la superficie construida).

- Fase de estudio de la construcción, que incluye la evaluación de peso, energía, emisiones de CO<sub>2</sub> y residuos de fabricación de materiales y del proceso constructivo de los sistemas, el análisis comparativo de los sistemas (convencional y modulares) según los indicadores descriptos y, finalmente, las propuestas de optimización para el sistema modular.

- Fase de estudio del uso y el mantenimiento, que incluye la evaluación de la energía, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los residuos de los edificios construidos con distintos sistemas pero idénticas prestaciones de habitabilidad y, finalmente, las propuestas de optimización para el sistema modular.

- Fase de determinación de un nuevo prototipo modular y su modelo de gestión, que incluye la determinación de las mejoras del sistema modular, el análisis técnico-ambiental y la evaluación técnica de las mismas, el recálculo de los indicadores ambientales y la nueva comparación con el sistema convencional y finalmente, la determinación del sistema de gestión industrial y comercial.



Transporte, izado y montaje de módulos tridimensionales ligeros en la ampliación de un edificio histórico en Rathenow, Alemania.

### Referencias bibliográficas:

- [Anderson 1999] Ray Anderson, *Mid-Course Correction. Toward a Sustainable Enterprise*, The Peregrinzilla Press, Atlanta, EEUU, ISBN 0964595354.
- [Avellaneda, Mrkonjic 2009] Jaume Avellaneda, Katarina Mrkonjic, *Retro-innovación y arquitectura sostenible*, artículo, II Congrès UPC Sostenible 2015, Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2009
- [Ayres 1999] R. U. Ayres & L. W Ayres, *Accounting for Resources: 2. The Life Cycle of Materials*, Edward Elgar, Cheltenham, Reino Unido, 1999.
- [Ayres 2002] Ayres, R. U. y Ayres, L.W. (eds), *A handbook of Industrial Ecology*, Elgar Publishing, Cheltenham, Reino Unido, 2002, ISBN 1840645067
- [Carpintero 2005] Óscar Carpintero, *El metabolismo de la economía española*, Fundación César Manrique, Tegui, Lanzarote, España, 2005, ISBN 84-88550-60-X.
- [Cuchí 2005] Albert Cuchí, *Arquitectura y Sostenibilidad*. Colección Temas de Tecnología y Sostenibilidad, CITIES, Universidad Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2005, ISBN 848301839X .
- [Cuchí et al. 2005] A. Cuchí, F. López, A. Sagrera y G. Wadel. *Ecomateriais. Estratégias para a melhoria ambiental da construçao*. Exponor, Feira Internacional do Porto, Oporto, Portugal, 2005, ISBN 8460975215.
- [Cuchí et al. 2008] A. Cuchí, F. López, A. Sagrera y G. Wadel. *La qualitat ambiental en els edificis*. Departament de Medi Ambient i Habitatge de le Generalitat de Catalunya, Barcelona, España, 2008, ISBN en trámite.
- [Fussler 1999] Claude Fussler, *Eco-innovación. Integrando el medio ambiente en la Empresa del futuro*, Mundi-Prensa, 1999, ISBN 8471147904.
- [Graedel, Allenby 1995] Graedel E. R., Allenby B. R., *Industrial Ecology*, AT&T Prentice Hall, New Jersey, EEUU, 1995, ISBN 0-13-125238-0
- [ITeC 2000] Equipo técnico del ITeC, *Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos en el sector de la construcción*, Programa Life, ITeC, Barcelona, 2000, ISBN 84-7853-383-4
- [Mañà et al. 2000] F. Mañà, J. González i A. Sagrera, *Manual de minimització i gestió de residus a les obres de construcció i demolició*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, España, 2000, ISBN 84 7853 384 2.
- [Mañá et al. 2003] F. Mañá (Dir.), A. Cuchí, D. Castelló, G. Diez, A. Sagrera, *Parámetros de sostenibilidad*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, España, 2003, ISBN 8478534611.
- [McDonough, Branguart 2005] W. McDonough, M. Branguart, *Cradle to cradle*, Mcgraw-Hill Interamericana de España, Madrid, España, 2005.
- [SaAS et al. 2007], J. Sabaté, A. Cuchí, A. Sagrera, G. Wadel, F. López, A. Moreno, J. Vidal, S. Cantos, *Estudio de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en un conjunto de 60 VPO* (doc. electr.).
- [Sassi 2006] Paola Sassi, *Strategies for Sustainable Architecture*, Taylor & Francis, Oxon, Reino Unido, 2006, ISBN 0415341426.



## Notas:

---

<sup>1</sup> A mediados del siglo XX el requerimiento total de materiales (RMT de la sociedad) por habitante se situaba en alrededor de 4 t/habitante/año. Sobre 2000 había crecido a 19 t/habitante/año. Pero no sólo se ha producido ese extraordinario aumento sino que en ese período también ha cambiado la procedencia de los materiales, abandonando en parte el origen local para pasar a ser mayoritariamente importados. El caso más significativo es el de los combustibles, España actualmente importa entre el 80 y el 90% de la energía que consume (proveniente del gas natural, petróleo, carbón y uranio). La importación de materiales muy próximos a su estado final de uso traslada la mayor parte del impacto ambiental de su ciclo de vida a los países productores.

<sup>2</sup> Según las estadísticas de EUROSTAT, el DMC (Domestic Materials Consumption, la cantidad total de materiales que intervienen directamente en la economía deducidas las importaciones y exportaciones) ha crecido entre 1995 y 2004 en la Europa de los 15 a una tasa interanual promedio del 0,04% registrándose en el período años de crecimiento de hasta un 2% y años de decrecimiento de hasta un 1%.

<sup>3</sup> El requerimiento total de materiales de construcción (RTM de la construcción) está formada por los recursos abióticos y bióticos primarios destinados a la producción de la totalidad de los bienes y servicios pedidos por el sector de la construcción de edificios, expresados en peso. Está formado por los materiales que intervienen directamente en la construcción más la cadena de residuos que han sido generados en la etapa de extracción de materias primas y fabricación de materiales. La investigación, basada en la contabilización de flujos materiales de la economía catalana, situaba el RMT de la edificación en 3,6 t/habitante/año en 2001 y en 4,6 t/habitante/año en 2001. Cristina Sendra i Sala, *Anàlisi dels fluxos de materials de sistemes. Avaluació del metabolisme material a diferents escales*, tesi doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, 2008

<sup>4</sup> Un pavimento o un revestimiento pueden ser realizados con distintos tipos de cerámica ya que no siempre el uso es intenso ni están expuestos a agentes agresivos, ni permanecerán muchos años en uso. De acuerdo con la información que suministra el banco de partidas de edificación y rehabilitación BEDEC PR/PCT del Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya la energía empleada en la fabricación del gres porcelánico es de 10,9 MJ/kg, la del gres extruido 8,35 MJ/kg, la del la cerámica vidriada 7,2 MJ/kg y la de la cerámica 2,32 MJ/kg. La diferencia llega a ser de cuatro a uno, según el producto que se escoja.

<sup>5</sup> En un viaje de 1000 km en camión, con un consumo de 25 litros de gasoil cada 100 km para un camión de unas 18 toneladas de carga, la energía de transporte representaría  $0,251 \text{ gasoil/km} \times 1000 \text{ km} \times 39 \text{ MJ/l gasoil} = 9750 \text{ MJ}$ . Eso representa unos 0,54 MJ/kg adicionales para la pizarra, cuya energía de fabricación se cuenta en 0,10 MJ/Kg según datos del banco BEDEC PR/PCT, ITeC, 2006. Transportar la piedra 1000 km implica multiplicar por cinco su energía de extracción y mecanización.

<sup>6</sup> Decreto 201 de 1994 y su modificatorio 161 de 2001. Decreto 21/2006, de 14 de febrero, por el que se regula la adopción de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios. Generalitat de Catalunya.

<sup>7</sup> Los sistemas tridimensionales modulares, como los producidos por las empresas Algeco o Washington Internacional, con los que se construyen guarderías en pesan aproximadamente  $150 \text{ kg/m}^2$ . En el capítulo 5 se reseña también el sistema SpaceBox empleado en residencias universitarias, cuyo peso promedio es  $135 \text{ kg/m}^2$ .

---

<sup>8</sup> Se toman como referencia datos provenientes sólo de Cataluña debido a que esta Comunidad Autónoma cuenta con legislación y experiencia de gestión de residuos de obras de construcción, rehabilitación y derribo a partir de 1994. En el resto de España la información es incompleta o muy reciente ya que excepto en muy pocos casos no existía normativa de aplicación hasta la entrada en vigencia del Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición en todo el territorio español, de reciente entrada en vigencia.

<sup>9</sup> Estadísticas sobre consumo doméstico de la energía del Institut Català de l'Energia en 2000.

<sup>10</sup> Repercutiendo el consumo de doméstico de energía elaborado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE, entre el número de habitantes u hogares obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, INE, España registra un aumento sostenido en el consumo de energía entre 200 y 2006, con variaciones anuales (ligeras subas o bajas) que responden a los cambios climatológicos que ocurren entre año y año (inviernos y veranos más o menos intensos).

<sup>11</sup> La Región Metropolitana d Barcelona se situaba, según un informe de la EMA, Entitat del Medi Ambient de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, en algo más de 116 litros por persona y día luego de experimentar varios años de descenso sostenido, impulsado por la falta de agua por la escasez de lluvias y las campañas de concienciación promovidas por diversas administraciones. Se trata de una de los valores de consumo más bajos de España.

<sup>12</sup> Documento PROGROC 2007-2012.

<sup>13</sup> Se trata de obras de derribo de gran magnitud donde se dan ciertas condiciones que favorecen el reciclaje. En primer lugar debe haber un volumen considerable de estructuras y cerramientos de hormigón y obra de fábrica que puedan ser trituradas para ser convertidas en árido reciclado con destino a usos constructivos (desde 2009 la revisión de la norma técnica del hormigón EHE permite la utilización de hasta un 20% de árido reciclado de hormigón en la fabricación de nuevos hormigones, en la fracción gruesa). En segundo lugar se debe disponer de suficiente espacio para las operaciones de separación selectiva, acopio, triturados, acopio de material reciclado y área de trabajo para cargadoras y camiones.

<sup>14</sup> Estudio *Treballs de recerca previs per a la redacció del Llibre Blanc per a l'Etiquetatge Verd dels productes per a la construcció* desarrollado en 2001 por el grupo de trabajo CIES (Centre d'Iniciatives de l'Edificació Sostenible) financiado por la Generalitat de Cataluña, que determinó, a partir de una muestra de 200 proyectos de edificios de usos y tipos diversos representativa de la construcción en Cataluña visados en el Colegio de Arquitectos de Cataluña, los principales impactos de la construcción estándar, entre ellos la cantidad de materiales directamente empleados.

<sup>15</sup> Una comunicación verbal con el arquitecto y calculista estructural David García, realizada en 2007, da cuenta de la importancia del aumento de la participación de las estructuras en el peso total de los edificios a causa de la evolución de las exigencias normativas. La estimación de este crecimiento, en forma aproximada, implicaría que las estructuras de hormigón armado en obras de edificación con sistemas constructivos tradicionales tienen el doble de peso que hace treinta años.

<sup>16</sup> Datos basados en información de las fuentes siguientes: Wuppertal Institute, IDAE, Instituto de Diversificación y Ahorro Energético de España, United Nations Environment Programme (documento *Buildings and climate change. Status, challenges and opportunities*) y Agència de Residus de Catalunya (memoria del año 2006).

<sup>17</sup> El origen de la prefabricación de edificios en forma masiva tiene lugar en la segunda posguerra mundial, cuando fue necesario reponer un gran número de viviendas destruidas durante el conflicto. Desde entonces y con especial énfasis en las

---

décadas del 60 y del 70, puede contarse un número muy importante de patentes de prefabricación, sistemas de coordinación modular o creación de centros técnicos que impulsan ambas cosas. Otro tanto ocurre con la bibliografía referente a estos temas.

<sup>18</sup> Sistemas de explotación forestal sostenible Forest Stewardship Council, FSC, y Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes, PEFC.

<sup>19</sup> Esta característica -el interés de la industria en reducir la cantidad de materia empleada en los procesos de fabricación- no siempre se cumple. Tal como ha sido explicado en el Capítulo 1 en la formación del precio, ya sea de las materias primas o del transporte, no suelen intervenir los costes ambientales, es decir los costes de reposición del capital ambiental que ha sido deteriorado. Esto hace que, en términos monetarios, un aumento en el tonelaje de materias primas y de productos a transportar pueda no tener ninguna repercusión. El establecimiento del valor de mercado a partir de los costes de extracción no ayuda en absoluto a la eficiencia de producción o de transporte, privilegiándose en estos procesos industriales solamente la reducción de mano de obra mediante la estandarización de los productos.

<sup>20</sup> La madera con certificación de explotación forestal sostenible (FSC, PEFC, etc.) asegura la regeneración del recurso a través de una cadena de custodia. El acero proveniente de hornos de tecnología de arco voltaico (que pueden ser alimentados exclusivamente con chatarra) asegura el reciclaje del material. Son dos ejemplos, uno utilizando la biosfera y el otro el sistema técnico, que han conseguido desacoplar la utilización de un recurso de la degradación del capital natural. Véase: A. Cuchí, F. López, A. Sagrera y G. Wadel. *Ecomateriais. Estratégias para a melhoria ambiental da construção*. Exponor, Feira Internacional do Porto, Oporto, Portugal, 2005, ISBN 8460975215

<sup>21</sup> La primera vez que se hizo un transporte de mercancías con contenedores fue el 26 de abril de 1956, a cargo de Malcom MacLean e hizo el trayecto desde Nueva York a Houston. En la actualidad los contenedores de uso más extendido a nivel mundial son los equipos de 20 y 40 pies (6,08m y 12,19m respectivamente), con un volumen interno aproximado de 32,6 m<sup>3</sup> y 66,7 m<sup>3</sup> respectivamente.

<sup>22</sup> El ancho es de 8 pies / 2,44 m, el alto varía entre 8 pies y 6 pulgadas / 2,59m ó 9 pies y 6 pulgadas / 2,89 m y el largo varía entre 10 pies / 3,04 m; 20 pies / 6,08 m; 40 pies /12,19 m y 45 pies / 13,71 m.

<sup>23</sup> En Estados Unidos y algunos países de Europa Interface ([www.interfaceinc.com](http://www.interfaceinc.com)) comercializa pavimentos bajo la modalidad Evergreen leasing<sup>TM</sup>, un sistema de alquiler a largo plazo mediante el cual la empresa mantiene la propiedad del recurso, futura materia prima para la fabricación de nuevas moquetas a partir del reciclaje.

<sup>24</sup> Según diversos documentos publicados por el Corus Construction Center (<http://www.corusconstruction.com/en/>), consulta en línea, 10/2007.