

*“Impacto del BIM  
en la gestión  
de un proyecto  
y obra arquitectónica:  
de Autocad a Revit”*

---

*“Aplicación al campo de la arquitectura modular”*

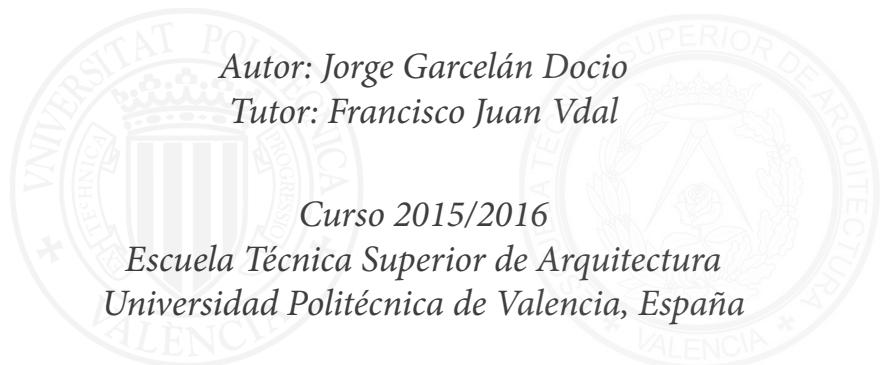
---

*Autor: Jorge Garcelán Docio*

*Tutor: Francisco Juan Vdal*

*Curso 2015/2016*

*Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Universidad Politécnica de Valencia, España*



*“Impacto del BIM aplicado al campo  
de la arquitectura modular”*

*Alumno: Jorge Garcelán Docio  
Septiembre 2016*

# R ESUMEN

*Cada vez más, en el ámbito de la arquitectura, se utilizan diversos programas para poder desarrollar y definir detalladamente tanto los procesos de diseño y ejecución como de organización y desarrollo del proyecto arquitectónico. En este caso, se va a analizar el impacto de una tecnología que ha ido adquiriendo carácter con el paso del tiempo en todo el mundo. Ésta es la tecnología BIM.*

*Fruto de una revolución industrial surgida a finales del siglo XVIII, surgió el concepto de “industrialización” para asentarse como una nueva metodología en el ámbito de la producción que utiliza la máquina como nuevo productor del sistema. Poco a poco, el uso de la industria en el ámbito de la construcción se ha ido generalizando notablemente contribuyendo en alta medida el uso de la arquitectura modular como nuevo modelo proyectual contrastado por una arquitectura tradicional que hoy en día sigue siendo la elección por defecto.*

*A lo largo de este Trabajo Fin de Grado se han analizado las características que presenta la arquitectura modular y se ha desarrollado un caso práctico utilizando la herramienta BIM para su definición. Primeramente, se ha definido el modelo tridimensional con un software que utiliza dicha tecnología llamado Revit. En este proceso se ha utilizado el proyecto de vivienda unifamiliar situado en Picassent, proyectado y ejecutado por el arquitecto Jorge Navarro Reyes en el año 2015. A continuación, se han analizado las modificaciones surgidas en la fase de ejecución y la repercusión que tienen éstas en la nueva fase de diseño. Por último, con toda la información obtenida, se ha contrastado el impacto que tiene esta tecnología en el proceso proyectual de la vivienda.*

*En definitiva analizaremos el impacto de la nueva metodología BIM, en un proyecto de vivienda modular, en comparación con las alternativas tradicionales utilizadas hasta el momento, tanto del punto de vista de diseño como de ejecución.*

**Palabras clave:** Building Information Modeling (BIM), Revit, modelo 3D, arquitectura modular, industrialización, prefabricación, sostenibilidad.

# R ESUM

*Cada vegada més, en l'àmbit de l'arquitectura, s'utilitzen diversos programes per a poder desenvolupar i definir detalladament tant els processos de disseny i execució com d'organització i desenvolupament del projecte arquitectònic. En aquest cas, es va a analitzar l'impacte d'una tecnologia que ha anat adquirint caràcter amb el pas del temps a tot el món. Aquesta és la tecnologia BIM.*

*Fruit d'una revolució industrial sorgida a la fi del segle XVIII, va sorgir el concepte de "industrialització" per a assentar-se com una nova metodologia en l'àmbit de la producció que utilitza la màquina com a nou productor del sistema. A poc a poc, l'ús de la indústria en l'àmbit de la construcció s'ha anat generalitzant notablement contribuint en alta mesura l'ús de l'arquitectura modular com a nou model projectual contrastat per una arquitectura tradicional que avui dia segueix sent l'elecció per defecte.*

*Al llarg d'est Treballe Fi de Grau s'han analitzat les característiques que presenta l'arquitectura modular i s'ha desenvolupat un cas pràctic utilitzant l'eina BIM per a la seua definició. Primerament, s'ha definit el model tridimensional amb un programari que utilitza aquesta tecnologia anomenat Revit. En aquest procés s'ha utilitzat el projecte d'habitatge unifamiliar situat a Picassent, projectat i executat per l'arquitecte Jorge Navarro Reyes l'any 2015. A continuació, s'han analitzat les modificacions sorgides en la fase d'execució i la repercussió que tenen aquestes en la nova fase de disseny. Finalment, amb tota la informació obtinguda, s'ha contrastat l'impacte que té aquesta tecnologia en el procés projectual de l'habitatge.*

*En definitiva analitzarem l'impacte de la nova metodologia BIM, en un projecte d'habitatge modular, en comparació de les alternatives tradicionals utilitzades fins al moment, tant del punt de vista de disseny com d'execució.*

**Paraules clau:** Building Information Modeling (BIM), Revit, model 3D, arquitectura modular, industrialització, prefabricació, sostenibilitat.

# A BSTRACT

*More and more, in architecture's field, variety of programs are being used to develop and define in detail the design and execution as well as organization and development in an architecture project. In this case, the impact of a technology, which has been generalized over time throughout the world, is going to be analyzed. This is the BIM technology.*

*Due to industrial revolution's emergence at the end of the XVIII century, the "industrialization" concept emerged to settle as a new methodology in the production field that uses the machine as a new system producer. Gradually, the use of industry in construction sector has been highly generalized promoting modular architecture as a new project model in opposition to the traditional architecture which nowadays still is the default choice.*

*Throughout this Degree Final Dissertation (DFD) different modular architecture's aspects have been analyzed and a case study using the BIM technology for defining it has been developed. Firstly, the tridimensional model has been defined with Revit software, which uses that technology. A single-family house located in Picassent, planned and executed by the architect Jorge Navarro Reyes in 2015, has been used in this process. Then we have analyzed the variations occurred in the implementation phase and the impact that they have on the new design phase. Finally, with all the information that we have obtained, it has been checked the impact of this technology in the design process of the house.*

*In summary, we will analyze the impact of the new BIM methodology in a project of modular housing, compared with the traditional alternatives used so far, both from the standpoint of design and implementation.*

**Key words:** Building Information Modeling (BIM), Revit. 3D model, modular architecture, industrialization prefabrication, sostenibility.

# A CRÓNIMOS

**BIM:** Building Information Modeling

**CAD:** Computer Aided Design

**IFC:** Industrie Foundation Classes

**RIBA:** Royal Institute of British Architects in London

**CSTB:** Centro Científico para la Investigación de la Edificación

**ETS:** Escuela Técnica Superior

**UPM:** Universidad Politécnica de Madrid

**EMII:** Edificación Modular Integral Industrializada

**ACV:** Análisis del Ciclo de Vida

# ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>15</b>
1.1 Motivación.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Operativos.....	17
1.3 Metodología de trabajo.....	19
<b>2. Sobre BIM</b>	
2.1 Definiciones.....	21
2.2 Características.....	22
2.2.1 Base de datos.....	22
2.2.2 Diseño paramétrico.....	22
2.2.3 Interoperabilidad.....	23

2.3	Programas de BIM.....	23
2.3.1	Revit.....	23
2.3.2	Allplan.....	24
2.3.3	Archicad.....	24
2.3.4	Otros.....	24
2.4	Dimensiones de bim.....	24
2.4.1	Modelling.....	24
2.4.2	Scheduling.....	25
2.4.3	Estimating.....	25
2.4.4	Sustainability.....	25
2.4.5	Facility management applications.....	25
2.5	Diferencias CAD vs BIM.....	26
<b>3.</b>	<b>Arquitectura Modular.....</b>	<b>29</b>
3.1	Conceptos.....	29
3.1.1	Industrialización.....	30
3.1.2	Construcción industrializada.....	30
3.1.3	Prefabricación.....	31
3.1.4	Arquitectura modular.....	32
3.1.5	Industrializada ≠ Prefabricada ≠ Modular.....	33
3.2	Antecedentes.....	34
3.2.1	Cronología.....	34
3.2.2	La nueva etapa.....	39
3.2.3	Actualidad.....	41
3.3	Topologías de sistemas.....	41
3.3.1	Fabricación de componentes.....	41
3.3.2	Forma geométrica.....	43
3.3.3	Nivel de prefabricación.....	45
3.4	Ventajas y desventajas.....	45
3.4.1	Ventajas.....	45
3.4.2	Desventajas.....	46
3.5	Sostenibilidad.....	47
3.5.1	Concepto.....	47
3.5.2	Aspectos.....	47
3.5.3	Características.....	48
<b>4.</b>	<b>Caso de Estudio.....</b>	<b>51</b>
4.1	Proceso metodológico.....	53
4.1.1	Comprensión del proyecto.....	54
4.1.2	Diseño del proyecto.....	54
4.1.3	Obstáculos surgidos.....	57
4.2	Entrevista con el arquitecto.....	58

<b>5.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b>Índice De Figuras.....</b>	<b>67</b>
<b>7.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>71</b>

ANEXO 1. Planos

ANEXO 2. Entrevistas



# 1 INTRODUCCIÓN

Desde que la arquitectura existe, han habido diferentes sistemas de representación cuyo objetivo era finalmente la comprensión del proyecto. En todo este proceso de representación se han ido desarrollando diversas metodologías que han ido evolucionando a través del tiempo para otorgar al arquitecto una mejora en la eficacia de diseño y en la disminución del tiempo invertido en el mismo. Ya desde hace más de treinta años se produjo una nueva revolución en el concepto de desarrollo de un proyecto de arquitectura con la conocida herramienta CAD. Bien es sabido que anterior a ésta, todos los procesos de diseño se realizaban a mano y con ayuda de herramientas de dibujo técnico.

La herramienta CAD supuso un gran avance en la manera de definir un proyecto, el tiempo invertido en las modificaciones y sobretodo la capacidad de componer diferentes planos utilizando el trabajo ya efectuado en las demás figuras.

Sin embargo, con el paso del tiempo, se han detectado diferentes incoherencias que hacen de ésta herramienta una posibilidad de mejora.

Hoy en día, con el potente auge de las tecnologías, se han desarrollado diferentes alternativas para el diseño y desarrollo de un proyecto de arquitectura. Éstas dejan atrás las herramientas que únicamente realizaban procesos en dos dimensiones, creando así un nuevo concepto de trabajo.

Se podría decir que estamos en una nueva revolución, como años atrás cuando surgió la herramienta CAD. En este caso, hablamos de la conocida metodología *BIM, Building Information Modeling*.

Con la ayuda de esta tecnología desarrollaremos un proyecto de arquitectura modular, con unas premisas muy concretas de diseño, prefabricación, industrialización y sostenibilidad. En este proceso, intentaremos comprender cuáles son las diferencias entre las herramientas utilizadas anteriormente, como la tecnología CAD, la cual es la herramienta por defecto en España.

## 1.1 Motivación

Mi interés hacia el uso de la tecnología BIM viene dado desde hace un par de años. Al comienzo de mi etapa universitaria, se utilizaba la mano alzada como expresión gráfica para plasmar los proyectos. Eso cambió a partir del segundo año de carrera, cuando nos enseñaron a utilizar la herramienta Autocad. En esa etapa aún no tienes mucha idea de los programas posibles a utilizar en la arquitectura, por lo que simplemente optas por formarte en el programa que se utiliza la mayoría. Sin embargo, tras varios años de experiencia, te das cuenta de que el programa en cuestión está bastante limitado por lo que al final decides buscar diferentes alternativas. En mi situación, fue a finales del cuarto curso cuando traté de encontrar una solución a las noches sin dormir. Entonces descubrí la tecnología BIM.

Tras un año de Erasmus y conociendo gente de cualquier parte del mundo, te das cuenta de que fuera de España la herramienta BIM está muchísimo más asentada que en nuestro país, siendo su utilización, al menos en proyectos de carácter público, obligatoria en los países Bálticos, Australia y América central. Es un motivo más por mi interés hacia dicha tecnología, puesto que por un lado la exigencia de esta herramienta es usual en el extranjero y por otro lado, dentro de unos años será formalizada también en nuestro país.<sup>01</sup>

Actualmente, el uso de esta tecnología en España es bastante inusual. Por no decir el cien por cien de los técnicos utilizan la herramienta Autocad. Sin embargo, cada vez más estudios de Arquitectura y Diseño han adoptado por el uso de la tecnología BIM como nueva metodología de trabajo, por lo que también se ha aumentado la demanda de personal cualificado en la misma. Es por ello, es una gran oportunidad tanto personal, ya que se refleja la eficiencia en el trabajo; como económica, pues es más fácil encontrar una oportunidad laboral.

<sup>01</sup>. Hace unos meses se celebró en España el acto de constitución de la Comisión para la implantación de la metodología BIM. Se destacó el cambio de concepto que supone el uso de BIM, y que va a suponer un revulsivo, y al mismo tiempo una oportunidad, para el sector de la Construcción. El Ministerio de Fomento, asume el liderazgo de esta estrategia, para la que cuenta con el apoyo de todos los agentes públicos y privados, así como del mundo académico.

Fuente: <http://www.buildingsmart.es/2015/07/15/el-ministerio-de-fomento-constituye-la-comisi%C3%B3n-bim/>

Por otro lado, tras el paso de los años como estudiante de arquitectura te vas formando en diferentes estilos arquitectónicos y multitud de tipologías constructivas que existen hoy en día. Como bien dice la arquitecta Grace McGarvie: "Un arquitecto es un dibujante de sueños", por lo que finalmente, cada uno se especializa en una rama dentro de la arquitectura y adopta unos estilos arquitectónicos, constructivos y compositivos personales y diferenciados del resto. Es aquí donde, tras poder elegir el tema de mi TFG, decidí enfocarlo a la arquitectura modular. Siempre me he sentido fascinado por la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente al igual que he empatizado con la arquitectura de mínimos.

Comentado lo anterior, vislumbré la posibilidad de fusionar el tipo de arquitectura que me gustaría desarrollar en un futuro próximo con las herramientas y metodologías que me serán más útiles para llevar a cabo los proyectos con más eficacia, por lo que es para mí un placer poder desarrollar este Trabajo Fin de Grado.

## 1.2 Objetivos

Tras la elección de mi TFG tengo varios objetivos a satisfacer. El primero de ellos es llegar a manejar la herramienta de manera ágil para más tarde realizar los proyectos con dicha tecnología, delegando mínimamente en el uso de la herramienta CAD. Por otro lado, encuentro fascinante el área de la Arquitectura Modular, por lo que centraré toda mi atención en poder analizar el impacto del BIM en este tipo de construcción.

### 1.2.1 Operativos

Conocer la metodología BIM para poder analizar las ventajas e inconvenientes que nos podemos encontrar al aplicar dicha metodología.

Comparar la metodología CAD con la metodología BIM desde un punto de vista teórico general.

Desarrollar con BIM un caso práctico, concebido y diseñado inicialmente con la metodología CAD. Nos centraremos por condicionantes de tiempo en dos aspectos, el de diseño y el de ejecución, para finalmente establecer cuál hubiese sido el impacto al realizarse dicho proyecto con la metodología BIM.

**Diseño:**

-Se modelará mediante una herramienta BIM el proyecto modular.

-Se detectarán indefiniciones, ambigüedades e incoherencias plasmadas en la documentación 2D del proyecto real de construcción que se nos facilita.

-Se realizará una conclusión que aproxime la etapa de diseño en 2D con la 3D.

**Ejecución:**

-Puesto que en este caso en concreto no se pudo llevar a cabo el seguimiento de obra, se analizarán los cambios producidos en el proyecto antes de la construcción y una vez terminada la ejecución del mismo, pudiendo comprobar las facilidades de modificación que ofrece el programa.

En cuanto a la parte de arquitectura modular:

- Entender qué es la arquitectura modular y los antecedentes que le acometen.
- Realizar una indagación sobre las diversas tipologías de sistemas constructivos y estructurales en las edificaciones modulares.
- Establecer los beneficios que se generan al construir nuevas edificaciones con sistemas de construcción modular, industrializada y/o prefabricada.
- Generar una herramienta informativa y didáctica para todo aquel interesado en la arquitectura modular, con estrategia de análisis y fácil comprensión de la misma.
- Describir las razones principales por la cual este tipo de arquitectura es sustentable para el medio ambiente y los efectos positivos que tiene ello hacia la sociedad.

Por último destacar que el objetivo que engloba a los diferentes ámbitos que se desarrollan en este trabajo es poder llevar a cabo un proyecto de arquitectura modular a la realidad, analizando las ventajas y desventajas que tiene la herramienta de uso ante un proyecto de tal importancia, sacando unas conclusiones que servirán para plantearse la efectividad en utilización de la misma para un futuro inmediato.

## 1.3 Metodología de trabajo

En este trabajo se propone analizar los pros y los contras que conlleva el uso de la tecnología BIM para la creación de proyectos de arquitectura modular. Gracias a la aportación desinteresada del Arquitecto Jorge Navarro, el cual ha facilitado toda la documentación de su proyecto para poderla reproducir de una manera visual en uno de los programas que utilizan la tecnología BIM y ha tenido la gentileza de ofrecer su colaboración en el desarrollo del mismo.

El trabajo se estructura en dos partes: una teórica y otra práctica. En la primera de ellas se analizarán los diferentes conceptos de una arquitectura modular tales como la prefabricación o la industrialización como también los tipos de arquitectura modular basados en los métodos constructivos utilizados. Finalmente una conclusión ante el uso de este tipo de arquitectura frente a la tradicional. En cuanto a la parte práctica, se detallarán las ventajas e inconvenientes del uso de la tecnología BIM en el proyecto modular en cuestión acabando con unas conclusiones hacia la adaptabilidad de este método de trabajo en el futuro.

Cabe mencionar, que no se trata únicamente de crear un proyecto ya ejecutado con un software distinto, si no tratar de acercarnos a la metodología real aplicada en la arquitectura. En ella comprender qué aporta la herramienta en la fase constructiva real de una vivienda modular en una situación geográfica concreta y por otro lado las diferencias que existen en la fase de diseño que se realiza previamente.

# 2 SOBRE BIM

## 2.1 Definiciones

Para poder entender que es el BIM hago alusión de diversas definiciones de expertos en el ámbito .

*Entendemos el uso de la tecnología BIM como catalizador de las nuevas formas de trabajar en el mundo de la construcción. Nuevas relaciones que atañen a nuevos perfiles profesionales y nuevas formas de trabajar (PMP, IPD, Lean Construction...) Una manera de hacer más eficiente un proceso, el de la construcción, que en la actualidad es bastante ineficiente si lo comparamos con otros sectores industriales. Y todo ello sin la necesidad de perder la libertad creativa de los arquitectos.*

**Garquitectos**<sup>02</sup>

*“El Modelado de Información para la Edificación (BIM – Building Information Modeling) es un método innovador para facilitar la comunicación entre los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Con BIM, arquitectos e ingenieros generan e intercambian información de manera eficiente, crean representaciones digitales de todas las fases del proceso de construcción y simulan el rendimiento en la vida real, lo que perfecciona el flujo de trabajo, aumenta la productividad y mejora la calidad...”*

**Autodesk**<sup>03</sup>

*Es una metodología de trabajo que ordena personas, procesos y herramientas. Es el acrónimo de Building Information Modeling. Supone un cambio revolucionario en ingeniería y arquitectura, pues desde el mismo diseño se aborda todo el ciclo de vida del edificio, proceso o instalación.*

**Javier Calvo. Consultor BIM**<sup>04</sup>

*“BIM is one of the most promising developments in the AEC industry, because its 3D simulation and sophisticated technical collaboration allows owners, architects, engineers, and contractors to visualize what is to be built and identify potential design, construction, or operational issues. I welcome the opportunity to share what I know about BIM with some of the world’s most innovative building experts.”*

**WBS’s Dennis Knight.**<sup>05</sup>

**02.** Estudio de arquitectura en Málaga: “Desde el año 2004 todos nuestros proyectos están realizados con tecnología BIM, lo que significa que todo el proyecto se hace en 3d de manera que es mucho más comprensible para nuestros clientes y se cometen menos errores en el proceso constructivo”.

Fuente: <http://www.garquitectos.es/>

**03.** Autodesk es un líder en software de diseño en 3D, ingeniería y entretenimiento. Desde 1982, Autodesk ha marcado la innovación en tecnologías 2D y 3D que permite a los clientes visualizar, simular, y analizar el desempeño de sus ideas en el mundo real desde el inicio en el proceso de diseño.

Fuente: [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

**04.** Javier Calvo Liste, Ingeniero Agrónomo e Ingeniero Mecánico, Co-Fundador de Trojaola&Liste BIM Consultants. BIM Manager, experto en redacción de planes de ejecución BIM (BEP). Consultor, formador e implantador BIM. Máster en Cálculo de Estructuras Metálicas, cuenta con más de 15 años de experiencia como técnico proyectista..

Fuente: <http://www.bpmsat.com/>

05. Dennis Knight tiene más de 40 años de experiencia en el diseño, construcción y mantenimiento de edificios de altas prestaciones (High Performance Buildings), en Building Information Modelling (BIM) y en el Diseño Integrado de Edificios. Actualmente, preside el Grupo de ASHRAE BIM multidisciplinario de tareas, donde es el enlace entre el "International Building Smart Alliance" y la "Conferencia Anual de Modelado Energético de ASHRAE". Es Ingeniero Mecánico y de PCI registrado, una Autoridad ACG certificada para Commissioning, posee una certificación Profesional de ASHRAE de Modelado Energético de Edificios (BEMP), LEED NC, Profesional Acreditado EB O & M y Analista Energético Certificado (Certified Building Energy Analyst - BA) por el Building Performance Institute (BPI).

Fuente: <http://spain-ashrae.org/>

Es bastante probable el hecho de poder malentender o malinterpretar el concepto de BIM puesto que en éste están arraigadas muchas características y subconceptos que hace complejo la determinación del mismo, dando lugar a errores en la definición.

Generalmente, si preguntamos a gente corriente que no estudia arquitectura, percibiremos que no han escuchado nunca el término BIM. Más aún, es sorprendente que los estudiantes o licenciados en alguna ingeniería sepan vagamente el concepto. Suelen considerar dicha tecnología como un programa que efectúa modelos virtuales en tres dimensiones (obviando el tema de la información que llevan consigo). Además, se suele confundir con un software. Sin embargo, sabemos que para utilizar la metodología BIM hemos de utilizar softwares informáticos como Revit o Archicad, entre otros, siendo únicamente herramientas.

Por tanto podemos afirmar que BIM consisten en la gestión de datos de un proyecto y el desarrollo de las fases que vienen desempeñadas en el mismo, diferenciando pues entre el diseño, la construcción y la organización.

## 2.2 Características

### 2.2.1 Base de datos

Cuando se realiza un modelo con la metodología BIM, éste incorpora toda la información referente al proyecto. A dicha información tienen acceso todos los agentes que intervienen en el proceso tanto de diseño como constructivo. Esta información queda almacenada en una única base de datos, lo que resulta una facilidad el hecho de la consulta posterior o modificación en cualquier período de su vida útil. Por tanto, hablamos de un sistema donde la información es bidireccional, donde es posible extraerla, gestionarla y devolverla al modelo, siendo por ello también información multidisciplinar.<sup>06</sup>

### 2.2.2 Diseño paramétrico

Utilizamos la cita establecida por Alexandra Molinare para poder entender el concepto:

*"El diseño paramétrico es la abstracción de una idea o concepto, relacionado con los procesos geométricos y matemáticos, que nos permiten manipular con mayor precisión nuestro diseño para llegar a resultados óptimos."*

Gracias a esto, cuando realizamos cualquier modificación en el modelo automáticamente se actualizan todos los elementos o vistas que tengan integrada el correspondiente proceso matemático evitando que se modifique libremente y teniendo en todo momento el proyecto controlado con las reglas deseadas.

Para poder conseguir un control exacto y minucioso del proyecto, se utilizan los elementos paramétricos. Éstos tienen configurados una serie de

06. En España, cuando se finaliza un proyecto, todos los cambios realizados en el mismo deberían de ser almacenados y por tanto regenerar el diseño efectuado previamente. Sin embargo, ese paso no es obligatorio actualmente, lo que hace que con otros sistemas más arduos de modificación, como por ejemplo el Autocad, hace que nunca se lleve a cabo. Es por ello que posteriormente, si se efectúa una reforma del mismo, ha de requerirse dicha información, y un alto porcentaje de veces, esa información no ha sido modificada al cierre del proyecto, lo que dificulta su lectura e interpretación.

Fuente: Elaboración propia

*"Impacto del BIM en la gestión de un proyecto y obra arquitectónica: de Autocad a Revit"*

restricciones que permiten una gestión adecuada de los cambios del software y permiten dominar de manera óptima los cambios generados en el diseño proyectual lo que, indirectamente, hace una mayor legibilidad de los parámetros no formales del edificio, todos aquellos que no son visibles y tangibles por el mismo.

### 2.2.3 Interoperabilidad

La interoperabilidad se puede definir como la capacidad de comunicación entre programas de distintos fabricantes, lo cual nos permite poder intercambiar información generada desde un programa a distintos con diferentes aplicaciones de uso para conformar la información completa del proyecto. Cabe decir que es una de las mayores ventajas que presenta la metodología BIM ya que dinamiza y mejora el proceso de diseño y de control del edificio.<sup>07</sup>

De esta manera, se entiende como una nueva metodología de trabajo donde los datos configurados por un agente pueden ser transmitidos a diferentes herramientas para concretar la información desde otro programa. Esto conlleva un adelanto de la gestión en la información y una mayor velocidad y eficacia en el trabajo, pudiendo generar los cambios desde dos puntos distintos, unificándose más tarde la información en un mismo software. Así pues, los datos son únicamente definidos una vez por cada agente y compartidos posteriormente con el resto. Un ejemplo de ello es por ejemplo el software Revit, el cual nos permite utilizar el modelado como base de renderizado para 3dsMax, LUMION, o para realizar presupuestos y mediciones con Presto.

## 2.3 Programas de bim

### 2.3.1 Revit

**Definición:**

El software Revit® de Autodesk se ha desarrollado específicamente para BIM (Building Information Modeling), y transformar las ideas desde el concepto hasta la terminación con un enfoque coordinado y homogéneo basado en modelos. Revit es una sola aplicación que incluye características de diseño arquitectónico, construcción, ingeniería MEP<sup>08</sup> y estructural". Actualmente es el más extendido y demandado por las empresas

- Programas conectables:

- Cype
- Lumion
- Sketchup
- 3d max
- Presto
- IFC (Industrie Foundation Classes)<sup>09</sup>

07. A día de hoy dependemos del formato universal que permite la comunicación entre todas las plataformas.

Este formato fue desarrollado por el IAI, predecesora de la actual Building Smart, y fue concretado como Industry Foundation Classes (IFC). Todas las aplicaciones que trabajan y soportan el formato IFC pueden leer y crear información e intercambiarla con otros programas. A pesar de que no tiene un funcionamiento total adecuado, es una herramienta eficaz a la hora de trabajar, la cual nos permite ahorro de tiempo y mejora del proceso.

Actualmente se ha desarrollado una iniciativa de building Smart y distintos vendedores de softwares que utilizan el sistema abierto de building Smart Data Model (Graphisoft 2015) llamada Open BIM. Mediante ella, se pretende un acercamiento universal al diseño colaborativo, y a la realización y la operativa de los edificios. Para poder lograr dichos objetivos se basan en flujos de trabajo y estándares abiertos. Fuente: <http://www.scia.es/la-mejor-opcion-de-software-de-calculo-de-estructuras/>

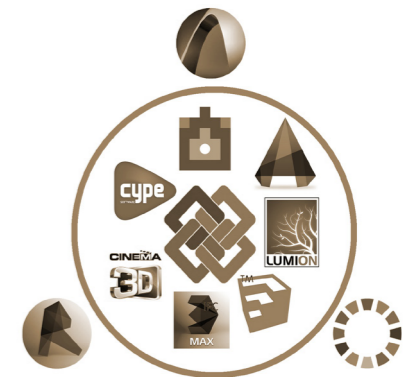


Figura 01. Interoperabilidad de programas. Fuente: Elaboración propia

*"Impacto del BIM en la gestión de un proyecto y obra arquitectónica: de Autocad a Revit"*

08. Mechanical, Electrical & Plumbing. Software utilizado para la coordinación y diseño de las instalaciones.

Fuente: <http://www.ibim.es/autodesk-revit-mep-instalaciones/>

09. The Industry Foundation Classes (IFC) data model is a neutral and open specification that is not controlled by a single vendor or group of vendors. It is an object oriented file format with a data model developed by buildingSMART (International Alliance for Interoperability, IAI) to facilitate interoperability in the building industry, and is a commonly used format for Building Information Modeling (BIM). The IFC model specification is open and available. It is registered by ISO as ISO/PAS 16739 and is currently in the process of becoming the official International Standard ISO/IS 16739.

Figura 02. Algunos programas que utilizan BIM. Fuente: Elaboración propia.



### 2.3.2 Allplan

**Definición:**

Software de diseño asistido 2D/3D paramétrico para arquitectura e ingeniería con sistema BIM, desarrollado por la empresa Nemetschek. Realiza: Diseño, Plantas, secciones y alzados. Infografías y películas, Topografía. Mediciones, intercambio con distintas aplicaciones de presupuestos, Realización de planos de encofrados, Realización de planos de ferralla, Intercambio con diferentes softwares de cálculo”.

- Programas conectables  
Autocad  
Microstation,  
Cinema 4D,  
Sketchup,  
3D Studio.  
IFC  
Vectorworks

### 2.3.3 Archicad

**Definición**

Sistema de diseño BIM desarrollado por Graphisoft muy similar a Revit. “Se puede construir edificaciones, inicialmente en un ámbito 2D (desde planta), basándose en parámetros básicos, tales como altura, largo, espesor y elevación. La vista en planta, no es tomada desde una cámara en el infinito, como en AutoCAD, sino que se radica en un corte paralelo al horizonte, este mismo tiene su inicio en una determinada altura y finaliza donde se ubica el forjado o base de piso”.

- Programas conectables:  
Autocad  
3d max  
Sketchup  
Microstation

### 2.3.4 Otros programas

- Bentley  
Tekla  
Vectorworks  
Microstation  
Acca Softwar

## 2.4 Dimensiones de BIM

### 2.4.1 Modelling (3D)

En esta fase es el modelo quien representavx la información del diseño arquitectónico y de cada una de las partes de ingeniería que la completan. Un buen modelo 3D es imprescindible para obtener una representación geométrica detallada de cada parte del edificio obteniendo la información de cada componente que lo forma.

### 2.4.2. Scheduling (4D)

Al modelo se le agrega la dimensión del tiempo. Nos permiten comprender y controlar las dinámicas de la ejecución de su proyecto a través de la posibilidad de efectuar análisis completos y realizar simulaciones rápidas y eficientes de los aspectos que queramos controlar más en profundidad, como por ejemplo las etapas o fases de construcción.

### 2.4.3 Estimating (5D)

Abarca el control de costes y estimación de gastos de un proyecto. Va directamente relacionado a mejorar la rentabilidad del proyecto. Se definen cantidad de materiales y costos, organización de gastos y estimación de costos operativos para la fase de uso y mantenimiento. En combinación con otros servicios BIM nos permite controlar el coste total del ciclo de vida y almacenar información exacta durante su uso/mantención.

### 2.4.4 Sustainability (6D)

En ocasiones llamada Green BIM o BIM verde, nos brinda la oportunidad de conocer cómo será el comportamiento del proyecto antes de que se tomen decisiones importantes y mucho antes de que comience la construcción.

Nos permite crear variaciones en la envolvente, los materiales utilizados, el tipo de combustible utilizado para enfriar/calentar el proyecto, teniendo en cuenta incluso su situación, su posición, su orientación y muchos aspectos más.

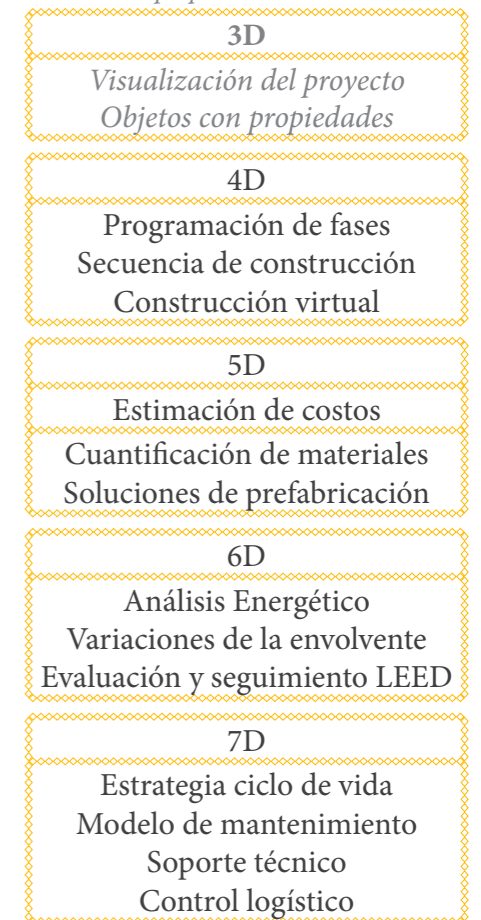
### 2.4.5 Facility management applications (7D)

Por último, en esta etapa se le da el control logístico/operacional de su proyecto durante su uso/mantención prolongando la vida útil y eficiencia del mismo. Puede aplicarse a proyectos en fase de planificación, en desarrollo y ya en funcionamiento. Se logra optimizar procesos importantes, en tiempo real, tales como inspecciones y mantenimiento, reparaciones, remodelaciones, etc.

Es por ello que no sólo se trata de un programa en el que generemos un modelo en tres dimensiones con la información de cada componente que lo forma, si no que esa misma información se utiliza más tarde en las siguientes fases para poder analizar todas las variaciones que entran en juego en la vida útil del edificio y además controlar detalladamente el mantenimiento que sufrirá el mismo, pudiendo otras partes integrantes (diferentes empresas) poder trabajar en el mismo modelo e ir detallando las diferencias sufridas con las etapas previas.

Finamente, cabe destacar que BIM se trata más bien de una metodología de trabajo que controla todos los aspectos que condicionan a un edificio a lo largo del tiempo. Es por ello que en estos últimos años está teniendo tanto auge y será finalmente la herramienta utilizada por defecto como algún día lo fue el Autocad.

Figura 03. Dimensiones de BIM. Fuente: Elaboración propia.



## 2.5 Diferencias de CAD vs BIM

Las aplicaciones de CAD imitan el tradicional proceso de dibujo mediante lápiz y papel, o que conocemos como dos dimensiones. En este caso los edificios son diseñados mediante elementos como líneas, tramas, círculos... las llamadas geometrías básicas.

Pero igual que ocurre en el dibujo manual, los planos de CAD, son creados de manera autónoma por lo que cada cambio en el diseño debe revisarse y modificarse manualmente en cada uno de ellos, no existiendo interoperabilidad entre ellos.

En la siguiente tabla podemos apreciar los diferentes bloques que constituyen ambas metodologías y las diferencias que existen entre ellas.

Concepto	CAD	BIM
Dibujo	Entidades geométricas: - Líneas - Círculos - Polígonos - Etc	Elementos constructivos con propiedades: - Muros - Puertas/ventanas - Pilares - Etc
Relación plantas, alzados, modelo 3D	Son independientes. Hay que realizar cambios por separado: mismo o distintos archivos.	Existe un único modelo del que se extraen representaciones. Sólo se modifica éste.
Datos asociados	Bloques con características.	-Propiedades de los elementos (precios, materiales...) -Cálculo de superficies -Propiedades de los planos
Informes	Cálculo de datos y exportación a otro software	Son generados automáticamente y vinculados al modelo.
Trabajo en grupo	No existe. Soluciones intermedias: relacionar archivos con xRef.	Cambia según la aplicación: Trabajar en capas/zonas concretas

Figura 04. Comparación CAD/BIM.

Fuente: <http://carloscamara.es/blog/2011/03/16/del-cad-al-bim-ii-comparativa>

Las aplicaciones BIM (Building Information Modeling) en cambio, imitan el proceso real de construcción. En lugar de crear dibujos en dos dimensiones se construyen los edificios en tres dimensiones de forma virtual generándolos con elementos reales de construcción, como muros, ventanas, forjados... que a su vez contienen información de materiales, características técnicas, precios...

Además, como todos los datos están guardados en el modelo virtual, los cambios en el diseño son automáticos, los cuales se realizan en todos los dibujos individuales generados desde el modelo.

En el siguiente gráfico se comprueban las diferencias entre metodologías tradicionales y la metodología BIM (curva color ocre).

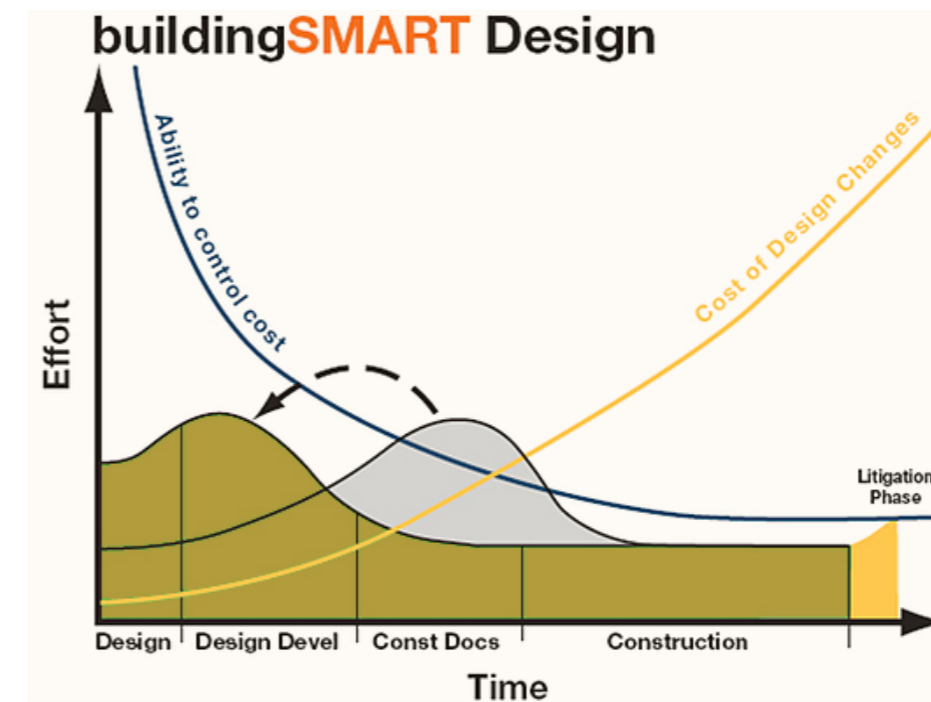


Figura 05. Diferencias CAD vs BIM.

Fuente: <http://www.citb.org.au/WorkforceDevelopment/Innovation.aspx>

# 3 ARQUITECTURA MODULAR

## 2.1 Conceptos

Si nos dispusiéramos a hacer una encuesta sobre: ¿Qué es ‘Arquitectura modular’? a cualquier ciudadano un día cualquiera, recibiríamos las siguientes afirmaciones:

*“Arquitectura modular es un tipo de arquitectura donde se utilizan diferentes módulos para construir”*

*Jorge Moragues*

*“Es una manera de construir utilizando módulos prefabricados que después se anclan en el sitio donde se va a construir la casa o el edificio en cuestión”.*

*Gemma Quinzá*

*“Es una rama de la arquitectura que construye edificios con elementos industriales que vienen de ensamblados ya de fábrica”.*

*Carlos Sánchez*

Tras preguntar a varias personas, se obtiene unas definiciones algo diferentes y confusas al mismo tiempo.

Para poder entender el concepto de arquitectura modular primeramente hemos de diferenciar los diferentes conceptos mencionados anteriormente y las diferentes acciones a las cuales éstos atañen:

<b>Módulos</b>	<b>Prefabricados</b>	<b>Anclados en el sitio donde se va a construir</b>
<b>Elementos</b>	<b>Industriales</b>	<b>Vienen ensamblados de fábrica</b>

*Figura 06. Conceptos clave. Fuente: elaboración propia*

Por un lado obtenemos varias ambigüedades en la definición del objeto, al que le llaman módulo o elemento. Por otro lado, se le califica de adjetivos diferentes como prefabricado e industrial. Y por último, existen varias posi



10. Doctor Arquitecto en 1970, con la tesis "Camino y posibilidades de la industrialización de viviendas en España", defendida en la Escuela T.S. de Arquitectura de Madrid.

-Profesor y creador de las asignaturas "Prefabricación e Industrialización de la Construcción" y "Construcción Industrializada", en los diversos planes de Estudio de la Carrera de Arquitecto, desde 1968, en las Escuelas T. S. de Arquitectura de Madrid y de Sevilla.

-Profesor y Director principal de los cursos de Doctorado "La Industrialización Abierta" y el "Seminario de Doctorado de Industrialización de la Construcción", dentro de los distintos Programas de Doctorado del Dpto. de "Construcción y tecnología arquitectónicas" de la Escuela T.S. de Arquitectura de la UPM.

Fuente: <http://alfonsodelaguila.blogspot.com.es/>

11. Valentín Gómez-Jáuregui, 1976 Santander (España), es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Santander y la École de Genie Civil (Univerité de Liège - Belgium), especializándose en Estructuras y Urbanismo. Prosiguió con su educación en Queen's University Belfast (Irlanda del Norte), obteniendo el título de Máster en Arquitectura.

Entre 2004 y 2009, desarrolló su carrera en el sector de la construcción, principalmente en I+D de edificios modulares, estructuras, desarrollo de nuevos productos y patentes. Fuente: <http://www.tensegridad.es/>

bilidades de montaje tanto anclados en el sitio como ensamblados de fábrica. Por tanto, primeramente hemos de analizar bien los conceptos para poder llegar a una conclusión más específica del término "Modular"

### 2.1.1 Industrialización

El Instituto de Arquitectos Británico en Londres (Royal Institute of British Architects in London) RIBA define la idea o proceso de industrialización como:

"una organización que aplica los mejores métodos y tecnologías al proceso integral de la demanda, diseño, fabricación y construcción",..... "constituyendo un estado de desarrollo de la producción que lleva consigo una mentalidad nueva diferente".

Otra extendida definición elabora por varios autores, define la industrialización, como:

una organización del proceso productivo que, de forma racional y automatizada, implica la aplicación de tecnologías avanzadas al proceso integral de diseño, producción, fabricación y gestión, bajo la perspectiva de una lógica...

Del Águila García 2008<sup>10</sup>

...y que empleando materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie permite obtener una mayor productividad.

Gómez Jáuregui 2008<sup>11</sup>

Para Gérard Blachère<sup>12</sup> la industrialización es:

la utilización de tecnologías que sustituyen la habilidad del artesano mediante el uso de la máquina.

Así pues generó la siguiente ecuación para definir el concepto:

**INDUSTRIALIZACIÓN**  
**MECANIZACIÓN + RACIONALIZACIÓN + AUTOMATIZACIÓN**

Figura 07. Industrialización. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, podemos decir que un elemento industrial es un producto que viene creado por los procesos de industrialización. En este ámbito, no se incluye la prefabricación como cualidad del mismo, sino más bien un objeto que ha sido diseñado y producido por medio de la industria. Veamos ahora qué se sabe sobre la construcción industrializada.

### 2.1.2 Construcción industrializada

Construcción industrializada es el resultado de la elaboración previa, organizada, cíclica y en serie de elementos, para que con un montaje ordenado y continuo se obtengan estructuras completas, buscando satisfacer las normas de calidad, rapidez, economía, resistencia, aspecto, habitabilidad, funcionalidad, confort y duración.

Albert-Josep Civit Suñé / David González Firmas  
Universidad Politécnica de Cataluña

Se conoce como construcción industrializada al sistema constructivo basado en el diseño de producción mecanizado de componentes y subsistemas elabo-

rados en serie que, tras una fase de montaje, conforman todo o una parte de un edificio o construcción.

Aguiló Alonso, M.

Por tanto podemos decir que una construcción industrializada es aquella donde únicamente se utilizan las labores de montaje con materiales prefabricados en serie<sup>13</sup> para su completa ejecución.

Así pues, un forjado realizado de forma tradicional a base de elementos prefabricados, y hormigonado "in situ", no tendría la consideración de construcción industrializada, ya que por definición, en el lugar de la obra, únicamente se deberían realizar labores de montaje con elementos previamente fabricados en serie.



Figura 09. Fases de la industrialización. Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocido el concepto de industrialización y construcción industrializada nos hemos percatado de que la segunda viene determinada por la primera, en el ámbito del proceso de elaboración del producto utilizado en la misma. Más aún, hemos determinado que este producto ha de ser elaborado en serie y finalmente hemos deducido que se trata de un material prefabricado, puesto que se ha producido antes de la ejecución de la obra. Vamos a determinar pues qué es el concepto de prefabricación.

### 2.1.3 Prefabricación

Ya de por sí, la palabra prefabricación aún no ha encontrado cabida en el DRAE (Diccionario de la Real Academia de la Lengua). Pero pese a ello encontramos diferentes definiciones de expertos especializados en la arquitectura modular, los cuales hago referencia para su comprensión.

Comenzaremos pues con la definición de Valen Gómez Jáuregui, el cual nos ayudó anteriormente con la definición de Industrialización.

"La prefabricación el sistema constructivo basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que en su posición definitiva, tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa, conforman el todo o una parte de un edificio o construcción.".... "En un edificio prefabricado, las operaciones en la obra son esencialmente de montaje y no de elaboración. El grado de prefabricación de un edificio se puede valorar según la cantidad de elementos rechazables generados en la obra; cuanto mayor cantidad de residuos, menos índice de prefabricación presenta la construcción."

Se distinguen por tanto, tres apartados diferenciados, en donde, a las fases propias de producción, es decir, fabricación previa o "prefabricación" y posterior montaje en la obra, habría que incorporar una fase previa de planificación del proceso, donde se diseñan exhaustivamente tanto los elementos a fabricar como todos los procesos que se llevan a cabo en la fase de montaje de los mismos.

12. Gerard Blachere, 14 octubre 1914, director del CSTB (Centro Científico para la Investigación de la Edificación, Francia) presenta una serie de reflexiones en el documento "Introducción razonada a los trabajos de normalización para el desarrollo del empleo de componentes y para el sistema abierto". Entre los trabajos de prenormalización que han seguido al CSTB está la revisión de la norma francesa NFPO1-101. Algunas de sus publicaciones:

- "Jornadas de industrialización de la construcción", Ed. IETcc (Madrid, 1967),  
- "Prefabricación e industrialización en la construcción de edificios", Ed. Técnicos Asociados, S. A. (Barcelona, 1968), pp. 233-254.

- Tecnologías de la construcción industrializada, Ed. G. Gili, Barcelona, 1977.

- "Saber construir", Ed. Técnicos Asociados, 3a edición, Barcelona, 1978.

Fuente: [www.whoswho.fr](http://www.whoswho.fr)

13. Henry Ford, ideólogo de la conocida teoría "el fordismo", en los años treinta ya definió el concepto de producción en serie: El concepto producción en serie se utiliza para describir el método por el cual se fabrican grandes cantidades de un solo artículo estandarizado. La producción en serie no es simplemente la producción de cantidad...ni producción mecánica. La producción en serie es la aplicación de los principios de potencia, precisión, economía, método, continuidad y velocidad a un proceso de fabricación.

Fuente: [http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/industrializacion/es\\_industri/adjuntos/capI.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/industrializacion/es_industri/adjuntos/capI.pdf)

### FASES DE LA INDUSTRIALIZACIÓN PLANIFICACIÓN + PREFABRICACIÓN + MONTAJE

Figura 09. Fases de la industrialización. Fuente: Elaboración propia.

Es por ello que, tras llegar a esta conclusión después del análisis de los conceptos, podemos hacer visible la utilidad que posee la metodología BIM en este tipo de construcciones ya que es preciso aunar todas las partes que existen en el proceso de desarrollo de un proyecto modular con el fin de evitar posibles incoherencias que vienen determinadas por la no compatibilidad que existiera entre los diferentes agentes que actúan en el mismo.

Como ejemplo, podemos determinar un componente que ha sido utilizado en la construcción de la casa modular de este Trabajo Fin de Grado, como son los perfiles metálicos que constituyen el forjado sanitario.

- En primera fase existen unos diseñadores que determinan la forma y cualidades de ese perfil.
- Secundándoles, una fábrica especializada en acero es la encargada de elaborarlos.
- Finalmente, el empleado de otra empresa es la persona que colocará estos perfiles en la obra.

Por tanto, si todos los agentes que actúan en esta misma fase de la industrialización están conectados entre sí será mucho más fácil detectar los errores y buscar una solución alternativa al instante. Mientras que si los mismos agentes no están en contacto en el mismo proceso, será mucho más arduo y lento la elaboración del mismo.

En este caso, se desarrolló con el software REVIT, el cual permite a los diferentes agentes trabajar al unísono y realizar modificaciones si fuere necesario. Determinamos las mismas fases del ejemplo anterior con la utilización del programa:

- En primera, diseñadores: creadores de la familia del perfil.
- Secundándoles, la fábrica: la cual está presente en las características del perfil con toda la información referente a la misma.
- Finalmente, el jefe de obra: si existe una modificación en la misma puede cambiarlo en el programa y automáticamente se adecúa a la realidad.

#### 2.1.4 Arquitectura Modular

Como he venido haciendo anteriormente, adjuntaré la cita de un estudio prestigioso de arquitectura modular como es AGi Architects<sup>14</sup> quienes exponen lo siguiente:

“La arquitectura modular consiste en el diseño y manejo de sistemas compuestos por elementos repetitivos separados (módulos), similares en tamaño, forma y funcionalidad. Éstos pueden conectarse entre sí, reemplazarse o agregarse.”

Por otro lado desde ARKIPLUS<sup>15</sup> afirman que:

“La arquitectura modular se refiere a cualquier diseño compuesto por compo-

nentes separados, que conectados o unidos, forman una unidad habitable. Lo novedoso de la arquitectura modular es que se pueden reemplazar o agregar cualquiera de sus componentes (o módulos) sin afectar al resto del sistema. Lo opuesto a arquitectura modular es la arquitectura integrada, donde no existen divisiones claras entre los componentes.”

Por tanto podemos decir que en la arquitectura modular existen dos calificaciones: la simplicidad y la complejidad. Simple porque se puede agregar módulos donde sea necesario y cada módulo encaja en el edificio sin que haya que hacer ajustes sobre el diseño en general. Y es compleja porque cada módulo debe ser posible de cumplir con múltiples funciones, así como una función independiente como mantener los límites estrictos de forma y tamaño del módulo.

Finalmente podemos añadir que las casas y los edificios prefabricados son ejemplos de la arquitectura modular dentro de los cuales la industrialización es una metodología de producción alternativa y optativa para elaborar dichas edificaciones.

#### 2.1.5 Industrializada ≠ Prefabricada ≠ Modular

Una vez explicado todos los conceptos que están involucrados en el desarrollo de una arquitectura modular, haremos referencia a varias citas de diferentes estudios de arquitectura para afianzar más profundamente las diferencias que existen en los términos, generando finalmente unos ejemplos prácticos que nos ayudarán a visualizarlo.

La primera cita que rescatamos viene de la mano de Pablo y Francisco de Modulab<sup>16</sup> que prefieren utilizar el término industrializada en vez de prefabricada. Opinan que:

“La industrialización implica un grado de optimización que no tiene el término prefabricada”.

En Compact Habit<sup>17</sup> tampoco convulgan con el término prefabricado, y consideran también su sistema como un sistema industrializado e integral. Al respecto de esto hacen una interesante y reveladora aclaración:

“La diferencia se podría debatir largamente pero es cierto que el concepto de prefabricado se puede asociar a una relación de componentes constructivos industrializados y que deben de ser montados por separado en la obra y, en cambio, nuestro sistema constructivo se basa en colocar en la obra toda una vivienda (o cualquier edificio) compuesto de muchas partes prefabricadas que han sido montadas en el centro de producción. Por otro lado, la palabra “prefabricación” puede conllevar unas connotaciones negativas en la sociedad y es otro motivo por el que damos un paso adelante en este sentido.”

#### Resumen Práctico

##### Industrializado pero no prefabricado.

- Un ejemplo muy visible es el hecho de poderse industrializar el proceso de enlatado de bonito, pero la elaboración de las latas que se usen para ello no es un modo de prefabricación. Ya que se está fabricando al mismo tiempo que se está realizando la fase de industrialización.

16. Modulab es un estudio de arquitectura fundado en enero de 2007 con el fin de desarrollar el sistema modulab de edificación modular ecoeficiente y especializado en el desarrollo de arquitecturas industrializadas.

Está fundado por dos arquitectos: Pablo Saiz Sánchez y Francisco Saiz Sánchez, ayudados por colaboradores de diferentes índoles que conforman el área técnica.

A través de sus trabajos, modulab ha desarrollado una experiencia y unos conocimientos muy especializados en montajes industrializados y construcción modular, trabajando estrechamente con empresas de construcción industrializada y ofreciéndoles asesoramiento, diseño y apoyo técnico en todas las fases de desarrollo de proyectos.

Fuente: <http://www.sistemamodulab.es/web/equipo>

17. Compact Habit S.L es una empresa fundada en 2004 y ubicada en el polígono industrial “La Cort” de Cardona, en el Bages. Ésta fue creada con la voluntad de solucionar algunos de los problemas existentes en el sector de la construcción. Después de años de investigación y desarrollo, Compact Habit S.L ha apostado por la construcción industrializada de módulos volumétricos de hormigón armado totalmente acabados y equipados en fábrica: el innovador sistema “eMii” (edificación Modular integral industrializada).

Fuente: <http://www.compacthabit.com/>

14. El estudio de arquitectura hispano-kuwaití AGi architects se creó en el año 2006 de la mano de dos jóvenes arquitectos formados en la Universidad de Harvard, Joaquín Pérez-Goicoechea y Nasser B. Abulhasan.

Con un claro carácter internacional y un enfoque multidisciplinar, AGi architects ofrece un servicio profesional que apuesta por la calidad, la creatividad y el diseño exclusivo, con el fin de crear ambientes que aporten un valor diferencial a lo largo del tiempo. Actualmente, cuenta con oficinas en Kuwait y Madrid.

Fuente: [www.arquima.net/sp/architectos/363-agi-architects](http://www.arquima.net/sp/architectos/363-agi-architects)

15. Arkiplus.com es un portal con artículos originales realizados por un equipo de estudiantes de arquitectura e ingeniería.

Fuente: [www.arkiplus.com/acerca-de](http://www.arkiplus.com/acerca-de)

18. *Habitat 67 consta de 354 bloques de hormigón de 11.80 x 5.30 x 3.50 m dispuestos en aparente desorden ingravido aunque responden a una estrategia estructural calculada. Cada módulo de hormigón fue construido en una fábrica levantada in situ y se trabajó todo el proceso como si una cadena de ensamble automotor se tratara: primero se fundía el concreto del módulo, luego se instalaban las conexiones eléctricas, la cocina, los baños y las ventanas, en ese orden. Después una grúa lo elevaba para su ubicación final.*  
[www.plataformaarquitectura.cl/cl/.../clasicos-de-arquitectura-habitat-67-moshe-sadfi](http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/.../clasicos-de-arquitectura-habitat-67-moshe-sadfi)



19. *Jorge Sebastián Cueva Pérez arquitecto por la Universidad de Cuenca formuló su tesis de grado sobre "Sistematización en el diseño de una vivienda modular con estructura metálica y paneles de concreto" en el 2012.*

Fuente: [dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5764](http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5764)

#### **Prefabricado pero no industrializado.**

- La construcción del edificio Habitat 67<sup>18</sup> para la Expo de Montreal de 1967, se realizó de forma prefabricada, pues se instaló una factoría a pie de obra para conformar los cajones de hormigón armado. No sería industrializado por no ser automatizado, en serie o en cadena, masivo, con poca mano de obra o de gran productividad.

#### **Prefabricado e industrializado**

- Sistema constructivo de cartón-yeso. Es un producto prefabricado, ya que se ha fabricado previamente en una factoría en localización distinta a la de su montaje, e industrializado, porque se ha producido en serie y de manera automatizada.

#### **Por tanto podemos afirmar que:**

- Una casa modular puede ser prefabricada e industrializada; ya que puede tener los elementos prefabricados para tu montaje en seco y aparte puede producirse en serie.
- Una casa modular prefabricada no tiene por qué ser industrializada ya que puede haber sido construida en seco con elementos prefabricados pero éstos no haberse producido en serie.
- Una casa modular industrializada es prefabricada, ya que ésta es una fase de la industrialización.

## 3. Antecedentes

Como bien afirma Jorge Sebastián Cueva Pérez<sup>19</sup>:

*"Si un proceso o elementos, presentan la característica de poderse producir en fábrica o en obra y se adopta por su producción en fábrica, se transforman en productos prefabricados, por lo que la opción de prefabricar debe aprovechar al máximo las condiciones del momento que disminuyan al máximo el trabajo a realizarse en obra".*

Los sistemas de prefabricados han ido cambiando a través del tiempo para adaptarse a las necesidades y exigencias de cada momento. En sus inicios se destaca el uso de los sistemas prefabricados de grandes paneles, desarrollados en Europa a principios de los cincuenta para solucionar el problema de la vivienda ocasionada por su destrucción masiva durante la guerra, cosa que comentaré más tarde en el apartado de cronología.

Primeramente se utilizaron grandes paneles de hormigón, muy pesados y con grandes dificultades en el montaje. Más tarde, optaron por elementos cada vez más prácticos y livianos, dando inicio al desarrollo de sistemas prefabricados semi-pesados en los cuales se puede destacar la incorporación de componentes industrializados de tamaño medio, facilitando así el problema en cuanto al traslado y montaje. En general no se trata de sistemas con gran libertad de diseño, pero ya se empieza a ver algunas características de mejora con un enfoque más práctico e industrial.

En ese mismo proceso de optimización de los paneles, se genera una de los más grandes saltos en el aspecto tecnológico. Se empiezan a elaborar componentes que se procesan en taller y que poseen una gran flexibilidad de ejecución, sin grandes limitaciones de tamaño y con los costos adecuados. La ventaja fundamental de estos nuevos sistemas es que existen proveedores de piezas básicas industrializadas, que luego son procesadas en taller de bajo costo de instalación donde se arman los diferentes componentes que requiere los sistemas para luego ser montados en obra. Este concepto de diseño y de producción ha venido arraigado hasta la actualidad, donde este sistema ha ido imponiéndose gradualmente con la finalidad de explotar al máximo las posibilidades dentro del campo de la prefabricación de componentes.

### 3.1.1 Cronología

La industrialización en la construcción surge como consecuencia de la Primera Guerra Mundial, debido a la escasez de materiales y mano de obra que ésta trajo consigo, aumentando así los costos de construcción. Este hecho causó un creciente interés en el desarrollo de la prefabricación de hormigón como un medio de reducir el alto costo de la mano de obra y el alto precio de los componentes utilizados en las construcciones de hormigón vertido "in situ".

Sin embargo, el concepto de industrialización, tal y como la gente lo conoce, surge a partir del periodo histórico donde se llevaron a cabo un conjunto de sucesos y transformaciones que dieron paso a una nueva etapa: el origen de la era moderna. A este periodo histórico se le conoce más comúnmente como: la revolución industrial, la cual vino dada a finales del siglo XVIII.

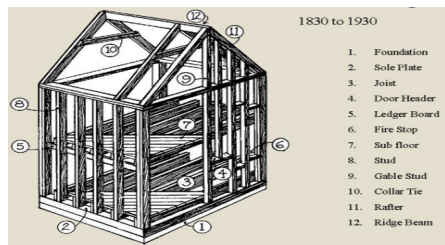
Por lo tanto, si con anterioridad se han producido construcciones en las cuales se haya utilizado el método industrializado como herramienta para el desarrollo de las mismas, seguramente surgieran de forma inconsciente, sin ninguna intención premeditada que pudiese constituirse en tendencia, con voluntad alternativa a otros métodos de construir. Sin embargo, los idearios de ese proceso constructivo para ese determinado proyecto en cuestión serían precursores de lo que más tarde se formalizaría como el comienzo de una etapa en la que la construcción industrializada se asentaría para cambiar los procesos tradicionales a los que se hallaban aferrados.

Es por ello que se efectuará una revisión de la historia y seleccionaré los proyectos más concluyentes en el ámbito de la prefabricación e industrialización. Para ello me remontaré hasta el siglo XVI para acabar finalmente en la actualidad.

Comenzaré pues, con el ejemplo reconocido por todos los autores como el primer precedente de prefabricación modular, fue el encargo que se le hizo a Leonardo da Vinci, en el siglo XVI para planificar una serie de nuevas ciudades en la región del Loire en Francia, para lo cual ideó ubicar

20. Se conoce como Balloon Frame al sistema constituido por listones o bastidores de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente, los cuales conformaban un armazón o caja de construcción. Este diseño permitió la construcción de viviendas de una, dos o tres plantas, a bajo coste, y en plazos cortos de tiempo, en relación con las técnicas manuales.

Fuente: [http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/industrializacion/es\\_industri/adjuntos/capII.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/industrializacion/es_industri/adjuntos/capII.pdf)



Estructura Balloon Frame. Fuente: <http://construccionenseco-foro.com/que-es-timber-frame-ballon-frame-y-platform-frame-t11.html#.V8gONPmLTIU>

21. Pioneer farmer and entrepreneur Solon Robinson, who was the author of the earliest, published explanation of the balloon frame in the American Agriculturalist of 1846. His plan for "A Cheap Farm House" indicates that he apparently had little practical experience in the matter.

Fuente: <https://scholarworks.iu.edu/journals/index.php/imh/article/view/11354/16417>

22. G. E. Woodward engineer-architect who also happened to be author and Publisher of architectural pattern books and influential advocate of the picturesque ideal in architecture. Woodward's "Country homes" 1865 is the most relevant to Bergen County's architectural history.

Fuente: "The architecture of Bergen County, New Jersey." Authors: T. Robins Brown and Shuyler Warmflash

en cada una de las nuevas ciudades un centro de producción, en donde se elaborarían, una serie de módulos o elementos básicos para conformar en múltiples combinaciones otras tantas variedades de tipología edificatorias.

Junto con éste, otro caso exponente temprano de producción prefabricada en Europa, que se dio también en el siglo XVI, fue sin embargo en el ámbito militar. Nos encontramos en un periodo de guerras entre franceses e ingleses, donde los ejércitos de Francisco I y Enrique II elaboraron edificaciones militares los cuales consistían en pabellones de madera, prefabricadas. Al igual que Da Vinci, éstos crearon lugares de producción alejados de la contienda que transportados en barca, se acababan de montar, por los propios militares en su lugar de ubicación. Por lo tanto, en ambos, el principal objeto del proyecto, se conseguía en base a un sistema de montaje y desmontaje, donde los habitáculos de pudiesen reducir a elementos o módulos de fácil transporte y mayor rapidez de ejecución.

Otras expresiones singulares de prefabricación temprana, se dieron en Baffin, Canadá, en el año 1578, donde se erigió una casa prefabricada que había sido construida en Inglaterra, y otra en el año 1624, una casa de paneles de madera, la Great House, construida por Edward Winslow, realizada por módulos en Inglaterra y trasladada hasta Massachusetts, en Estados Unidos. Fue allí mismo, en Estados Unidos, donde se construyeron edificios de tipología denominada Balloon Frame<sup>20</sup>, sistema atribuido a George W. Show (1798-1870), siendo la primera realización en 1833, iglesia Santa María en Chicago.

El Balloon Frame o "estructura globo", está estrechamente ligada al nivel de industrialización que se había alcanzado en los estados Unidos. Cabe destacar que desde este nuevo sistema, la práctica la construcción de madera pasó de ser un oficio complicado y practicado por mano de obra cualificada, a convertirse en una industria ya que tanto el proceso de producción del material como el montaje se llevaba a cabo en la fábrica.

Este sistema ideado por George Show, marcó un antes y un después en la visión tradicional de muchos expertos en la construcción, los cuales, anotaron diferentes aspectos positivos que fue generando este proceso constructivo más tarde. Aquí adjunto algunos comentarios influyentes: Según Solon Robinson<sup>21</sup>, "si no hubiese sido por el descubrimiento de la estructura "Ballon", Chicago y San Francisco no hubieran conseguido transformarse, como así ocurrió, de pequeñas aldeas en grandes ciudades en un solo año". G. E. Woodward<sup>22</sup> en 1865 dijo: "un hombre y un muchacho pueden ahora obtener con facilidad los mismos resultados que veinte hombres obtenían con una estructura anticuada".

Como ya hemos podido observar tras las anotaciones de los diferentes autores, esta técnica de construcción en la edificación se empleó sistemáticamente en las ciudades de Estados Unidos, como San Francisco y Chicago, hasta que un incendio arrasó el centro esta ciudad, relegándose el empleo

de este sistema "Balloon" a las casas unifamiliares o villas.

Por otro lado, y en una ubicación diferente como es Inglaterra, principios del siglo XIX, en este ámbito de la prefabricación, se utilizaba como materia prima la madera. Existen algunos ejemplos puntuales que me gustaría destacar como es la denominada Portable Colonia Cottage<sup>23</sup> para emigrantes. El inventor, H. Manning ideó y construyó una casa para su hijo que había emigrando a Australia desde Londres y que se convirtió en el prototipo de lo que sería el primer caso documentado casa prefabricada. Ésta se convirtió en un éxito comercial, y Manning comenzó a desarrollar varios modelos de diferentes tamaños y precios. Estas casas estaban pensadas para diferentes tipos de clientes con niveles distintos de ingresos lo que podía ser una medida fructífera en una situación esporádica concreta, pudiéndose reubicar en diferentes sitios una vez pasado el acontecimiento.

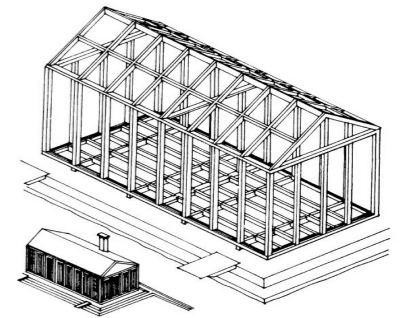
Estas casas se transportaban en barco, desmontadas en piezas, numeradas y seriadas en grandes embalajes, hasta las colonias inglesas de Australia o Sudáfrica, para en su lugar de destino poder ser montadas de forma fácil y manual, con las herramientas habituales, sin necesidad de personal cualificado.

Esto hoy en día nos puede recordar a cualquier mueble de una determinada empresa como puede ser IKEA, donde el producto te viene por piezas y únicamente has de seguir unas instrucciones para su montaje. Pues ya desde aquella época comenzaron a utilizar dichos mecanismos pero de forma puntual, en proyectos concretos y situaciones esporádicas. Sin embargo, se fueron desarrollando entre los siglos XIX y principios del XX, tanto en Estados Unidos como en Europa, diversas patentes, modelos y firmas que tenían a disposición del cliente unos catálogos de viviendas unifamiliares totalmente prefabricadas fundamentalmente con madera. Un ejemplo de ellos son las Sears Roebuck Houses<sup>24</sup>, 1910 en Estados Unidos, que a modo de kits embalados se podían enviar y transportar a cualquier otro lugar del país.

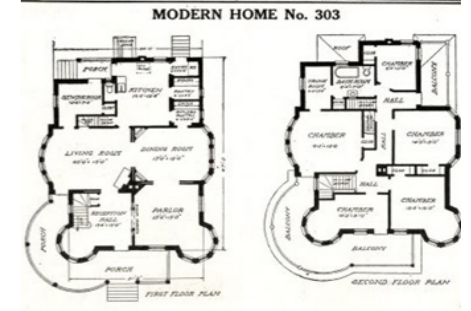
## El hierro y el Acero.

Por otro lado, ya hacia la segunda mitad del siglo XVIII, comenzó la era del hierro y el acero en la edificación en general. Esto vino promovido por un conjunto de circunstancias como el encarecimiento del suelo, la invención del ascensor o los incendios que devastaron grandes urbanizaciones de construcción en madera ya comentadas anteriormente las cuales, generaron una gran presión social para poder obtener una vivienda. Es por ello que se expandió la necesidad de proyectos de edificación basados en la prefabricación en los que, Inglaterra y EE.UU se desmarcaron como precursores de sistemas industrializados, anteriormente con madera, como se ha comentado en el apartado anterior, y ahora con los nuevos materiales: el acero y el hierro.

23. The Manning Portable Colonial Cottage was the next stage in this evolution of the prefabricated home, developed by London carpenter and builder, H. John Manning. He explained, "As none of the pieces are heavier than a man or boy could easily carry for several miles, it might be taken even to a distance without the aid of any beast of burthen"  
<http://quonset-hut.blogspot.com.es/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html>



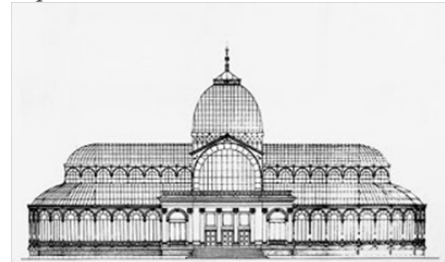
24. Visualización de una tipología de las Sears Roebuck Houses. Se generaban diferentes tipologías y luego los clientes elegían la casa que más les gustaba.



25. Era un pabellón de 600 metros de largo y 120 metros de ancho, con una altura de 34 metros.

El edificio abarcaba una superficie enorme que solo estaba separado del mundo exterior por una cubierta de vidrio y hierro. No obstante lo Revolucionario de este era como se aplica la tecnología con materiales estandarizados, con un sistema de estructura y piel de vidrio, dando respuesta a un programa nuevo como un pabellón de exposiciones y por último esa relación interior exterior, naciendo así un nuevo concepto en el diseño arquitectónico.

Fuente: <http://adm-cris.blogspot.com.es/2011/05/datos-nombre-crystal-palace-palacio-de.html>



26. La patente consistía en una estructura rectangular en cuya cara superior se incluía una celosía de sujeción capaz de adosarse y ensamblarse a las vigas de la cara de abajo del módulo inmediatamente superior. Para la estabilidad estructural de los módulos de diferentes niveles, se concibió un sistema de anclaje en base a perfiles angulares acoplados, a modo de pilares, que unían las aristas de esquina de cada célula. Pese a la incierta viabilidad de dicho sistema, lo que sí es cierto es que esta propuesta fue pionera en el campo de la edificación aplicando nuevas técnicas constructivas. (Se aprecia la patentes en la página siguiente)

Fuente: "Sistemas constructivos y estructurales aplicados al desarrollo habitacional." Trabajo de grado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de la Construcción. Perea Rentería, Yubely Aleida (2012).



Un ejemplo conocido por los arquitectos es el Cristal Palace<sup>25</sup> para la Exposición Universal de 1851 en Londres, del arquitecto Joseph Paxton, con un armazón de hierro, y levantado en un tiempo record de 6 meses.

Este es un ejemplo clave ya que se puede considerar como un paradigma de la prefabricación, la coordinación dimensional y la estandarización de sus elementos repetitivos.

No es sino hasta 1889 cuando aparece en EEUU la primera patente<sup>26</sup> de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de "cajón" apilable, ideada por Edward T. Potter, quien afirmaba lo siguiente: "Mi invención tiene por objeto presentar una vivienda o estancia portátil que, aunque esté adaptada para su uso independiente y conforme en ella misma una estructura completa, es capaz de combinarse con otra u otras más para formar, sin pérdida de espacio, una vivienda o la estructura que se requiera, con habitaciones al mismo nivel o una encima de la otra en diferentes pisos". Ese mismo año Joseph R. Witzel patentaba otro sistema de edificios modulares<sup>27</sup> en el que módulos de forma cúbica se ensamblaban entre sí para formar bloques de viviendas, factorías u otro tipo de edificios. En este caso, el montaje se realizaba gracias a grandes grúas pórticos y los materiales posibles estaban comprendidos desde el hormigón hasta la madera, pasando por el metal o la arcilla cocida.

Por otro lado, Walter Gropius<sup>28</sup>, intentará fomentar unos principios comunes para la industria y la producción. Uno de los objetivos de la Bauhaus sería el estudio de la sistematización y construcción de viviendas estandarizadas con elementos prefabricados, directamente al servicio de las necesidades sociales del momento.

También dentro de la escuela se hablaba de la racionalización de la industria en la construcción. Implícito a esto se hallaba la tecnología la cual, permitía construir de forma más rápida y económica, para lo que se empezaron a manejar términos y conceptos como el maquinismo, el diseño industrial y la producción estandarizada.

He querido rescatar uno de sus argumentos referentes a la industrialización que abogó en sus edificios y que dice lo siguiente:

"La sociedad, que se ha de fundar, considera como objetivo la industrialización de la construcción, para favorecer, a través de la misma, las ventajas indiscutibles de la producción industrial, la mejor calidad de las materias primas, el trabajo y un precio barato...."

*Industrialización de la construcción, 1910.*

Con este argumento vislumbramos que ya se empieza a hablar de las múltiples ventajas que presenta este método utilizado en la construcción, con positivas repercusiones ante la sociedad.

Es por ello que, desde la Bauhaus, se emplearon, técnicas y procesos basados en la mecanización y montaje de los elementos, propia de una obra "en seco", que incorporaba en ocasiones elementos prefabricados. Sin embargo, estos elementos no estaban producidos en serie por la singularidad que tenía su realización.

Podemos comprobar pues, que pese a que hay un intento de industrializar la construcción, no existe un sistema diseñado completamente para que éste se lleve a cabo. Por tanto, en esta etapa se generan edificios prefabricados sin llegar a ser totalmente industrializados.

### 3.1.2 La Nueva Etapa

Realizadas estas reflexiones de la evolución del hierro y el acero en la historia de la industrialización en la construcción, debemos proyectarnos hasta los años cincuenta, para poder ubicar una primera generación de industrialización, con carácter de globalidad en el sector de la construcción, que apuesta claramente por la vía de la prefabricación, como una de las opciones posibles para una construcción industrializada.

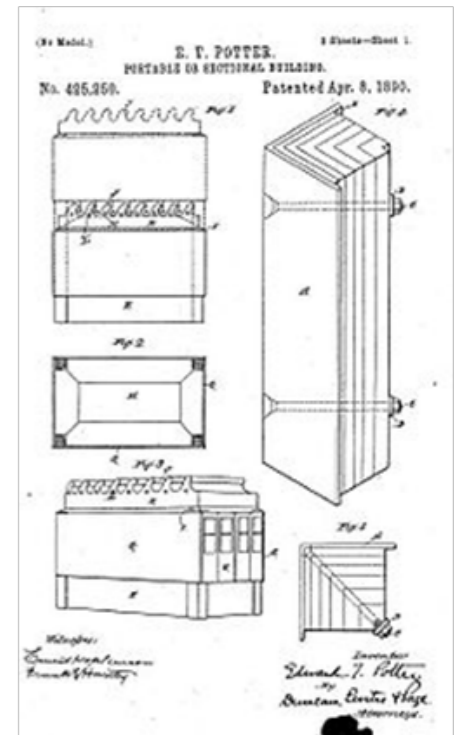
Se tuvieron que dar una serie de circunstancias tras la **Segunda Guerra Mundial**, como la escasez y necesidad de vivienda, deficiente mano de obra especializada y poca calidad de material para uso constructivo, para que surgiese la primera generación de producción edilicia basada en los principios de la industrialización y tomando ésta como primer sistema de construcción de la época. Todo ello motivó un cambio en la escala de desarrollo de los sistemas de construcción.

Como se ha comentado anteriormente, todos los proyectos efectuados de forma prefabricada, habían sido fruto de una necesidad puntual y de una forma muy particular. Hasta entonces, tan sólo estudios, proyectos y realizaciones concretas, casi a modo de investigación, habían tomado el pulso al sector de la construcción. Sin embargo, después de la Segunda Guerra Europea, se establece como método principal expandiéndose y haciéndose estandarizado de manera habitual.

Los objetivos principales que se buscaba con la industrialización, eran los siguientes:

- **En obra:**
  - Velocidad de trabajo
  - Exactitud en tiempos de construcción
  - Terminación perfecta
  - Eficiencia en controles de obra
  - Precisión dimensional
- **Organización y planeación:**
  - Planeación financiera
  - Coordinación de actividades
- **Costos:**
  - Anular los tiempos muertos
  - Mano de obra no especializada
  - Presupuestos más precisos
  - Control de materiales, 100% optimización

Ya por aquellas fechas, Le Corbusier elogiaba constantemente a la industria en distintos foros y a través de sus trabajos, "el maquinismo". Apoyaba



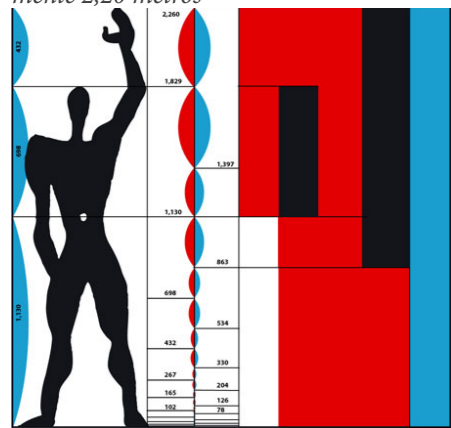
27. Croquis del sistema. Fuente: Witzel, J. R. Building Construction, U.S. Patent No. 1,362,069, 14 diciembre 1920.



28. WALTER GROPIUS (Alemania 1883-1969), fundador de la famosa escuela de diseño Escuela de la Bauhaus, en la que se enseñaba a los estudiantes a utilizar materiales modernos e innovadores para crear edificios, muebles, objetos originales y funcionales.

Fuente: <http://www.arquitectos.com/biografia-arquitecto-walter-gropius/>

29. El Modulor pretende ser un sistema de medidas superior a los mayoritarios existentes (El Pie-pulgada y el Métricodécimal), que permita al mundo moderno superar la barrera económica y cultural que supone coexistir con dos sistemas, como si de dos planetas se tratase. Entre sus principales objetivos se encuentra la normalización, la prefabricación y la industrialización. Este nuevo sistema debería ser antropométrico, matemático y armónico y por lo tanto basado en la medida de un hombre de 1,83 metros de altura, que con el brazo en alto alcanzaría aproximadamente 2,20 metros



Curtis, Willam. Le Corbusier, Ideas y formas. Blume. Madrid 1987

30. En algunos países de Europa como Francia, comienza la industrialización cuando se pone de manifiesto la necesidad de 250.000 viviendas anuales en los años posteriores a la guerra. Esto llevó a la realización de los primeros concursos para sistemas como lo fue la operación Quaide Rotterdam a Estrasburgo de 800 viviendas. La Fábrica Montesson fue la primera en el mundo en ofrecer un sistema industrializado y recibió en 1952, un contrato de 4.000 viviendas en paneles prefabricados. 2.000 al año. En 1953-1954 se llevó a cabo la operación Lopofa, cuyo objetivo era el desarrollar una serie de sistemas constructivos con los cuales se podrían proporcionar 36.000 viviendas. Se promovió un concurso a nivel nacional en el que se hicieron 12.000 viviendas anuales en grupos de 10 participantes con 1.200 viviendas cda uno. Esto llevó a que, entre 1952 y 1956 existiera ayuda gubernamental con la cual se promovía la industrialización de viviendas. (Nota: Blachere 1977)

una construcción inspirada en la industria, similar al sistema productivo del automóvil. Un claro ejemplo de ello puede constatarse en el llamado, “Le Modulor”<sup>29</sup>, donde podemos vislumbrar un aire de rigidez matemática muy comparable al sistema reglado que aboga la producción industrializada.

Es aquí cuando se establece la primera generación de producción industrial que se basó fundamentalmente en la técnica de prefabricación a base de paneles de gran formato planos, en multitud de variantes y patentes. Es entonces a partir de los años setenta y ochenta cuando comienza una nueva etapa<sup>30</sup> en la cual, existen diversos y múltiples sistemas de construcción prefabricados lo que generó, hasta la actualidad, un disperso amplio sector donde la variabilidad era el adjetivo referente en la construcción en seco. A esta diversidad de tendencias e influencias que se dan en el sector, ante el cambio de mentalidad se le conoce como un proceso de carácter “abierto” en la reproducción edilicia.

A continuación, para poder entender este nuevo sistema “abierto” que surge tras la **Segunda Guerra Mundial**, cabe nombrar la etapa que se comprende entre los años 60 y 70 cuando salieron a la luz algunos proyectos con ansias de renovar y modernizar el concepto de vivienda modular. Entre ellos destaca el proyecto Hábitat ‘67, desarrollado por Moshe Safdie y su equipo técnico para la Exposición Universal de Montreal de 1967, el cual ha sido nombrado anteriormente pero que llegado a este punto voy a detallar para poder entender más tarde los diferentes niveles que existen en la actualidad referente a los sistemas de construcción prefabricada.

Se trata de un conjunto de edificios vienen generados por un sistema libre de cubos conectados entre sí, de forma que se crea la variabilidad como premisa en el diseño. Las estrecheces geométricas desaparecen, al constituirse células de grandes dimensiones (12 m x 5,33 m x 3 m) y elevados pesos (entre 79 y 90 toneladas), con una superficie de 52 m2 construidos. Como podemos observar, existe una gran diferencia con los proyectos comentados en la etapa anterior ya que éstos venían desmontados piezas que se ensamblaban en obra o por paneles que se transportaban hasta la ubicación del proyecto donde se realizaban las tareas de ensamblaje. Pero sin embargo, en este caso, son modulos tridimensionales, casi completos los que se montan directamente en obra. Entonces nos preguntamos lo siguiente: **¿Cómo se lleva a cabo la construcción si no es posible transportar dichos modulos por piezas separadas?**

Pues bien, hay que destacar que fue generar estos módulos tridimensionales porque no tenían que ser presas del inconveniente del transporte, ya que fueron elaboradas a pie de obra con 4 moldes especiales que elaboraban un cajón cada 48 horas.

Y la siguiente pregunta que se nos viene a la cabeza es: **¿Entonces se trata de un edificio totalmente prefabricado y de una construcción totalmente industrializada?**

La contestación es no. Pese a que parezca una construcción totalmente industrializada y prefabricada, en Habitat ‘67 la fabricación no era integral,

ya que los módulos se montaban inacabados y eran terminados in situ: revestimientos, acabados, postensado, soldadura, etc; Se puede apreciar así en la fotografía adjuntada.<sup>31</sup>

Una construcción totalmente industrializada y prefabricada, sería aquella que los módulos estuvieran completamente acabados en fabrica y producidos en serie, donde lo único que tuviera que hacerse en obra sería la colocación de los mismos.

Pese a todo ello, se puede decir que Hábitat ‘67 fue un punto de inflexión<sup>32</sup> y, a día de hoy, sigue siendo una referencia para proyectos de este tipo, ya que marcó un antes y un después en el concepto de construcción prefabricada y en el proceso de fabricación de los módulos.

### 3.1.3 Actualidad

En la actualidad, la construcción de edificaciones sigue siendo mayoritariamente artesanal, pero hay varios factores que están empujando de forma decisiva hacia una mayor e irreversible industrialización. Alguno de estos factores son:

- La introducción de la **cultura de “cero defectos”** en todos los demás productos que adquirimos cotidianamente está provocado de quien compra una edificación destinada a vivienda, cada vez entienda menos que algo que cueste tanto dinero, tenga tantos defectos de acabados.
  - El nivel de  **siniestralidad de la construcción**, mucho más alto que el de la industria.
  - El sector está acusando fuertemente la falta de **mano de obra cualificada** y para ello es necesario valorizar el trabajo que hace la gente en la obra, lo cual será imposible mientras sus condiciones de trabajo sigan estando tan alejadas de las que “disfruta” un operario industrial.
    - Hoy en día ya existen **sistemas de industrialización** de muchos elementos de la construcción que están utilizando de forma habitual, como fachadas y cerramientos interiores. con pilares y vigas completamente industrializadas.

## 3.3 Tipologías de sistemas

### 3.3.1 fabricación de componentes

#### Sistemas Cerrados

Según el autor J. Salas “los elementos se fabrican conforme a especificaciones internas del propio sistema. Responden en únicamente a reglas de compatibilidad interna y el proyecto arquitectónico ha de subordinarse en forma no necesariamente sumisa a los condicionantes del sistema.”

Por tanto, la característica principal que identifica a este sistema es una incompatibilidad con otros tipos de sistemas, y se constituye como una estructura conceptual “cerrada” en sí misma, por lo que el proyecto, las técnicas y los medios se deben adaptar a las propias reglas internas del

31. Colocación de módulos en Hábitat 67. Fuente: google imágenes. www.plataformaarquitectura.cl/cl/.../clasicos-de-arquitectura-habitat-67-moshe-safdie



32. Conología de ejemplos de Arquitectura Modular hasta la nueva etapa. Fuente: Elaboración propia

s.XVI	Ciudades de Leonardo Da Vinci (Francia) Campamentos militares (Europa)
1624	Great house -Edward Winslow (Inglaterra)
1833	Iglesia Sta.Maria Balloon Frame (Chicago)
1840	Portable Colonia Cottage -H.Manning (Inglaterra)
1851	Cristal Palace -Joseph Paxton(Londres)
1889	1ª patente edificio prefabricado-E.T.Potter (Estados Unidos)
1910	Sears Roebuck Houses -Estados Unidos
Inventión del Ascensor	
Grandes incendios en Estados Unidos	
1919	Sistemas de montaje prefabricado -Clark N.Wisner y J.R.Witzel (Estados Unidos)
1939-45 Segunda Guerra Mundial	
1967	Habitat 67 -Moshe Safdie (Canadá)
1972	Nakagin Capsule Tower -Kisho Kurokawa (Japón)
1979	Sirius Building -Tao Gofers (Australia)
Nueva Etapa- Actualidad	

33. Edificio Lagutenko-Posokhin, Moscow. Construcción industrializada basada en diseños cerrados.

Fuente: [https://en.wikipedia.org/wiki/Stalinist\\_architecture](https://en.wikipedia.org/wiki/Stalinist_architecture)



sistema concreto, algo parecido a un concepto de patente.

En un sistema constructivo cerrado<sup>33</sup>, la mayoría de elementos, componentes o subsistemas proceden de una única patente o grupo industrial, por lo que deben seguir las propias reglas y especificaciones internas del sistema. Por tanto se podría resumir conceptualmente que la construcción basada en un sistema cerrado es el propio edificio, no los componentes del sistema. Aquí se muestran unas premisas a modo resumen que detallan mejor el sistema cerrado:

- Los elementos, componentes o subsistemas que conforma el edificio, **no son intercambiables**, no son compatibles con otros elementos o técnicas de otras patentes o industrias.
- Como el sistema viene basado en las propias reglas internas, no es preciso generar acuerdos de **coordinación modular** con otros sistemas, ya que están definidos en el propio producto.
- Este tipo de sistema se traduce la **falta de libertad**, en el propio producto elaborado, en la construcción como técnica y en la arquitectura como expresión, ya que todo está basado en unas reglas internas que no deja libertad de diseño.
- Se identifican como materiales de estos sistemas los elementos de **hormigón prefabricados de gran formato**, paneles en donde las dos dimensiones superan a una tercera que coincide con el espesor, o bien tridimensionales, compuestos por elementos verticales y cerramientos horizontales, formando unidades habitacionales también de hormigón.

#### Sistemas Abiertos<sup>34</sup>: Componentes

Se hace referencia de nuevo a las palabras de J.Salas para describir el sistema abierto como:

*“sistema constituido por elementos o componentes de distinta procedencia aptos para ser colocados en diferentes tipos de obras, industrializadas o no, y en contextos diversos. Suelen valerse de juntas universales, gamas modulares acotadas, flexibilidad de proyecto total.”*

Por lo tanto, la “apertura” a la que nos estamos refiriendo es la capacidad de que tienen los distintos componentes a ser compatibles con una técnica constructiva para poderse combinar, aun siendo su procedencia desde distintos fabricantes, patentes o industrias, de acuerdo a unas reglas preestablecidas.

Es por ello que podemos definir que la característica principal de la industrialización abierta o por componentes, es la de la intercambiabilidad. A continuación expondré varias características de los sistemas abiertos:

- **Intercambiabilidad:** para que los elementos sean intercambiables, todos los participantes en el hecho arquitectónico deben ponerse de acuerdo, principalmente, en las elecciones de multi-módulos y retículas modulares, dimensiones y tolerancias de fabricación y montaje..
- **Compatibilidad:** La compatibilidad de las juntas, aunque los elementos a combinar sean de distinta procedencia.
- **Viabilidad:** para que el sistema sea viable debe permitir un proyecto

34. Ejemplo de proyecto utilizando un sistema abierto: Dominó 21

Fuente: <http://www.idmmodular.com/la-empresa/idi/>



diseño sin necesidad de contacto previo con los productores de componentes y posibilitar el ensamblado de elementos producidos por fabricantes independientes.

- **Coordinación modular:** en este caso, y diferenciado con los sistemas cerrados, sí que debe permitir una coordinación modular (dimensional) entre las diferentes compañías.

Se comprende fácilmente, que este sistema permitirá la ejecución de cualquier tipo de edificios, abriendo enormemente las posibilidades creativas y de aplicación.

### 3.3.2 Forma Geométrica

#### Superficiales (2D)

**Placas:** Las placas son elementos bidimensionales planos, con espesor pequeño respecto a las otras dos dimensiones. En construcción prefabricada, las placas pueden llegar a alcanzar dimensiones considerables al igual que grandes pesos. Algunas de las características son:

- **Dimensiones:** las placas prefabricadas son de dimensiones deseadas, pensadas con anterioridad para unirse entre ellas en sitios concretos dispuestos en el diseño del edificio. Por ejemplo, una placa puede llegar a conformar la fachada entre forjados de un edificio, pudiendo solventar en una pieza una de las dimensiones perimetrales del edificio.
- **Peso:** se trata de piezas bastante pesadas que requieren de una ayuda auxiliar como puede ser una grúa para poder izarlas y colocarlas en el sitio, donde los operarios finalizarán con los anclajes necesarios.
- **Estructura:** éstas no necesitan ninguna estructura auxiliar prefabricada puesto que la misma placa confiere la totalidad de las cargas. Sin embargo, ésta ha de ser anclada o enlazada a otras placas o directamente al edificio según la envergadura de la misma.

**Paneles:** son elementos bidimensionales planos donde existe una proporción similar en ambos ejes (base y altura), siendo el espesor menor a éstas.

- **Dimensiones:** los paneles prefabricados son piezas de menor tamaño que las placas, no sobrepasando las dimensiones necesarias para que un operario pueda manejarlos.
- **Peso:** al contrario que en las placas, éstos paneles son más ligeros pudiendo ser manejados e instalados por obreros.
- **Estructura:** para poder instalar los paneles se necesita una estructura auxiliar, la cual irá anclada a la estructura principal del edificio. Generalmente, esta estructura auxiliar es liviana y modular coincidiendo con las dimensiones de los paneles a colocar sobre la misma.

#### Volumétricos (3D)

**Pods:** también denominadas unidades técnicas, son módulos de cocina y/o baño que se fabrican monolíticamente mediante un proceso industrial, conteniendo todas las instalaciones de fontanería, electricidad, mo-

biliario, sanitarios, acabados, etc. Una vez terminados, se llevan a obra donde su montaje es muy sencillo, pues van acoplados entre los forjados de la estructura del edificio y únicamente hace falta realizar las conexiones a los diferentes sistemas (de agua, luz, desagüe, ventilación, domótica etc.)

**Módulos<sup>35</sup>:** Son piezas tridimensionales cerradas diseñadas y producidas en fábrica y de dimensiones tridimensionales variables. Éstas presentan algunas características que las hacen singulares:

- **Forma:** los módulos vienen determinados en su forma en cuanto al diseño. La única premisa es que estén totalmente cerrados en sus tres dimensiones (suelo, paredes y techo) pudiendo constituir lo que en arquitectura se conoce como un “habitat”.

- **Instalaciones:** es una premisa esencial la inclusión de las instalaciones básicas como aseo y cocina, preparados para conectarse a la red suministradora o bien utilizando los mismos de manera autónoma.

- **Movilidad:** éstos pueden ser más o menos pesados, pero dado a sus dimensiones mínimas han de ser transportados y ubicados con ayuda de diferentes maquinarias como pueden ser camiones o barcos para su transporte y grúas para la colocación en el lugar.

**Contenedores<sup>36</sup>:** son piezas tridimensionales completas y cerradas que se utilizan para el transporte de mercancías en el ámbito marítimo. Éstos módulos presentan numerosas características aptas para el uso en la construcción modular. Alguna de las características a destacar son las siguientes:

- Los contenedores marítimos están preparados para ser apilados hasta en un máximo de 12 alturas, lo que posibilita la creación de **edificios en altura**.

- No sólo pueden ser dispuestos en horizontal, es posible su **colocación en vertical**, lo que puede ser muy útil para colocar en éstos los núcleos de conexión entre niveles (como núcleos de comunicación)

- La construcción en seco **agilita la ejecución de obras**, y con este tipo de estructura metálica no hay tiempos de espera para fraguados y su uso es inmediato. Esa rapidez para el ensamblaje de un edificio de este tipo es posiblemente una de las mayores ventajas.

- Los contenedores están diseñados para su **fácil transporte**, por lo que es un punto fuerte.

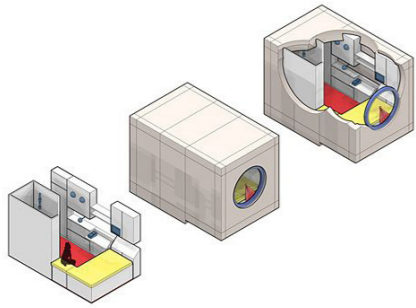
- Una vivienda con este tipo de estructura hace mucho más fácil la **re-orientación** dentro de una parcela, cambios de distribución o de configuración, que una vivienda de obra tradicional.

- El **precio** de un contenedor es relativamente barato. Por unos 600-800€ podemos hacernos con un contenedor estándar de 2,50 x 6,00m.

Hago referencia a un texto de Lloyd Alter<sup>37</sup> en un artículo suyo en Treehugger:

“Cuando piensas que un contenedor marítimo es más que una caja, que es parte de un sistema, entonces empieza a tener sentido. Y la lógica, e inevitable

35. Ejemplo de módulos: Capsule Tower, Japón- Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/765975/clasico-de-la-arquitectura-nakagin-capsule-tower-ki-sho-kurokawa>



conclusión es que la vivienda ya no es diferente de cualquier otro producto, puede ser construida en cualquier parte del mundo. El rol del contenedor marítimo en arquitectura será el de llevar fuera de las fronteras la construcción de la vivienda, a China, cómo todo lo demás. Ese es el futuro real.”

En Estados Unidos gran parte de la mercancía llega desde Asia, en contenedores marítimos. Estos contenedores muchas veces tienen que volver vacíos a su lugar de origen para ser cargados de nuevo y enviados al continente Americano. Eso hace que a las empresas exportadoras asiáticas les salga más rentable comprar nuevos contenedores para cada exportación que traerlos de vuelta vacíos. Por lo tanto dejan contenedores sin uso en tierras estadounidenses.

### 3.3.3 Nivel De Prefabricación

- **Integral:** el método utilizado de prefabricación se le denomina total o integral ya que se ha conseguido diseñar y producir el componente en cuestión totalmente en fábrica para únicamente colocarlo en obra. Generalmente, este nivel de prefabricación viene ligado a los sistemas cerrados que he comentado anteriormente.

- **Parcial:** en este caso el componente viene generado mediante el empleo parcial de componentes, medios y tecnología para construir únicamente partes concretas del conjunto edificatorio (estructura, cerramientos, instalaciones..). En este caso, se suele hacer referencia a los sistemas abiertos ya que utiliza diferentes componentes (pudiendo ser de diferentes empresas) para formar uno o varios espacios del módulo. Más aún es posible que muchas de las partes sean totalmente prefabricadas pero sin embargo haya partes que deban ser ejecutadas o realizadas en obra, lo que no les da la consideración de prefabricadas de forma integral.

## 4. Ventajas y desventajas

### 4.1 Ventajas

- **Optimización:** aprovechamiento óptimo de todos los recursos que entran en juego (materiales, tiempo, dinero, energía, etc.)

- **Rendimiento:** al estar dentro de un proceso industrial los tiempos marcados para la finalización de cada proceso son menores. Además en este ámbito existe una reducción del absentismo laboral.

- **Independencia de la climatología:** ejecución de labores en taller en su 95%, por lo que se reducen los paros debidos a condiciones meteorológicas a diversas y se mejoran las condiciones de trabajo de los empleados.

- **Modulabilidad:** incabables tipologías de edificio con unos pocos módulos tipo los cuales pueden ser variables en diseño.

- **Calidad:** empleo de las tecnologías más avanzadas que hacen que la calidad sea mayor comparada con un producto artesanal.

- **Exactitud:** durante el mantenimiento ya que al estar configurado por módulos siempre es menos el desvío en dimensiones.

36. Ejemplo de proyecto con contenedores. Futurumshop, ARS Architecten. Fuente: <http://www.archdaily.com/259586/futurumshop-ares-architecten>



37. Lloyd Alter (Toronto, Canada) is design editor of TreeHugger. He has been an architect, developer, inventor and prefab promoter. He contributes to MNN.com, The Guardian, Azure and Corporate Knights magazines, and is Adjunct Professor teaching sustainable design at Ryerson University School of Interior Design. Lloyd is a Past President of the Architectural Conservancy of Ontario. In the course of his work developing small residential units and prefabs, Lloyd became convinced that we just use too much of everything- too much space, too much land, too much food, too much fuel, too much money, and that the key to sustainability is to simply use less. And, the key to happily using less is to design things better.

Fuente: <http://www.treehugger.com/author/lloyd-alter/>





- **Limpieza:** desde su origen hasta su puesta en obra.
- **Ahorro de materiales:** Optimización de cantidad de material empleado en cada elemento disminuyéndose los escombros y restos.
- **Riesgos y oportunidades:** generación de puestos de empleo en mejores condiciones de trabajo con drástica reducción de riesgos laborales.
- **Simultaneidad:** es posible realizar diferentes acciones dentro de un proceso de construcción ya que no están totalmente ligados ni dependen los unos de los otros para empezar el siguiente proceso. Generalmente, en un proceso artesanal se ha de esperar a que el proceso anterior esté acabado para comenzar el siguiente.
- **Control del proyecto:** control exhaustivo de los tiempos de ejecución y del coste final, reduciéndose drásticamente las desviaciones.
- **Exportación:** los edificios producidos en fábrica pueden ser comercializados en todo el planeta gracias a la demanda de producto de mercados exteriores.
- **Minimización del impacto de la obra:** se disminuye el impacto acústico y topográfico; se reduce el impacto visual de la obra en tiempo y volumen (andamiajes, escombros, vallados, etc.).
- **Menor contaminación:** disminución del tráfico pesado de camiones a la obra. Se reduce así la contaminación ambiental y acústica.

## 4.2 Desventajas

- **Dificultad del proceso constructivo:** necesidad de conocimientos técnicos avanzados para el diseño, fabricación y montaje de los módulos.
- **Problemas de dimensiones en transporte:** gálibos máximos permitidos y carga máxima autorizada.
- **Inseguridad en proceso de montaje:** bien por cálculo resistente, bien por medios auxiliares de elevación y montaje, también se encuentran limitaciones en el número máximo de pisos posible.
- **Necesidad de inversión importante:** por ser una fabricación totalmente industrial hace falta una apuesta fuerte en el ámbito económico estableciéndose una serie de riesgos de productividad y gestión que se han de estimar.
- **Módulos inacabados terminados en obra:** cuando la elaboración de los módulos no es integral hace falta extender los procesos productivos hasta la propia obra, se pierde gran parte de la rentabilidad y calidad del proyecto.
- **Limitaciones geométricas y caras verticales portantes:** cuando la estructura resistente de los módulos es de muros portantes, y no reticular a base de pilares y vigas, la necesidad de respetar esos muros portantes confiere al diseño cierta rigidez tipológica y distributiva.
- **Estereotipos:** debido al contexto en el que estas realizaciones tomaron mayor ímpetu y relevancia, como situaciones de crisis o catástrofes naturales, son las culpables de que las viviendas modulares se relacionen con la baja calidad y la provisionalidad.

## 5. Sostenibilidad

Tras el estudio riguroso de la arquitectura modular, sus ventajas y desventajas, sus características, y sus antecedentes, me ha parecido conveniente reservar un apartado exclusivamente para hablar sobre la sostenibilidad que tanto se ha comentado anteriormente y que, para mí y muchos de los arquitectos especializados en diseño y construcción de este tipo de arquitectura, les parece la base principal del método.

Para redactar este apartado, me he servido como punto de apoyo en uno de los portales más prestigiosos en arquitectura como es MIMBREA. De ahí, he podido rescatar una entrevista a varios estudios de arquitectura modular donde se mantienen discusiones sobre cuestiones concretas referentes al ámbito de este tipo de arquitectura. Una de las partes en las que más quería profundizar es en Sostenibilidad por todo lo aprendido tras la entrevista con los expertos en el área. Esta entrevista está adjuntada en el apartado de ANEXOS para que se pueda leer en su totalidad.

### 5.1 Concepto

Para ello primero necesitamos conocer que significa el término de Sostenibilidad. Para ello hago alusión a la definición que aparece por primera vez en el denominado Informe Brundtland "Nuestro Futuro Común" en el año 1987 y que expone lo siguiente:

*"La sostenibilidad es la característica o estado según el cual pueden satisfacerse las necesidades de la población actual y local o de poblaciones de otras regiones sin comprometer la capacidad de generaciones futuras."*

### 5.2 Aspectos

Si extraemos de ahí un significado concreto para la construcción a base de elementos estandarizados o prefabricados, veremos que éste ocupa un lugar preferente en los valores que determinan los aspectos medio ambientales como pueden ser: la transformación de naturaleza, los recursos necesarios, consumos de energía, agua, emisiones y vertidos, los residuos, salud, etc.

Por tanto, esta globalización relativa a la sostenibilidad, es compatible también con una componente local, incluso personal e individual, teniendo arraigada una gran carga social, que repercute en la "actitud" que define a una persona y que puede incluso modificar su comportamiento hacia el mismo.

Por otro lado, y basándonos en lo expuesto, podemos decir que también es un compromiso que reúne a todos los sectores, pero de forma notable me centraré en la repercusión social que tiene en el sector de la actividad edilicia, mostrando una serie de datos recogidos en "Guía básica de la sostenibilidad"<sup>38</sup> Brian Edwards, 2001, que nos adentra en el concepto de sostenibilidad en la construcción:

<sup>38</sup>. Escrito por Brian Edwards (arquitecto especializado en temas ecológicos y profesor de Arquitectura en el Edinburgh College of Art) *La Guía básica de la sostenibilidad propone una aproximación elemental a uno de los problemas clave a los que se enfrentan los arquitectos en el siglo XXI. Constituye una única obra que reúne muchas de las diversas y complejas tendencias que se agolpan tras el concepto de sostenibilidad. Expone los programas y políticas de gobiernos e instituciones a favor del cambio y resume de forma muy completa las distintas medidas y soluciones ecológicas que ya no pueden ignorarse.* Fuente: <http://ggili.com/es/tienda/productos/guia-basica-de-la-sostenibilidad-1>

El 50% de todos los recursos mundiales se destinan a la construcción.  
 El 45% de la energía generada se utiliza para calentar, iluminar y ventilar edificios.  
 El 40% del uso global del agua es para la construcción  
 El 60% de la mejor tierra cultivable que deja de utilizarse para la agricultura se utiliza para la construcción.  
 El 50% del calentamiento mundial lo produce el consumo de combustible fósil utilizado en los edificios.  
 Sólo en 2.7% del agua consumida por persona al día es para beber.  
 El 25% de la población consume el 75% de los recursos.  
 El 20% de la población más desfavorecida consume apenas el 1% de los recursos.

Figura 10. Datos sobre sostenibilidad.

Fuente: "La Guía básica de la sostenibilidad", Brian Edwards

### 5.3 Características

Como acabamos de ver, existen diversas razones por las que la construcción es uno de los causantes del desajuste medio ambiental que existe en nuestros días. Gracias a este trabajo de investigación he podido comprobar que existen unas alternativas que reducen la huella ecológica en la construcción de inmuebles. Es por ello que ahora mostraré las principales características que hacen más sostenible la construcción de proyectos modulares frente a los tradicionales.

- **Modulares:** facilidad de reparación y de variedad de diseños al estar diseñadas con una modulación en todos sus componentes y configurados para un sistema de uso globalizado.

- **Reutilizable:** utilización de los materiales para otra posible construcción. Además, si escoges un módulo tridimensional como módulo de construcción principal, estarás reutilizando un material por lo que la generación de residuos que genera es prácticamente nulo.

- **Reubicable:** Posibilidad de trasladarla a un nuevo destino.

- **Funcionalidad:** reutilización con las mismas premisas de diseño y diferente funcionalidad al cambiar de propietario.

- **Versatilidad:** facilidad de modificación del habitáculo al aumentar o hacer algún cambio en el diseño de la casa (reutilización de materiales)
- **Energía:** menor energía en el proceso de construcción y escasa generación debido a la poca movilidad motorizada para su montaje. (casi el 90% de la construcción se realizará fuera del emplazamiento final).

- **Agua:** reducción de un 70% de agua en la construcción en seco.

- **Terreno:** Los cimientos requeridos son más fáciles de construir, más ligeros y económicos porque soportan casas más livianas. Se minimiza el impacto negativo sobre el medio ambiente en el terreno de destino.

**Residuos:** Minimización de recursos materiales y desperdicio prácticamente nulo ya que en el montaje no se generan escombros. Además, desde Compact Habit afirman que:

“podemos decir que por cada 100kg de residuos generados en la obra tradicional, el sistema eMii de Compact Habit solo genera 25Kg.”

- **Generadores de energía:** Debido a su aislamiento disminuye la necesidad de climatización asistida (calefacción o aire acondicionado) con lo cual se genera un importante ahorro energético y se disminuyen las emisiones de dióxido de carbono, uno de los gases que produce efecto invernadero responsables del cambio climático.

- **Reciclaje:** puede incluir materiales reciclados como por ejemplo: acero, madera e incluso vidrio reciclado.

- **Huella ecológica:** disminución debido a los aspectos anteriores.

Como conclusión de este apartado, pongo como ejemplo uno de los más extendidos y simples conceptos que se lleva a cabo para conseguir un bajo impacto medio ambiental: la llamada “Metodología simplificada de análisis ACV”<sup>39</sup>. Es importante mencionar este método como objetivo en el diseño, industrialización y construcción de una arquitectura modular ya que ésta trata de pasar de un ciclo abierto de los materiales, a tratar de cerrar el ciclo de vida útil según un círculo cerrado sin interferir en el medio natural, como podemos observar en la siguiente figura.



Figura 11. Ciclo Insostenible. Fuente: Elaboración propia.

Es decir pasar del tradicional proceso abierto extracción-fabricación-residuo, a un ciclo cerrado tipo reciclaje-fabricación-reciclaje como el siguiente:



Figura 12. Ciclo cerrado o sostenible. Fuente: Elaboración propia.

39. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es un proceso objetivo que nos permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental.

Fuente: Instituto Superior del Medio Ambiente.

# 4 CASO DE ESTUDIO

En el presente trabajo se ha analizado una vivienda unifamiliar aislada, cuyo autor es el arquitecto Jorge Navarro Reyes. Éste nos ha prestado toda su atención y ayuda de forma desinteresada, lo cual es digno de agradecimiento

### Emplazamiento

El proyecto está situado en la parcela localizada en el número 21 del Carrer Baix de la urbanización el Pinar en Picassent (Valencia), por encargo de un promotor privado.

### Descripción general del edificio

Se trata de una vivienda unifamiliar aislada (uso específico residencial) realizada con un sistema modular, con estructura metálica de acero laminado y perfiles normalizados.

El edificio está formado por cuatro módulos de unas dimensiones exteriores de 2.875 x 6.300 x 2.900 (ancho x largo x alto), los cuales han sido realizados “in situ” y forman un espacio único subdividido por las particiones.

### Programa de necesidades

La vivienda consta de 2 habitaciones, una de matrimonio y una doble, 2 baños y un espacio de salón-comedor-cocina.

La vivienda dispone de un espacio multifuncional que hace las veces de cocina, comedor y estar a la vez conectado y, que está conectado a un pasillo que da acceso a las dos habitaciones (una de ellas con baño propio) y al baño de cortesía.

ESTANCIA	SUPERFICIE ÚTIL (m <sup>2</sup> )
Cocina-Comedor-Estar	32,43
Baño	3,68
Baño dormitorio principal	3,81
Dormitorio principal	10,80
Dormitorio doble	8,26
Distribuidor	2,56

Figura 15. Programa. Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Picassent (abajo izquierda). Fuente: Google Maps

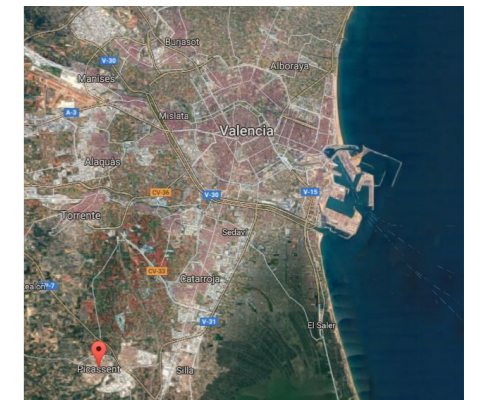
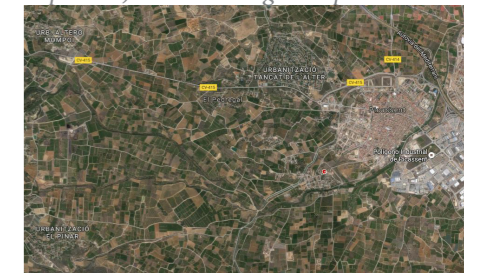


Figura 14. Urbanización el Pinar (abajo izquierda) Fuente: Google Maps



### Descripción general de los sistemas de la edificación

En este apartado vamos a explicar brevemente en qué consiste cada uno de los distintos sistemas constructivos del edificio: Sistema estructural, sistema envolvente y sistema de acabados

#### Sistema estructural

##### Cimentación

La cimentación de la vivienda se resuelve mediante el aprovechamiento de una losa de hormigón de 15 cm de espesor que existe en la parcela.

##### Estructura portante

La estructura portante vertical se compone de los siguientes elementos: Pilares metálicos de sección cuadrangular de 80 x 80 x 4 mm, realizados con perfilera metálica normalizada conformada en frío de acero S275.

La estructura portante horizontal se resuelve mediante vigas con perfiles rectangulares de acero laminado o IPE's justificados mediante cálculo.

#### Sistema envolvente

##### Fachadas

El cerramiento consistente en:

- 1. Capa de Acabado: Revestimiento de mortero monocapa de cemento sobre panel sándwich (formado por doble chapa lisa de acero prelacado en color blanco y capa intermedia de espuma de poliuretano de alta densidad con un espesor total de 40 mm) anclado a subestructura metálica.
- 2. Cámara de aire de espesor mayor-igual a 60 mm.
- 3. Subestructura metálica de 48 mm para PLADUR rellena de aislante de lana de roca entre montantes.
- 4. Placa de yeso de 15 mm de acabado.

##### Carpintería

- Ventana corredera o abatible, según huecos, con acristalamiento doble con cámara 4+12+6 tipo climalit.

##### Cubierta

La cubierta será plana con una pendiente del 2% y una composición como la que se indica a continuación:

- 1. Formación de pendientes mediante subestructura metálica.
- 2. Aislante térmico mediante panel sándwich autoportante (formado por doble chapa lisa de acero prelacado en color blanco y capa intermedia de espuma de poliuretano de alta densidad con un espesor total de 80 mm), que actúa a la vez como aislamiento térmico y barrera cortavapor.
- 3. Lámina impermeabilizante autoadherida y autoprottegida.

Se proyectará un canalón perimetral de chapa galvanizada en cubierta para recoger y conducir las aguas pluviales hacia las bajantes. Se dispondrá tela impermeable soldada para la protección de puntos singulares.

##### Solera

Sobre la estructura reticular de acero, se colocará una chapa grecada que funcionará de forma colaborante junto con una capa de compresión de 8-10 cm de hormigón con su correspondiente mallazo.

#### Sistema de acabados

##### Revestimientos

Las fachadas se revestirá mediante un aplacado cerámico imitación madera. Previamente se aplicará una capa de resina epoxi sobre el panel sándwich y una malla retráctil para compensar los movimientos debidos a la variación de temperatura del panel sandwich.

##### Pavimento

El pavimento interior de la vivienda será un suelo laminado, sobre film plástico.

##### Compartimentación interior

Las particiones interiores están resueltas con estructura de entramado metálico y paneles de yeso laminado, tipo PLADUR.

##### Falsos techos

Se realizarán dejando una altura libre de 2,50 m.

#### Cumplimiento de la normativa urbanística.

En este apartado se explicarán mediante una tabla resumen todas las características de cumplimiento obligatorio según la norma urbanística que le corresponde al proyecto de estudio.

Parámetro	Planeamiento	Poyecto
Superficie mínima parcela	800 m <sup>2</sup>	1010.27 m <sup>2</sup>
Diámetro mín. circunferencia inscrita	15 m	Cumple
Frente min. Fachada	16 m	30.90 m
Dist. linde frontal	≥ 5m	≥ 5m
Dist. resto de lindes	≥ 3m	≥ 3m
Coef. ocup. máx.	30% (20% vivienda)	72.45 m <sup>2</sup> < 202.05 m <sup>2</sup>
Coef. edificabilidad	0,20m <sup>2</sup> t/m <sup>2</sup> s=202.05m <sup>2</sup>	72.45 m <sup>2</sup> < 202.05 m <sup>2</sup>
Altura	II (PB+1) ≤ 7 m.	PB = 2.90 m.

Figura 15 - Características. Fuente: Elaboración propia

## 4.1 Proceso metodológico

En este punto quería comentar uno de los aspectos más importantes que han influido en el desarrollo de este trabajo: el nulo seguimiento de la obra. Si bien es cierto que para poder desarrollar perfectamente este Trabajo Fin de Grado hace falta una continuidad en el proceso de ejecución de obra del proyecto a analizar, en este caso concreto ha sido totalmente imposible realizarlo puesto que el proyecto ya estaba íntegramente desarrollado y ejecutado en la primera reunión que se tuvo con el arquitecto que la diseñó. No fue un dato que se conociera con anterioridad, por lo que, tanto mi tutor Francisco Juan como yo nos enteramos una vez escogido el proyecto.

Sin embargo, creo que es un aspecto positivo puesto que existe un cambio en la metodología del análisis del proceso proyectual, lo que lo hace, si cabe, más complejo e interesante. Por tanto, la metodología que se lleva a cabo en el caso de estudio es la siguiente:

- **Comprensión del proyecto:** planos y memoria facilitada por el arquitecto.
- **Diseño del proyecto con la herramienta Revit:** se desarrollará siguiendo las características del proyecto básico facilitado por el arquitecto. En ella se analizarán las incoherencias que han existido entre la fase de diseño y la fase de ejecución.
- **Análisis de los obstáculos surgidos** en fase de diseño virtual del proyecto con el software Revit.
- **Anotación de los cambios sufridos** durante la etapa de ejecución de la obra y repercusiones que ello puede llevar en la modificación de los mismos en el programa de diseño.
- **Ventajas y desventajas** del uso del programa aplicado al caso de estudio.
- **Conclusiones**

### 4.1.1 Comprensión del proyecto

Para empezar el modelado en el software Revit, partimos de la documentación básica que nos proporcionó Jorge Navarro Reyes, arquitecto del proyecto. En nuestro caso se nos adjuntaron los archivos tanto en formato CAD como en PDF referentes a un proyecto básico.

El estudio previo del proyecto es uno de los pasos más primordiales puesto que debemos de analizar minuciosamente todos los detalles que requerimos realizando un estudio pormenorizado del proyecto.

Primeramente, se realizaron lecturas de los planos aportados, tanto descriptivos como constructivos. Tras un análisis más detallado sobre aspectos constructivos y de ejecución se pudo comprobar que no se requería la suficiente información en el área para poder desarrollar con detalle el diseño del proyecto, ya que se carecía de planos constructivos y de detalle. Es por ello, que se efectuó una segunda reunión con el arquitecto donde se aclararon todas las dudas de diseño constructivo y de ejecución de obra, la cual, como ya se comentó anteriormente, no se pudo realizar el seguimiento.

### 4.1.2 Diseño del proyecto

Para el diseño del proyecto primeramente se ha de establecer una serie de pautas que ayudan a tener una organización global del sistema tanto durante el proceso de diseño como en el proceso posterior de modificación. Empezamos pues creando una serie de niveles que nos ayudarán a referenciar las partes principales que constituye la vivienda prefabricada. Para ello nos ayudamos de una sección acotada en las partes más referentes de la vivienda, como de muestra en la figura siguiente. (Figura x)

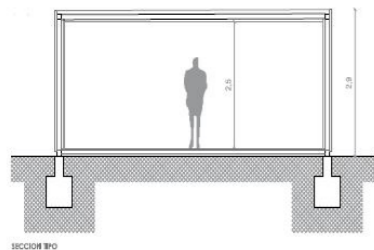


Figura 16. Sección simple. Fuente: memoria del proyecto.

Los niveles son los que se detallan en la imagen adjuntada. **Figura 17**

Por otro lado, en cada nivel se crea una vista en planta y en cada una de ellas insertamos la planta de CAD correspondiente a cada nivel creando distintas rejillas, es decir líneas de replanteo, que facilitaron dicha tarea.

Por otro lado cabe destacar una de las herramientas más importantes y diferenciadoras de otros programas que utilizan BIM. Ésta es conocida como "Fases". En este proyecto, como en cualquier otro, es indiscutible el uso de las "Fases" para poder tener una organización en todo momento del proceso proyectual y ayudarnos a detectar visualmente las etapas generadas una vez finalice la obra. Por ello, se han creado las siguientes fases:

Terreno Cimentación Estructura Envolverte vertical Cubierta

Una vez realizado este proceso podemos comenzar con el modelado en tres dimensiones del proyecto. En primer lugar, realizamos la topografía existente del lugar tomando como referencia el archivo de cotas de nivel que nos prestó el arquitecto elaborado en Autocad. Como se ha comentado en el paso previo, generaremos el terreno en la fase de "terreno" generada anteriormente.

Figura 17. Niveles. Fuente: Elaboración propia

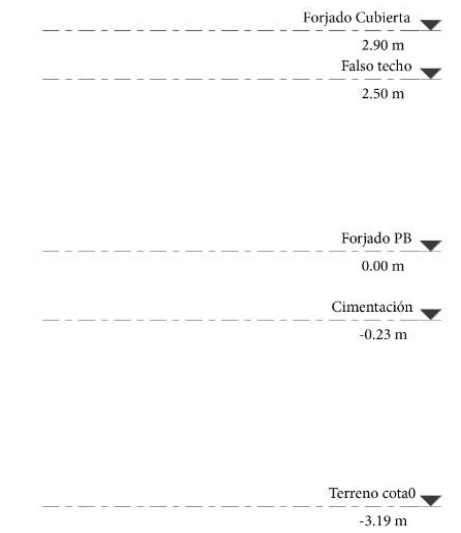


Figura 18. Rejillas. Fuente: elaboración propia

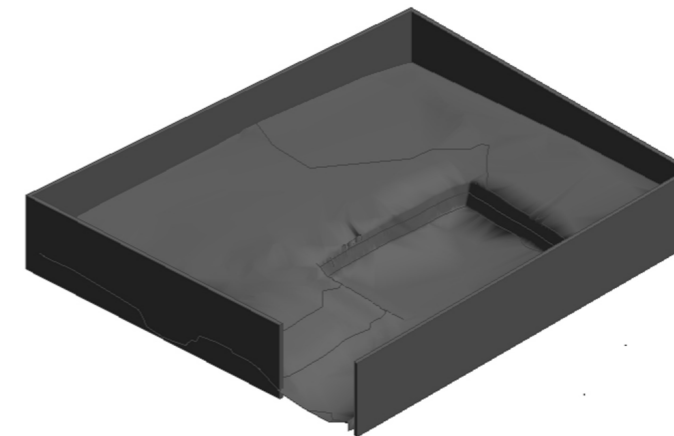
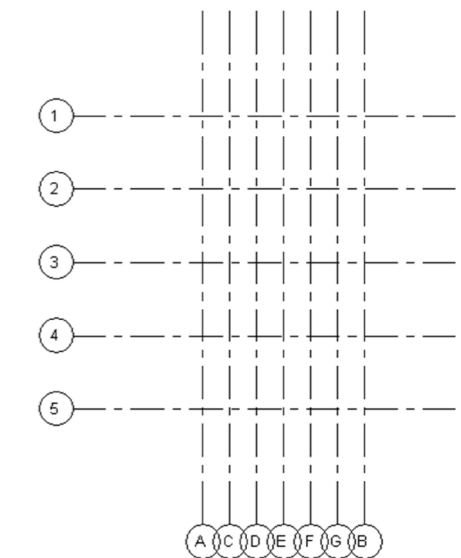


Figura 19. Terreno topográfico. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la topografía, se creará la cimentación de la vivienda (Fase "Cimentación"). Aquí se detectaron algunos errores gráficos<sup>40</sup>.



Figura 20. Cimentación. Fuente: Elaboración propia

40. Resumen de los planos de cimentación facilitado por el arquitecto. Fuente: Elaboración propia

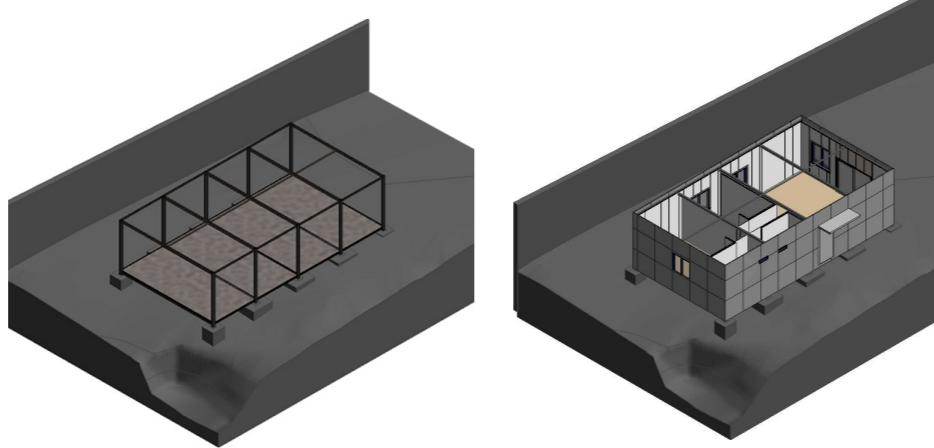
Zapatas	Dimensiones
Z1, Z5, Z6, Z10	x: 750 y: 750 z: 550
Z2, Z3, Z4 Z7, Z8, Z9	x: 1250 y: 1000 z: 550

Tras comprobar en los planos de cimentación elaborados por el arquitecto observamos que todas las zapatas tienen las mismas dimensiones respecto al canto. Sin embargo tras modelar con las dimensiones aportadas en la documentación se puede comprobar que existen varias zapatas (z1, z6) que no están en contacto con el terreno, ya que existe un desnivel prolongado en la topografía de la zona.

Detectamos pues, una incoherencia de diseño la cual, gracias al modelado de la topografía y de la cimentación hemos podido localizar a modo previo de la ejecución de obra.

Sin embargo, en el proceso de creación de la cimentación en la fase de ejecución, el arquitecto Jorge Navarro tuvo que tomar una decisión al instante, ya que no había podido detectar la incongruencia de manera previa. Decidió así, aumentar el canto de las zapatas que se encontraban en esa zona para garantizar la estabilidad de la estructura.

Una vez realizada la cimentación, proseguimos con la fase de estructura. En ella colocaremos todos los perfiles metálicos que servirán para conformar el esqueleto de la vivienda. Éstos constan de perfiles que formarán tanto el forjado sanitario y el forjado de cubierta como también los elementos verticales que conforman las paredes perimetrales. En las siguientes imágenes se aprecian en detalle la malla conformada por los perfiles.



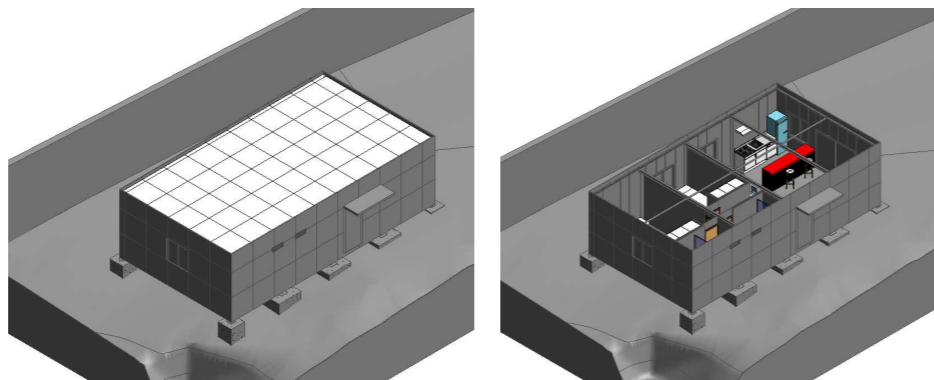
Figuras 21/22. Estructura/Envolventes. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizada la fase de estructura, el siguiente paso será la colocación de las envolventes, tanto verticales como horizontales.

Primeramente, se configura el forjado sanitario, formado por una chapa grecada que transcurre entre las vigas horizontales del mismo. Sobre ella se verterá una capa de hormigón hasta que quede enrasado con la parte superior de las vigas, quedando una superficie totalmente lisa y continua.

Se continuará colocando las envolventes verticales que conformarán los tabiques interiores y los cerramientos perimetrales de la vivienda.

Una vez los sistemas verticales estén colocados, se efectúa el entarimado del suelo. Se finalizará con la envolvente horizontal, la cubierta.



Figuras 23/24. Cubierta/Mobiliario. Fuente: Elaboración propia

Por último se realizará la colocación tanto de los elementos de carpintería, (ventanas y puertas, como el emplazamiento del mobiliario.

### 4.1.3 Obstáculos surgidos

Como sabemos se trata de una vivienda modular, lo que quiere decir que está compuesta a base de sistemas prefabricados (sistema abierto) puesto que tenemos diferentes casas comerciales que suministran los elementos a colocar. Entre ellos destacamos dos sistemas que han generado una dificultad añadida en el diseño formal de la vivienda, como son:

#### Paneles sándwich y Sistema cartón-yeso

El primero de ellos se encuentra tanto en la cubierta como en los paramentos verticales perimetrales. Siendo el segundo sólo utilizado en estos paramentos y en los tabiques interiores.

Donde se ha generado un contratiempo es en los paramentos verticales perimetrales ya que la suma de los dos sistemas actúan como un muro perimetral. Estas han sido las dificultades surgidas:

- **Muro descompuesto:** no se ha podido efectuar el paramento como un muro predeterminado de las familias de revit, ya que las capas constituyentes de éste eran sistemas predefinidos con anterioridad y variables en diseño y dimensiones.

- **Producto indefinido:** Para ello se consideró establecer contacto con las casas comerciales que fabrican y distribuyen el producto, ya que tienen una sección donde diseñan sus productos para ser utilizados con la tecnología BIM.

Una vez obtenido los sistemas en formato de lectura para Revit, se observó que éstos estaban diseñados en 3 dimensiones pero únicamente estaban detallados en una dimensión plana, por lo que la subestructura de cada uno no era visible en 3D como muestra la figura 26.

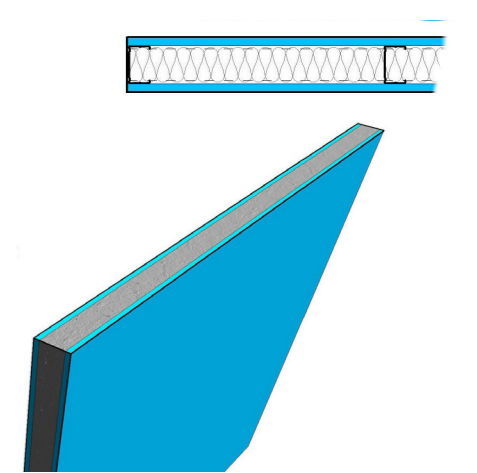
- **Diseño particular:** Esto conllevó una dedicación exclusiva para poder realizar los sistemas desde cero y poderlos mostrar así en 3 dimensiones. Además se tuvo que aportar la información concreta de ese producto.

- **Acotación del sistema:** Una vez realizados los paramentos que constituyen estos dos sistemas, se efectuó la fase anteriormente citada de la colocación de carpinterías tales como puertas y ventanas. Éstas como sabemos van insertas en el muro. Pero en este caso, no era un muro constituido por capas propias del muro si no eran dos sistemas anexos que visualmente conformaban la capa exterior y la interior del muro pero no estaban ligadas como tal. Por tanto, al insertar los componentes de ventanas y puertas no reconocía el cerramiento como "un todo" si no que reconocía separadamente al interior y el exterior, y dentro de éstos únicamente podía modificar la estructura en los paneles sándwich y cartón-yeso, pero no modificaba la subestructura ya que había sido diseñada manualmente. Por tanto, se tuvo que reestructurar el diseño, acotando las diferentes capas donde se colocarían los elementos de cierre.

Figura 25. Forjado. Fuente: Jorge Navarro. El forjado sanitario está formado por una chapa grecada que transcurre entre las vigas horizontales del mismo. Sobre ella se verterá una capa de hormigón hasta que quede enrasado con la parte superior de las vigas, quedando una superficie totalmente lisa y continua.



Figura 26. Paneles Pladur en revit. Fuente: Elaboración propia



## 4.2 Entrevista con el arquitecto

Es fundamental conocer realmente como ha sido el proceso de ejecución de la vivienda unifamiliar por lo que creemos de gran importancia la necesidad de hablar con el arquitecto del proyecto director de obra Jorge Navarro Reyes. De esta manera comprenderemos mejor las trabas e inconvenientes que han surgido y se podrán plasmar y analizar en mejor medida en este TFG. Además, comprobaremos en qué grado la tecnología BIM ha llegado al estudio de arquitectura.

**En España el uso de programas 2D para diseño es la herramienta más implantada en España. Por eso le pregunto, ¿Es Autocad el programa por defecto que se utiliza en el estudio para el desarrollo de proyectos?** Sí, por defecto lo es en la mayoría de los casos, aunque cada vez se está comenzando a utilizar más Revit.

**¿Se maneja alguno para el diseño en 3D?** En mi caso manejo Sketchup para la realización de bocetos y pequeñas perspectivas en 3D, previo modelado en Autocad 3D (por una cuestión de optimización de tiempos, ya que es una herramienta con la que me siento más cómodo. Cuando pretendo dar mayor detalle a las imágenes 3D e introducir materiales, iluminación, etc... paso el modelo a 3DMax y utilizo esta herramienta.

**¿Conoce la herramienta Revit? ¿Ha trabajado alguna vez con Revit o la plataforma BIM?** Sí. La conozco, he realizado un curso de esta herramienta, y me planteo comenzar a utilizarla en breve, dentro del ámbito laboral.

**¿Qué aspectos del proyecto, ya sea en fase de diseño o bien en fase de ejecución, de esta obra en Picassent, merecieron mayor atención, y cuáles menor?** En este caso, a diferencia de otras obras, el cliente venía por parte del constructor, por lo que el control económico de la obra no fue un problema al estar ya cerrado el precio de la vivienda por adelantado, por lo que la función principal era la de conseguir que la construcción se realizara de forma correcta, así como resolver muchos de los detalles constructivos, que no estaban definidos en proyecto, ya que tomamos la decisión de hacerlo así, debido a que era un sistema constructivo relativamente nuevo para nosotros y creíamos que la mejor opción era en muchas ocasiones tomar las decisiones "in situ" mediante un control estricto de la obra.

**¿Qué modificaciones o toma de decisiones tuvo que hacer respecto del diseño original?** A nivel de planta, algún pequeño retranqueo del pladur para poder trasdosar correctamente los pilares, y sobre todo la toma de decisiones respecto a multitud de detalles constructivos.

**¿Las indefiniciones detectadas a pie de obra o modificaciones, si las hubo, cómo fueron resueltas?** Fueron resueltas siempre después de debatir las posibles soluciones y optando por la que nos daba mayor seguridad y nos garantizaba una mayor durabilidad de la edificación.

**¿Se llegaron a anotar de algún modo?** La gran mayoría de las veces no.

**¿Cree que con otra herramienta distinta a Autocad hubiera podido detectar con anterioridad dichas incoherencias?** Sí. En Revit a nivel de detalle de proyecto de ejecución, se llega al punto de que al realizar los encuentros ves

que hay "cosas raras" y entonces tomas las decisiones necesarias para solucionar esos temas. Evidentemente habría ayudado a definir más el proyecto, aunque en este caso, esa indefinición en algunas partes del mismo, se solventó con una dirección de obra activa.

**¿Se ha llegado a formar unos planos finales donde se modifican los planos del proyecto para asimilarlo al proyecto real construido y del que se tomarán las bases en caso de que haya una reforma o una ampliación de la misma?** No.

**Es cierto que en una vivienda modular las diferencias en el proceso de diseño y ejecución del proyecto es notablemente diferente. ¿Nos podría comentar cuales son las grandes diferencias que ha notado frente a otros proyectos de construcción tradicional?** Todo es diferente en una vivienda modular. Desde la propia modulación de los módulos, que tienen unas dimensiones fijas con las que tienes que jugar para crear los diferentes espacios, hasta los sistemas constructivos y materiales utilizados. Se busca siempre la optimización de los mismos, y se usan técnicas de construcción con materiales a poder ser de montaje en seco, porque esto hace mucho más rápida la construcción: Fachadas con panel sandwich, interiores y techos con pladur, suelos con laminados, cubierta de panel sandwich de gran espesor, forjado de chapa colaborante....

**Y en cuanto a planificación, ¿Se efectúa el mismo proceso que en viviendas tradicionales?** La planificación podría ser parecida, pero el proceso es mucho más acelerado, por lo que es muy importante cumplir tiempos. Un retraso de dos días sobre 3 meses es mucho más importante que sobre 1 año.

**Finalmente Jorge exprese su opinión sobre el proceso proyectual y el segundo referente a la arquitectura modular. ¿Qué aspectos del procedimiento cambiaría para mejorar el rendimiento en el diseño y en la obra?** Creo que la utilización de Revit sería muy interesante para mejorar el rendimiento en diseño y adelantarnos a muchos de los problemas que existen en obra.

**¿Volvería a hacer una vivienda modular? En caso afirmativo, ¿Qué aspectos cambiaría para conseguir un proyecto modular perfecto?** La volvería hacer sí. Si fuera posible cambiaría el cliente!! Pero como esto no es posible, quizá cambiaría el sistema de forjado de planta por alguno de los sistemas nuevos que estoy estudiando, y evidentemente buscaría mayor libertad en el diseño para que el proyecto resultara arquitectónicamente interesante.

Cabe destacar en este apartado la gran aportación de información que nos ha brindado la entrevista efectuada con el arquitecto, ya que podemos vislumbrar aspectos no sólo en el ámbito del diseño asistido por el programa sino también los aspectos reales que conlleva la ejecución real del mismo.



Figura 27. Jorge Navarro Reyes. Fuente: LinkedIn

Jorge Navarro Reyes, arquitecto graduado en la Universidad Cardenal Herrera-CEU (2012) trabaja en diferentes sectores de la arquitectura tales como coordinador de obras en el grupo "INNERGY" y proyectando viviendas modulares donde él es el CEO de la empresa "Micasamodular". Fuente: <https://www.linkedin.com/in/jorgenavarrorreyes>

# 5 CONCLUSIONES

Tras la entrevista vislumbramos las posibilidades que puede tener el Revit y por defecto el BIM, para el diseño de una vivienda modular. Es por ello que en este apartado enumeraré diferentes cualidades que hacen de BIM una herramienta más efectiva para el diseño y desarrollo de un proyecto de arquitectura.

## **¿Qué vamos a conseguir con BIM?**

- **Mayor entendimiento:** con las diferentes entidades involucradas en el proyecto y por lo tanto mayor implicación por parte del promotor.
- **Mayor control:** sobre el alcance en los detalles del proyecto: puesto que utilizamos una herramienta de visualización 3D y cada elemento posee una información detallada, podemos configurar los detalles más minuciosos que existen en el proyecto.
- **Previsión de contratiempos:** este es uno de los aspectos más destacables, ya que permite poder visualizar incongruencias que se puedan dar en la realidad, adelantándose a ellas y buscando una solución previa antes de que ello suceda. Es un ejemplo claro que hemos podido detectar en este Trabajo Fin de Grado en los apartados anteriores.
- **Mejor documentación del proyecto:** ya que cualquier elemento contiene información que después será plasmada en la memoria.
- **Más precisión en los presupuestos:** puesto que cada elemento contiene la información económica de la empresa suministradora.
- **Mejora las fases del proyecto y su programación:** como hemos visto en el diseño proyectual, todo se ejecuta en las fases que forman el desarrollo del proyecto por lo que podremos controlar no solamente dicha fase, sino también la repercusión que tiene ésta sobre las demás.
- **Reducir el coste final de la obra:** ya que cada proceso o fase va a estar controlada y cada alteración que sufra el proyecto se podrá diseñar previamente en el modelo aportando así la repercusión de éstos.
- **Mejorar la planificación de la obra:** se lleva a cabo una planificación específica de los diferentes agentes involucrados en el proyecto. Además, éstos pueden trabajar desde el modelo, compartiendo y modificando información, lo que resulta más ágil el proceso de comunicación entre los mismos.
- **Agilidad en los cambios:** al ser un programa que puede realizar los cambios al instante sin tener que pasar por la complejidad de rediseñar las



Figura 28. Diferencia en eficiencia entre CAD y BIM. Fuente: <https://rendersfactory.wordpress.com/tag/sevilla/>

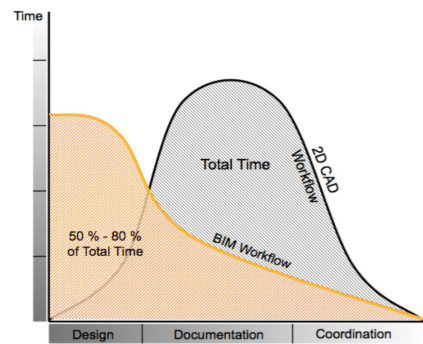


Figura 29. Procesos en una arquitectura modular. Fuente: Elaboración propia.

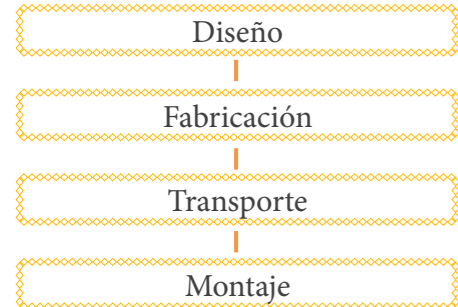
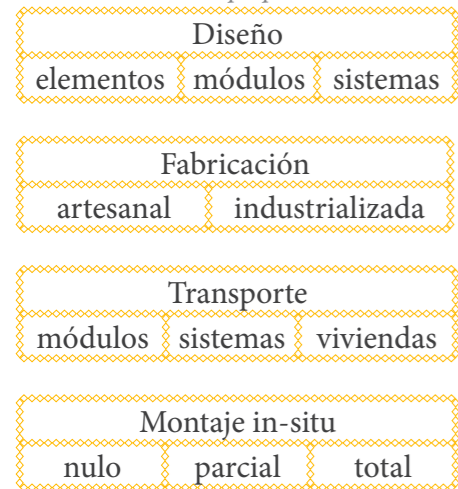


Figura 30. Áreas dentro de cada proceso. Fuente: Elaboración propia.



diferentes vistas, resulta muchísimo más efectivo la visualización de cualquier modificación en el proyecto, pudiendo también tomarse decisiones mucho más controladas en la obra, sabiendo de antemano las repercusiones que éstas pueden ocasionar en las distintas áreas y fases del proyecto.

- **Reducir los residuos en obra:** este es un carácter más determinante en la arquitectura modular, puesto que al estar lo necesario diseñado previamente en fábrica, no se genera ningún residuo en obra. Además, con el uso de BIM podemos gestionar también los productos que se utilizarán en una arquitectura tradicional, reduciendo de antemano los residuos que se puedan generar.

- **Mejorar la eficiencia de los proyectos:** en este aspecto se destaca los plazos en las diferentes fases del proyecto, reduciéndose considerablemente y finalizando el mismo en tiempos acordes con lo previsto.

Tras la explicación de numerosas características que nos ofrece el BIM en un proyecto de arquitectura, focalizaré en los aspectos que marcan la diferencia en la arquitectura modular, puesto que éstos objetivos son más específicos, coincidiendo algunos dentro de los nombrados anteriormente. Como vimos en los apartados de tipologías de arquitectura modular, existen numerosos tipos que hacen que la metodología utilizada tanto en diseño como en construcción de una arquitectura modular sea diferente. Es por ello que, el proceso de desarrollo de una vivienda modular irá variando según la tipología de prefabricación. Pero, sin ninguna duda, encontramos varios niveles expresados en la *figura 29* que son comunes a todos:

**Diseño:** en el área del diseño de la arquitectura modular existen diferentes procesos dependiendo de la tipología como podemos apreciar en la *figura 30*. En todos ellos la aplicación del BIM es de gran importancia y muy diferente a la metodología utilizada en arquitectura tradicional. En este caso, para poder desarrollar minuciosamente desde los elementos hasta los sistemas utilizados se trabaja de manera paramétrica. Esto significa que cada elemento que se diseña tiene unos parámetros asociados intrínsecamente lo que hace que al diseñar un nivel más avanzado como son los módulos o sistemas, éstos vengán regidos por los parámetros que el elemento lleva consigo. En ese caso, al modificar el elemento, sistemáticamente se modificará el módulo y el sistema con las reglas establecidas.

**Fabricación:** aquí nos encontramos con dos áreas la artesanal y la industrializada. En la primera, el BIM tiene menos repercusión puesto que el método de fabricación no ha de estar definido a la perfección. Sin embargo, en la fabricación industrializada, todo debe de estar definido al detalle, ya que no existirá variación alguna entre varios productos de un mismo diseño. Por tanto, la repercusión del BIM en este proceso es muy alta, ya que se puede definir paramétricamente los modelos a fabricar como también sus moldes. De esta manera, si enlazamos los parámetros para que actúen al unísono, al modificarse el molde se modificará el producto final. Por otro lado, como BIM tiene la característica de interoperabilidad, di-

ferentes agentes que actúan en el desarrollo del producto pueden trabajar en un mismo archivo, por lo que la comunicación entre diseñador y fabricante está estrechamente ligada, pudiendo incluso definirse como un único proceso.

**Transporte:** éste es un gran hándicap en la arquitectura modular, ya que, como sabemos, dependiendo del grado de prefabricación y del tipo de montaje, tendremos en cuenta en mayor o menor medida las dimensiones a adoptar en cada caso para poder transportar el producto a su destino. Sin embargo, la metodología BIM está teniendo tal auge en todo el mundo que cada vez más se están implantando iniciativas públicas y privadas para la utilización globalizada de dicha metodología. Es por ello que sistemáticamente, las empresas están más involucradas en la utilización del BIM para el diseño de productos prefabricados e industrializados en la construcción, teniendo en cuenta el vital aspecto del transporte en la arquitectura modular.

**Montaje:** Como en el caso del transporte, en este proceso diferenciamos si el montaje será totalmente en fábrica; si se fabricarán los diferentes sistemas en taller y después únicamente se ensamblarán en la obra; o si por el contrario, los elementos se fabricarán en taller y se constituirán los módulos y sistemas en la ubicación final, siendo pues el montaje de la vivienda totalmente in-situ. En este aspecto, es muy importante tener controlados todos los productos intervinientes, puesto que entran en juego los procesos anteriores de fabricación y transporte los cuales, se pueden ver afectados si el diseño de los sistemas constructivos que se efectuarán en el montaje, no son correctos. En este caso BIM nos ayuda con el concepto de "anticipación". Como ya hemos visto en la entrevista, el arquitecto se topó con incongruencias en obra que pudieron haber sido detectadas previamente. Por tanto, al efectuarse el diseño en tres dimensiones y sabiendo exactamente como son los detalles constructivos, es mucho más fácil solventar los errores previamente por lo que repercute a una eficacia en tiempo de montaje en obra. Más aún, utilizando la característica paramétrica de los componentes, un cambio sustancial en el montaje es rápidamente visible en el diseño puesto que al cambiar las directrices del elemento en cuestión, se actualiza todo el modelo pudiendo visualizar el nuevo diseño generado, aportando así una mayor eficacia en el montaje y toma de decisiones.

Finalmente y para concluir este apartado, nombraré uno de los aspectos más positivos de BIM en la arquitectura modular: *la variabilidad*. En este concepto entran en juego los procesos anteriormente nombrados los cuales serán modificados dependiendo del grado de variabilidad que se efectúe en el proyecto. Una gran cualidad que viene por defecto en la arquitectura modular es que es totalmente modificable, dependiendo en mayor medida de los módulos a los que nos basemos. Por tanto si se quiere modificar el diseño

Figura 31. Implantación del BIM en el mundo: en rojo, BIM obligatorio en proyectos públicos; azul, guías BIM recomendadas y magenta, iniciativas públicas y privadas aisladas. Fuente: <http://es.slideshare.net/Domotys/la-48699030>

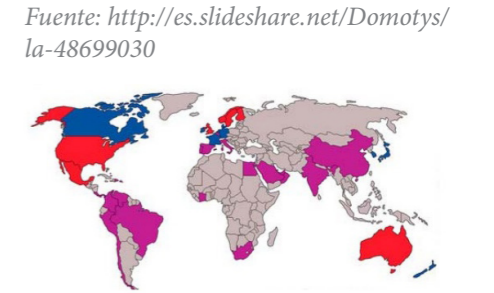
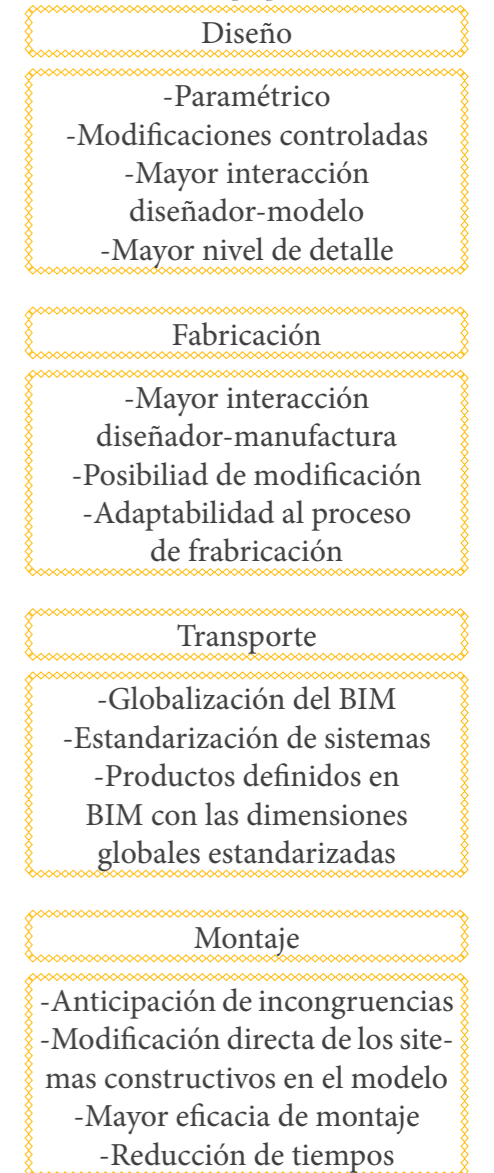


Figura 32. Ventajas metodología BIM. Fuente: elaboración propia



de una vivienda modular es totalmente factible. Y por consiguiente nos preguntaremos **¿Qué aportación tiene el BIM hacia esta versatilidad?**

La primera de ellas es el uso tridimensional del modelo. En todo momento podemos ver de manera real cómo se va modificando el proyecto. Ésto es una gran ventaja de cara al cliente, el cual, tras un cambio de premisa en el diseño puede ver casi al instante la variación generada en su vivienda, pudiendo conformar numerosos diseños en poco tiempo y en visionado directo. Más aún, la capacidad que tiene el BIM de generar tablas de costos y de materiales hacen más fácil si cabe contemplar las variaciones de diseño y efectuar la toma de decisiones de una manera eficaz.

*Jorge Garcelán Docio.  
Septiembre del 2016*

# 6 ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> .....	<b>23</b>
<i>Interoperabilidad de programas. Fuente: Elaboración propia</i>	
<b>Figura 02</b> .....	<b>24</b>
<i>Algunos programas que utilizan BIM. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figura 03</b> .....	<b>25</b>
<i>Dimensiones de BIM. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figura 04</b> .....	<b>26</b>
<i>Comparación CAD/BIM. Fuente: <a href="http://carloscamara.es/blog/2011/03/16/del-cad-al-bim-iiicomparativa">http://carloscamara.es/blog/2011/03/16/del-cad-al-bim-iiicomparativa</a></i>	
<b>Figura 05</b> .....	<b>27</b>
<i>Diferencias CAD vs BIM. Fuente: <a href="http://www.citb.org.au/WorkforceDevelopment/Innovation.aspx">http://www.citb.org.au/WorkforceDevelopment/Innovation.aspx</a></i>	
<b>Figura 06</b> .....	<b>29</b>
<i>Conceptos clave. Fuente: elaboración propia</i>	
<b>Figura 07</b> .....	<b>30</b>
<i>Industrialización. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figura 09</b> .....	<b>31</b>
<i>Fases de la industrialización. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figura 10</b> .....	<b>48</b>
<i>Datos sobre sostenibilidad. Fuente: “La Guía básica de la sostenibilidad”, Brian Edwards</i>	

<b>Figura 11.</b> .....	<b>49</b>
<i>Ciclo Insostenible. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figura 12.</b> .....	<b>49</b>
<i>Ciclo cerrado o sostenible. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figura 13.</b> .....	<b>51</b>
<i>Picasent (abajo izquierda). Fuente: Google Maps</i>	
<b>Figura 14.</b> .....	<b>51</b>
<i>Urbanización el Pinar (abajo izquierda) Fuente: Google Maps</i>	
<b>Figura 15.</b> .....	<b>51</b>
<i>Programa. Fuente: Elaboración propia</i>	
<b>Figura 15.</b> .....	<b>53</b>
<i>Características. Fuente: Elaboración propia</i>	
<b>Figura 16.</b> .....	<b>54</b>
<i>Sección simple. Fuente: memoria del proyecto</i>	
<b>Figura 17.</b> .....	<b>55</b>
<i>Niveles. Fuente: Elaboración propia</i>	
<b>Figura 18.</b> .....	<b>55</b>
<i>Rejillas. Fuente: elaboración propia</i>	
<b>Figura 19.</b> .....	<b>55</b>
<i>Terreno topográfico. Fuente: Elaboración propia</i>	
<b>Figura 20.</b> .....	<b>55</b>
<i>Cimentación. Fuente: Elaboración propia</i>	
<b>Figuras 21/22.</b> .....	<b>56</b>
<i>Estructura/Envolventes. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figuras 23/24.</b> .....	<b>56</b>
<i>Cubierta/Mobiliario. Fuente: Elaboración propia</i>	
<b>Figura 25.</b> .....	<b>57</b>
<i>Forjado. Fuente: jorge Navarro.</i>	
<b>Figura 26.</b> .....	<b>57</b>
<i>Paneles Pladur en revit. Fuente: Elaboración propia</i>	
<b>Figura 27.</b> .....	<b>59</b>
<i>Jorge Navarro Reyes. Fuente: LinkedIn</i>	

<b>Figura 28.</b> .....	<b>62</b>
<i>Diferencia en eficiencia entre CAD y BIM. Fuente: <a href="https://rendersfactory.wordpress.com/tag/sevilla/">https://rendersfactory.wordpress.com/tag/sevilla/</a></i>	
<b>Figura 29.</b> .....	<b>62</b>
<i>Procesos en una arquitectura modular. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figura 30.</b> .....	<b>62</b>
<i>Áreas dentro de cada proceso. Fuente: Elaboración propia.</i>	
<b>Figura 31.</b> .....	<b>63</b>
<i>Implantación del BIM en el mundo: en rojo, BIM obligatorio en proyectos públicos; azul, guías BIM recomendadas y magenta, iniciativas públicas y privadas aisladas. Fuente: <a href="http://es.slideshare.net/Domotys/la-48699030">http://es.slideshare.net/Domotys/la-48699030</a></i>	
<b>Figura 32.</b> .....	<b>63</b>
<i>Ventajas metodología BIM. Fuente: elaboración propia</i>	

# 7 BIBLIOGRAFÍA

**AGI ARCHITECTS (2014).** Arquitectura modular, ¿por qué elegirla? Recuperado de <http://www.agi-architectsblog.com/arquitectura-modular-por-que-elegirla/>

**ARENAS CABELLO, FRANCISCO J.** Los materiales de construcción y el medio ambiente. Recuperado de [http://huespedes.cica.es/gimadus/17/03\\_materiales.html](http://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html)

**BERAIKAL (2012).** Resumen de edificaciones prefabricadas y/o modulares y/o industrializadas. Recuperado de <http://eraikal.blog.euskadi.es/blog/2012/05/16/resumen-de-edificaciones-prefabricadas-yo-modulares-yo-industrializadas-recogidas-en-eraikal-a-mayo-2012/>

**BUILDING SMART (2016).** El Ministerio de Fomento constituye la Comisión BIM. Recuperado de <http://www.buildingsmart.es/2015/07/15/el-ministerio-de-fomento-constituye-la-comisi%C3%B3n-bim/>

**CARAZO RODRÍGUEZ, JOSÉ JOAQUÍN (2014).** Estándar Minergie de Bajo Consumo de Energía en Edificios. Recuperado de <https://inarquia.es/magazine/eficiencia-energetica/814-conoces-el-estandar-minergie-de-bajo-consumo-de-energia-en-edificios>

**DE AYARRA, JUAN MANUEL (2015)** Hablando de construcción modular. Recuperado de <http://www.mimbrea.com/hablando-de-construccion-modular-primera-parte/>

**DE AYARRA, JUAN MANUEL (2014)** La construcción con contenedores marítimos. Recuperado de <http://www.mimbrea.com/construccion-con-contenedores-martimos/>

*"Impacto del BIM en la gestión de un proyecto y obra arquitectónica: de Autocad a Revit"*

**GARQUITECTOS (2013)** Metodología BIM. Recuperado de [http://www.garquitectos.es/bim/bim\\_malaga/](http://www.garquitectos.es/bim/bim_malaga/)

**GÓMEZ-JÁUREGUI, V. (2009)**. Habidite: viviendas modulares industrializadas. Informes de la Construcción, Vol. 61, 513, ene-mar 2009, pp.33-46. ISSN: 0020-0883, eISSN: 1988-3234. doi: 10.3989/ic.08.035

**GÓMEZ-JÁUREGUI, V y GONZÁLEZ POGGI, L.J. (2008)**. The first prototype of concrete modular dwellings, Concrete Plant International. Colonia (Alemania): Ad-Media GmbH, nº5, oct 2008, pp. 156-158. ISSN 1437-9023.

**GONZÁLEZ VARONA, JOSE MANUEL (2014)**. Entrevista a Javier Calvo. Consultor BIM. Recuperado de <http://www.bpmsat.com/entrevista-a-javier-calvo-consultor-bim/>

**H. ZORRILLA, HÉCTOR (2010)** Conceptos, sistemas, y modelos de casas modulares. Recuperado de <http://blog.arquitecturadecasas.info/2010/07/casas-modulares-informacion.html>

**HILDEBRANDT GRUPPE (2015)** ¿Qué es revit y para qué sirve en el modelado BIM? Recuperado de <http://www.hildebrandt.cl/que-es-revit-y-para-que-sirve-en-el-modelado-bim/>

**IFC WORKSHOP (2014)**. Que es IFC. Recuperado de [http://www.ifcworkshop.es/secciones/ifc/que\\_es.html](http://www.ifcworkshop.es/secciones/ifc/que_es.html).

**JORGE ORELLANA (2013)** Arquitectura Modular y Prefabricada. Antecedentes. Recuperado de <http://chastang.net/arquitecturamodular1/>

**JOVENESAT (2016)**. Entrevista a Iván Iglesias García. BIM en Foster and Partners (Londres). Recuperado de <http://www.jovenesat.com/#!Entrevista-a-Iván-Iglesias-García-BIM-en-Foster-and-Partners-Londres/c3sl/57868bee0cf25aa82d56471e>

**MARTÍNEZ MONTEJANO, DIEGO (2015)**. Una pequeña historia del BIM. Recuperado de <https://prezi.com/negial1dlk0q/una-pequena-historia-del-bim/>

**MODLAR (2010)**. IFC & BIM. Recuperado de <http://www.modlar.com/blog/ifc-bim-explained/>

**OVACEN (2014)**. La madera en arquitectura y su altura. Recuperado de <http://ovacen.com/la-madera-en-arquitectura/>

**OVACEN (2015)**. La vivienda y casa prefabricada ante su diseño modular. Recuperado de <http://ovacen.com/casas-prefabricadas-y-modulares/>

**PEREA RENTERÍA, YUBELY ALEIDA (2012)**. Sistemas constructivos y estructurales aplicados al desarrollo habitacional. Trabajo de grado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de la Construcción. Universidad de Medellín, Colombia. C.C. 35.896.942

**ROBINS BROWN, T y SCHUYLER WARMFLASH (2001)**. The Architecture of Bergen County, New Jersey: The Colonial Period to the Twentieth Century. Rutgers University Press, New Jersey. Recuperado de <https://books.google.es/books?id=WuTMRvoAGgMC&pg=PA100&lpq=PA100&dq=George+E.+Woodward+en+1865&source=bl&ots=-ye7xNp2HDX&sig=ZqASV7Q13-WDnQtFS8sxsWBgko&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjrqKKA5dTOAhXpCcAKHdAqCzo4ChDoAQgbMAA#v=onepage&q=George%20E.%20Woodward%20en%201865&f=false>

**ROPERO RAGO, DANIEL (2013)** Construcción modular de viviendas y arquitectura. Recuperado de [http://eraikal.blog.euskadi.net/wp-content/uploads/2013/01/Construcci\\_n-Modular-y-Arquitectura-2.pdf](http://eraikal.blog.euskadi.net/wp-content/uploads/2013/01/Construcci_n-Modular-y-Arquitectura-2.pdf)