

Implantación del sistema BIM a la industrialización abierta bajo criterios de sostenibilidad

Domínguez García, José Manuel^(1,*)

(*) UPM, ETSAM. Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas. Máster en Construcción y Tecnologías Arquitectónicas. jmdominguez.arquitecto@gmail.com, M. 619788843.

(1) UPM, ETSAM. Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas. Máster en Construcción y Tecnologías Arquitectónicas.

Resumen El escaso interés de las construcciones que se han llevado a cabo en los últimos años debido a la demanda de vivienda y la especulación, lleva a la necesidad de un cambio en el panorama actual hacia una construcción sostenible. La principal preocupación de esta investigación es la construcción con criterios de industrialización, flexibilidad y sostenibilidad que llevan al cambio necesario del sector. La industrialización abierta o construcción por componentes compatibles se plantean aquí como la base para alcanzar estos objetivos. Además, el uso de nuevas tecnología disponibles en la actualidad, como son las herramientas BIM, son imprescindible para un cambio sostenible. Por lo tanto, es necesario conocer la situación actual del sistema en este sentido, y los problemas y necesidades que se plantean, tanto para los agentes que intervienen en el proceso como para la introducción de BIM en los sistemas industrializados. Esto va a permitir establecer unos criterios fijos y conclusiones para proponer un nuevo modo de actuación real, sostenible y común, que son los catálogos por componentes o fichas. Se llega a afirmar, que el catálogo es la manera más adecuada de optimizar la herramienta y aprovechar su potencial, que resuelve las necesidades y carencias actuales, que relaciona a los agentes principales y que favorece la tendencia hacia una industrialización sostenible. El estudio se ha centrado en el sistema constructivo de fachada ventilada ligera y pesada pero en cualquier caso el procedimiento es extrapolable a cualquier componente.

Palabras clave Arquitectura sostenible, industrialización abierta, componentes compatibles, prefabricación, sistema BIM.

1 Introducción y justificación

La construcción tiene que adaptarse a los nuevos cambios sociales y económicos que atravesamos. La principal preocupación de esta investigación es la construcción bajo un nuevo modelo basado en construcción industrializada, flexible y sostenible que lleven al cambio necesario del sector.

La industrialización abierta o construcción por componentes compatibles (CCC) además, hace posible la innovación tecnológica capaz de generar grandes ventajas para el modelo productivo. En los últimos años, las herramientas BIM están teniendo un papel relevante en la construcción, y poco a poco en la industrialización. Llegará el momento en que una arquitectura industrializada de calidad lleve tras de sí el uso de este tipo de software, para que la apuesta sea una realidad y genere un nuevo panorama. Aunque es pretenciosa esta afirmación, ya se ven indicios de que está ocurriendo.

“CIB W104. Open Building Implementation” (International Council for Research and Innovation in Building and Construction) es un grupo internacional de investigación fundado en 1996, con importantes investigadores y profesionales trabajando en líneas englobadas en un marco general de un nuevo concepto de construcción sostenible, industrializada y adaptable.

2 Metodología y objetivos

El objetivo principal es determinar cuál debe ser el procedimiento a seguir de implantación del sistema BIM a la construcción por componentes compatibles (CCC), a través del análisis de la implantación actual para un componente y de las necesidades/responsabilidades de los agentes que intervienen en el proceso, que lleve a proponer un plan de actuación que redirija la situación actual.

3 Evaluación de las técnicas de implantación de sistemas de industrialización a herramientas BIM

3.1 Estado teórico actual

3.1.1 Situación actual de la industrialización en la construcción

A partir el año 2000, es una etapa de consolidación de la construcción por componentes (Salas, J. 2008), ya que este momento se comprueba que:

- Las tecnologías de producción de componentes resistían bien la crisis y se adaptaban mejor que los sistemas cerrados a las nuevas tendencias.
- Los componentes se introducían favorablemente en el creciente mercado.
- La reducción drástica de obras de gran volumen penalizaba las tecnologías de hormigón e impulsaba el uso de componentes de otros materiales.
- La elasticidad de las soluciones constructivas a base de componentes hizo posible el cumplimiento de las nuevas normas de ahorro energético y las respuestas a otro tipo de arquitectura desde el lado de la demanda.

Comienza así, un periodo con una nueva filosofía constructiva.

Actualmente, la tendencia es la utilización de elementos constructivos de distinta procedencia empresarial, que se ensamblan en obra gracias a sus compatibilidades dimensionales, de tolerancias, de juntas, dando lugar a relaciones arquitectónicas diversas en proyectos redactados con mentalidad y disciplina industrial.

Tabla 1 Objetivos de la industrialización abierta (Domínguez J.M. 2016)

OBJETIVOS DE LA INDUSTRIALIZACIÓN ABIERTA		
1. Satisfacción exigencias de la edificación		
2. Instrumento con voluntad de universalidad		
3. Reactivador y ordenante de las industrias de la construcción		
4. Conectar la tecnología con la arquitectura		
5. Búsqueda de la sostenibilidad:		
Sostenibilidad Ambiental	Sostenibilidad Social	Sostenibilidad Económica
Montaje en seco	Mejora de las condiciones de los trabajadores	Minimización del coste a lo largo del ciclo de vida
Posibilidad de reutilización	Mejora condiciones laboral	Materiales y componentes regionales
Posibilidad de reciclaje	Espacialización del trabajo	Minimización coste de mantenimiento
Gestión de residuos	Puestos fijos	Durabilidad sistema o componente
Mínima energía usada en el transporte y fabricación	Incorporación nuevos agentes a la construcción	Seriación de los productos
Reducción del consumo de agua	Control y responsabilidad industrial	
Mínimas emisiones de CO2		
6. Flexibilidad:		
Adaptabilidad del sistema a cualquier tipo de medida	Reciclaje del sistema y componentes	
Utilización de conexiones y anclajes universales	Transporte de los sistemas o componentes	
Reemplazamiento de los sistemas y componentes	Modulación	
Sistema móvil o desplazable		
7. Industrialización:		
Volumen de producción	Nivel de automatización	
Maquinaria especializada	Sistemas informatizados	

A esta manera de entender la construcción la denominamos método de elementos, industrialización por componentes compatibles o industrialización abierta. Este concepto no es nuevo. Como recuerda Oliveri ya “Gropius había asistido el

problema por la raíz proponiendo con notable intuición la industrialización de la construcción a través de sus componentes”.

Se fijan por lo tanto, como objetivos (Del Águila, Alfonso, 2006) de la industrialización abierta los reflejados en la Tabla 1, cuya búsqueda hacia la sostenibilidad en el proceso edificatorio es un objetivo primordial que va dando resultados.

3.1.2 Construcción por componentes compatibles

Los tipos de componentes actuales hacen referencia a la descomposición habitual de la edificación: fachadas, cerramientos, forjados, estructuras, instalaciones. Las distintas funciones del Edificio se cumplen tradicionalmente mediante partes de obra bien definidas (Bernard, 1982)

En la industrialización abierta no es suficiente hablar de componente, es preciso añadir el calificativo abierto, pues el criterio de abertura conlleva numerosas ventajas y posibilidades pues responde a la vez a criterios económicos y técnicos, disponible en catálogo y que puede formar parte de una gran variedad de edificios. Los criterios de abertura son: Independencia entre producción y utilización, disponibilidad en catálogo, disponibilidad rápida, puesta en obra mediante ensamblaje simple y rápido, respeto a las condiciones de compatibilidad, fabricación en serie, transporte y manipulación, materiales y tecnologías en su producción.

Negamos por utópica la compatibilidad universal entre componentes, no obstante, los hechos demuestran la compatibilidad acotada, delimitada y posible. Según (Bernard, 1982), no solo hay que tener en cuenta los aspectos de compatibilidad entre componentes, sino que entre los agentes sea posible.

3.1.3 Puesta en práctica de la industrialización

El catálogo es un instrumento informativo que sirve de conexión entre los productores de componentes o sistemas constructivos y sus usuarios (arquitectos, promotores, constructores, etc.), reuniendo por familias la totalidad de los productos existentes en el mercado. Deben contener como mínimo: síntesis técnica, relación de fabricantes y marcas, y fichas técnicas individualizadas para cada producto

Según el tipo de producto existirán dos grupos principales de catálogos (Del Águila, Alfonso, 2006):

1. Catálogo de sistemas constructivos que:

- Contendrá la lógica del sistema, la forma en que se desarrolla, y cómo ha de emplearse tanto en proyecto como en ejecución.
- Indicará que componentes del sistema son intercambiables con componentes de distinta procedencia.
- Señalará cuáles son componentes específicos y por tanto, inseparables del sistema. En principio, esto puede entrar en conflicto con la misma definición de sistema constructivo, pero se tendrá que aceptar, al proceder muchos de ellos de los primitivos métodos cerrados.

2. Catálogo de componente individual, cuyas características serán:

- Un solo catálogo para cada tipo de componente.

- Seguir al pie de la letra la totalidad de las características generales especificadas para los catálogos.

El número de catálogos es variable, dependiendo del grado de desarrollo de la industrialización. En Francia, por ejemplo, están muy desarrollados y existen alrededor de treinta, dedicados a: estructuras, fachadas pesadas y ligeras, tabiquería, calefacción, puertas, ventanas, forjados, cielorrasos, escaleras, etc.

3.2 Las incorporaciones actuales de fabricantes nacionales e internacionales al sistema BIM

BIM (Building Information Modelling) puede traducirse como Modelado Integrado de Información para la Construcción. La filosofía de los programas CAD con esta tecnología como lo son Allplan, Archicad o Revit Architecture, es integrar toda la información para llevar a cabo un proyecto en sus fases iniciales, de modo que otras aplicaciones que resuelven otras fases tienen acceso a esta información.

El flujo de información hacia otras aplicaciones se realiza a través de ficheros de intercambio en formato IFC (Industry Foundation Classes). Ha sido desarrollado por el IAI (International Alliance for Interoperability) con el fin de convertirse en un estándar que facilite la interoperatividad entre programas del sector. De este modo, el proceso de introducción de datos se simplifica y cada aplicación informática que interviene en el proyecto no necesita una introducción de datos completa, sino que aprovecha los datos introducidos en el programa BIM.

El software de estudio utilizado en la presente investigación será Archicad de Graphisoft, uno de los software BIM más importantes de la industria. Ahora mismo, la manera de actuar es mediante la incorporación de objetos al entorno de trabajo o parametrizando un propio objeto propio. Así que, las categorías de objetos que encontramos podemos clasificarlos en cuatro tipos:

Tabla 1 Categorías de objetos herramientas BIM (Domínguez J.M. 2016)

CATEGORÍAS DE OBJETOS	
1. Soluciones genéricas	Escaleras / puertas / muro / ventana / pilar / viga / forjado / cubierta / etc.
2. Objetos mobiliarios	almacenamiento / chimeneas / cocina / detalles / drenaje / electricidad / electrodoméstico / equipamiento sanitario / etc.
3. Componentes construcción	alicatado / cerrajería / climatización / escalera / fontanería / aislamiento / mampostería / pavimento / revestimiento
4. Objetos Sistema Constructivo	muros / muros cortina / techos / tejados
5. Soluciones diseñadas por usuario	

Tras esta clasificación planteada, ponemos la atención en las dos categorías que van a influir directamente sobre la construcción por componentes por tener un potencial industrial: los **objetos sistema constructivo** y los **soluciones genéricas**.

Por lo tanto, vamos a analizar más detalladamente tres archivos con soluciones específicas elaborados para el programa Archicad, por el fabricante Pladur (España) y Metawall (Alemania), Norgips (Suecia). Además analizaremos la solución genérica del programa para un muro de fachada, para poder así comparar y evaluar ambas maneras de trabajar. Del análisis de los antecedentes surgen puntos favorables y desfavorables que van a influir en la construcción por componentes (CC):

Aspectos favorables de la incorporación de BIM a la CC:

- 1.- Inicio de la incorporación de componentes a herramienta BIM.
- 2.- Soluciones genéricas:
 - Permiten parametrizar; dimensiones, capas, espesores y materiales.
 - Proporciona infinidad de posibilidades en cuanto a modelados 3D.
 - Da valores orientativos sobre el componente referente a; mediciones y presupuesto, replanteo, propiedades del material, etc.
- 3.- Objetos sistema constructivo:
 - Se adapta al diseño arquitectónico del proyectista
 - Incluye información real y precisa.
 - Permite adoptar soluciones industrializadas reales por componentes.
 - Parámetros del producto se adaptan a las características del elemento
 - Parámetros de flexibilidad pueden ser modificados

Aspectos desfavorables de la incorporación de BIM a las CC:

1. No hay una clasificación actual de objetos BIM.
2. Los objetos mobiliarios sin relevancia para la construcción.
3. Incorporación de componentes constructivos con poca relevancia.
4. Los objetos sistemas constructivos:
 - No incorporan información real del fabricante.
 - No permite soluciones industrializadas por componentes.
 - La herramienta informática BIM no aprovecha estas soluciones.
5. Objetos sistemas constructivos:
 - Sistemas cerrados no compatibles con otros fabricantes o componentes.
 - Carencia entre realidad constructiva y el software.
 - Encuentros no compatibles ni solucionados correctamente.
 - El producto y las necesidades proyectista van en distinta dirección.

4 Análisis. Criterios de implantación a BIM del sistema fachada

4.1 Criterios de implantación a BIM para la construcción por componentes compatibles de fachadas ventiladas.

Se analiza un sistema constructivo de fachada ventilada genérica y uno de fachada ventilada específica (panel ΩZ, con certificado DAU).

El objetivo es comparar cuál debe ser el procedimiento para la implantación a BIM a través del análisis de las posibilidades que nos ofrece una u otra manera, y cual cubre las necesidades y responsabilidades de los agentes.

Para ello, las variables tomadas son las relacionadas con: usos previstos, componentes del sistema, la fabricación, control de la producción, almacenamiento, transporte, recepción en obra, criterios de proyecto, ejecución del sistema, ensayos y cálculos para la adecuación al uso.

Por otro lado, se han agrupado estos condicionantes en cuatro. Así queda perfectamente definido cualquier componente y pueden compararse perfectamente una u otra manera de construir, véase Tabla 2. En primer lugar los condicionantes o variables para cualquier componente en general, en segundo lugar para la familia de fachadas (puesto que nuestro caso de estudio se trata de un sistema constructivo de fachada), en tercer lugar para la familia de fachadas ventiladas y por último los condicionantes para la fachada específica de estudio.

Tabla 2 Condicionantes y criterios en la construcción de componentes (Domínguez J.M. 2016)

CONDICIONANTES PARA LA CONSTRUCCIÓN POR COMPONENTES			
Variables	Condicionantes generales cualquier comp.	Condicionantes generales para fachadas	Condicionantes generales para fachadas ventiladas
Uso	El previsto del comp.	El previsto del comp.	El previsto del componente
Valor	El del componente	El del componente	El del componente
Caract. geomét.	Las del componente	Las del componente	Las del componente
Soporte estructural	El del componente	Estructura primaria sobre la que se coloca el comp.	Estructura primaria sobre la que se coloca el componente
Componentes	Del sistema	Del sistema	Del sistema
Estructura soporte			Subestructura sobre la que se coloca el sistema
Revestimiento			Características formal y material
Acabado interior			Dos tipologías en relación con el soporte: fachada ventilada con soporte pesado y con soporte ligero
Panel prefabricado			
Pieza omega			
Perfil Zeta			
Criterios de proyecto			

Condicionantes generales para fachada ventilada específica	
Como revestimiento exterior en fachada ventilada	
El del componente	
Las del componente	
Estructura primaria sobre la que se coloca el componente	
Panel prefabricado de mortero pretensado con casquillos embobidos, piezas de fijación del panel, Pieza Omega, perfiles horizontales de soporte del panel, Perfil Zeta	
Subestructura sobre la que se coloca el sistema	
Características formal y material	
Dos tipologías en relación con el soporte: fachada ventilada con soporte pesado y con soporte ligero	
La dimensión estándar de los paneles son: longitud = 3000mm, anchura nominal = 2200mm, espesor nominal = 30mm. La dimensión mínima será 580x415mm, manteniéndose siempre un mínimo de cuatro puntos de anclaje.	
Los casquillos de acero de diámetro mayor = 25mm, diámetro menos = 16mm, longitud = 24mm	
Existen dos tipologías de placas soporte: La forma y dimensiones de las placas soporte son de 65x65x5mm y de 61x65x3mm.	
Las características principales del perfil Zeta son: longitud estándar = 3m. La forma y dimensiones de la sección del perfil son: altura = 60mm, ancho = 28mm, espesor = 2mm, 28mm, espesor = 2mm.	
A efectos de predimensionado se debe considerar tanto para la junta horizontal como para la j. una vertical una dimensión de 7mm y la distancia entre huecos o entre hueco y esquina debe ser superior o igual a 65cm.	
Al definir el grueso total de la fachada, debe considerarse que el espesor global de la solución varía entre 70 y 82,5 mm, donde el espesor de la cámara oscila entre 40 y 52,5mm.	
Los paneles prefabricados se pueden colocar tanto en posición horizontal como en posición vertical	
Se debe considerar que la distancia máxima entre los puntos de fijación del perfil Zeta sobre la estructura soporte debe ser 600mm	
Se debe considerar que un mismo perfil Zeta no debe fijarse a ambos lados de una junta de movimiento o junta estructural del edificio.	
Los materiales del elemento soporte deben tener una dilatación y contracción debidas a la humedad y temperatura	

4.4 Necesidades de los agentes intervinientes

Conocida ya la importancia que tienen los agentes del proceso edificatorio en la implantación a BIM para que el proceso sea completamente eficiente, el estudio y análisis de sus responsabilidades y necesidades, véase fig. 1, van a dar las calves para plantear una propuesta de actuación sostenible y común a los tres agentes.

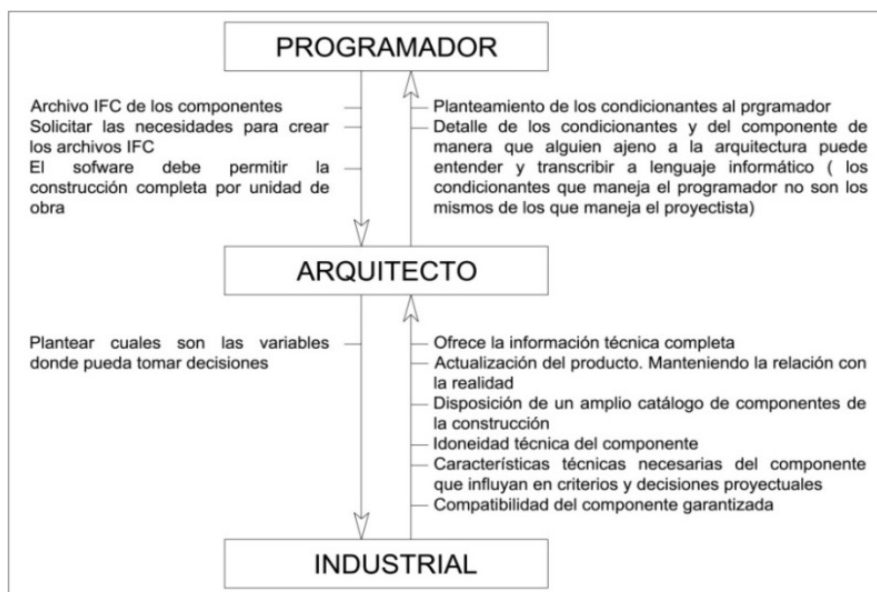


Fig. 1 Necesidades y responsabilidades de los agentes. Figura elaborada por autor

5 Discusión de resultados

Se compararan los puntos más importantes para evaluar que procedimiento es el más óptimo a la hora de proyectar y construir con herramientas BIM.

1. Cantidad de información. Respecto al usuario; la información que se puede encontrar en una solución específica es similar respecto a la genérica en cuanto a cantidad, pero mucho más precisa y real en cuanto a contenido. Respecto al programador; la solución específica contiene mucha mayor información del componente, pero es una información precisa y concisa, rápida de comunicar al programador y de que este lo lleve a cabo. Los puntos singulares al estar muy estudiados y resueltos generalmente por la empresa, son muy sencillos de llevar a cabo, incorporando una calidad mayor al producto final, que con una solución genérica va a ser muy difícil de conseguir.

2. Aproximación al precio de la solución Respecto al usuario; La aproximación real al precio de una solución específica es muy aproximada al diseño requerido por el proyectista. Esto conlleva numerosas ventajas, respecto a la solución genérica, a la hora de decidir entre varias opciones, fabricantes, diseño, etc.

3. Necesidades de proyecto Las necesidades pueden ser muy variadas de unos a otros: material de acabado, puntos singulares, lugar de procedencia del producto, localización geográfica del edificio y de la empresa suministradora, etc. Respecto al programador; de una solución genérica no se puede tener en cuenta todas estas variables no menos importantes, mientras que de una solución específica sí. Respecto al usuario; son variables más específicas que si vienen de una empresa determinada, son sencillas de solucionar con el apoyo técnico del fabricante.

4. Condicionantes/parámetros. Las ventajas en una solución específica para los siete parámetros constructivos tomados (geometría, hoja interior y soporte, arranque de fachada y encuentro con pilar, hueco, juntas, y esquina son mayores). Respecto al usuario; puede determinar su posicionamiento y dimensiones básicas, es flexible, es información precisa que da seguridad de estar cumpliendo requisitos técnicos y de calidad, el propio fabricante aporta ya su solución más adecuada, etc. Respecto al programador; sin dificultad para determinar las posibilidades de que cada parámetro ya que son concretas, tiene un modo de actuar muy concreto en cuanto a dimensiones y materiales, las soluciones muy controladas, etc.

5. Agentes. Para una solución general; el industrial, el proyectista y el programador no entran en juego con la misma intensidad movidos por intereses distintos. Para una solución específica; el industrial entra en continuo contacto y actualización de su producto, es decir, actualización y revisión continua de su técnica, precios, novedades, normativas, certificación, etc.

Evaluando los resultados obtenidos, la solución más acertada a la hora de trabajar con herramientas BIM y componentes industrializados es la de pro-

yectar con unidades de obra (o sistemas constructivos) de un fabricante o empresa en concreto. Esta es la necesidad principal del proyectista y la que optimiza la herramienta BIM y todo el proceso constructivo.

6 Propuesta de actuación

Se propone abordar el tema a través de catálogos o fichas de sistemas constructivos o unidades de obra. Puede ser un catálogo abierto o cerrado, es decir que admitan otros componentes de otros fabricantes o que por el contrario, sea cerrado, y solo admita los componentes del propio sistema constructivo. Este componente siempre será compatible con otros componentes o unidades de obra. A pesar de ser más interesante un catálogo/ficha por subcomponentes compatibles ya que permite un sistema industrializado mucho más abierto, con infinidad de posibilidades constructivas, es un catálogo irreal y poco práctico, ya que complica mucho otros aspectos de la construcción.

Se plantean dos tipos de fichas dependiendo del agente al que va dirigido:

1. Para el programador: planteamos una serie de fichas que den información acerca del desarrollo del archivo IFC para el tipo de componente, véase Fig.2.

2. Para el proyectista: planteamos una serie de fichas que den información sobre el modo de proceder para proyectar con el producto, véase Fig.3.

La propuesta se enfoca en la familia de fachadas ventiladas. Dentro de este tipo de componente se va a diferenciar además entre fachadas ventiladas ligeras y pesadas. Por lo tanto tendremos al final: dos tipos de fachada ventilada genérica y dos tipos de fachadas ventilada específica tanto para el programador como para el proyectista.

The image displays two screenshots of a software interface for configuring a 'FACHADA VENTILADA ESPECIFICA LIGERA'. The interface is divided into several sections:

- Geometría:** Includes 'Posicionamiento' (with 'Piso de Origen' and 'Cota Cero del Proyecto' fields), 'Dimensiones' (with 'L' and 'H' fields), and 'Piso origen' (with 'Actual (P. Plano Base)' field).
- Componentes:** Includes 'Cámara de aire' (with 'Dimensiones del espesor' field), 'Hoja exterior' (with 'Panel prefabricado IZ' and 'Dimensiones' field), and 'Soporte' (with 'Elemento de fijación del revestimiento' and 'Perfi Z' fields).
- Subestructura de sujección del revestimiento:** Includes 'Mensula acero galvanizado' (with 'Distancia entre mensulas' field) and 'Tubo de acero galvanizado' (with 'Tipo de tubo' field).
- Aislamiento:** Includes 'Tipo de aislamiento' (with 'Poliuretano expandido' selected) and 'Espesor' (with '5 cm' and '8 cm' options).
- Hoja interior:** Includes 'Placa yeso hidrófuga' (with '2 cm' and '3 cm' options), 'Aislamiento térmico' (with 'Poliuretano expandido' selected), 'Tipo de perfil' (with 'Perfi U - 30x40x2' selected), and 'Placa de yeso laminado' (with '2 cm' and '3 cm' options).
- Puntos singulares:** Includes 'Arranque de fachada' (with 'Tipo de material' field) and 'Hueco' (with 'Alficer - Jambas' and 'Placa de acero' options).
- Otros datos:** Includes 'Espesor del muro' (with '24 - 25,5 cm' selected) and 'Peso del muro' (with 'Kg' field).
- Precio:** Includes 'Generador de precio' (with 'Generador precio Panel IZ' selected) and 'Coste total' (with '280 €/m²' field).

Fig. 2 Ficha fachada ventilada específica ligera para el proyectista

Familia de componente	FACHADA VENTILADA
Tipo de componente	FACHADA VENTILADA ESPECÍFICA OZ LIGERA
Geometría - El componente debe adaptarse a la forma recta o curva que el proyectista diseñe. - La altura del componente queda limitada en todo caso entre forjados. - La subestructura queda por delante del forjado (queda fijada a la hoja interior de fábrica). Por lo tanto la hoja interior queda embebida y enrasada entre forjados, y la hoja exterior cubre totalmente el frente de forjado junto con el aislante.	
Componentes Cámara de aire ventilada Descripción: capa de aire que hay entre el sustrato o aislante térmico y el elemento de revestimiento que está en contacto con el ambiente exterior - Dimensiones: El espesor de la cámara de aire entre 40 y 52,5 mm.	
Hoja exterior de revestimiento Descripción: elemento de revestimiento discontinuo o piel exterior. Panel prefabricado OZ: - Dimensiones: longitud=3000mm, anchura nominal=2200mm; espesor nominal= 30mm, dimensión mínima= 580x415mm - Se mantienen siempre como mínimo cuatro puntos de anclaje. - Distancia mínima entre borde del panel y ejes de las primeras filas de casquillos ≥ 70mm. - Distancia entre bordes del panel y ejes de las primeras columnas de casquillos ≥ 40mm. - Distancia entre columnas de casquillos= 500mm, y entre filas= 275mm. - Los casquillos de fijación de acero de diámetro mayor de 25mm, menor de 16mm. Longitud= 24mm.	
Soporte - Elementos de fijación del revestimiento: principalmente elementos metálicos para una fijación mecánica: - Perfil Z: Fijado mecánicamente a los montantes verticales. Longitud estándar= 3m; forma y dimensión del perfil: h= 60mm, ancho= 28mm, e=2mm. - Perfil D: Apoyado simplemente sobre los perfiles Z. Dos tipologías de placas: 65x65x5mm y 61x65x5mm	
Subestructura de fijación a la estructura soporte (hoja interior principal de fábrica de ladrillo): - Ménsulas de acero galvanizado: en forma de U, colocado sobre frente de forjado para fijar los montantes verticales. Cada 600mm. - Tubo de acero galvanizado: dispuesto cada 600mm en el interior de las ménsulas. Espesor= 80x80x2mm	
Hoja interior Descripción: se trata de un muro industrializado con los siguientes componentes. Componentes de la hoja interior desde el interior al exterior: - Capa de pintura. Tipo: pintura plástica. - Placa de yeso laminado. e=10-25mm, longitud=2,5-3m. - Perfil de acero galvanizado (montantes, canales, perfiles de techo). Distancia entre perfiles=40-60cm. - Aislamiento térmico proyectado de poliuretano tipo Elastospay de Basf, e= 5cm. - Placa de yeso laminado. e=10-25mm, longitud=2,5-3m.	
Puntos singulares Cuando presenta la fachada algunas de los siguientes puntos singulares proceder de la siguiente manera:	
Arranque de fachada 1. En el arranque de fachada colocar remate metálico, dejando en todo caso el hueco pertinente para la ventilación del sistema. 2. El remate irá fijado al tubo de acero galvanizado.	
Huecos 1. Los montantes verticales y horizontales metálicos limitando las dimensiones del hueco. Espesor=5cm. 2. Aparecen montantes verticales fijando las cuatro esquinas del marco y los forjados. 3. Las distintas capas del componente se venden interrumpidas en este punto 4. El acristalamiento de la ventana o puerta se coloca: - Enrasado con el interior: aplicar aislante en la parte inferior del dintel que queda al exterior. - Enrasado al exterior: no necesita aplicar aislamiento. 5. El alfeizar y las jambas se adaptarán a las dimensiones del hueco, ajustándose mediante fijación mecánica entre el acristalamiento y el revestimiento exterior. Será metálico principalmente.	
Juntas 1. La distancia entre juntas dependerá del panel prefabricado instalado. Cada 3m y cada 2,2m generalmente. 2. Las fijaciones extremas de la pieza de revestimiento se sitúan a 7cm de la junta desde la primera fila de casquillos. 3. Quedará sellado para evitar infiltraciones con silicona.	
Esquinas 1. Los montantes (tubos de acero galvanizado) se sitúan en ambas direcciones del quiebro a la misma distancia de la esquina. 2. Terminación con pieza metálica en el encuentro entre los paneles	
Encuentro con pilar 1. Queda interrumpida únicamente los componentes de la hoja interior industrializada.	
Otros datos (en función del cerramiento elegido por el proyectista)	
Espesor del muro (cm) Descripción: el espesor total del muro es la suma de los espesores (cm) de todos los componentes. Espesor de la fachada ventilada específica pesada= 7-8,25cm (dependiendo de la cámara y del panel) + 8cm (tubo de acero galvanizado) + 9cm (hoja interior industrializada) = 24-25,5cm	
Peso de fachada (kg/m²) Descripción: el peso de la fachada es la suma del peso (kg) de todos los componentes que la conforman	
Precio Descripción: es el precio total de la fachada ventilada pesada específica definida. Suma del coste (€/m ²) de los componentes que conforman la fachada. Factores a tener en cuenta: €/m ² componentes de la fachada específica (400 €/m ² panel OZ), Hoja interior (23,22€/m ² LMP), localización geográfica del fabricante y del destino, actualización del producto, número de encuentros y detalles singulares.	

Fig. 3 Ficha fachada ventilada específica ligera para el programador del archivo IFC

7 Conclusiones

1. Sobre la construcción por componentes: un modelo de producción a base de componentes compatibles resolvería algunas de las necesidades que se demandan actualmente en el sector, las exigencias de la industrialización y todo lo que eso supone en cuanto a ventajas sociales, ambientales y económicas, y por lo tanto en cuanto a sostenibilidad en la edificación. Comienzan a elevarse en el mercado el número de soluciones a base de componentes, aunque la implantación es lenta, pero poco a poco se entiende como un modelo idóneo.

2. Sobre la herramienta BIM: En primer lugar, los objetos disponibles en general son objetos-mobiliario y componente construcción que no tienen gran relevancia en cuanto a construcción. En segundo lugar, las soluciones genéricas de cada programa BIM serían interesantes si incorporasen información real de fabricantes y si permitiesen soluciones industrializadas por componentes, ya que al permitir solo una solución tradicional no existe ninguna empresa que preste ese servicio concretamente, lo que lleva a una solución de menor calidad respecto a

las industrializadas. Por último, hay algunas excepciones que han intentado implantar la línea de actuación que se plantea en esta investigación, pero está aún lejos y con muchas mejoras posibles.

A pesar de estos primeros pasos, no menos importantes ya que nos dan la clave para entender que la implantación del proceso tiene la posibilidad de ser un hecho real, la propuesta actual está lejos de convertirse en una coherente, ya que carece de una guía común, de una clasificación común de componentes, y de un procedimiento o modo de actuar bajo criterios específicos.

3. Sobre las fichas por componentes: Las dos fichas planteadas, tanto las destinadas al programador como al usuario o arquitecto cumplen los objetivos, ya que sirven de vínculo entre la realidad constructiva del componente (fichas del proyectista) y la programación técnica del componente mediante el software (fichas del programador). A pesar de que esta investigación se ha centrado en una única familia y tipo de componente, fachada ventilada ligera y pesada, las conclusiones, criterios tomados y el modo de actuar, son extrapolables para cualquier componente.

4. Sobre los agentes del proceso: Los criterios tomados para proponer estas fichas son los necesarios para que el programador informático lleve a cabo el componente para las herramientas BIM. Son necesarios para que el industrial evolucione hasta este tipo de soluciones constructivas y esté más cerca de las necesidades del proyectista. Y por últimos, son criterios de acorde a las necesidades que tiene el proyectista, que será con su formación y conocimiento, el agente esencial para que continúe todo este proceso.

Conclusión final: La implantación de la metodología BIM a la industrialización abierta por componentes compatibles, es casi una realidad, que requiere en estos momentos de un procedimiento hacia un mismo objetivo, para ello la colaboración entre los distintos agentes supone el mayor reto ya que las posibilidades técnicas están a nuestro alcance. La sostenibilidad de este sistema de construcción está más que probada hoy en día, y con el añadido de la tecnología actual, las ventajas y posibilidades que permitiría en este sentido son aún mayores, como serían el control energético, la reutilización de materiales, montaje en seco, tiempos, etc.

Referencias

- J. Salas. "De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico". IC. Vol. 60, 512. Oct. – Dic. 2008.
- Salas J., Oteiza I. "Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible". Informes de la Construcción. Vol. 61, 513. Enero – marzo. 2009.
- Del Águila, Alfonso. "La industrialización de la edificación de viviendas". Tomo 1 (Sistemas) y Tomo 2 (Componentes). Ed. Maira. Madrid, 2006.
- Hernando Castro, S. "Transferencia e integración de metodología industrial innovadora en la producción de viviendas". Tesis doctoral. ETSAM. 2013. Pág. 116.