

Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible

Divergent open industrialization strategies for pretentiously sustainable building construction

J. Salas*, I. Oteiza**

RESUMEN

El trabajo analiza las principales tendencias y singularidades de los procesos de industrialización de la edificación vigentes en países desarrollados, entre los que emergen como logotipos de éxito empresarial: Toyota en Japón e IKEA en Suecia. Se muestran algunas estrategias diversificadas con pocos rasgos comunes en la práctica, aunque con coincidencias en aspectos teóricos, entre ellos, tres paradigmas que se perfilan más como declaraciones de intenciones que como realidades prácticas: la puesta en práctica de procesos de cuestionamiento y revisión de lo realizado hasta el presente (...*re-thinking*...); apuesta por la industrialización abierta y ligera en contraposición a la cerrada y pesada (...*open and light...off site*...) y empeño en utilizar soluciones a base de 'trozos o partes complejos' (...*pre-packaging*...).

El trabajo es una reflexión sobre bases bibliográficas actualizadas que han permitido diseccionar algunas tendencias vigentes en geografías y circunstancias muy diversas, entre las que no se evidencian vínculos comunes, salvo la unánime aspiración a una difusa idea de sostenibilidad. El trabajo finaliza con una serie de reflexiones y conclusiones de los autores, desde una óptica orientada hacia el aquí y ahora, fundadas en un minucioso estudio analítico del estado del arte del tema en el tiempo transcurrido del presente siglo.

195-9

Palabras clave: industrialización de la edificación; procesos de producción; componentes constructivos; construcción por 'partes complejas'; soportes; sostenibilidad.

SUMMARY

The paper analyzes the main trends and particularities of building industrialization processes in place in developed countries, among which two stand out as icons of business success: Toyota in Japan and IKEA in Sweden. It discusses a number of diverse strategies with little in common in practice, but which concur in their theoretical approach, in particular with respect to three paradigms that are configured more as declarations of intent than practical realities: the questioning and revision of all that has been done to date (re-thinking); open, lightweight industrialization as opposed to closed and heavy construction (open and light; off-site); and the use of assembly-based solutions (pre-packaging).

The paper, a reflection based on recent literature, dissects certain trends in place in very different geographies and under very different circumstances with no other common interest than the universal aspiration to attain a somewhat diffuse ideal: sustainability. It concludes with a series of the authors' reflections and conclusions drawn from a vantage geared to the here and now, on the grounds of a detailed analytical study of the state of the art in the years lapsing since the beginning of the present century.

Keywords: Industrialized construction; production processes; construction components; pre-packaged construction; supports; sustainability.

* Dr. Ingeniero Industrial, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), Madrid, España

** Dr. Arquitecto, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), Madrid, España

Persona de contacto/Corresponding author: julian.salas@ietcc.csic.es (J. Salas)

1. A MODO DE INTRODUCCIÓN: TRES REFLEXIONES DE PARTIDA

“La técnica ... es el esfuerzo para ahorrar esfuerzo. Aquello a lo que dedicamos esfuerzo para inventar y ejecutar un plan para: asegurar la satisfacción de las necesidades elementales; lograrlo con el mínimo esfuerzo; crear objetos que no hay en la naturaleza y caminar con ella –con la técnica- hacia la vida buena y la emancipación humana” “... la técnica debe estar siempre al servicio de lo propiamente humano”.

J. Ortega y Gasset (1)

La reflexión anterior emerge como alegato en pro de una técnica comprometida con la necesidad – también en el ámbito objeto de este trabajo- lo que resulta prácticamente insólito en el presente, aunque fue motor de investigaciones y realizaciones singulares en décadas precedentes. Parece igualmente oportuno reproducir dos puntos de vista de autores franceses, respecto a la industrialización de la construcción en el contexto francés de hace más de dos décadas:

‘...Sin tambores ni trompetas, los industriales, proporcionando a las empresas constructoras componentes de edificación, han iniciado y ganado una revolución industrial de envergadura, que alcanza hoy día su pleno desarrollo: no buscar más a la industria, ella está presente aquí, por todas partes’

Michel Platzer (2), mantenía estas ideas en el catálogo de la exposición *‘Architecture et Industrie’* (Centro Georges Pompidou, París, 1984)

“¿La industrialización abierta? ¿Qué es eso? ¿Quizás los concursos de paneles de fachadas, ventanas, puertas, etc.? Nadie ha podido utilizarlos. No han servido para nada. Cada arquitecto quiere diseñar su ‘truco’, quiere su panel para él... para que esa industrialización proporcione una arquitectura bella, es preciso que los arquitectos dominen los procesos”.

Jean Prouvé (3), 1979. *‘T&A’*, N° 327

Platzer asevera una victoria de las empresas en la revolución industrial del sector de la construcción, mientras que Prouvé cuestiona en forma contundente desde su dominio magistral de la práctica, la posibilidad de la industrialización abierta. Intuimos que el maestro de Nancy se refería a la industrialización a la usanza de lo que se pretendía como tal allí y entonces: Francia a comienzos de los ochentas. Las reflexiones de Ortega, las constataciones tangibles que animaban a Platzer y las dudas técnicas

desde el conocimiento de Prouvé, se han estimado fundamentales para iniciar este trabajo en pro de los procesos de industrialización atentos a no propagar entusiasmos injustificables.

2. ‘ESTADO DEL ARTE’ DE LA INDUSTRIALIZACIÓN SEGÚN DIFERENTES ÁREAS GEOGRÁFICAS

Suecia y Finlandia

En los Países Escandinavos, en general, se aprecian algunos rasgos comunes en el estímulo y empleo de procesos de construcción industrializada. Tres son los que nos parecen más representativos:

- Una climatología hostil que se manifiesta y afecta en dos facetas: la adopción de medidas socialmente avanzadas para la protección del personal in situ y la consecución de confort térmico al interior de las viviendas;
- Un abundante y cuidado patrimonio forestal, que hace de la madera la principal materia prima para la producción de viviendas industrializadas;
- Medidas de apoyo estable por parte de las diferentes administraciones públicas a la industrialización avanzada del sector construcción.

Tres rasgos distintivos y específicos que han de tenerse presentes a la hora de juzgar sus resultados. Es por ello que los industriales suecos del sector construcción de vivienda, producen el 90% de las unifamiliares nuevas, predominantemente con sistemas industrializados de madera. El grado de automatización de la industria sueca es más alto que el de la norteamericana y el uso de tecnología CAD-CAM es práctica frecuente en las cadenas de producción de paneles estructurales de madera.

El gobierno sueco desde hace cinco décadas está involucrado en la financiación de la investigación y el desarrollo de estándares mínimos de vivienda, destinando unos 200 millones de Euros anualmente a este fin. Los estándares que promueve el gobierno, se basan en la eficiencia energética y la calidad, fomentando la competitividad entre las empresas para lo que antepone la calidad del producto al mayor coste inicial que compensan a base de productividad y de ayudas gubernamentales.

La construcción a base de elementos tridimensionales, que otros autores denominan ‘modulares’ y que optamos por llamar ‘3D’, suponen hasta una cuarta parte de las viviendas nuevas que se construyen en Suecia. Las viviendas ‘3D’ se terminan to-



1

talmente en fábrica excepto las cubiertas. Posteriormente se transportan en camiones y mediante una grúa se posicionan sobre cimentaciones preparadas al efecto. El proceso desde la adquisición de la vivienda hasta su ocupación llega a ser de dos semanas lo que puede compensar ciertas limitaciones de diseño. Una de las aportaciones suecas '3D' más notables son las viviendas 'BokLok' producidas por la empresa globalizada IKEA en colaboración con la constructora Skanska. Comercializan dos tipos de viviendas: unifamiliares aisladas y/o adosadas, y bloques de dos y cuatro plantas. 'BokLok' (ver Fig. 1) construye actualmente en Suecia del orden de 800 viviendas / año. Cuenta con realizaciones en Finlandia desde 2002, en Noruega (2003), Dinamarca (2004) y, más recientemente, se ha implantado en el Reino Unido. La casa 'BokLok' está diseñada para tratar de conseguir que familias de bajo poder adquisitivo –en el contexto de países altamente desarrollados- puedan acceder a soluciones con buenos niveles de acabados, diseño y confort (4).

IKEA ha iniciado, en 2008, un conjunto de alojamientos para las Olimpiadas de Londres en 2012, enfatizando la idea de casas sostenibles y ecológicas que pretenden alcanzar los estándares de "excelencia" de las 'Ecohomes'. Los materiales utilizados cumplen las prescripciones de la "Guía verde" (*Green Guide*). IKEA ofrece una amplia gama de opciones de compra, con la intención de hacer accesible sus soluciones al mayor número de personas posible, con precios de mercado que parten de 120.000 libras (del orden de 150.000 Euros).

En general, el mercado sueco de vivienda era doméstico, pero las recientes condiciones han hecho que se transforme en país exportador a países como Alemania, Holanda, Austria, Suiza, Reino Unido, Japón, Estados Unidos y Canadá.

En Suecia la automatización de la industria ha provocado una caída del número de empleos en el sector de la edificación, pero la

innovación tecnológica hace que muchos trabajadores sean profesionales especializados con contratos estables superando el número de operarios que trabajan en las plantas de producción de componentes. Según valores aceptados en Suecia, una vivienda unifamiliar básica de 45 m², construida con un sistema de paneles, requiere del orden de 50 horas de trabajo en fábrica (sin incluir personal de gestión y mantenimiento); 40 horas para el montaje (4 operarios y un gruista) y entre 200 y 250 horas para los acabados in situ, lo que supone unas 8 horas-hombre por metro cuadrado construido. El trabajo en planta se lleva a cabo con equipos de producción dotados de una mecanización sofisticada que posibilitan la flexibilidad de las soluciones y la personalización de los diseños.

Un estudio de la 'German Marshall Fund' (5) concluye "... que la mejor casa sueca, es mejor que la mejor casa estadounidense, y que la casa sueca media, es mucho mejor que la casa media estadounidense".

De la práctica actual en el campo de la construcción industrializada en Finlandia, parece de interés reseñar el caso de 'SATO-Plus Home' que aprovecha las capacidades interactivas de Internet y las ideas más vanguardistas del movimiento 'Open Building'. Esta práctica comenzó a implantarse oficialmente en Finlandia hace 20 años, gracias a la docencia del Prof. Ulpu Tiuri, de la Universidad de Helsinki y a la anticipación de la Administración convocando un primer concurso de soluciones constructivas en 1992, algunos de cuyos proyectos ganadores se construyeron posteriormente. Una de las novedades del proceso consiste en que durante la fase de *pre-marketing* los clientes pueden acceder desde Internet y elegir entre multitud de distribuciones alternativas. Este periodo de elección se mantiene abierto hasta 6 meses del comienzo de la obra. El edificio se 'completa' con las diferentes opciones de los clientes respecto a tamaño y distribución. Después de este período, los clientes disponen de otros tres meses para

1. Uno de los modelos 'BokLok' realizados por IKEA mediante elementos '3D' totalmente acabados a base de madera. Vista interior y plantas tipo de adosados.



2. Edificios de seis plantas industrializados en Helsinki, resultados del segundo concurso 'SATO-Plus-Home', en 2002, en los que se integran las capacidades interactivas de Internet con las ideas más vanguardistas del movimiento Open Building.

elegir acabados y accesorios con precios fijos. Los futuros propietarios pueden conocer el precio final de su apartamento directamente e incluso rectificar sus elecciones.

El segundo concurso 'Plus-Home', en 2002, también en Helsinki, lo ganaron los arquitectos ArkOpen Ltd. y Tocoman. En 2005 se terminó el proyecto piloto conformado por dos edificios de 6 plantas y 77 apartamentos de 39 a 125 m², con locales comerciales y talleres en planta baja y locales comunes para los vecinos. Las fachadas coinciden con los pórticos estructurales y las luces entre fachadas son de 10 m (ver Fig. 2). La estructura es de acero y los forjados placas pretensadas de hormigón de sección aligerada. Las áreas de baños incluyen un suelo técnico para facilitar las conexiones y posibles reparaciones. La estructura facilita la prefabricación de grandes paneles de fachada, acortando los plazos de ejecución ya que la construcción se hace mayoritariamente en seco reduciendo al mínimo el hormigonado in situ, algo muy apreciado en Finlandia para favorecer la reducción del número de horas trabajadas in situ.

En Finlandia, el uso parcial de componentes y subsistemas producidos *off-site*, es práctica habitual. Más del 70% de los edificios de viviendas, del orden del 80% de los de oficinas y comerciales y hasta un 90% de los industriales son industrializados / prefabricados. Las grandes empresas constructoras como RUUKI o Skanka producen sus elementos en fábricas propias, aplicándolos en promociones de viviendas que combinan técnicas avanzadas de construcción in situ, con paneles ligeros (perfiles de acero conformados en frío) para fachada, cumpliendo sobradamente con los requisitos de

aislamiento y estanqueidad, sin estar reñidos en sus soluciones con un lenguaje arquitectónico avanzado.

Estados Unidos

Resulta sorprendente desde fuera comprobar que el mercado norteamericano sigue dominado por pequeñas empresas de construcción tradicional productoras de estructuras de madera de sección tipo 2"x4" (dos por cuatro pulgadas) conocidas en forma coloquial como '*balloon frame*'. Los sistemas industrializados más importantes son las soluciones de viviendas precortadas, las panelizadas, las de elementos '3D', además de las conocidas como '*mobile homes*' o móviles, pese a que la mayoría de ellas sean sedentarias a lo largo de toda su vida útil. Paul Rudolph dijo que las *mobile homes* eran en EEUU "los ladrillos del siglo XX".

Es de destacar la experiencia de industrialización para vivienda de bajo coste, realizada en los años de postguerra, después del año 1945, desarrollada en Los Ángeles, California, donde se propusieron y construyeron más de 20 prototipos de viviendas, conocidas como "Case Study House", publicadas en la revista "Arts & Architecture", por J. Entenza (6), donde participaron importantes arquitectos como Saarinen, Neutra, Koenig, Ellwood, Soriano y Eames (ver Fig. 3).

Las viviendas a base de elementos '3D', surgieron como adaptación de las *mobile homes*, para poder acceder al mercado de la vivienda convencional, tanto unifamiliar como multifamiliar, para lo que han tenido que adaptarse a las normas de construcción tradicional de cada Estado.

Un estudio de la PFS Corporation (7) menciona como factores que favorecen la industrialización en EEUU:

- El aumento del coste de la mano de obra in situ y la escasez de mano de obra cualificada;
- La producción más rápida y el fácil control de su ejecución que reduce el coste total de la inversión;
- La reducción del tiempo en obra y el mejor control del material a gestionar, mediante la utilización de componentes prefabricados.

Iniciativas vigentes en pro de la industrialización de la edificación en EEUU

Existen algunas iniciativas para la investigación de nuevas tecnologías como es el caso del proyecto 'OSBA' (*Open Source Building Alliance*) del Massachusetts Institute of Te-



3

chnologies (MIT), que desarrolla elementos con “código abierto” a base de componentes ‘3D’ de producción avanzada dirigido a la consecución del objetivo “cero-energía” y a posibilitar la fabricación *industrializada personalizada o por encargo*.

A nivel estatal, el Departamento de Energía de los EEUU, ha organizado en la última década varias convocatorias del Concurso ‘Solar Decathlon’, entre universidades norteamericanas y algunas europeas invitadas (8), para el diseño y construcción de prototipos de viviendas energéticamente autosuficientes, que deben prefabricarse en talleres (*‘off site’*), montarse en el Mall de Washington DC y desmontarse posteriormente. Los logros de las distintas viviendas en competición se monitorizan y puntúan según un amplio rango de categorías (Ver Fig. 4).

La iniciativa actual de mayor repercusión es el programa ‘Home Delivery’ del Museo de Arte Moderno, MOMA de New York, con motivo de la exposición ‘Home Delivery: Fabricating the modern dwelling’ (9), inaugurada en julio de 2008 (www.momahome-delivery.org). Una muestra sobre el pasado, presente y futuro de la vivienda prefabricada que incluye la construcción de cinco prototipos. Las cinco viviendas presentan formas muy dispares de acometer la construcción *off-site*, en la línea de lo apuntado al inicio de este trabajo. Están diseñadas por dos equipos americanos, dos europeos y uno australiano. Las soluciones constructivas son muy diversas y van desde la vivienda pre-cortada de System Architects (EEUU) (ver Fig. 5), a la solución de cápsulas unipersonales de Richard Horden (UK) (ver Fig. 6), la modular de madera de Kaufmann (Austria)

3. Vivienda Charles & Ray Eames 1 Case Study nº 8, construida en 1945. Pacific Palisades. Los Ángeles, California-EE UU (Fotos del 12. 2008).

4. Viviendas del concurso Solar Decathlon en el Mall de Washington DC (izq.). Vivienda Ganadora Solar Decathlon. 2008. Universidad de Darmstadt-Alemania (dcha.).

5. ‘Housing For New Orleans’ [MIT/ Professor Lawrence Sass] MOMA ‘HOME DELIVERY’ (2008).



4



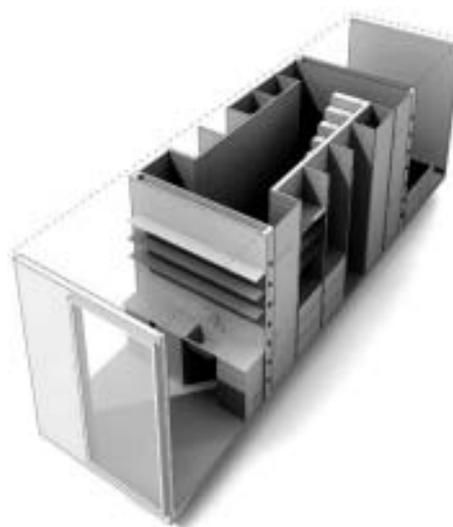
5



6

6. 'Micro Compact Home' [Horden Cherry Lee Architects]: vivienda compacta, eficiente y sostenible 7 m². MOMA 'HOME DELIVERY' (2008).

7. 'System 3' [Oscar Leo Kaufmann] MOMA 'HOME DELIVERY' (2008).



7

(ver Fig. 7), la propuesta por los arquitectos Jeremy Edmiston y Douglas Gauthier diseñada mediante procesos informatizados de sistematización del proyecto (ver Fig. 8) o la *Cellofan House*, de Kieran & Timberlake Associates (EEUU) (ver Fig. 9), un sistema híbrido de elementos '3D' y perfiles de aluminio. La exposición muestra: el proceso de diseño, la producción arquitectónica y los resultados finales. Según el comisario de la exposición: *La colección ilustra la forma en que la vivienda prefabricada ha sido y sigue siendo, no sólo una reflexión sobre la vivienda como objeto de diseño repetible, sino también un agente fundamental en el discurso de la sostenibilidad, la innovación arquitectónica, de los nuevos materiales y nuevas formas de investigación* (9).

El aporte más significativo de la 'industrialización abierta' en EEUU, la más visible y documentada, la constituye la construcción de viviendas unifamiliares de muy alto nivel técnico realizadas como *industrialización abierta, singular, específica o por encargo*. El reciente libro 'Prefab Prototype. Site-specific design for offsite construction' (10), presenta

un selecto conjunto de realizaciones recientes de similares características, que poco tienen que ver con la concepción más global y conceptual de la 'industrialización abierta' que se tiene en Europa.

Existen en EEUU un buen número de catálogos clasificados con cientos de soluciones industrializadas (www.fabprefab.com), por lo general, desarrolladas por pequeñas empresas del tipo de la 'Marmol Radziner Prefab' creada por los arquitectos Ron Radziner y Leo Marmol, con elementos tridimensionales con los que desarrollan viviendas prefabricadas de excelente imagen y calidad, convirtiendo la vivienda industrializada en un producto competitivo en el mercado (ver Fig. 10).

Japón

"Considero que es un auténtico reto para las nuevas generaciones de arquitectos de Japón encontrar los invariantes y nexos entre la flexibilidad de los conceptos tradicionales de los viejos períodos artesanos y del nuevo desarrollo basado en la industria. Con gran interés estaré atento a las contribuciones



8

arquitectónicas que vendrán de mis colegas japoneses”.

Walter Gropius, 1950 (11)

La idea de la prefabricación en Japón podría resumirse como la de una situación en la que conviven en la armonía que requiere una frontera difusa propia de las soluciones ‘abiertas – cerradas’ de ilimitadas posibilidades. Los éxitos de la prefabricación japonesa de la construcción enlazan directamente con una producción industrial mediante el soporte favorable del gobierno y de las condiciones económicas.

Los fabricantes de viviendas prefabricadas que comenzaron su andadura en Japón por los años setenta (Misawa, Toyota, Panahome, etc.) cuentan con cadenas de producción automatizadas y robotizadas, que de algún modo se valen de tecnologías y procesos adaptados de otras industrias como la de automoción. El fabricante de automóviles Toyota entró en el mercado de la vivienda en 1975, en 2005 produjo 4.600 viviendas y su objetivo para 2010 es llegar a 70.000.

Tras esta larga trayectoria, han conseguido borrar la imagen que los usuarios tenían de ellas. Ha sucedido con la vivienda algo parecido a lo ocurrido con anterioridad en el sector del automóvil, que ha ido aprovechando su optimización de la producción y mejoras tecnológicas, para implementar nuevas prestaciones “en serie” en el pro-



9

ducto final, en lugar de repercutirlo en bajar precios. Hoy, las viviendas prefabricadas japonesas, pretenden ser “cero-emisoras de CO₂” y se basan en altas prestaciones incorporando sistemas de captación de energía solar fotovoltaica o de alta eficiencia energética, según las demandas de un nuevo tipo de usuario concienciado con los temas medioambientales, (www.toyotahome.co.jp y www.panahome.jp).



10

La característica que destacan los usuarios japoneses de la vivienda industrializada, según muestra la encuesta del JPA de 2003, es la de su "alta calidad". De hecho, este tipo de vivienda es hoy del orden del 8% más cara que la construcción tradicional, pero se insiste desde la industria en la importancia del coste del ciclo de vida completo de la vivienda como factor más importante que el simple coste inicial. El mercado de la vivienda en Japón reivindica para sí características como: calidad, diversidad y eficiencia energética y desde hace más de tres décadas se ocupa de compatibilizar economía de producción en serie y personalización del diseño, o lo que es lo mismo, posibilitar 'mass production' y 'mass customization' (12). En los noventa, la apuesta por la calidad de la edificación se hizo patente y el Ministerio del ramo en Japón definió una nueva estrategia para "lograr una buena calidad en las viviendas y las infraestructuras que se adaptasen a las necesidades del país, utilizando sistemas y tecnologías que mejorasen los ambientes de trabajo y de residencia" (13).

Actualmente, la industria de la vivienda industrializada japonesa desarrolla políticas de comunicación para incidir en la importancia del *coste del ciclo de vida* de la vivienda por encima del coste inicial, centrándose en la alta calidad del producto (14). La industria ha evolucionado desde las viviendas producidas en serie, de baja relación "*coste / rendimiento*", a viviendas producidas igualmente en serie pero de alto '*rendimiento / coste*', con gran variedad de soluciones y componentes que mejoran la calidad del producto y del equipamiento instalado. Además, tratan de llamar la atención poniendo en el mercado "casas ecológicas" equipadas con instalaciones más eficientes energéticamente, respondiendo a la demanda actual de viviendas sostenibles (15).

Según Kageyama (16) los tiempos de producción previos a la ocupación varían considerablemente. Mientras que las viviendas construidas in situ suponen del orden de seis meses de construcción, las viviendas industrializadas pueden oscilar entre 1,5 y 2,0 meses dependiendo del tipo de vivienda. Los métodos de construcción mediante elementos '3D' sólo requieren de 7 a 10 días de fabricación y otros 10 días de construcción in situ; los sistemas de paneles y estructura lineal requieren de 40 a 60 días desde la orden de compra, hasta la ocupación. La mano de obra representa un 15% del coste de las viviendas de madera y algo más en los sistemas de hormigón y acero. Los elementos producidos en fábrica representan del orden del 50 % del coste de construcción, debido a que los trabajos in situ son especialmente costosos en Japón.

La impronta de las soluciones Toyota

Las casas Toyota se producen en líneas de montaje, en cierto modo similares a las que producen sus vehículos. No obstante, ponen énfasis en distinguir la vivienda como un *producto especial* muy diferente de los automóviles. El desarrollo de los equipamientos domésticos incorpora tecnología automovilística de alto nivel, aportados por el Comité de Desarrollo de productos de Toyota Group Housing.

El trabajo del departamento de investigación de la industria Toyota, afecta directamente a los materiales que configuran la vivienda reduciendo, por ejemplo, los formaldehídos responsables del "síndrome del edificio enfermo", o desalinizando hasta el 99% de los materiales de construcción mediante procesos "bi-action". La domótica automovilística también se ha transferido a la vivienda: una "llave inteligente" similar a la de los vehículos, abre y cierra la puerta principal y las cualidades *anti-arañazo* de la pintura para carrocería ya se aprovechan para revestir las paredes de la vivienda (16).

Un 85% del trabajo de metalistería de los cubículos se termina en la propia planta. Los elementos '3D' se fabrican bajo pedido personalizado de los clientes (método *Just In Time* o *Método Toyota*) y se ensamblan como piezas de un mecano con la ayuda de una grúa, rematándose con elementos de cubierta en tan solo 6 horas. Los elementos '3D' varían en tamaño, llegando hasta los 6 metros de profundidad. Una casa media japonesa se compone de unas 12 unidades Toyota, lo que supone una práctica real de la construcción industrializada 'por trozos o partes'. El comprador puede elegir entre una panoplia de posibilidades y de estilos desde formas vanguardistas a tipologías tradicionales de cubiertas a dos aguas con balcones acristalados (15). Aunque tanto el lenguaje como la tecnología de las viviendas 'Toyota Home', remiten a la industria del automóvil, no sucede lo mismo con sus imágenes que presentan normalmente el aspecto de construcciones tradicionales. (Ver Fig. 11).

Reino Unido

Según el informe "*Re-thinking construction*" patrocinado por el Gobierno de Reino Unido en 1998, el pre-ensamblaje será el principio transformador capaz de mejorar de la construcción en el siglo XXI. Por otra parte, en la conferencia '*Movement for Innovation*' (2000)', el Ministro de la Construcción N. Raynsford



11. Vivienda industrializada `Toyota Home´: www.toyotahome.co.jp.

11

señaló que “el mayor énfasis en el ensamblaje en taller (*off-site*) será la clave para cambiar la cultura de la construcción, para retener y reunir talento y al mismo tiempo proporcionar mejoras en la ejecución, tal y como lo requieren los clientes cada vez más exigentes” (17 y 18).

El Building Research Establishment, BRE, ha llevado a cabo una muestra de construcciones innovadoras en el BRE Innovation Park que ha recibido más de cinco mil visitas de profesionales del sector. Este parque de la innovación en vivienda, situado en el centro de Watford, ofrece una serie de prototipos construidos que muestran las propiedades de los Métodos Modernos de Construcción, ‘MMC’, de viviendas que se aproximan al ‘cero emisiones de CO₂’. Inaugurado en junio de 2005, en 2007 se conformó el núcleo central de la exposición ‘OFF-SITE 2007’ constituido inicialmente por siete prototipos de diferentes características que muestran sus innovaciones tecnológicas (17). Además, ‘Spaceover’ también construyó dentro del complejo BRE, un prototipo formado por dos módulos completamente terminados en fábrica y montados definitivamente en dos horas. Este prototipo es la muestra de las viviendas SLO (*Simple Living Opportunities*) y forma parte del desarrollo urbano de South Chase en Newhall (Harlow) en el que se venden como viviendas unifamiliares adosadas de 2, 3 y 4 habitaciones. (Ver Fig. 12, pág. siguiente).

En el Reino Unido, las acciones de I+D+i que ha llevado a cabo el DETR (*Department of the Environment, Transport and the Regions*), entre 1997 y 2001 coordinadas con el BRE y el EPSRC (*Engineering and Physical Sciences Research Council*) supusieron del orden de diez millones de libras inglesas en proyectos de investigación, varios de ellos dedicados al estudio del ‘pre-ensamblaje en la construcción’, superando los 15 millones, si se incluyen las aportaciones empresariales. Durante este periodo, los principales proyectos financiados en el sector de la construcción, fueron el “*Innovative Manufacturing Initiative*” de EPSRC/DETR y el “*Partners Innovation Programme*” del DETR.

Los trabajos sobre el coste de ciclo de vida en el pre-ensamblaje, ni son definitivos ni arrojan conclusiones contundentes por el momento, ya que tampoco los temas relativos a sostenibilidad están cuantificados. En el Reino Unido se trabaja en proyectos de investigación sobre pre-ensamblaje aunque con enfoques globales y se estima que el trabajo debe abordarse especialmente en lo referente a la cadena de suministro con el objetivo de producir información y orientación para el usuario final.

Holanda

John N. Habraken (19 y 20) es el principal precursor e impulsor del proceso de industrialización de la edificación holandesa. En 1961, publicó el libro ‘*De dragers en de mensen. Het einde van de massawoningbouw*’, traducido como: ‘*Soportes y gente. El fin de la vivienda en masa*’, editado en inglés en 1972. Habraken pretende devolver a los usuarios un papel protagonista y participativo situándolos en el centro de la toma de decisiones que conduzcan a la configuración de sus viviendas. La estereotomía de la edificación en dos grandes capítulos: “soportes” y “partes separables”, plantea dos campos diferentes de intervención: el primero relativo a lo comunitario, responsabilidad de los proyectistas, y el segundo que afecta a lo privado, como responsabilidad de los habitantes.

Las “partes separables”, proponía Habraken hace ya cuatro décadas, serían producidas por la industria a modo de componentes constructivos que elegirían los habitantes, y deberían ser compatibles con ‘soportes’ de muy distintos tipos.

En 1999 el gobierno de los Países Bajos, a través de los Ministerios de Asuntos Económicos y de Vivienda, Planeamiento Espacial y Medio Ambiente, puso en marcha el Programa IFD: “Proyectos demostrativos de construcción Industrializada, Flexible y Desmontable”. El objetivo era promover la aplicación de estos principios constructivos por la industria y el mercado, para que esta forma de construir pudiese convertirse en práctica habitual en la edificación. Hasta



12. BRE Park 2005 y en 2007 Exposición OFFSITE2007 formada por 7 prototipos con un amplio conjunto de innovaciones tecnológicas. A la derecha, Casa Osborne.



2005, se hicieron selecciones anuales de propuestas o proyectos, que se convertirían en realizaciones demostrativas de las tecnologías IFD, aplicadas a edificación ex-novo, rehabilitación, vivienda pública y equipamientos. En total, fueron seleccionadas 71 propuestas. (Ver Fig. 13).

En 1997, antes de la convocatoria del Programa IFD, el Ministerio de Economía encargó una investigación a 'Damen Consultants', para conocer el potencial de la construcción IFD en el mercado holandés y las posibilidades que dichas tecnologías tenían para estimular el sector de la construcción. La conclusión principal fue que los principios de construcción IFD suponían un concepto integrado que podía aunar intereses económicos y medioambientales, al ofrecer soluciones creativas sobre el uso de residuos, combustibles, trabajo, innovaciones tecnológicas...

Un caso destacable del IFD es la propuesta de vivienda 'Variomatic', del arquitecto Kas Oosterhuis, del año 1999, un nuevo enfoque de vivienda de catálogo flexible en todos los sentidos, basado en el concepto interactivo del diseño paramétrico. Los clientes pueden participar en la conformación de sus viviendas, desde elegir el posicionamiento de la cocina, hasta las dimensiones, materiales, colores....

España¹

En la última década, el subsector de construcción de viviendas en España ha tenido un auge histórico, llegando a construir casi 800.000 viviendas nuevas en 2007, un tercio del volumen construido en la Unión Europea. Paradójicamente, este fenómeno no se ha aprovechado para impulsar el desarrollo del proceso industrializador e innovador del sector. No abundan los casos y experiencias dignas de mención al respecto, pese a que

se cuenta con algunas propuestas de interés que aun no llegan a materializarse en resultados sustantivos.

Recientemente se aprecia un tímido acercamiento del sector a los grupos de I+D+i, que se concreta en tres Proyectos de Investigación y Desarrollo subvencionados por los Ministerios de Ciencia e Innovación y de Industria (Proyectos Singulares y Estratégicos como INVISIO (21), CETICA y HABITAT 2030).

En España el grado de industrialización del sector vivienda puede calificarse globalmente de bajo, aun siendo cierto que los componentes prefabricados de hormigón se han implantado en todo el país, y en muchos casos, con niveles de calidad realmente encomiable. Las técnicas avanzadas de hormigón 'arquitectónico' o de 'prefabricación singular por encargo' son práctica común en todo el país y por lo general con un alto nivel tecnológico.

El prototipo demostrativo conformado por cinco viviendas transformables 'Domino 21' dirigido por el arquitecto J. M. Reyes se ejecutó como sistema a base de componentes compatibles ('3D') en sólo 15 días y se desmontó en 7. Su instalación y posterior desinstalación, tuvo lugar en octubre de 2004, con motivo de la celebración de la Feria de Construcción CONSTRUTEC'04 en el IFEMA de Madrid. Este y otros ejemplos de vivienda industrializada en España, se describen en el número 512 de la revista Informes de la Construcción (22).

La empresa 'Modultec Modular Systems', dedicada a la construcción a base de elementos '3D' conformados por estructuras de acero, construye escuelas y centros de salud con buenos niveles de calidad. Los

¹Según SEOPAN (2004), el Valor Añadido Bruto (V.A.B.) de la construcción española fue del 8% del Producto Interior Bruto (P.I.B.). La construcción en España:

- emplea al 11% de la población ocupada;
- desarrolla una actividad equivalente al 10% de la europea;
- ocupa un 5º puesto entre los países de la UE.
- supone 131.000 millones de € de producción total;
- ocupa a 1.985.000 de empleos directos en el Sector;
- realiza 3.090 millones de € de facturación en el exterior.



13

elementos se producen íntegramente en fábrica, donde previamente se comprueba el ensamblaje de todas las unidades volumétricas antes de su transporte al lugar de su instalación.

Una experiencia interesante fue la construcción de su primer edificio industrializado entre medianeras. El montaje de seis plantas de setenta metros cuadrados cada una, se realizó en cuatro noches en pleno centro del casco histórico de Gijón.

Reseñables son los prototipos de vivienda solar de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSAM-UPM), presentadas en los 'Solar Decathlon 2005 (responsable J. Neila) y 2007 (responsable S. Vega), un concurso internacional organizado por el Departamento de Energía de Estados Unidos. En este concurso participaron universidades de EEUU y dos universidades Europeas, la Universidad Politécnica de Madrid y la Universidad de Darmstadt, mediante la presentación del diseño y construcción de un prototipo de vivienda autosuficiente energéticamente, dotada del mayor número de tecnologías que maximicen la eficiencia energética.

El objetivo del concurso era promover la investigación y construcción de viviendas unifamiliares autosuficientes, viviendas ecológicas que generen tanta energía como la que consumen a lo largo de su ciclo de vida. Este concurso se traerá a España para el próximo 2010, donde se propone hacer una versión europea del mismo (Ver Fig. 14, pág. siguiente).

Las 156 viviendas sociales para alquiler, que se construyen actualmente en Zabalgana (Vitoria), puede que sea la primera promoción residencial pública con estructura industrializada y prefabricada de vigas y pilares de varias plantas de hormigón de España. Se trata de una realización promovida por el Gobierno Vasco (VISESA),

con proyecto y dirección del estudio Pich-Aguilera (22, 23 y 24) a base de edificios de ocho plantas, un intento de industrialización abierta a base de componentes de diferentes procedencias.

Especialmente interesante es el proyecto ganador del Concurso Internacional Manubuild (www.manubuild.org) propuesto por el arquitecto Ruiz Larrea (22), y que dará lugar a la construcción de un edificio demostrativo promovido por la Empresa Municipal de Vivienda y Suelo de Madrid. Basado en una concepción avanzada de la industrialización abierta, la solución hará uso de componentes suministrados por diferentes fabricantes y casi todos se montarán en seco sobre una estructura ligera y prefabricada de pilares y vigas tubulares de acero, losas aligeradas de hormigón pretensado y componentes tridimensionales o bloques técnicos y de servicio.

El cerramiento o fachada de tipo ventilado, también consiste en un sistema industrializado que permite la personalización de las diferentes soluciones.

3. ¿QUÉ INDUSTRIALIZACIÓN ABIERTA?

Teniendo presente la información actualizada que proporciona el apartado precedente y ante la dispersión de soluciones diversas y distantes, parece el momento de formular la pregunta: ¿Qué industrialización abierta? Para lo que resulta necesario matizar los contenidos de lo que merece o no la denominación de industrialización abierta: ¿Cuáles son sus paradigmas predominantes?

Matizaciones a la 'industrialización abierta'

A modo de clasificación de los diferentes sistemas constructivos industrializados, se parte provisionalmente y sólo como imagen aclaratoria, aludiendo a la nominación de in-

13. IFD (INDUSTRIALIZADA, FLEXIBLE Y DESMONTABLE)...La experimentación práctica de las innovaciones a escala.



14

14. Viviendas presentadas por la UPM en los Solar Decathlon-Washington. Magic Box-2005 y Solar House 2007.

dustrialización sutil que propuso uno de los autores en 1997 (25), tratando de describir *la forma creciente como llegan a las obras: elementos, componentes y subsistemas de origen industrial*. Con ello se daría un paso hacía una posible acotación de qué entender por ‘industrialización abierta’ de la edificación, lo que requiere dos aclaraciones previas de lo que se propone como *industrialización sutil*:

a.- La primera, respecto a la procedencia de los elementos, componentes y subsistemas: si gran parte de los más significativos con los que se materializan la vivienda o edificio, proceden de una única industria o grupo industrial, estaríamos tentados de nominarla como *industrialización sutil cerrada*. Caso contrario, cuando las procedencias son variadas, y más aún, si son muy diversas, la propuesta –pese a su aparente contradicción– sería nominarla como *industrialización sutil abierta*.

b.- La segunda matización atañe a la forma de concebir los encuentros, uniones o conexiones para restablecer la continuidad

entre elementos (e), componentes (c) y/o subsistemas (s), cuyo resultado es la obra realizada total (vivienda) o parcialmente (soporte), en el sentido que le otorga Habraken (20). Tres posibles tipologías aparecen como las más frecuentes en la práctica actual de los países más desarrollados:

- Cuando el origen de la resolución total se basa en el proyecto arquitectónico-constructivo realizado para responder a un encargo concreto –un caso singular o demandado– necesitaría matizarse como: *industrialización abierta singular o por encargo*;
- Una segunda matización de la ‘industrialización abierta’ puede necesitar el añadido de ‘a base de catálogos’. Pretendería adjetivar los casos en los que el proyecto arquitectónico-constructivo es resultado del consenso entre el equipo de proyecto y los productores-suministradores de (e) + (c) + (s). Esta casuística no resulta necesaria cuando se trata de catálogos de industrialización cerrada. En estos casos, al igual que en la prefabricación pesada, el proyecto tiene, o puede tener, características específicas a las que con gran acierto Smith y Testa, en su libro ‘Building Systems’ (26) denominaron hace ya cuatro décadas: *proyecto invertido*.
- Finalmente, se propone delimitar un tercer caso para ambas, industrialización cerrada y abierta, cuando la resolución de los aspectos constructivos los aporta en su práctica totalidad uno o varios productores-suministradores en forma de *sistema constructivo*, concepto que por su importancia amerita las reflexiones específicas que siguen más adelante en forma de Tabla 1.

En dicha tabla se intentan esquematizar seis posibles familias clasificatorias para matizar las acciones y / o realizaciones de *industrialización sutil*. Al calificar de ‘abierto’, generalmente se alude al sistema constructivo, entendiéndose por tal, siguiendo al CIB (27), *una entidad organizada conformada por componentes entre los que existen relaciones definidas*. También suele acotarse como una organización completa de partes diferentes en la que las relaciones entre ellas están perfectamente definidas y determinadas mediante reglas explícitas. El sistema puede plasmarse en prestaciones muy diferentes, por ejemplo: sistemas de producción, de organización, de información... En la llamada ‘industrialización abierta’, el sistema de elementos, componentes o subsistemas, suele abarcar también los sistemas organizativo e informativo.

Pese a la dificultad de emitir una definición precisa sobre un tema tan amplio, y en ocasiones contradictorio, entenderemos

como *sistema abierto de edificación* (*'open system building'*) un entramado, soporte o armazón para la industria de la construcción que comprende: productos; organización e información; coordinación dimensional; reglas de tolerancias; especificaciones de productos basadas en valores cuantitativos (*'performances'*); datos de modelos de producción;...

El *'sistema abierto de construcción'* no parte de un proyecto concreto y específico, sino del desarrollo detallado de un conjunto de elementos que pueden combinarse de diversas formas, por ello, esta denominación debería utilizarse solamente cuando se cumplen las siguientes condiciones:

a.- Cuando con un limitado número de elementos, que son parte esencial del sistema, pueden realizarse un ilimitado número de proyectos diferentes. Normalmente, habrá en ese tipo de empleos una serie de condicionantes que habrá que respetar, derivados de una *'Guía de Diseño del Sistema'* (retículas, reglas de posicionamiento, criterios de estabilidad, dimensiones máximas, recomendaciones de acabados, detalles de uniones...) y / o del *'Catálogo de Elementos'*;

b.- Los elementos del *'sistema abierto de construcción'* pueden coordinarse con otros de diferentes productores, que en ocasiones, no se conocen entre sí. Esta condición es también necesaria en los llamados *'sistemas semiabiertos de construcción'*.

En ocasiones, por extensión, suelen o pueden utilizarse en forma indistinta las expresiones *'sistemas abiertos de construcción'* e *'industrialización abierta'* aun conscientes de que no son idénticas.

La *'industrialización abierta'* tiene muy distintos significados para diferentes autores. Troyes (28) entiende que tales sistemas *'abiertos'* deben ser:

- Abiertos a diferentes combinaciones en orden a proporcionar diferentes trazados en línea con multitud de necesidades y preferencias individuales;
- Abiertos ante futuros cambios, ya que si ciertas partes del edificio cumplen los requisitos esenciales (estabilidad, resistencia al fuego, aislamiento acústico...) deben proporcionar una larga vida técnica;
- Abiertos para la integración de diferentes subsistemas (s), componentes (c) y elementos (e);
- Abiertos para intercambiar información entre diferentes actores;
- Abiertos para competir entre diferentes suministradores.

Modelos previsibles de la futura *'industrialización abierta'*

Las perspectivas de la construcción industrializada abierta, en opinión de Sarja (29), ya eran en 1990 *'prometedoras'*, hoy, se han diversificado las tendencias que impulsan en la dirección del desarrollo industrial. Entre ellas, coincidiendo con el CIB (27) apunta las siguientes:

a.- La necesidad de aumentar la productividad global en el sector de la edificación, a fin de bajar costes de producción en países en desarrollo, incrementando la capacidad de producción en los países llamados emergentes.

b.- Un crecimiento sostenido de la demanda de *'calidad garantizada'* a la que responde de forma más segura la producción industrial.

c.- La búsqueda del desarrollo sostenible en edificación. Ello se alcanza mejor a través de la producción industrial –propensa al ahorro de energía y materiales- y en la que los desechos pueden reciclarse mejor que en la producción manual –artesanal- en obra.

d.- La pérdida de mano de obra especializada es una continua amenaza del sector construcción. Los modernos métodos industriales de producción y construcción son hoy más atractivos para la mano de obra especializada.

e.- El rechazo en los países altamente desarrollados al trabajo en condiciones duras y/o poco seguras está generando escasez de mano de obra profesional.

La implementación de nuevos procesos constructivos, no es un tema baladí. Para introducir en la práctica constructiva nuevos resultados o innovaciones, las empresas han de contar con proyectos de desarrollo de entre 5 y 10 años de duración, comprendiendo políticas de negocios, de producción y de métodos o sistemas de información.

Coincidimos con Sarja (29) cuando apunta que la industrialización abierta puede suponer transformaciones conceptuales de importancia entre las que apunta:

Pensamiento global → actuación local.
Producción industrial → utilización singular, específica o de encargo.
Producción cerrada → empleo abierto.
Elementos internacionales → en realizaciones locales.

El imperativo ecológico, como no podía ser de otra manera, se manifiesta hoy en forma

de meta tangible y no se entendería el desarrollo de productos de construcción que no tuviesen en cuenta en su elaboración e introducción en los mercados los principios fundamentales medioambientalistas.

El actual nivel de desarrollo de la industrialización de la edificación, puede caracterizarse como de período transitorio entra la segunda y la tercera generación de los sistemas de desarrollo.

La 'globalización' ha supuesto la internacionalización del sector construcción.

'Arquitectura' producida

Mientras que el mundo de la construcción ha crecido como nunca en desperdicios, desechos, restos, demoliciones... y en oficios especializados, en los procesos de ingeniería florece en una fluida integración de sus realizadores y actores, mediante la desaparición de fronteras entre los que crean y los que realizan.

El mundo quiere saber: ¿Por qué los arquitectos permanecen inmunes a la transformación y el progreso? ¿Por qué el maestro constructor de hoy surge de las filas de los procesos de ingeniería y no de la arquitectura?, se preguntan Kieran & Timberlake (30) en su reciente libro-manifiesto '*Refabricating Architecture*', con un subtítulo sumamente expresivo: "Por qué los métodos manufactureros resultan inservibles para transformar la construcción de edificios".

A finales del pasado siglo, el arquitecto se ha visto agobiado por la aparición de nuevos materiales, nuevas calidades de productos, diversidad de componentes y de subsistemas... por otra parte, nuevas 'disciplinas' propias de especialistas como medio ambiente, acústica, aislamiento térmico, durabilidad y patología de las construcciones... han modificado sensiblemente el papel de los responsables del proyecto y ejecución de edificios transformándolos de hecho en 'controladores de proyecto'.

Pese a la extremada diversidad de productos y de sofisticados materiales 'de diseño' que aparecen en el mercado, hoy, existe una muy escasa interacción entre las diferentes disciplinas profesionales que intervienen en la construcción: entre el arquitecto de proyecto y de obra, el constructor, el ingeniero de producto y los científicos de materiales, entre otros.

La nueva ciencia de materiales aplicables en la construcción está posibilitando cambios extraordinarios en el sector, que serían mucho mayores, si existiese un fluido acer-

camiento entre el mundo de la ciencia y el de las técnicas constructivas.

El 'pre-empaquetado' (*pre-packaging*) es otro concepto a retener para adentrarse en la razón de ser de la 'industrialización sutil abierta' (ver Fig. 15), en la imagen pueden verse con claridad didáctica dos caminos extremos para 'completar' o cerrar el soporte: mediante elementos '3D' como materialización del pre-empaquetado en elementos complejos totalmente acabados, y otra alternativa, que se representa por el empleo de elementos, también de origen industrial, pero que llegan a obra sueltos o 'desempa-

15. Imagen de la propuesta ganadora del concurso INVISO 2008. Sobre la estructura (*soporte* según la denominación de Habraken) se representan dos variantes de la llegada de 'productos' procedentes de la industria: de elementos 'pre-empaquetados' en forma de módulos '3D' y de elementos sueltos, igualmente de procedencia industrial, pero que han de unirse in situ.



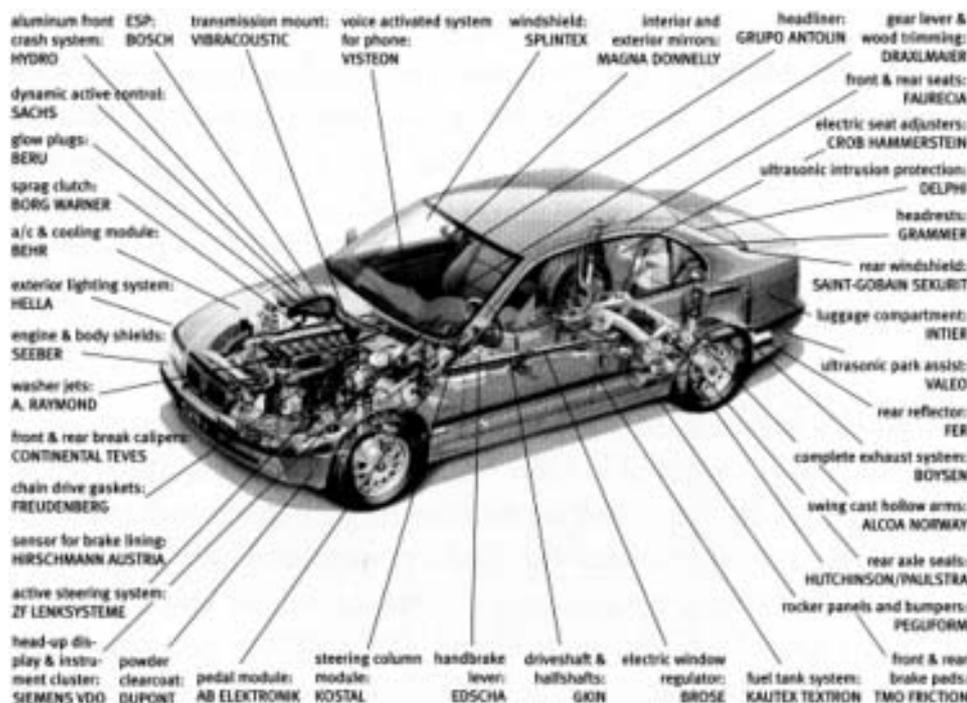
VISTA DE LA FACHADA PRINCIPAL



quetados', o mejor, sin más coordinación previa para su resolución constructiva que la prevista en el proyecto.

16. Cuarenta `partes`, `trozos`...del producto final único: un vehículo BMW AG, procedentes de otras tantas industrias y suministradoras conformando una `armoniosa cadena de suministros`. Es el nuevo símbolo de los cambios conceptuales en la fabricación de automóviles, que a otro ritmo y a años luz, se están produciendo también en el sector de la edificación. (Imagen cortesía de BMW AG, Kieran & Timberlake).

17 a y b. Dos aspectos, a modo de ejemplos didácticos, de la resolución de un `paño` de una edificación mediante 4 elementos iguales conformados por el `pre-empaquetado` de 4 elementos diferentes (Opción a) y mediante 16 elementos `sueños` de 4 tipologías distintas (Opción b).



16

La producción automovilística se basa hoy más que nunca en un ‘cadena de suministros armoniosa’ y hay que reconocer que la imagen elegida por Kieran y Timberlake, cortesía de BMW AG (Ver Fig. 16), es un magnífico ejemplo de integración de componentes complejos de muy diversas procedencias –cuarenta en la imagen representada- que están destinados a ‘acoplarse’ para conformar un automóvil. Vemos con sana envidia estos logros a años luz de la realidad de la construcción, pese a que la viviendas es una necesidad primaria, un derecho fundamental, al tiempo que se trata de la ‘solución material’ que afecta a la totalidad de la humanidad y que supone el mayor tiempo de uso, toda la vida... y con un presupuesto bastantes veces mayor al de cualquier vehículo utilitario.

La industrialización con ‘pre-empaquetado’ en fábrica o ‘post-empaquetado’ en obra, conlleva la necesidad imperiosa de la resolución de uniones, juntas, enganches, encolados... de las partes concurrentes.

El mayor o menor número de elementos capaces de resolver en forma pertinente un ‘elemento funcional de la vivienda’ es una de

las bases del éxito o fracaso de la ingeniería de proceso.

Las imágenes esquemáticas de las Figuras 17a y 17b, ilustran dos posibles soluciones entre las muchas que pueden imaginarse: la primera se resolvería con 16 elementos de 4 tipos diferentes y 24 tramos de ‘juntas’; en la segunda se haría con 4 elementos de 4 tipos diferentes y 4 ‘juntas’. No se abordan en las imágenes los tipos de ‘diferencias entre elementos’, lo que es objeto de no pocas disquisiciones teóricas y, lo que es más importante, de repercusiones prácticas.

Kieran & Timberlake Associates en 2001 (30), se propusieron como ejercicio de investigación académica la reconstrucción virtual de la ‘Casa Farnsworth’ proyectada por Mies van der Rohe en 1947. El reto del proyecto era reducir el número de partes construidas in situ en el proyecto original, incorporando elementos y materiales que no estaban a disposición en 1947... Pretendieron los autores mencionados dar una respuesta de hoy a un icono de la arquitectura de ayer. La solución tradicional realizada en su momento comprendía 1267 partes que se unieron en obra, la respuesta de hoy tan sólo entre 48 y 22 componentes,



17

dependiendo que se contabilice o no la realización de la infraestructura.

Lo que se planteó como ejercicio académico hoy es una realidad. Elementos procedentes de la factoría Boeing en Everett (Washington) se unieron materializando la idea de los autores de *'Refabricating Architecture'* y construyendo en forma industrializada la 'Arquitectura' de Mies en este caso concreto. El debate está servido, pero no cabe duda que merezcan la pena este tipo de realizaciones experimentales capaces de inyectar aire fresco en un sector atrofiado. (Ver Fig. 18).



18

Hoy, la vanguardia teórica, habla más de fabricación 'off-site' que de 'prefabricación' y se piensa en el edificio como la integración de partes, trozos, bloques... Hay coincidencia en que es mucho lo que queda por andar en la consecución de proyectos definidos hasta el menor detalle con mentalidad industrial: estructuras de aluminio, conectores de acero, láminas, aluminio IGU, hojas de polipropileno, marcos de ventana de aluminio, láminas para suelo y escaleras... el papel del proyecto para la industrialización de la vivienda parece que se encamina no a reinventar sino a revisar, capitalizar y ampliar las capacidades de las tecnologías existentes.

4. A MODO DE DECÁLOGO DE REFLEXIONES Y CONCLUSIONES

Sin orden de preferencia por importancia, ni por grado de seguridad o convencimiento de los autores en lo que se expone, parece pertinente finalizar con unas reflexiones sobre los contenidos del trabajo. Se trata de un conjunto de temas en los que se agrupan posibles tendencias de futuro más o menos inmediato, constataciones de pensamientos ajenos y algunas propuestas derivadas directamente de los apartados precedentes.

1.- El interés por la industrialización de la vivienda en Europa parece resurgir, una vez más, en el inicio del Siglo XXI. Así lo manifiestan la mayoría de los acontecimientos que se han descrito a lo largo del trabajo. No es la 'industrialización abierta' que se vislumbraba en los ochentas con apoyo de los Estados mediante la utilización masiva de componentes 'compatibles'. El proceso de industrialización ciertamente no se ha detenido, pero hoy es tremendamente pragmático y heterogéneo en un mercado como el de la edificación que por encima de todo es abierto.

2.- Las estrategias vigentes dominantes en industrialización de la construcción las clasificaba recientemente el CIB (Grupo TG 57) en dos categorías, en función del lugar en el que se realizan o producen las partes sustantivas del edificio:

a.- *Industrialización on-site*, se refiere a la aplicación de herramientas y tecnologías avanzadas utilizadas 'in situ', tales como: posicionamiento mediante herramientas GPS, empleo de unidades de prefabricación pesada '3D', identificación de elementos mediante códigos de barras, suministros 'just-in-time', encofrados trepadores, elevación por bombeo del hormigón, aplicaciones robotizadas de acabados, etc.

b.- *Industrialización off-site*, basada en la asunción de que estas construcciones deben realizarse en su mayor parte en plantas de producción. El objetivo último es conseguir un cambio radical capaz de proporcionar un nuevo tipo de viviendas construidas mediante elementos prefabricados unidos in situ, dispuestos para entrar directamente en uso.

3.- El sector de la edificación, por 'méritos' propios, está bajo sospecha en aspectos de sostenibilidad. Existen datos comprometedores sobre las emisiones que la edificación genera a lo largo de su ciclo de vida, así como por su abusiva explotación de recursos. También es cierto que algunos subsectores, están reaccionando adecuándose a las nuevas exigencias medioambientales. Hoy, el reciclaje de materiales es tema de vital importancia, ello hace que materiales como el acero, especialmente en forma de perfiles conformados en frío, la madera o 'composites' diversos, se revaloricen por ser reciclables y más sostenibles que el hormigón.

El peso por unidad de obra realizada se relaciona directamente con el transporte (a más peso, más emisiones de CO₂) y con la cantidad de energía consumida, por ello, la levedad está en alza y cuenta a favor de ciertos tipos de industrialización, destacando los sistemas y procedimientos más ligeros por metro cuadrado construido. Pero no olvidemos que Fuller ya apostaba en los años 30 por la levedad de las construcciones, afirmando que cuanto más ligero fuera un edificio, más eficiente sería.

18. El ejercicio académico acometido por Kieran & Timberlake, finalizó con el montaje en tres días, de la famosa vivienda de Mies, materialización brillante de la forma de abordar la industrialización de la construcción del Siglo XXI' de los autores del libro-manifiesto *'Refabricating Architecture'*.

Se detecta hoy una demanda cualificada de ciertos estratos sociales por aumentar y mejorar las prestaciones y servicios de las viviendas que habitan: mayor eficiencia energética, de acuerdo a las nuevas exigencias medioambientales, viviendas 'cero-emisivas', calidad del aire interno,... Mientras, la industria de la construcción absorbe el 50% de los recursos mundiales, lo que la convierte en la actividad menos sostenible del planeta.

Dimitri Papalexopoulos, gerente general de 'Cementos Titán', en la última reunión de la CEMENT (2008) afirmaba: "... No hay nada que hacer, la producción de cemento siempre supondrá emisiones de dióxido de carbono. No se pueden cambiar las leyes de la química, no podemos esperar cambios espectaculares en la disminución de las emisiones. Las compañías productoras estamos nerviosas ante el futuro de las regulaciones". Tienen sobradas razones para estarlo.

4.- En nuestra percepción, han cambiado más los discursos que las realizaciones. Sin duda, las propuestas provocadoras e inteligentes de Kieran y Timberlake a las que nos hemos referido anteriormente, son válidas y necesarias, pero cuando se pasa del discurso a su materialización en la 'Cellophane House' del MOMA (ver Fig. 9), para la que no se han escatimado medios de ningún tipo, los resultados construidos no son, ni tan revolucionarios ni tan consistentes como se presentan. Máxime, si se recuerda que la 'Keck Cristal House' (Ver Figuras 19 a y 19 b) fue realizada por George F. Keck en 1933. De ella comentaba su autor con cierta humildad, que de su construcción en la 'Century of Progress Exposition': "... probablemente la función más importante que aportó la 'Casa de Cristal' fue poder determinar la forma en la que reaccionó un gran número de visitantes de la exposición ante las propuestas completamente fuera de las ideas convencionales, sobre lo que era una vivienda". La 'Crystal House' también llegó acompañada de un manifiesto con cuatro puntos fundamentales, que al releerlos [setenta años después] sorprenden por su rabiosa actualidad. Keck planteaba que: el primer punto de debate era el plano libre en relación con su eficiencia / coste; se refería a la vivienda como un servicio para sus habitantes y no viceversa; el tercer objetivo sugería que debía pretenderse la consecución de una temperatura ambiente interior confortable mediante medios pasivos y a base de modular la intensidad de luz natural; el cuarto punto señalaba la necesidad de diseñar sin las barreras de la producción industrial masiva, pero sin renunciar a '*las oportunidades de expresiones individuales, el buen gusto y las grandes prestaciones*' que ésta puede proporcionar.

5.- En la industria de los objetivos del rancio taylorismo propios de la producción masiva (*mass production*), de los que resultaban series grandes de elementos normalizados rigurosamente idénticos, se ha evolucionando gracias a los procesos de producción modernos apoyados en la informática. La investigación se centra hoy en procesos productivos automatizados, mediante líneas de producción flexibles que permitan introducir variaciones -incluso durante la fabricación de los componentes- actuando sobre la cadena de montaje en forma distinta para cada proyecto diferente. La denominada *mass-customization* que en versión libre nos atreveríamos a traducir como 'producción masificada a la medida' -lo que nos lleva a pensar, por cercanía, en el fenómeno ZARA-, proporciona una producción en serie y personalizada del producto final, con prestaciones que se adaptan a los requerimientos específicos de cada usuario, dando lugar a la personalización de los procesos industriales.

6.- Se constata, pese a la libertad a ultranza de mercado, que el impulso necesario para incrementar la industrialización de la construcción necesita del apoyo de la Administración. La correcta modulación de la regulación e intensidad de dicho apoyo resulta clave. En nuestra percepción, la presencia de la Administración en el proceso ha de ser 'sutil' -por recoger otra acepción del adjetivo ya empleado- es decir, ni tan involucrada que atosigue llegando a la asfixia de la capacidad creativa del sector, ni tan leve que su participación no consiga ganar el interés de los empresarios al no percibir las ventajas de contar con sus directrices o incentivos en materia de I+D+I (Investigación, Desarrollo e Innovación), programas y proyectos mixtos empresariales y estatales, realizaciones piloto, apoyos a la investigación finalista, discriminación positiva del empleo de soluciones industrializadas en promociones oficiales, especialización reconocida en la enseñanza de tercer ciclo....

7.- Un posible obstáculo para industrializar la construcción de viviendas en España puede ser la carencia de especialización de excelencia de técnicos y la escasa comunicación proyectista-fabricante que impide la implantación de procesos altamente industrializados en las obras, cuya construcción sigue siendo mayoritariamente tradicional. El origen de esto hay que buscarlo en la propia formación, la cual es necesario adaptarla a las nuevas tendencias. Parece necesaria y pertinente una actividad programada en I+D en el campo de la 'Industrialización Abierta de la Construcción' a la par que en la enseñanza de especialización en esta disciplina. Parece un buen camino el emprendido por el Grupo de Trabajo W104 del CIB 'Open Building' (<http://open-building.org/>) creando



a



b

19 a y b. Dos aspectos de la 'Keck Cristal House' proyectada por George F. Keck y construida en la 'Century of Progress Exposition' en 1933, adelantándose claramente a su tiempo. Su autor ya reivindicaba hace más de siete décadas "la necesidad de diseñar sin las barreras de la producción industrial masiva, pero sin renunciar a 'las oportunidades de expresiones individuales' el buen gusto y las grandes prestaciones' que ésta puede proporcionar".

19

recientemente un Programa de Trabajo con el título 'International Developments in Education for Open Building', coordinado por la Bell S. University.

8.- Los países industrializados han cubierto en los últimos 50 años sus necesidades básicas y más perentorias de vivienda, presentándose hoy como mercados de oferta, en lugar de demanda y emergencia, características propias de los años cincuentas. Hoy, son las economías emergentes (China, India, Brasil, etc.) junto con los Países en Vías de Desarrollo, los que presentan una abrumadora y urgente necesidad de vivienda, carencias tan sustantivas tendrían que motivar a la comunidad tecnológica para buscar y poner en práctica otras ópticas, otras políticas, otras tecnologías y materiales, y con seguridad, más y mejor industrialización del hábitat colectivo.

9.- Pareciese que todo es posible desde el punto de vista de su resolución técnica, pero vislumbramos como pertinente la necesidad de repensar el para qué de la carrera técnica desenfrenada, que no apunta éticamente a ninguna parte. Nos mostramos incapaces de apuntar las razones últimas en las que sustentar y justificar la implantación de la 'industrialización abierta', al no plantearse ni de soslayo el problema capital: 'la abrumadora y creciente necesidad'. Se invocan sin demasiado convencimiento los problemas que sobre el medio ambiente provoca el sector construcción, pero rara vez se miden los posibles ahorros. Si se analizasen con detenimiento las cinco realizaciones tangibles de la exposición 'Home Delivery' (9) a las que nos hemos referido y que tanta repercusión tendrán a nivel mundial, pocos serían los resultados tangibles que aporta para paliar los problemas que se evocan.

La 'industrialización abierta' en general, y a nivel más concreto, los 'sistemas abiertos de construcción' aparecen como brillantes resoluciones de obras únicas, cuando no caprichosas, resultado de alardes tecnológicos, de encargos, que en el fondo, están pidiendo una resolución artesanal, que sería lo suyo.

Se denota un déficit de hitos de referencia a la manera de las reflexiones de algunos maestros del pasado: Le Corbusier afirmaba en 'Hacia una Arquitectura', refiriéndose a un concurso francés para la construcción de 500.000 unidades de viviendas de bajo coste, que "...se trataba de abrirle los ojos a los que no quieren ver la necesidad y la belleza de la producción de viviendas en factorías y su suministro, en lugar de ser construidas en sus emplazamientos o parcelas" y Gropius, apuntaba en 1937, algo que sigue pareciendo oportuno hoy: '...el costo medio de una vivienda en América (EEUU) se incrementó entre 1913 y 1937 en un 193%, mientras que el costo medio de un automóvil cayó del orden del 60%,' concluyendo su razonamiento con una afirmación vigente: 'La generación que nos sigue nos culpará y nos rechazará, si no somos capaces de cambiar la situación actual tan contraria a la industrialización'.

Como principales grandes objetivos o móviles hacia los que enfocar los esfuerzos de la construcción del futuro, suelen aparecer: mejorar la calidad, agregar valor para los usuarios, reducir los períodos in situ de mano de obra cualificada... y en el sentido opuesto, se enuncian como principales barreras para la industrialización: el conservadurismo del sector, los derivados de las culturas locales y la oposición de los arquitectos. El proceso de 'industrialización abierta' se debate ante enfrentamientos añejos: procesos de innovación o productos innovadores; producción *off-site* versus construcción *on-site*; sistemas innovadores frente a los tradicionales existentes, etc.

10.- Pero no terminan con las anteriores las posibles maldades de la utilización de la tecnología, abierta o cerrada, poco importa. Se anunciaba recientemente "El proyecto en los Emiratos Árabes de una torre giratoria con viviendas prefabricadas en permanente movimiento, que el arquitecto David Fisher ha presentado (24 junio 2008 en Nueva York) como 'Rotating Tower Dubai Development', una torre viva de 80 pisos en movimiento que aspira incluso a ganar la etiqueta de 'proyec-

to verde'... Una torre de apartamentos de lujo que se prefabricarán en Bari (Italia), al precio estimado de 20.000 Euros por metro cuadrado" (ver Fig. 20).

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo formaron parte del Proyecto Singular Estratégico: 'Optimización de la Producción de Viviendas Sostenibles

(INVISIO)' financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, año 2007, y más concretamente, del subproyecto SP1: 'Análisis del Entorno Socioeconómico, Coordinación y Difusión' que se realizó en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja con el siguiente equipo de trabajo: Ignacio Oteiza (I. P.), Juan Monjo, Julián Salas, Juan Queipo, Silvia Choucino, Diego García-Setién y Guadalupe Gómez. A todos, el sincero agradecimiento de los autores.



20

20. Propuesta del arquitecto David Fisher recientemente presentada (24 de junio, en Nueva York) como la 'Rotating tower Dubai Development', una torre viva de 80 pisos en movimiento, que se produciría 'of site' -en Bari, Italia- y que aspira, incluso, a ganar la etiqueta de 'Proyecto Verde'...

BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

- (1) Ortega y Gasset J., *Meditaciones de la Técnica*, Edit. Alianza, Revista de Occidente - Alianza Editorial, Madrid 2002, séptima reimpresión.
- (2) Platzner M., 1984, *Catálogo de la Exposición 'Architecture et Industrie'*, Edit. Centre G. Pompidou, Paris, 1984.
- (3) Prouvé J., 1979, *Rev. 'T & A'*, N° 327, Paris, 1979.
- (4) BoKLoK, IKEA: www.boklok.com
- (5) The German Marshall Fund, 2001, "Coming in from the Cold: Energy-Wise Housing in Sweden".
- (6) Goldstein, B.; McCoy E. 1998. "Arts & Architecture The Entenza Years". Hennessey + Ingalls Art + Architecture Santa Mónica CA. USA
- (7) *Changes in Manufactured Housing and Construction of Non-Residential Modular Buildings in the United States*. PFS Corporation, N. Y. 2003.
- (8) E. Caamaño Martín; J. Neila, Javier Jiménez, Miguel Ángel Egido; María J. J. Uzquiano; José Miguel Gómez; César Bedoya; Luis Magdalena; Alfonso García Santos. Viviendas solares autosuficientes: participación de la Universidad Politécnica de Madrid en el concurso "Solar Decathlon" Informes de la Construcción. Vol. 56 n° 494 (2004) Pág.35-46 CSIC. Madrid. España.
- (9) MOMA, 2008, *Catálogo 'Home Delivery, Fabricating the Modern Dwelling'*, Museo de Arte Moderno de N. Y., Julio 2008, 247 páginas. USA.
- (10) Anderson M., Anderson P. , 2007, *Prefab Prototypes*, Princeton Architectural Press, New York, 2007.
- (11) Gropius W., 1954, Cambridge Massachussets, November 1950, in Koyama Masakazu, ed. Walter Gropius (Tokyo: Kokusai Kenchiku, 1954).
- (12) Sackette J.G., 1986, *Japan's Manufactured Housing Capacity: A review of the industry and Assesnt of Future Impact on the U.S. Market*.
- (13) Mckellar J., 1985, *Industrialized Housing: The Japanese Experience*.
- (14) Noguchi M., 2005, *Japanese prefabricator's means to commercialize mass custom homes equipped with photovoltaic solar electric systems*. Proceedings of the ACSA 2005 International Conference, pp.25-29, Mexico City, Mexico, June 9-12, 2005.
- (15) Noguchi M., 2000, *User choice and flexibility in Japan's prefabricated housing industry*.
- (16) Kageyama Y., 2006, *Toyota banking on famed production ways in housing business*. *The Seattle Times*. www.toyota.co.jp/en/more_than_cars/housing/index.html
- (17) NHBC Foundation, *A guide to modern methods of construction*.
- (18) Alistair G.F. Gibb, 2001, *Pre-assembly in construction: a review of recent and current industry and research initiatives on pre-assembly in construction*.

- (19) Habraken N. John et alt., 1979, *Variations: The systematic design of supports*. Samson Uitgeverij, Holanda, 1974. Traducción: El diseño de soportes. Gustavo Gili Reprints. Barcelona, 1979
- (20) Habraken N. John, 2005, *Teicher J. Palladio's Children*. Taylor & Francis. London, UK, 2005
- (21) Proyecto Singular Estratégico: '*Optimización de la Producción de Viviendas Sostenibles (INVISO)*' Financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, presupuesto del año 2007. Ver en el número 512 de Informes de la Construcción, IETCC dic. 2008, páginas 71 a 86 una reseña parcial de los proyectos ganadores del Concurso de Ideas INVISO 2008
- (22) Informes de la Construcción. Vol. 60 nº 512 (2008) Pág.3-96 CSIC. Madrid. España.
- (23) Pich - Aguilera, Felipe. 'Estudio de la edificación industrializada con sistemas pesados en España'. Beca de investigación VISESA
- (24) Pich - Aguilera F., Batlle T., Saner B., 2005, 'Una respuesta real a la arquitectura industrializada', 72 páginas, Edit. EDIN-Pujol, Barcelona.
- (25) Salas J, 1981, 'Alojamiento y Tecnología: ¿Industrialización Abierta?' *Páginas 157, IETcc - CSIC, Madrid.*
- (26) Smith y Testa, en su libro 'Building Systems', Edit. Artemio, Zurci, 1974.
- (27) CIB: *Open and Industrialised Building*, Edited by Asko Sarja, Prof. Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland. Report of Working Commission W28 (First published, 1998)
- (28) Frank de Troyes, 1998, *Industrialised building: a review of approaches and a vision for the future*. Edited by Asko Sarja, Prof. Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland. Report of Working Commission W28 (First published, 1998)
- (29) Sarja, A., 1990, *A new generation of open building based on hierarchichal modulation*. European Communities Commission. Stuttgart, February 21-23, 1990. Open industrialization a solution for building modernization).
- (30) Kiedran S. y Tmberlake J., 2004, 'Refabricating Architecture', McGraw-Hill, 176 páginas, New York, 2004.

* * *

MADRID

La Red Universitaria de Investigación sobre Cooperación para el Desarrollo

II Congreso Internacional de Desarrollo Humano Madrid 2009:
"Ciudad sostenible: los retos de la pobreza urbana"
 22 y 23 de abril de 2009

Instituto de Formación y Estudios del Gobierno Local de Madrid
 Calle Almagro, 5 - 28010 Madrid

Logos of participating institutions: UAM, UNED, COMILLAS, Universidad de Madrid, Universidad de Sevilla, CEU.

MADRID

"Ciudad sostenible: los retos de la pobreza urbana"
 Madrid, 22 y 23 de abril de 2009

Habitabilidad básica
Infravivienda

Medioambiente urbano

Planificación y Gestión de ciudad

Gobernanza
Desarrollo local

Empleo Informalidad

Marginalidad
Exclusión social

Ciudadanía
Diversidad

Problema

Prospección

Tema

Permisos **Costes**

Análisis-Orienta

Condiciones
Descontextualización

Estrategia
Inclusión

Condiciones
Inclusión

Enfoque de inclusión

Información: www.reduniversitaria.es
 TEL: (+34) 91 700 41 47