



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Máster Universitario en Edificación

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Título:

De la Prefabricación a la Industrialización

Autora: Cristina Gracia Lanzarote

Tutor: Doctor Igor Fernández Plazaola

Curso 2020-2021

Defensa: Julio 2021



Agradecimientos

Antes de comenzar, quiero agradecer a la gente de mi entorno el apoyo que he recibido durante el desarrollo de este trabajo, así como la totalidad del máster. Sin vosotros no hubiese sido posible.

Gracias a mi familia, especialmente a mis padres, por apoyarme en mi desarrollo personal y aceptar todas mis decisiones.

Gracias a mis compañeros de grupo por hacerme llegar hasta aquí, con vuestra compañía ha sido todo más fácil.

Por último, agradecer a todos los profesores que han formado parte de este trabajo y en especial a Igor, por ser mi mentor durante todo este tiempo, parte de este trabajo es tuyo.

Agradecida a todos vosotros.



Resumen

Los conceptos de sistemas industrializados y sistemas prefabricados no están estandarizados a nivel nacional, ni si quiera a nivel internacional. A través, del presente trabajo final de máster se pretende conseguir unos estándares y una clasificación definida a partir de la evolución de los sistemas industrializados y prefabricados hasta la actualidad. La parte más importante se desarrolla en el análisis de dichos sistemas y en su clasificación, ya que es donde se conciben los procesos desde la fase inicial. Gracias a este análisis se introducen los términos relacionados con estos sistemas, tanto el industrializado como el prefabricado. Adicionalmente, gracias a la gran cantidad de fuentes consultadas se han obtenido unos conceptos estandarizados fiables para los sistemas y una propuesta de clasificación definitiva.

El trabajo se desarrolla alrededor de la terminología *off-site, modern methods of construction* (MMC) y *offsite manufacturing* (OSM) principalmente. Debido a ello las clasificaciones se basan en dichas terminologías.

Finalmente, se incorpora un apartado acerca del impacto de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) sobre los sistemas industrializados y prefabricados, del que se obtiene una síntesis de los beneficios que se alcanzan gracias a la aplicación de dichos sistemas.

Palabras clave

Off-site; Industrialización; Prefabricación; Métodos modernos de construcción (MMC); *Offsite manufacturing* (OSM); Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)



Abstract

The concepts of industrialised and prefabricated systems are not standardised at a national or even international level. The aim of this master's thesis is to achieve standards and a defined classification based on the evolution of industrialised and prefabricated systems up to nowadays. The most important part is the analysis of these systems and their classification, since this is where the processes are conceived from the initial phase. Thanks to this analysis, the terms related to these systems, both industrialised and prefabricated, are introduced. In addition, thanks to the large number of sources consulted, reliable standardised concepts for the systems and a definitive classification proposal have been obtained.

The work is mainly based on the terminology off-site, modern methods of construction (MMC) and offsite manufacturing (OSM). As a result, the classifications are based on these terminologies.

Finally, a section on the impact of the Sustainable Development Goals (SDGs) on industrialised and prefabricated systems is included, from which a synthesis of the benefits achieved through the application of these systems is obtained.

Key words

Off-site; Industrialised; Prefabricated; Modern methods of construction (MMC); Offsite manufacturing (OSM); Sustainable Development Goals (SDGs)



Índice

Agradecimientos	II
Resumen	III
Palabras clave.....	III
Abstract.....	IV
Key words.....	IV
Índice de ilustraciones.....	VI
Índice de tablas.....	VI
Índice de acrónimos	VII
Introducción y justificación	1
Objetivos	2
Estructura del trabajo.....	2
1. Revisión bibliográfica.....	3
Contexto histórico, evolución y actualidad	3
Hilo histórico	3
Actualidad.....	6
Entidades o Corporaciones de desarrollo e investigación	10
Definiciones de sistemas prefabricados e industrializados	13
Síntesis de sistemas prefabricados.....	16
Síntesis de sistemas industrializados	18
Clasificación de sistemas.....	23
Impacto sobre los ODS de los sistemas industrializados y de los sistemas prefabricados..	39
2. Material y métodos.....	50
3. Resultados.....	51
4. Conclusión.....	56
Futuras líneas de trabajo.....	56
Bibliografía	58



Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Origen y evolución. Fuente de elaboración propia.	6
Ilustración 2. Esquema de los términos de los sistemas industrializados. Fuente (Jasen van Vuuren & Middleton, 2020)	23
Ilustración 3. Representación 2D y 3D. Fuente American Institute of Architects y el National Institute of Building Sciences (Wilson, 2019)	25
Ilustración 4. Clasificación OSM. Fuente: (Abosaod, Underwood, Isikdag, & Barony, 2010)	38
Ilustración 5. Offsite Construction. Fuente: Supply Chain Sustainability School.	38
Ilustración 6. ODS Agenda 2030. Fuente: (Naciones Unidas, s.f.).	39
Ilustración 7. ODS aplicables según WordIGBC. Fuente (World Green Building Council, s.f.)	41
Ilustración 8. Proceso metodología. Fuente de elaboración propia.	50

Índice de tablas

Tabla 1. Enumeración de entidades de carácter público. Fuente de elaboración propia.	10
Tabla 2. Enumeración de entidades de carácter privado. Fuente de elaboración propia.	12
Tabla 3. Resumen de clasificaciones OSM. Fuente de elaboración propia.	37
Tabla 4. Resumen de clasificaciones MMC. Fuente de elaboración propia.	37



Índice de acrónimos

ACV. *Análisis de ciclo de vida*
BRE. *Building Research Establishment*
CIRIA. *Construction Industry Research and Information Association*
CITB. *Construction Industry Training Board*
DfMA. *Design for manufacture and assembly*
IBS. *Industrialised Building System*
MHCLG. *Ministry of Housing, Communities & Local Government*
MMC. *Métodos modernos de construcción*
NIBS. *Nathional Institute Building Sciences*
ODS. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*
OSM. *Offsite Manufacture*
OSP. *Offsite Production*
PMC. *Permanent modular construction*
PPVC. *Construcción volumétrica prefabricada*
RIBA. *Royal Institute of British Architects*
WorldGBC. *World Green Building Council*



Introducción y justificación

Los sistemas constructivos generalistas, poco han variado en los últimos 2.000 años. La construcción sigue siendo un sector tremendamente intensivo en mano de obra, muy artesanal y escasamente tecnificado. El hormigón profusamente utilizado en los últimos 100 años ya fue inventado y empleado por los romanos en sus obras de ingeniería que admiramos hoy en día. Los plazos de ejecución de los romanos para el coliseo y otras obras difícilmente podrían ser igualados hoy. Algunas filigranas técnicas romanas, en cuanto a dimensiones, luces, carga, aforo precisan hoy en día de todo nuestro ingenio, y de todo esto hace más de 2.000 años.

En la actualidad, el sector de la construcción en España tiene en su mano la opción de elegir entre la evolución del mercado, teniendo como referente al mercado industrial, o, por el contrario, quedarse con los métodos de construcción tradicionales que llevan desarrollándose desde las primeras construcciones prehistóricas. Las nuevas incorporaciones al sector de la construcción mediante nuevos métodos aportan al mismo gran cantidad de beneficios, tanto a los trabajadores del sector como a los clientes finales.

Estos nuevos métodos tratan los sistemas de construcción industrializados, y sistemas de construcción prefabricados, muy en auge en los países del norte de Europa, como Suecia o Finlandia. Así mismo, en el centro de Europa, Reino Unido o Alemania, siguen sus pasos a la industrialización en un menor porcentaje de implantación, aunque muy en auge también.

A través de esta investigación se pretende realizar una síntesis de los sistemas industrializados y sistemas prefabricados, así como las principales diferencias y similitudes entre ellas. Además, se acomete el estudio de la clasificación de dichos sistemas en la actualidad, ya que no hay una terminología ni clasificación estándar para estos sistemas.



Objetivos

El objetivo principal de este trabajo se trata de obtener una terminología específica para los términos “prefabricación” e “industrialización”, ambos aplicados al sector de la construcción. Frente la diversidad de mercados que existen a nivel internacional, dichos términos se plasman con el fin de estandarizarlos y promoverlos, para conseguir un mercado homogéneo.

Así mismo, otro de los objetivos de este trabajo alcanza la definición de una clasificación para los sistemas industrializados y prefabricados. Del mismo modo, mediante la estandarización y promoción de la clasificación de sistemas se podrá desarrollar una normativa en común de aplicación a los proyectos que incorporen dichos sistemas.

En cuanto al impacto medioambiental de estos sistemas se pretende analizar los Objetivos de Desarrollo Sostenible actuales en la Agenda 2030. Además, se recopilan las diferentes calificaciones de los métodos más conocidos acerca del impacto medioambiental aplicable a proyectos.

Estructura del trabajo

La tesis está estructurada en cuatro capítulos y presenta el siguiente esquema:

El primer capítulo recoge la revisión bibliográfica donde se plasman el contexto, las entidades, definiciones, y clasificaciones existentes. El segundo capítulo describe el material y métodos empleados en el desarrollo de la tesis. El capítulo 3 recoge los resultados del trabajo, dejando las conclusiones y futuras líneas de trabajo como capítulo 4.



1. Revisión bibliográfica

Previamente a entrar en el desarrollo de los sistemas industrializados y prefabricados se introduce a continuación el desarrollo histórico de la construcción relacionada con dichos sistemas y la evolución de estos. Para cerrar este apartado se incorpora el estado actual del mercado industrializado y prefabricado, tanto a nivel nacional como internacional.

Contexto histórico, evolución y actualidad

Hilo histórico

La *evolución* tiene como significado según la Real Academia Española en su 5ª acepción: 'Dicho de una teoría o de una idea: Desarrollarse o transformarse.' Cabe destacar dicho concepto ya que es de gran relevancia para el desarrollo y explicación de los sistemas de construcción que se desarrollan en este trabajo final de máster. Es por ello por lo que vamos a desarrollar a continuación la evolución histórica de los métodos de construcción industrializados y prefabricados desde sus inicios.

Aunque se considera a los romanos como los precursores en la estandarización, el origen de las construcciones con los sistemas de producción en estudio puede decirse que se remonta al siglo XVI, según relata Christian Escrig Pérez (2010), cuando Leonardo da Vinci recibió el encargo de planificar una serie de nuevas ciudades en la región de Loire. Debía definir, en el centro y origen de cada ciudad, una fábrica de elementos básicos que permitieran conformar a su alrededor un gran abanico de edificios. Durante el mismo siglo, otro ejemplo significativo se dio durante la guerra entre franceses e ingleses, donde el ejército de Francisco I y Enrique II planificaron las batallas contra Inglaterra construyendo pabellones de madera prefabricados que albergaban a sus soldados durante la ofensiva. Su transporte era sencillo por barco, se montaban y desmontaban rápidamente por los propios soldados, de tal forma que los campamentos fueran, además de resistentes y confortables, ágiles en sus desplazamientos. Otra fecha por destacar, el año 1578, cuando se construyó en Baffin (Canadá) una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra, teniendo que haber sido transportada a través del océano Atlántico.

Durante el siglo XVII, destaca en 1624, la *Great House*, una casa de madera panelizada y modular, construida por Edward Winslow en Inglaterra, que fue trasladada y montada en Massachussets, Estados Unidos.

A finales del siglo XVIII en Europa, se empezó a desarrollar la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido. En el mismo periodo, al otro lado del mundo, en EE. UU., se llevó



a cabo la construcción de edificios de tipología *Balloon Frame*, compuestos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente, sistema constructivo que se sigue utilizando hoy en día. Además, según fuentes consultadas (Gómez Jáuregui, 2009) se puede decir que la industrialización comenzó durante este siglo en Inglaterra, para extenderse por todo Europa y más tarde alcanzar al resto del mundo. Desde aquel momento, sus campos de aplicación han sido muy variados: metalurgia, textiles, alimentación, transportes (ferrocarril, automóvil...), agricultura, etc. Se puede observar cómo actualmente los sistemas industrializados están muy desarrollados en sectores tales como los automóviles, mientras que en el sector de la construcción los procesos han evolucionado muy poco.

Durante el siglo XIX, se aplicó en muchas edificaciones el hormigón, e incluso en alguna de ellas el hormigón armado. En el año 1889, aparecía en EE. UU. la primera patente de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de “cajón” apilable, ideada por Edward T. Potter (Escrig Pérez, 2010). Años más tarde, en 1900, en el mismo país se premoldean los primeros elementos de hormigón armado de gran tamaño para cubiertas (Burón Maestro & Fernández-Ordoñez Hdez, 1997). A nivel nacional, en España, en 1891, se prefabrican las primeras vigas de hormigón armado para la construcción del Casino de Biarritz.

A principios del siglo XX, en 1907 el estadounidense Grosvenor Atterbury desarrolló un sistema cerrado de construcción de viviendas mediante grandes paneles aligerados de hormigón (Burón Maestro & Fernández-Ordoñez Hdez, 1997). Un año más tarde, en 1908, Thomas A. Edison inventó y patentó un sistema para construir edificios de dos y tres plantas mediante el vertido de hormigón en moldes metálicos de manera continuada, lo que hoy en día se conoce como sistemas encofrados de hormigón. En 1928, el francés Eugene Freyssinet patenta el pretensado. Posteriormente, durante el periodo de la II Guerra Mundial (1939-1942), se fue desarrollando en Europa, en los países del este y los países escandinavos, la prefabricación basada en sistemas de diseño cerrados, cuyos elementos representativos eran grandes paneles de hormigón. A mitad del siglo XX, el Modulor fue presentado por Le Corbusier, donde recoge los resultados de sus estudios basados en un trazado proporcional establecido por la medida humana, a usar como instrumento clarificador en fase de proyecto. Durante la década de los 60, el concepto de prefabricación era como una filosofía de construcción y se comenzó con la ejecución de edificios totalmente prefabricados (pilares, vigas, etc.), se ejecutaron incluso naves industriales prefabricadas (Burón Maestro & Fernández-Ordoñez Hdez, 1997). En la misma década, en 1964, N. J. Habraken funda el *Stichting Architecten Research* (SAR), y posteriormente, en 1974, edita una publicación conteniendo su teoría: El diseño de soportes (Proyecto MANUBUILD, 2009).

Fundamentalmente se puede decir que el siglo XX, ha sido el periodo durante el que más se ha desarrollado y evolucionado los sistemas prefabricados. Una relación importante de grandes



proyectos, publicaciones e investigaciones se recoge en Metodologías de diseño arquitectónico (2014):

- En 1924, Casa Schroeder. G. Rietveld: Planta primera libre. Espacios donde se permite el movimiento de las divisiones interiores y exteriores. Principio de tres niveles autónomos: muebles, divisiones y edificio.
- En 1931, Vivienda ampliable. W. Gropius: Investigación sobre prefabricación y ampliación de la vivienda, diseñada para dos personas y ampliable a cuatro personas.
- En 1952, *Unité d'Habitations*. Le Corbusier: Mano gigante que coloca en la estructura-botellero, sugiere una separación entre soporte y espacio habitable, que en este caso no fue aun tecnológicamente posible.
- En 1958, Arquitectura móvil. Y. Friedman: Publica el manifiesto *L'Architecture Mobile*, que constituye a su vez el documento fundacional del *Groupe d'étude d'architecture mobile* (GEAM). Desarrolla conceptos espaciales urbanos como *La Ville Spatiale*: mega estructuras sobre ciudades existentes, en las cuales los ciudadanos podrían reconfigurar su vida futura de manera flexible.
- En 1963, Vivienda extensible. Van Den Broek: Vivienda de 85 m² ampliable hasta 130 m². Unidad funcional diseñada para poder expandirse horizontal y verticalmente.
- En 1965, PREVI Lima. Proyecto Experimental de Vivienda: Proyecto de vivienda experimental. Racionalización, modulación, tipificación, crecimiento progresivo, flexibilidad y función. Las casas debían alojar de cuatro a seis personas en una primera etapa, y de ocho a diez personas en una segunda, para lo cual cada proyecto proponía su sistema de crecimiento.
- En 1969, El lenguaje de patrones. C. Alexander: Para este proyecto se desarrolló una hoja de elección familiar que considera diversos factores con respecto a tamaños de espacios, número de dormitorios, distancias, extras, acabados, servicios comunitarios cercanos, etc. El resultado de la suma de decisiones, dentro del marco presupuestal de cada familia, determina la forma final de la vivienda.
- En 1970 a 1976, Lucien Kroll: *Maison Médicale Student Housing*. Bruselas. Programa: 20 apartamentos, 60 estudios, 200 habitaciones (agrupadas dentro de apartamentos). 6 viviendas con 18 habitaciones y espacios comunes. Participación en el diseño del edificio entre futuros usuarios y arquitecto. Vemos un aparente desorden dentro de una ordenada y modular trama. Se distingue la estructura receptora de larga duración y el relleno o infill prefabricado, con una vida útil más corta.

Entre las investigaciones enumeradas durante el apartado anterior, destaca la teoría “El diseño de soportes” de N. J. Habraken (Proyecto MANUBUILD, 2009), ya que dan la base a dos elementos fundamentales. Los principios de su teoría son de gran interés para el desarrollo

de la construcción de viviendas realizadas a través de la industrialización abierta. El método diferencia claramente dos partes de la edificación: el soporte y las unidades separables. La teoría de soporte establece una metodología de distribución espacial abierta, con estancias que podían variar su relación con el espacio. Según Silvia Colmenares (2010), el concepto de soporte nace de la distinción entre la prefabricación de las partes y la repetición del conjunto y constituye el primer paso hacia la definición de un sistema abierto en el que la vivienda colectiva pueda llegar a conformarse de forma específica. Como resultado de esta teoría dio lugar a la metodología *Open building manufacturing* según la cual el libro *Off-site and industrialised timber construction* (Hairstans, 2015) se trata de la fabricación de edificios abiertos aplicando la teoría de la producción a la construcción, empleando componentes estandarizados que pueden configurarse y ensamblarse para obtener un resultado final específico.

EJE CRONOLÓGICO:

De forma esquemática se adjunta la Ilustración 1, haciendo referencia al origen y evolución de los sistemas anteriormente nombrados.

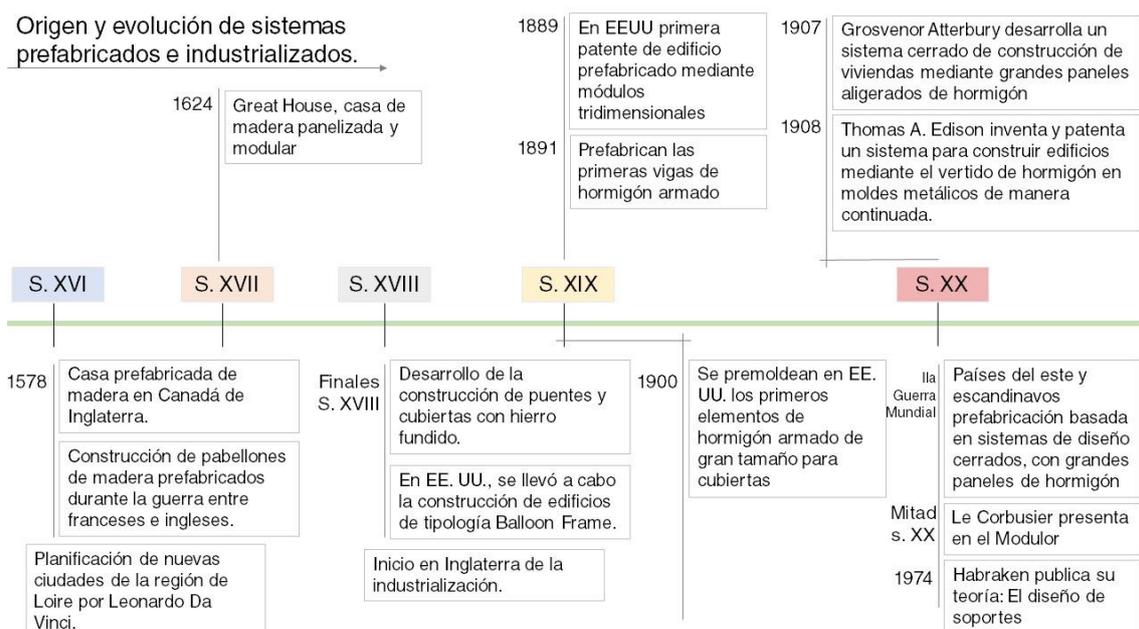


Ilustración 1. Origen y evolución. Fuente de elaboración propia.

Actualidad

Actualmente, se pueden encontrar diferentes niveles de desarrollo, evolución o transformación como se ha visto en el apartado anterior. Cabe destacar, que en función de la ubicación en la que te encuentres del mundo (Europa, América, o Asia, por ejemplo), o incluso



dentro del mismo continente, te puedes encontrar con diferentes tipos de metodología, grado de implantación y, sobre todo, concienciación.

Con carácter general, la incorporación de sistemas industrializados es un gran beneficio en todos los aspectos, según Estefanía Alcarazo, directora de proyectos y sostenibilidad de Metrovacesa, en una entrevista realizada por el periódico El País (López Letón, 2020), declara que uno de los beneficios más destacables es la reducción de los tiempos de construcción entre un 30% y un 50%, lo que puede derivar en seis u ocho meses menos. Así mismo, declara que el proceso industrial en taller con mano de obra especializada permite la resolución de problemas y patologías derivados de la construcción tradicional. Además, se consigue un producto con un acabado final más perfeccionado, reduciendo así los desperfectos de posventa.

En la misma línea, los métodos volumétricos externos tienen el potencial para ayudar a lograr una reducción de los residuos de hasta el 90% en el sitio en comparación con la construcción tradicional. Al traer la mayoría de los oficios dentro de un entorno controlado de fábrica se ha demostrado que la generación de residuos puede limitarse a menos que el 1,8% del peso total de los materiales procesados, y que el reciclaje apropiado. Las medidas pueden limitar los residuos enviados a los vertederos a menos del 0,6%, recoge un documento de Waste & Resources Action Programme (Programme, 2008).

En cuanto a los beneficios certeros que se obtienen mediante la incorporación de estas técnicas, Javier Bermejo Amarillo, Director General de Profine Iberia SAU (Kömmerring) (2020), relata que la industrialización de la construcción no mejorará costes, pero mejorará calidad y plazos de ejecución en un 30%, estas valoraciones suelen provenir del sector de la construcción, pero cualquiera que trabaje en un entorno industrial sabe que esas cifras son más que mejorables. Del mismo modo, la filosofía *Lean Manufacturing* ha generado conocimientos y herramientas para “estandarizar” con más o menos complejidad, la optimización de procesos y gestión de personas, por lo que la incorporación de esta filosofía a la construcción también es de gran interés para el sector. Al fin y al cabo, como bien relata Javier Bermejo (2020), la industria desarrolla su actividad en un entorno más favorable para la optimización de procesos, mientras que la ejecución de la obra se focalizará en el ensamblado y montaje de elementos industrializados, minimizando su exposición a mano de obra y tiempos de ejecución.

Acerca del panorama nacional, se puede observar que España no es el país más innovador en estos métodos, pero se está iniciando en ello desde hace unos años. Según una entrevista realizada a Juan Jesús González, director general de Planificación y Organización Corporativa de Grupo Avintia (López Letón, 2020), a través del periódico El País, relata que la cifra española de producción industrializada de viviendas no llega al 1%, mientras que



Finlandia, Noruega o Suecia, superan el 45% y Alemania y Reino Unido están en torno al 10% y 5%, respectivamente.

En la misma línea, estudiando los beneficios de la implantación del sistema en estudio, según un artículo publicado por el *World Green Building Council* (2020), recoge que los edificios y las actividades de construcción convencionales representan el 39% de las emisiones de carbono en todo el mundo, mientras que gracias a la incorporación de los procesos industrializados se reduce notablemente dicha emisión. Concretamente, según Luis García Malo de Molina, el impacto energético de la construcción en España representa casi un 40% del consumo energético, cuando genera entre un 30% y un 35% de la huella de carbono y produce en torno al 30% de los residuos totales, cuando el sector no llega al 10% del PIB (2020).

Además, la incorporación del método de trabajo de viviendas industrializadas según Aedas Homes (Vilaplana, 2021), consultado en un post del periódico digital el Faro de Vigo, relata que es una buena iniciativa para impulsar la economía en estos momentos tan complicados, al estar generándose un nuevo tejido industrial ligado a la promoción con empleos más cualificados. La misma empresa, según fuentes del portal digital idealista (Lospitao, 2020), desde el pasado diciembre de 2020, trabaja en el diseño de un edificio de 9 plantas y 30 metros de altura para levantar más de 150 viviendas industrializadas en altura con el fin de realizar su primera promoción industrializada en altura.

Continuando con el panorama nacional, el verano de 2020, grupo AVINTIA hizo público su sistema integral de construcción industrializada, ÁVIT-A. Según afirma Antonio Martín Jiménez, presidente de Grupo Avintia (2020), con ÁVIT-A vamos a transformar definitivamente la actual realidad constructora-inmobiliaria. Las expectativas del grupo Avintia (Vidal Ordeig, 2020) son la expansión a 3 centros de trabajo para destinarlos a los sistemas industrializados, con el objetivo de fabricar el 20-30% de su producción en este sistema.

Acerca de la situación del mercado laboral español, se puede observar que la mano de obra se encuentra envejecida y por lo tanto escasea desde hace unos años, esto deriva en la escasez de medios y por tanto de recursos para las obras. Mediante la fabricación de sistemas industrializados y prefabricados en obra se ofrece una mejora de la calidad de trabajo óptima, así como aumento de la formación mediante la incorporación de nuevas tecnologías.

La reciente incorporación del concepto de construcción industrializada al sector español va más allá de la estandarización y prefabricación, ya que implica un cambio de mentalidad y de paradigma en el sector como bien relata Carmen Chicharro, Directora Comercial, Marketing e Innovación en Metrovacesa (2020), aspecto que habrá que trabajar con gran tesón.

Dentro el ámbito internacional en la actualidad, tras el análisis de la situación de EEUU, según fuentes consultadas de una publicación del *Modular Building Institute* (MBI) (Modular Building Institute, 2019), cerca de treinta y cinco estados y una provincia canadiense (Alberta)



cuentan con algún tipo de organismo administrativo que supervisa y regula el sector de la construcción modular. Aunque la terminología difiere a veces, los procedimientos generales de inspección y aprobación de edificios son similares. En los estados en los que no existe ninguna agencia, la autoridad local con jurisdicción es responsable del proceso de inspección y aprobación.

Más próximo a España, desde el *Construction Scotland Innovation Centre* (2019), cuya visión es promover la innovación y conectar la industria de la construcción de Escocia para generar un cambio transformador, nació un proyecto internacional que tiene como objetivo modernizar la entrega de educación y capacitación en construcción modular y externa. Financiado por el programa Erasmus Plus, EMIC-GEM está dirigido por el *City of Glasgow College* junto con el *Construction Scotland Innovation Centre* y socios de España, Alemania, Austria, Eslovenia y el Reino Unido. Así mismo, desde el Instituto de Construcción de Bizkaia (2019), miembro español del proyecto, relata que este se basa en la necesidad de modernización e industrialización del sector y teniendo en cuenta los vacíos de conocimiento de los trabajadores en materia de construcción modular y *off-site*, pretende la generación de una plataforma online donde se oferten cursos para trabajadores de distintos niveles de la construcción. Para generar dicha plataforma, se prevé desde el principio un contacto directo con las empresas de construcción modular de cada país. La plataforma se inaugurará en el 2022 y se ofrecerá en las lenguas de los centros socios.

Por estas razones, como bien recoge el libro *Off-site and industrialised timber construction* (Hairstans, 2015) la garantía de calidad, la productividad y las habilidades fueron, por lo tanto, algunos de los impulsores originales de la adopción de métodos *offsite*. Sin embargo, la normativa, la automatización y la digitalización, con el inicio de la cuarta revolución industrial, así como la innovación digital impulsada por el Internet de las Cosas (IoT) y el Internet de los Sistemas (IoS), también están influyendo en la adopción y la forma de los enfoques fuera de la obra y más industrializados. Esto se está cruzando con la necesidad de transformar la cultura de la construcción hacia un sector más moderno e inclusivo capaz de diversificar, cooperar y ser transparente. La convergencia de estos factores supone una gran oportunidad para la construcción fuera de la obra y la construcción industrializada en madera.

Entidades o Corporaciones de desarrollo e investigación

Tras la lectura del contexto histórico y actualidad de los sistemas en estudio, se desarrolla a continuación el panorama actual de las entidades, asociaciones u organizaciones a nivel global de las que se han obtenido los recursos, o simplemente se centran en los sistemas industrializados y prefabricados.

Hoy en día, no hay una entidad oficial y reconocida que regule a nivel global (nacional o mundial) el tipo de metodología constructiva en estudio, las líneas de producto ni las actividades que forman el proceso. Si es cierto que, a un nivel más reducido, en países a nivel nacional existen organizaciones públicas o privadas que fomentan métodos de construcción específicos, supervisión o asesoramiento entre otros.

A continuación, la Tabla 1 y la Tabla 2 recogen una enumeración de las entidades consultadas para el desarrollo de este mismo trabajo.

Previamente a su visualización, se organizan en entidades de carácter público (Tabla 1) o privadas (Tabla 2), así mismo se han dividido entre entidades a nivel nacional (españolas) e internacionales para ver la situación en la que se encuentra España, respecto del resto de países. Cabe destacar la ausencia de entidades de carácter público a nivel nacional.

NOMBRE	COMPONENTES / CARACTERÍSTICAS	AÑO FUND.	PAÍS	ENLACE	IMAGEN CORPORATIVA
ENTIDADES PÚBLICAS					
ASOCIACIONES INTERNACIONALES					
<i>Construction Innovation Hub</i>	Reúne Centro de tecnología de fabricación (MTC), BRE y el Centro para la construcción digital británica (CDBB).	2018	Reino Unido	https://constructioninnovationhub.org.uk/who-we-are/	
<i>Building and Construction Authority</i>	Movimiento nacional.	1999	Singapur	https://www1.bca.gov.sg/	
<i>Confederation of Timber Industries (CTI)</i>	Asociación internacional.	2015	Reino Unido	https://cti-timber.org/science/modern-methods-of-construction/	
<i>Construction Industry Training Board (CITB)</i>	Junta de formación de la industria de la construcción.		Reino Unido	https://www.citb.co.uk/about-citb/what-we-do/	
<i>Housing Corporation</i>	Responsable de financiar y regular el suministro de viviendas asequibles en Inglaterra hasta noviembre de 2008.		Reino Unido		
<i>Ministry of Housing, Communities & Local Government (MHCLG)</i>	Ministerio de vivienda, comunidades y gobierno local		Reino Unido	https://www.gov.uk/government/organisations/ministry-of-housing-communities-and-local-government	

Tabla 1. Enumeración de entidades de carácter público. Fuente de elaboración propia.

NOMBRE	COMPONENTES / CARACTERÍSTICAS	AÑO FUND.	PAÍS	ENLACE	IMAGEN CORPORATIVA
ENTIDADES PRIVADAS					
ASOCIACIONES NACIONALES					
Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón (ANDECE)	Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón.	1964	España	https://www.andece.org/	
Viviendas industrializadas en altura (VIVIALT)	Asociación integrada con ANDECE.	2020	España	https://vivialt.com/	
Eraikune	Asociación cluster.	2010	España	http://www.eraikune.com/	
Plataforma de la Industrialización de Viviendas (PIV)	Asociación sin ánimo de lucro.	2020	España	https://plataformaindustrializacion.es/	
Offsite Construction HUB	Asociación que reúne a todos los agentes sectoriales interesados en promover la industrialización y la innovación en la construcción en España.	2021	España	http://www.offsitehub.org/	
Tecnalia	Centro de investigación y desarrollo tecnológico.	2010	España	https://www.tecnalia.com/quienes-somos	
ASOCIACIONES INTERNACIONALES					
International Council for Research and Innovation in Building and Construction Working Commission (Open Building Implementation)	Asociación Internacional.	1953		http://open-building.org/ob/concepts.html	
Building Research Establishment (Grup BRE)	Organización internacional y multidisciplinar.	1921	Reino Unido	https://www.brebookshop.com/index.jsp	
The British Institute of Kitchen, Bedroom & Bathroom Installation	Asociación Internacional	2006	Reino Unido	https://www.bikbbi.org.uk/	
The modular & portable building association	Sectores de la industria de la construcción modular y portátil.	1938	Reino Unido	https://mpba.biz/	
Buildoffsite	Organización con miembros de una amplia gama de clientes, suministros, servicios profesionales y organizaciones académicas del Reino Unido e internacionales.	2003	Reino Unido	https://www.buildoffsite.com/	
Modular Building Institute (MBI)	Asociación comercial internacional sin fines de lucro.	1983	EEUU - Canadá	https://www.modular.org/	

NOMBRE	COMPONENTES / CARACTERÍSTICAS	AÑO FUND.	PAÍS	ENLACE	IMAGEN CORPORATIVA
<i>Nathional Institute of Building Sciences (NIBS)</i>	Instituto nacional de ciencias de la construcción.	1974	EEUU	https://www.nibs.org/page/0scc	
<i>Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)</i>	Asociación de información e investigación de la industria de la construcción.	1960	Reino Unido	https://www.ciria.org/	
<i>Institute for Sustainable Construction at Edinburgh Napier University</i>	Centros de investigación aplicada y transferencia de conocimientos en entornos construidos de Escocia.		Reino Unido	https://www.napier.ac.uk/research-and-innovation/research-search/centres/institute-for-sustainable-construction	
<i>British Urban Regeneration Association (BURA)</i>	Organización sin ánimo de lucro.	1990	Reino Unido	http://bura.org.uk/	
<i>Nathional Association of Home Builders (NAHB)</i>	Asociación nacional de constructores de viviendas.	1942	USA	https://www.nahb.org/why-nahb/about-nahb	

Tabla 2. Enumeración de entidades de carácter privado. Fuente de elaboración propia.

Cabe señalar que la NIBS se trata de una organización no gubernamental sin ánimo de lucro, la cual fue creada por el Congreso inglés en 1974, es decir, su creación fue pública. Por otro lado, algunas de las entidades enumeradas forman un grupo, el cual les sirve para fundar un organismo central.

La creación de las entidades nacionales privadas es de creación reciente, mientras que, a nivel internacional, son de creación antigua con origen en el siglo pasado. La presencia de estas entidades en otros países de referencia es de gran ayuda para la evolución del sector industrializado y prefabricado, se puede entender esta causa como ayuda al proceso de desarrollo en la implantación de dichos sistemas a nivel internacional.

De este modo, se espera que la aparición de las entidades nacionales enumeradas haga efecto sobre el mercado español.

Definiciones de sistemas prefabricados e industrializados

Una vez conocido el estado actual de las entidades o corporaciones a nivel internacional, se desarrolla a continuación, en base a criterios de dichas entidades, las características y conceptos que albergan los sistemas prefabricados e industrializados. Como se puede observar a continuación, hay algunos conceptos o definiciones que coinciden, o van en la misma línea, y otros que van en otra dirección. Además, se han incorporado terminologías procedentes de diferentes fuentes, como son revistas, publicaciones o proyectos privados.

Como bien representa el significado de *Síntesis*, en su 1ª acepción de la Real Academia Española, se trata de la “composición de un todo por la reunión de sus partes”, es por ello por lo que se incorpora este término al documento. De igual forma que los sistemas prefabricados e industrializados deben incorporar una serie de procesos para su correcta función, el término *síntesis* hace referencia, en este caso, a dichos procesos. La síntesis de estos sistemas se va a estructurar en recoger las principales definiciones de estos.

Previamente a introducir los sistemas, se debe puntualizar que, dependiendo del concepto de cada entidad u organismo, se pueden llegar a fundir y confundir ambos sistemas, el prefabricado y el industrializado. Hoy en día no hay una definición y una clasificación estandarizada que sirva para todo el sector a nivel mundial, por lo que varía según criterios.

El término principal en estos sistemas y el más empleado es *offsite*. Las entidades, empresas y organizaciones lo emplean tanto para sistemas industrializados como para prefabricados. La traducción literal del término es fuera del sitio, es por ello por lo que es el principal término para construcciones fabricadas fuera del emplazamiento final. En algunos casos, complementariamente se puede encontrar el término *onsite*, es decir, dentro del sitio. Dentro de la terminología hay diferentes variantes, como son los procesos, la construcción, y la producción, entre otros. Este término se va a encontrar en muchas ocasiones durante el trabajo ya que es el núcleo de desarrollo.

Término: *Off-Site* / Fuera del sitio.

Entidad: *buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006) – Reino Unido.

Offsite Process: Es un proceso más que un conjunto de soluciones tecnológicas. El enfoque requiere un cambio de un proceso de construcción tradicional a un proceso de fabricación. Esto tiene implicaciones para todas las partes comprometidas en el proceso.

Offsite Production (OSP): Términos ampliamente intercambiables que se refieren a la parte del proceso de construcción que se lleva a cabo fuera de la obra, en una fábrica o, a veces, en instalaciones de producción temporales



especialmente creadas cerca de la obra. Las ortografías alternativas más comunes de *offsite* son *off-site* u *off site*.

Revista: *McGraw-Hill Construction* (Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry, 2011) – EE. UU.

La fabricación o el ensamblaje de componentes (sin procesos de fabricación) fuera de la obra o en la obra, pero en un lugar distinto del punto de instalación. El proceso suele ser realizado por contratistas especializados.

Revista: *Offsite Housing Review* (Council C. I., 2013).

Offsite es un término de la construcción para describir un método de entrega que añade un valor sustancial a un producto y un proceso a través de la producción en fábrica y la intervención de montaje. El objetivo general es entregar en la obra elementos que se encuentran en un estado avanzado de terminación, eliminando así la actividad de la obra del proceso de construcción. En algunos casos, esto puede ser en forma volumétrica tridimensional o, más comúnmente, en el caso de las viviendas en forma de paneles abiertos o cerrados.

Entidad: *Modular Building Institute* (2019) – EE. UU.

Off-site Construction: La planificación, diseño, fabricación y ensamblaje de elementos de construcción en un lugar distinto a su ubicación final instalada para apoyar la construcción rápida y eficiente de una estructura permanente. Esos elementos de construcción pueden ser prefabricados en un lugar diferente y transportados al sitio o prefabricados en el sitio de construcción y luego transportados a su ubicación final. La construcción fuera del emplazamiento se caracteriza por una planificación integrada y una estrategia de optimización de la cadena de suministro.

Revista: *The Choice Factory: Integrator of manufactured solutions* (KIER, 2019).

Offsite Manufacture (OSM): El diseño, la planificación, la fabricación y premontaje de elementos de construcción o componentes en un entorno de fábrica, antes de la instalación en el sitio en su ubicación final. Esto tiene los beneficios de reducir el trabajo demandas en el sitio, mejorando la calidad y la seguridad, y reducir los impactos ambientales asociados con la construcción tradicional.

Revista: *Building homes using volumetric manufacturing* (ilkeHOMES, 2019)



Offsite construction: Cubre un rango de las técnicas que incluyen la volumetría modular, pero también integra componentes, subconjuntos y los módulos panelizados.

Entidad: CIRIA (Jasen van Vuuren & Middleton, 2020).

Off-site construction: Es un proceso que desarrolla la actividad de construcción del lugar con elementos o unidades construidas en una fábrica o instalación fuera del emplazamiento y que luego se entregan al lugar para su instalación en su posición final (Gibb y Pendlebury, 2013). La *off-site construction* incluye todos los niveles, desde la estandarización y el ensamblaje de los componentes hasta los módulos volumétricos terminados. Estas actividades pueden llevarse a cabo en instalaciones de fabricación especializadas o en instalaciones temporales cercanas o próximas al emplazamiento (Farmer, 2016). No es una alternativa mutuamente excluyente a los métodos de construcción tradicionales y se refiere a un espectro de aplicaciones y métodos que se implementan en diversos grados en la mayoría de los proyectos de construcción. El grado de aplicación de la *off-site construction* es un parámetro importante que debe determinarse.

Además, el libro *Off-site and industrialised timber construction* (Hairstans, 2019) se basa en la definición establecida por la publicación en la revista *Offsite Housing Review* (Council C. I., 2013).

Se observa cómo con este término no hay una homogeneidad ortográfica en el mismo, ya que cada entidad lo escribe de forma diferente. Cada una de ellas, establece el término dentro de la misma dirección, aunque algunas puntualizan más como el *buildoffsite* con la producción y el proceso (OSP), o la revista *The Choice Factory* con la fabricación (OSM).

Dentro del término *offsite*, se incorpora en español el conjunto de sistemas de construcción industrializada, la cual la definen en el libro *Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad*. (Proyecto MANUBUILD, 2009) como **aquellos en donde los componentes que entran a formar parte del sistema para construir una edificación son fabricados industrialmente en un lugar distinto al del emplazamiento de obra y, posteriormente, trasladados a éste para ser montados y ensamblados.**

Adicionalmente, en EE. UU. incorporan un término específico para la construcción modular permanente, *permanent modular construction (PMC)*, según el *Modular Building Institute* (2019) se trata de un método innovador y sostenible de construcción que utiliza técnicas de fabricación fuera del sitio para prefabricar soluciones de construcción de uno o varios pisos en secciones de módulos entregables. Los edificios PMC se fabrican en un entorno seguro y controlado, y pueden ser construidos de madera, acero u hormigón. Los módulos de

PMC pueden integrarse en proyectos construidos en el sitio o en forma independiente como una solución llave en mano, y pueden entregarse con instalaciones, accesorios y acabados interiores en menos tiempo, con menos desperdicios y un mayor control de calidad en comparación con los proyectos que sólo utilizan la construcción tradicional del sitio. Así mismo en la revista *McGraw-Hill Construction* (Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry, 2011), se incorpora la definición de PMC como el proceso de diseño y construcción realizado en una instalación de fabricación, que produce componentes o módulos de construcción que se construyen para ser transportados a una obra permanente.

En base a las definiciones anteriores se puede decir que el término *offsite* y el *PMC* tratan el mismo concepto con definiciones similares. A modo de resumen, como bien dice Robinson en su tesis doctoral (2019) son muchos los términos que se utilizan para describir los procesos de construcción que se inician fuera de las instalaciones y en una fábrica. Históricamente se ha utilizado mucho el término "prefabricación" (Anderson & Anderson 2007; Smith 2011), pero entre los términos más recientes se encuentran *modern methods of construction* (MMC) (Lusby-Taylor et al 2004; Pan & Goodier 2011; Nadim 2012), *off-site manufacturing* (OSM) (BURA 2005), *offsite production* (OSP) (Nadim & Goulding 2010), *standardisation and preassembly* (Gibb & Pendlebury 2006), *modular construction* (Smith 2010; Lawson et al 2014), *mass customisation* (Pine 1999) y *design for manufacture and assembly* (DfMA) (Boothroyd 1994).

Por último, se ha encontrado una publicación (2014) en la que se habla del término *Industrialised Building System* (IBS), el cual se trata de un conjunto de elementos interconectados que se unen para permitir el rendimiento designado del edificio, este término fue definido por Warszawski (1999). Aunque muchas de las terminologías de prefabricación e industrialización siguen utilizándose, el IBS se ha convertido en un término utilizado para representar esas terminologías debido al contexto de investigación de la industria de la construcción malaya. El término IBS es ampliamente utilizado por el gobierno, los profesionales y los investigadores de este país para representar la industrialización de la construcción. En la revisión de la literatura, IBS se utiliza indistintamente con otros términos como construcción fuera de la obra, prefabricación, fabricación fuera de la obra, método moderno de construcción (MMC) y construcción industrializada.

Síntesis de sistemas prefabricados

Recabando las definiciones seleccionadas acerca de sistemas prefabricados se ha conseguido recopilar la siguiente información. Se ha estructurado por la entidad, empresa o publicación de la que se ha obtenido la definición, ordenado según la fecha de publicación y la consiguiente definición.

Entidad: *buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006)– Reino Unido

Prefabricated Building: Término general para denominar la fabricación de edificios enteros o partes de edificios fuera de la obra antes de su montaje en la misma. Las construcciones prefabricadas incluyen tanto las construcciones portátiles como los distintos tipos de sistemas de construcción permanentes. En la actualidad, el término *offsite* (fuera del sitio) es el más utilizado para referirse a los edificios permanentes adquiridos de esta forma.

Revista: *McGraw-Hill Construction* (Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry, 2011) – EE. UU.

Procesos de fabricación que generalmente tienen lugar en una instalación especializada, en la que se unen varios materiales para formar un componente de una instalación final. Ejemplos: cerchas, viguetas, acero estructural y prefabricados de hormigón.

Entidad: *Modular Building Institute* (2019) – EE. UU.

Prefabricated: La producción o fabricación de secciones de un edificio en un lugar externo que se entregan y se ensamblan en el lugar de la construcción.

Libro: *Off-site and industrialised timber construction* (Hairstans, Off-site and industrialised timber construction, 2019)

Prefabricated (prefab) construction: Abarca la prefabricación *off-site* de materiales y piezas, la prefabricación de componentes y subconjuntos, así como de unidades o módulos volumétricos.

Como se puede observar cada una de las fuentes van en la misma dirección, pero tienen conceptos diferentes. Según relatan Zhengdao Li a, Geoffrey Qiping Shen y Mustafa Alshawi, en su publicación *Measuring the impact of prefabrication on construction waste reduction: an empirical study in Shenzhen, China* (Li a, Qiping Shen, & Alshawi, 2014), cuya traducción es “Medición del impacto de la prefabricación en la reducción de los residuos de la construcción: un estudio empírico en Shenzhen, China”, establecen que la prefabricación es considerada como un método de construcción sostenible por su leve impacto en el medio ambiente. Cabe destacar, que gracias a la prefabricación los residuos de construcción se ven reducidos notablemente respecto de los métodos tradicionales, así como optimización del proceso posterior de manipulación de dichos residuos como su clasificación, reutilización, reciclaje y eliminación.

Síntesis de sistemas industrializados

Acerca de los sistemas industrializados se ha recogido más información ya que el espectro de clasificación es mayor y tiene componentes definidos dentro de las diversas fuentes encontradas.

En primer lugar, se recoge la definición de varios términos principales para facilitar la comprensión posterior del conjunto del sistema industrializado.

Término: *Component* / Componente

Entidad: *Modular Building Institute* (2019) – EE. UU.

Un subconjunto, subsistema o combinación de elementos para su uso como parte de un sistema de construcción o parte de un componente modular que no es estructuralmente independiente, pero que puede formar parte de sistemas estructurales, de fontanería, mecánicos, eléctricos, de protección contra incendios u otros sistemas que afectan a la seguridad de la vida.

Entidad: *buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006)– Reino Unido.

Término utilizado de forma genérica para los productos que se fabrican fuera de las instalaciones y luego se ensamblan junto con otros componentes. Si esto se completa fuera de las instalaciones, el producto es definido como un todo. El diseño cuidadoso de los componentes y sus interfaces es crucial para una fabricación y montaje eficaces.

Libro: *Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad*. (Proyecto MANUBUILD, 2009).

Según la *International Organization for Standardization* (ISO) se entiende por componente toda pieza de un sistema que, una vez colocada en el lugar de la edificación que le corresponde, cumple inmediatamente con la labor funcional que le ha sido asignada en dicha edificación.

Término: *Standardisation* / Normalización o estandarización

Entidad: *buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006)– Reino Unido.

El uso extensivo de componentes, métodos o procesos en los que hay regularidad, repetición y antecedentes de práctica exitosa. Puede incluir productos de construcción estándar, formularios de contrato estándar, detalles, diseños o especificaciones estándar y procesos, procedimientos o técnicas estándar. También puede significar una normalización genérica, nacional, del cliente, del proveedor o del proyecto.



Libro: Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad. (Proyecto MANUBUILD, 2009).

Se entiende por estandarizado todo componente que responde a unas dimensiones y características materiales, que han sido producidas por criterios previos de normalización, que hacen del mismo un producto capaz de ser clasificado e identificado dentro del catálogo general que la empresa fabricante ofrece a sus compradores.

Publicación: Building Offsite – An introduction (Hairstans, 2015)

La estandarización es el uso extensivo de componentes, métodos o procesos en los que hay regularidad, repetición y antecedentes de prácticas exitosas.

Revista: *The Choice Factory: Integrator of manufactured solutions* (KIER, 2019)

El uso de componentes o procesos estándar para proporcionar un alto nivel de reiteración. El empleo de componentes estándar incrementa las economías de escala en la adquisición de productos para lograr una mayor eficiencia. El uso de procesos de fabricación que se repiten proporciona un producto de alta calidad constante.

En la misma línea de la estandarización, se hace referencia a la diferencia entre lo “normal” y lo “convencional”, según el libro Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad. (Proyecto MANUBUILD, 2009), el concepto “normal”, se trata de aquello sometido a unas estrictas normas de producción en serie comunes a todo el mercado al que el producto se dirige. En cuanto al concepto “convencional”, abarca aquello asociado a ciertas pautas reconocidas y aplicadas por un amplio grupo social, pero que no tiene por qué coincidir con un producto estandarizado (normalizado dentro de un proceso industrial y pertenece a un catálogo comercial).

Término: *Module* / Módulo o Construcción modular

Entidad: *buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006)– Reino Unido.

Referencia a módulos de construcción volumétricos en los que las unidades forman la estructura del edificio, además de encerrar el espacio utilizable.

El término también se utiliza a veces para describir módulos de habitaciones, que no incorporan su propia superestructura. Son especialmente populares en hoteles y residencias de estudiantes debido a las economías de escala que permiten muchos módulos de tamaño similar y a la ventaja de reducir el tiempo de construcción de la obra.



Revista: *McGraw-Hill Construction* (Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry, 2011) – EE. UU.

La fabricación y el ensamblaje a distancia de las principales secciones interiores o exteriores de un edificio (por ejemplo, pared, suelo o techo) de uno o varios tipos de materiales que pueden incluir partes de un sistema (por ejemplo, eléctrico o de fontanería). Algunos ejemplos son los muros cortina, los paneles estructurales aislados y los módulos de construcción completos.

Entidad: *Modular Building Institute* (2019) – EE. UU.

Sección tridimensional de viviendas o edificios industrializados, diseñada y homologada para ser transportada como sección única e independiente de otras secciones, a un emplazamiento para su construcción in situ con o sin otros módulos o componentes modulares.

El libro *Off-site and industrialised timber construction* (Hairstans, *Off-site and industrialised timber construction*, 2019) se basa también en la definición *modular construction* establecida por el *Modular Building Institute*.

Por otro lado, la entidad *buildoffsite*, además del término *module*, recoge en su glosario de términos *building module*, es decir, módulo de construcción. El término engloba el concepto de un elemento volumétrico autónomo del edificio, normalmente del tamaño de una habitación, que tiene su propia superestructura y se fabrica fuera de la obra. Se adjunta o se coloca dentro de la estructura principal del edificio y suele utilizarse para albergar instalaciones y servicios, aseos y para fines similares relativamente complejos. Es un término alternativo a *pod*, pero también se utiliza para describir las unidades que componen el edificio completo.

En cuanto al documento publicado por KIER, *The Choice Factory: Integrator of manufactured solutions* (2019), recoge el término de *volumetric*, que en su concepto recoge lo siguiente: También conocidos como modulares, grandes elementos de construcción que se unen para formar edificios completos sin necesidad de superestructuras adicionales. El equipamiento interno, los acabados y los servicios del edificio se reinstalan y se ponen en marcha en los módulos antes de salir de la fábrica, lo que garantiza que los defectos se minimicen y el control de calidad sea alto.

En el ámbito del concepto construcción modular puede englobarse la definición de *Relocatable / Industrialized building*, es decir, edificio reubicable o industrializado, procedente de la entidad *Modular Building Institute* (2019). Según su concepto se trata de un edificio parcial o completamente ensamblado que cumple con los códigos y reglamentos estatales aplicables y que se construye en una instalación de fabricación de edificios mediante un proceso de



construcción modular. Las construcciones modulares reubicables están diseñadas para ser reutilizadas o reconvertidas varias veces y transportadas a diferentes lugares.

En el caso del libro *Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad*. (Proyecto MANUBUILD, 2009), se conoce por sistemas de construcción industrializada a aquellos en donde los componentes que entran a formar parte del sistema para construir una edificación son fabricados industrialmente en un lugar distinto al del emplazamiento de obra y, posteriormente, trasladados a éste para ser montados y ensamblados.

Del mismo modo se abarca en este apartado el término *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA), es decir, el proceso del diseño para la fabricación y el montaje.

Término: *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA) / Proceso del diseño para la fabricación y el montaje.

Publicación: *Building Offsite – An introduction* (Hairstans, 2015)

El concepto de DFMA consiste en diseñar productos y sistemas adaptados para facilitar su fabricación, transporte y montaje. Por ello, es importante conocer los componentes de la cadena de suministro disponibles, las capacidades del proceso de fabricación, las disposiciones logísticas y cualquier restricción in situ.

Publicación: *RIBA Plan of Work 2013 - Designing for Manufacture and Assembly* (Royal Institute of British Architects, 2016)

El diseño para la fabricación y el montaje (DfMA) es un enfoque que facilita la fabricación fuera de las instalaciones, minimizando la construcción in situ. Permite construir los edificios de forma más rápida y segura, y de forma más rentable con los recursos y el precio. El DfMA no impide el pensamiento de diseño ni requiere ningún compromiso en la calidad de los acabados o los materiales.

Revista: *Design for Manufacturing and Assembly* (DfMA) (2017).

El DfMA es un nuevo enfoque en la industria de la construcción. Planificando más obras fuera del sitio, se reduce la mano de obra y el tiempo necesario para construir edificios, al tiempo que se garantiza que los sitios de trabajo son seguros, propicios y tienen un impacto mínimo en el ambiente de vida circundante. Se ha promovido el uso de métodos de prefabricación en la construcción como una forma de mejorar la productividad en una industria tradicionalmente intensiva en mano de obra. La construcción volumétrica



prefabricada (PPVC) es una de las tecnologías que están cambiando las cosas que apoyan el concepto de DfMA para acelerar significativamente la construcción.

Revista: *The Choice Factory: Integrator of manufactured solutions* (KIER, 2019).

El enfoque de la DfMA se basa en un rango de proveedores y sistemas para diseñar un esquema utilizando componentes fabricados para facilitar el montaje en sitio. Una solución DfMA puede ofrecer una mayor eficiencia mediante el uso de componentes y procesos repetibles, logrando un producto de mayor calidad a menor costo y en menos tiempo.

Como se puede observar en líneas superiores, en la revista *Design for Manufacturing and Assembly* (DfMA) (2017), se incorpora el término *Prefabricated Prefinished Volumetric Construction* (PPVC), es decir, construcción volumétrica prefabricada, en la jerarquía del DfMA de la productividad, el PPVC es uno de los principios más eficientes y completos para mejorar la productividad. Por PPVC se concibe un método de construcción en el que se utilizan módulos volumétricos independientes (con acabados para paredes, suelos y techos): bien para ser contruidos y ensamblados; o fabricados y ensamblados. El proceso se debería realizar en una instalación de fabricación acreditada, de acuerdo con cualquier método de fabricación apto, y luego instalado en un edificio en construcción. A su vez, el libro *Off-site and industrialised timber construction* (Hairstans, *Off-site and industrialised timber construction*, 2019) adopta el concepto procedente de esta misma revista.

En cuanto a la tipología de módulos de PPVC, según la misma fuente (Authority, 2017), se pueden clasificar por las características del módulo en función de los materiales (hormigón o acero), y en función de las necesidades, siendo módulos ligeros o pesados.

Clasificación de sistemas

En vista del panorama actual de entidades a nivel global, y tras conocer las terminologías de ambos sistemas (industrializado y prefabricado) se comienza con el análisis de las clasificaciones existentes procedentes de la bibliografía consultada. Esta clasificación se centra en las diferentes tipologías de capacidad de fabricación y montaje, así como la tipología de material empleado según las necesidades. Así mismo, en varias ocasiones, las clasificaciones se repiten, por lo tanto, las más citadas son las que mayor peso tienen de cara a los resultados finales.

En primer lugar, se introduce un esquema genérico de lo que engloban dichos sistemas, y alguna de las partes de este. En base a una publicación cuyo título es *Methodology for quantifying the benefits of offsite construction*, es decir, Metodología para cuantificar los beneficios de la construcción fuera de la obra, publicada por el CIRIA (Jasen van Vuuren & Middleton, 2020), se recoge lo siguiente:

Los términos construcción *offsite*, métodos modernos de construcción (MMC) y diseño para la fabricación y el montaje (DfMA) describen aspectos ligeramente diferentes de las técnicas de construcción. A través de la Ilustración 2 se visualiza de forma más sencilla el esquema de los sistemas.

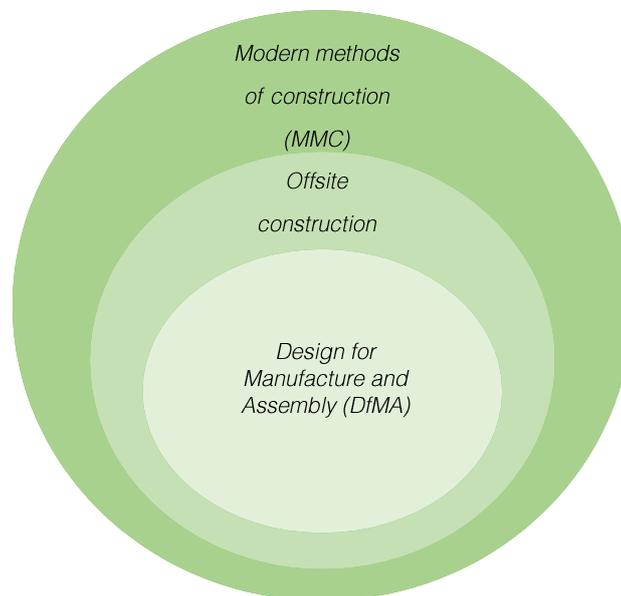


Ilustración 2. Esquema de los términos de los sistemas industrializados. Fuente (Jasen van Vuuren & Middleton, 2020)

Modern methods of construction (MMC):

Término amplio que abarca la construcción inteligente, las herramientas y técnicas digitales y la construcción fuera del emplazamiento (MHCLG, 2019).



Offsite construction:

Método de construcción en el que los componentes, elementos o módulos se construyen lejos del lugar de construcción y luego se llevan al lugar para ser instalados en su posición (Gibb y Pendlebury, 2013).

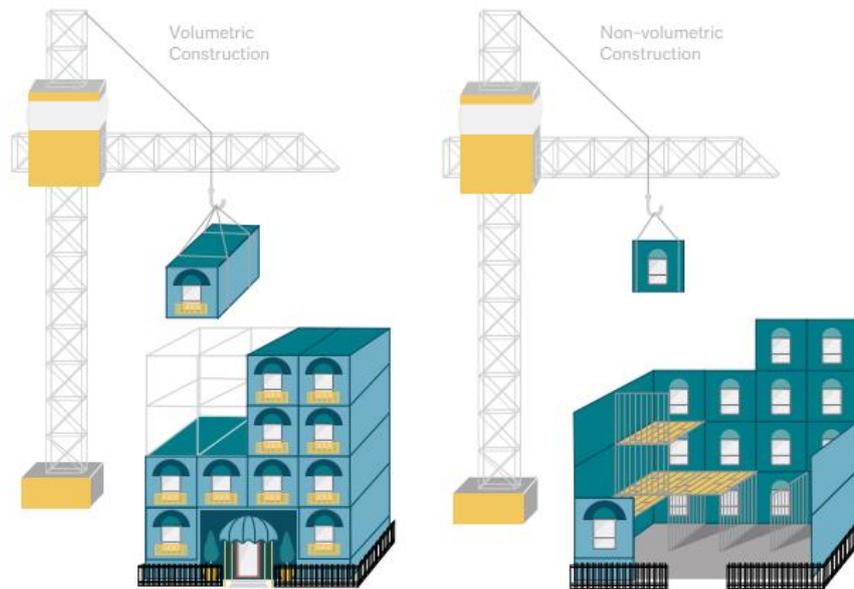
Design for Manufacture and Assembly (DfMA):

El proceso de adquisición y diseño de un proyecto para que una parte significativa de las obras pueda ser construida en condiciones de fábrica y luego llevada al sitio para su montaje (RIBA, 2016).

Conociendo ya la clasificación base de los sistemas se recogen a continuación las clasificaciones desarrolladas de los sistemas. En la guía realizada por el *American Institute of Architects* y el *National Institute of Building Sciences* (Wilson, 2019) se establece que generalmente, los elementos de construcción modular prefabricados fuera de la obra se construyen como componentes no volumétricos o como unidades volumétricas. La construcción modular volumétrica implica la prefabricación fuera de la obra de unidades individuales tridimensionales de espacio cerrado que luego se conectan in situ para formar un único edificio. Por ejemplo, la construcción modular volumétrica se utiliza a menudo para proyectos residenciales de varias unidades, como hoteles, dormitorios y edificios de apartamentos. Cada unidad, dependiendo de su tamaño, puede estar formada por uno o más módulos, como pueden ser las habitaciones de los pacientes, los cuartos de baño y las secciones de los ascensores o las escaleras o núcleos de escaleras. La construcción modular no volumétrica consiste en la prefabricación fuera de la obra de elementos de construcción (comúnmente denominados *sub-assemblies*, subconjuntos) que luego se conectan en el lugar. Algunos ejemplos comunes de elementos de construcción modular no volumétrica son:

- Elementos estructurales como marcos, vigas y columnas
- Secciones de fachada y revestimiento del edificio
- Paneles de pared y tabiques interiores
- Casetones y tablonos para el suelo
- Cerchas de tejado

FIGURE 1: VOLUMETRIC VS. NON-VOLUMETRIC CONSTRUCTION



Il·lustració 3. Representació 2D y 3D. Fuente American Institute of Architects y el National Institute of Building Sciences (Wilson, 2019)

Mediante la Ilustración 3 se conoce así la primera de las categorizaciones en cuanto a construcción modular.

Históricamente, los sistemas industrializados se han estructurado en dos planteamientos básicos: el empleo de sistemas constructivos denominados “cerrados” o los sistemas “abiertos” (Vega Clemente, 2015).

Según la publicación *A Classification System for Representation of Off-Site Manufacturing Concepts Through Virtual Prototyping*, se relata que al haber ligeras diferencias en la definición de OSM, también hay diferentes clasificaciones de los sistemas de fabricación fuera de las instalaciones. La fabricación fuera de las instalaciones puede clasificarse de varias maneras y puede incluir instalaciones clave como la fontanería y la electricidad. También puede clasificarse por el material (madera, acero, hormigón y mampostería) utilizado en la producción. (Underwood & Isikdag, 2010).

En la misma línea, según recoge la tesis doctoral de Robinson (2019) la MMC va más allá de la OSM al incluir instalaciones, cimientos, muros y materiales (BURA 2005, leído en (Robinson, 2019)). Por consiguiente, el "Barker 33 Cross Industry Group" (Barker 2004, leído en (Robinson, 2019)) definió que la MMC se centra en la mejora de los productos y procesos a través de mejoras en la eficiencia empresarial, la calidad, la satisfacción del cliente, el rendimiento medioambiental y la sostenibilidad y la previsibilidad de los plazos de entrega. Por tanto, el MMC es similar al *off-site*, pero con una base más amplia que un enfoque particular en el producto, comprometiéndose con las personas a través de una mejor entrega y rendimiento de la construcción.



En estas líneas se van a adjuntar las clasificaciones propiamente dichas, pertenecen a entidades públicas o privadas, empresas u organizaciones a nivel internacional. Así pues, se abarca la terminología específica de los métodos modernos de construcción.

Término: *Modern Methods of Construction* (MMC) / Métodos modernos de construcción

Empresa: Cast consultancy (2019) – Reino Unido.

El marco de definición abarca todos los tipos de prefabricación, materiales basados en el sitio e innovación de procesos.

Clasificación:

CATEGORIA 1: Pre-manufacturing (3D primary structural systems)

Un enfoque sistematizado basado en la construcción volumétrica que implica la producción de unidades tridimensionales en condiciones de fábrica controladas antes de la instalación final. Las unidades volumétricas pueden ser llevadas al sitio final en una variedad de formas, que van desde una estructura básica, hasta una con todos los acabados internos y externos y servicios instalados, todo listo para la instalación.

El sistema incluye el rendimiento estructural. Las unidades volumétricas completas en edificios de apartamentos pueden incluir el espacio de los apartamentos y el espacio de las áreas comunes. Las unidades estructurales mini volumétricas pueden incluir las cápsulas de baño y similares que están estructuralmente apiladas y cargadas.

CATEGORIA 2: Pre-manufacturing (2D primary structural systems)

Un enfoque sistematizado que utiliza unidades de paneles planos para estructuras básicas de suelos, paredes y techos de diversos materiales que se producen en un entorno de fábrica y se ensamblan en el lugar de trabajo final para producir una estructura tridimensional final. El enfoque más común es utilizar paneles abiertos, o marcos, que consisten en una estructura esquelética con instalaciones, aislamiento, revestimiento exterior y acabado interior que se instalan en el lugar.

Los paneles más complejos (comúnmente llamados paneles cerrados) implican una producción basada en la fábrica e incluyen materiales de revestimiento y aislamiento. También pueden incluir instalaciones, ventanas, puertas, acabados de paredes internas y revestimientos externos. El sistema incluye el rendimiento estructural de las paredes primarias y todos los pisos



(esto excluye los sistemas de paredes externas unificadas o compuestas que no son portadoras de carga incluidas en la Categoría 5).

CATEGORIA 3: Pre-manufacturing components (non-systemised primary structure)

Uso de miembros estructurales prefabricados hechos de madera enmarcada o de ingeniería de masa, acero laminado en frío o caliente o hormigón prefabricado. Los miembros deben incluir vigas de carga, columnas, muros, estructuras de núcleo y losas que no sean sustancialmente construidas in situ y que no formen parte de un diseño sistematizado.

Esta categoría, aunque se centra en los elementos de superestructura, también incluiría elementos de subestructura como vigas anulares prefabricadas, casquetes de pilotes, pilotes hincados y pilotes con tornillos.

CATEGORIA 4: Additive manufacturing (structural and non-structural)

La producción de partes de edificios a distancia o en el lugar de trabajo final, a través de diversos materiales basados en técnicas de diseño y fabricación digital.

CATEGORIA 5: Pre-manufacturing (Non-structural assemblies and sub-assemblies)

Una serie de diferentes enfoques de prefabricación que incluye sistemas unificados de paredes no estructurales, casetes o ensamblajes de acabado de techos (cuando no forman parte de un sistema de construcción estructural más amplio), unidades mini-volumétricas no portantes (a veces denominadas *pods*) utilizadas para las áreas con más instalaciones y más repetibles como cocinas y baños, armarios de servicios públicos, elevadores, así como el cableado preformado, compuestos de ingeniería mecánica, entrarían en esta categoría.

Los esquemas de construcción de obras de albañilería convencionales que utilizan productos de construcción estándar como ventanas y puertas (que de otro modo podrían formar parte del proceso de fabricación en las otras categorías de prefabricación) no deben incluirse como subconjuntos o componentes en esta categoría, a menos que haya un nivel de consolidación mayor de las configuraciones tradicionales. Cualquier estructura en esta



categoría es puramente para apoyar el subconjunto en la fase de tránsito / instalación.

CATEGORIA 6: *Traditional building product led site labour reduction / productivity improvements.*

Productos tradicionales de construcción única fabricados en gran formato, configuraciones precortadas o con características de fácil ensamblaje para reducir la extensión de la mano de obra necesaria para su instalación

CATEGORIA 7: *Site process led site labour reduction / productivity / assurance improvements.*

Esta categoría pretende abarcar los enfoques que utilizan técnicas de construcción innovadoras basadas en el sitio que aprovechan las mejoras de los procesos del sitio que quedan fuera de las cinco categorías principales de prefabricación 1-5 o la innovación de materiales en la Categoría 6. Esta categoría también incluiría medidas de encapsulación de la mano de obra estándar de fábrica, técnicas de construcción ajustadas, aumento físico y digital del trabajador, robótica de la mano de obra, exoesqueletos y otros artículos de desgaste, aviones no tripulados, herramientas de verificación y adopción de plantas y maquinaria dirigidas por nuevas tecnologías.

Revista: *The Choice Factory: Integrator of manufactured solutions* (KIER, 2019)

Término para describir una variedad de enfoques innovadores utilizados para construir edificios e infraestructuras que dan lugar a un aumento de la eficiencia y mejora de la productividad. Todos los tipos de la "industrialización" se engloban dentro de esta definición, desde construcciones completamente modulares hasta la prefabricación de componentes individuales, así como el uso de la robótica y tecnologías digitales.

Libro *Off-site and industrialised timber construction* (Hairstans, *Off-site and industrialised timber construction*, 2019)

MMC busca mejores productos y procesos. Su objetivo es mejorar la eficiencia empresarial, la calidad, la satisfacción del cliente, el rendimiento medioambiental, la sostenibilidad y la programación de los plazos de entrega. Por lo tanto, el MMC tiene una base más amplia que un enfoque particular en el producto. Involucra a las personas en la búsqueda de mejoras, a través de mejores procesos, en la entrega y el rendimiento de la construcción.

Entidad: *buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006)– Reino Unido.

Se trata de una amplia categoría que abarca una variedad de enfoques de construcción, incluida la *Offsite Manufacturing* (OSM). Mientras que toda la fabricación fuera de las instalaciones puede considerarse dentro de una categoría genérica de MMC, no toda la MMC puede considerarse como OSM. A continuación, se establece la clasificación:

OSM – *Volumetric*

La construcción volumétrica (también conocida como construcción modular) implica la producción de unidades 3D en condiciones controladas de fábrica antes de su transporte a la obra. Los módulos pueden llegar a la obra en una variedad de formas, que van desde una estructura básica, hasta una con todos los acabados e instalaciones internas y externas colocadas, todo listo para el montaje. Una vivienda de tamaño familiar puede fabricarse normalmente en cuatro módulos más el módulo o los módulos de la cubierta.

OSM – *Panelised*

Los paneles planos se producen en una fábrica y se ensamblan in situ para producir una estructura tridimensional. El enfoque más común es utilizar paneles abiertos o marcos, que consisten en una estructura esquelética solamente con las instalaciones, mientras que el aislamiento, el revestimiento exterior y el acabado interior se realizan in situ. Los paneles más complejos, denominados normalmente paneles cerrados, implican una mayor producción en fábrica y pueden incluir materiales de revestimiento y aislamiento y pueden incluir materiales de revestimiento y aislamiento. También pueden incluir instalaciones, ventanas, puertas, acabados interiores de las paredes y revestimientos exteriores.

OSM – *Hybrid*

Un método, también denominado semivolumétrico, que combina ambos panelizado y volumétrico. Normalmente, las unidades volumétricas (a veces denominadas *Pods*) se utilizan para las zonas con más instalaciones y más repetibles, como las cocinas y los baños, mientras que el resto de la vivienda o edificio se construye con paneles. El enfoque híbrido se utiliza a veces para proporcionar una mayor flexibilidad en lugares complejos y en los que se necesitan zonas comunes adicionales. Al igual que con los enfoques volumétrico y de paneles, el grado de fabricación en fábrica es variable.



OSM – Subassemblies and components

Esta categoría pretende abarcar los enfoques que no llegan a clasificarse como OSM, pero utilizan varios subconjuntos o componentes innovadores fabricados en fábrica en un tejido estructural de construcción tradicional. Por lo general, los esquemas que incorporan el uso de *cassettes* en el suelo o en el techo, conjuntos de cimientos de hormigón prefabricado, compuestos de ingeniería mecánica, etc. entrarían en esta categoría. Los esquemas de construcción tradicional que utilizan unidades fabricadas (como ventanas, puertas o cerchas de tejado), podrían formar parte del proceso de fabricación en las otras categorías de OSM, pero no deben incluirse como subconjuntos o componentes en esta categoría.

Non-OSM Modern Methods of Construction

Esta categoría pretende englobar los esquemas que utilizan técnicas innovadoras de construcción de viviendas y sistemas estructurales que quedan fuera de las categorías OSM. La presencia de la innovación es una característica esencial que puede manifestarse a través de un sistema de construcción innovador que no sea OSM, a través de una técnica de construcción conocida en otros sectores, pero nueva para la construcción de viviendas, o a través de la combinación de componentes tradicionales de forma innovadora.

Non Applicable

Esta categoría pretende englobar todos los proyectos tradicionales de nueva construcción y de rehabilitación, renovación y reconversión de emplazamientos.

Como se puede observar tras la lectura de las clasificaciones propuestas por la empresa *Cast consultancy* y la entidad *buildoffsite*, ambas procedentes de Reino Unido, promueven los mismos conceptos, aunque emplean denominaciones diferentes.

Adicionalmente, se ha encontrado una actualización de este último documento, a fecha de 2018, publicada también por la entidad *buildoffsite*, acerca de la clasificación de MMC. Esta clasificación es de referencia para muchas otras entidades, entre las que se encuentra *CITB*, la junta de formación de la industria para el sector de la construcción en Inglaterra, Escocia y Gales. Así mismo, también se toma como referencia en la publicación que recoge el RIBA: *RIBA Plan of Work 2013 - Designing for Manufacture and Assembly* (2016).



Entidad: *buildoffsite* (2018) - Reino Unido.

Component subassembly: Artículos de escala relativamente pequeña que invariablemente se ensamblan fuera del lugar, por ejemplo, accesorios de iluminación, ventanas o puertas.

Non-volumetric pre-assembly: Una gran categoría que abarca los artículos que el diseñador ha elegido para ensamblar en una fábrica antes de la instalación. Las unidades no encierran espacio utilizable. Las aplicaciones pueden ser esqueléticas, planas o complejas, por ejemplo, sistemas de paneles, paneles de revestimiento, módulos de servicio encima del techo.

Volumetric pre-assembly: Unidades que encierran el espacio utilizable y luego se instalan dentro o sobre un edificio o estructura. Típicamente terminados internamente, por ejemplo, *pods* de baño o salas de máquinas.

Complete buildings: Unidades que encierran espacio utilizable y que en realidad forman parte del edificio completo o estructura (las unidades pueden o no incorporar dimensiones modulares coordinadas). Típicamente terminada en fábrica internamente (y posiblemente también externamente), por ejemplo, en las afueras de la ciudad instalaciones de hotel o restaurante, viviendas de varias residencias.

Proyecto: BeAware (bre, 2009)

Se basa en la clasificación que recoge el *Housing Corporation* para catalogar los sistemas de construcción de MMC. Según el cual existen cinco categorías (igual que el *buildoffsite*):

OSM – Volumétrica: unidades tridimensionales producidas en una fábrica, totalmente equipadas antes de ser transportadas al emplazamiento y apiladas sobre cimientos preparados para formar viviendas.

OSM – Panelada: unidades planas construidas en fábrica y transportadas a la obra para su ensamblaje en una estructura tridimensional o para encajar en una estructura existente.

OSM – Híbrida: unidades volumétricas integradas con sistemas panelados.



OSM – Subconjuntos y componentes fabricados fuera de la obra: componentes de mayor tamaño que pueden incorporarse a viviendas de construcción convencional o de MMC.

MMC no fabricado fuera de la obra: métodos innovadores de construcción utilizados en la obra y el uso de componentes convencionales de forma innovadora.

Entidad: CIRIA (Jasen van Vuuren & Middleton, 2020)

El Ministerio de Vivienda, Comunidades y Gobierno Local (MHCLG) elaboró y publicó un nuevo marco de definición de categorías para la MMC con la intención de normalizar la terminología y la definición del alcance de las técnicas de construcción que abarca la MMC (MHCLG, 2019). Hay siete categorías en el marco de definición: las categorías de la uno a la cinco son prefabricación, la categoría seis es la innovación de materiales y siete se relaciona con las mejoras basadas en el sitio:

Sistemas estructurales primarios en 3D: Las unidades pueden ser sólo el chasis estructural o pueden incluir algún grado de equipamiento interno y revestimiento externo.

Sistemas estructurales primarios 2D: Pueden ser paneles "abiertos", con estructura esquelética solamente, o paneles "cerrados", que pueden incluir instalaciones, ventanas, acabados y revestimientos.

Componentes estructurales primarios no sistematizados: Elementos portadores de carga que no son de trabajo in situ construidos y no forman parte de un diseño sistematizado.

Fabricación aditiva: La impresión remota, in situ o final de partes de edificios a través de diversos materiales basados en técnicas de diseño y fabricación digital, como los componentes estructurales.

Ensamblajes y subensamblajes no estructurales: Incluyen ensamblajes volumétricos, panelizados y lineales que no forman parte del sistema estructural, como *pods* de cocina y baño, armarios de instalaciones y ascensores.



Innovaciones de materiales o productos: El uso de materiales tradicionales con características que reducen la mano de obra necesaria para la instalación en el lugar de trabajo o mejoran la productividad, por ejemplo, materiales previamente medidos y cortados, o cableado flexible de fácil instalación.

Procesos en el sitio: El uso de técnicas innovadoras para la reducción de la mano de obra/mejoras de la productividad, por ejemplo, el uso de trabajos temporales de sacrificio, la mejora de los trabajadores del sitio (realidad aumentada, rastreadores de productividad) o la robótica y los aviones teledirigidos en el sitio.

Libro: Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad. (Proyecto MANUBUILD, 2009).

Esta fuente recoge tres grandes apartados donde clasificar los sistemas constructivos más utilizados.

a) Retícula estructural + Paneles: Este ha sido el más utilizado desde los años 70 hasta esta última década. Se establece una clasificación según sean sus materiales de estructura, así como los de los paneles que la rellenan.

b) Panel / panel: Este sistema fue utilizado sobre todo durante la reconstrucción europea tras la Segunda Guerra Mundial y actualmente se encuentra prácticamente obsoleto. Se basa en el uso de paneles portantes tanto horizontales como verticales, que trabajan estructuralmente. Los paneles no son independientes, y no se pueden mover de su posición inicial. Esto hace que el sistema sea totalmente rígido para hacer cualquier clase de modificación espacial en el mismo.

c) Combinación de componentes 3D: Los componentes 3D utilizados en las viviendas aquí expuestas pueden quedar divididos en tres clases:

- Wagon: Producción de módulos paralelepípedos totalmente equipados se lleva a cabo en fábrica, en un espacio cubierto y protegido, siguiendo estrictos y automáticos pasos de una cadena de montaje. Según su organización espacial pueden dar lugar a diferentes opciones.
- Cápsulas: La cápsula se comporta como una unidad acabada, es decir, su intención inicial es la que aprovecha los procesos de estampación como en otras industrias. Se trabaja en torno al concepto de "pieza – monocasco",



con dos o tres moldes, y con el posterior ensamblaje de sus modelos se consigue el objeto acabado.

- Compactos: “muebles – aparatos”, capaces de transportar tecnología con facilidad de un lugar a otro y, en este traslado, cambiar cualitativamente la naturaleza del espacio en el que intervienen.

Publicación: De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico (Salas, 2008).

Procesos o niveles de construcción a base de componentes industrializados:

Sistemas cerrados: los elementos se fabrican conforme a especificaciones internas del propio sistema. responden únicamente a reglas de compatibilidad interna y el proyecto arquitectónico ha de subordinarse en forma no necesariamente sumisa a los condicionantes del sistema.

Empleo parcial de componentes: la gama de productos y prestaciones es más o menos fija admitiéndose ciertas variaciones dimensionales o de pequeña entidad. su empleo no requiere un grado de industrialización determinado de sus realizaciones y pueden utilizarse en obras o proyectos claramente tradicionales.

Sistemas tipo mecano: son resultado de la evolución hacia una apertura “acotada” de los sistemas cerrados, preparados para combinarse en múltiples soluciones suministradas por distintos productores que respetan voluntariamente un lenguaje combinatorio definido y acotado.

Sistemas abiertos: constituidos 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 pretenciosamente universales; gamas modulares acotadas; flexibilidad de proyecto prácticamente total, etc.

Publicación: *A classification system for representation of off-site manufacturing concepts through virtual prototyping*, (Abosaod, Underwood, Isikdag, & Barony, 2010).

Categorías OSM – Definiciones:

Volumetric systems: Elementos de construcción prefabricados en *pods*.

Panelised systems: Componentes prefabricados en planos o paneles.

- Abierto
- Cerrado



Hybrid systems: Combinación de *Volumetric* y *Panelised*.

Sub-assemblies and component systems: Componentes simplificados, como puertas y ventanas, producidos en fábricas.

Modular systems: Edificios enteros producidos en la fábrica. Puede ser totalmente volumétrica, panelizada o ambas.

Publicación: *Building Offsite – An introduction* (Hairstans, 2015)

Categorías OSM:

Panelised Systems (2D): También se consideran “*non-volumetric preassembly*”, se clasifican como abiertos o cerrados, siendo los paneles abiertos normalmente no aislados y los cerrados aislados. También se habla de paneles mejorados y estos sistemas se han mejorado para incluir ventanas y puertas, instalaciones (eléctricos o fontanería) u otros acabados, como el revestimiento exterior o el revestimiento interior.

Modular or Volumetric system (3D): Término utilizado para describir unidades prefabricadas en una fábrica que incluye un espacio utilizable que suelen estar totalmente acabados con los aseos y cuartos de baño.

Sub-assemblies and components (2D – 3D): cubre enfoques que no llegan a clasificarse como sistemas OSM. Normalmente, el término se refiere a componentes simplificados como escaleras, puertas y ventanas que se obtienen en fábricas.

Híbrid system (2D + 3D). Se trata de una combinación de más de un sistema o enfoque diferentes y normalmente es una combinación de ambos sistemas volumétricos y panelizados.

Publicación: *RIBA Plan of Work 2013 - Designing for Manufacture and Assembly* (Royal Institute of British Architects, 2016)

Categorías MMC:

-
- *Sub-assembly*
 - *Non-volumetric preassembly*
 - *Volumetric preassembly*
 - *Modular buildings*
-

Tras conocer, la variedad de clasificaciones que se encuentran acerca de la MMC y de la *Offsite Manufacturing* (OSM), se podría decir que la principal es la procedente del *buildoffsite*



a través de la entidad *Housing Corporation* ya que es la entidad con mayores referencias bibliográficas, así como la más referenciada por el resto de los autores. Esta clasificación (Gibb & Pendlebury, 2006) se ha actualizado recientemente como se ha podido observar, por lo que es la que tiene una evolución fiable.

En la misma línea, como parte importante del término métodos modernos de construcción (MMC), se debe destacar la industrialización, la cual la definen en la revista *The Choice Factory: Integrator of manufactured solutions* (KIER, 2019) como la conversión de un proceso en una industria utilizando métodos comunes a fabricación en gran escala, incluyendo la adopción de técnicas como la prefabricación, la mecanización y la estandarización para mejorar.

Las diferentes entidades proponen clasificaciones de MMC y OSM, por lo que se deberían diferenciar a la hora de su análisis. Como bien se recoge en la publicación *A classification system for representation of off-site manufacturing concepts through virtual prototyping*, OSM es el componente clave de MMC, y por supuesto, MMC no es un fenómeno nuevo. MMC es el término que engloba todas las técnicas de OSM, fabricación in situ y construcción tradicional que se utilizan hoy en día (Abosaod, Underwood, Isikdag, & Barony, 2010).

Mediante la Tabla 3 se puede observar que las clasificaciones son más o menos homogéneas acerca de la OSM. Además, se observa como las entidades, asociaciones o publicaciones se apoyan entre ellas al considerar similares clasificaciones, así como *buildoffsite*, *Housing Corporation* y *BeAware* tienen en cuenta la misma clasificación, o incluso la publicación *A classification system for representation of off-site manufacturing concepts through* y *Building Offsite – An introduction* (Hairstans, 2015), mientras que *Cast consultancy* y *CIRIA*, promueven otra clasificación con terminología similar pero diferente estructura.

CATEGORIAS OSM	- <i>Cast consultancy</i> (2019) – Reino Unido. - CIRIA (Jasen van Vuuren & Middleton, 2020)	- <i>buildoffsite</i> (Gibb & Pendlebury, 2006) - <i>Housing Corporation</i> - <i>BeAware</i> (bre, 2009)	Publicación: <i>A classification system for representation of OSM // Building Offsite – An introduction</i>
1	<i>Pre-manufacturing</i> (3D primary structural systems)	OSM – Volumetric	<i>Volumetric systems</i>
2	<i>Pre-manufacturing</i> (2D primary structural systems)	OSM – Panelised	<i>Panelised systems</i>
3	<i>Pre-manufacturing</i> components (non-systemised primary structure)	OSM – Hybrid	<i>Hybrid systems</i>
4	<i>Additive manufacturing</i> (structural and non-structural)	OSM – Subassemblies and components	<i>Sub-assemblies and component systems</i>
5	<i>Pre-manufacturing</i> (Non-structural assemblies and sub-assemblies)	Non-OSM Modern Methods of Construction	<i>Modular systems</i>
6	<i>Traditional building product led site labour reduction / productivity improvements.</i>	Non Applicable	-
7	<i>Site process led site labour reduction / productivity / assurance improvements.</i>	-	-

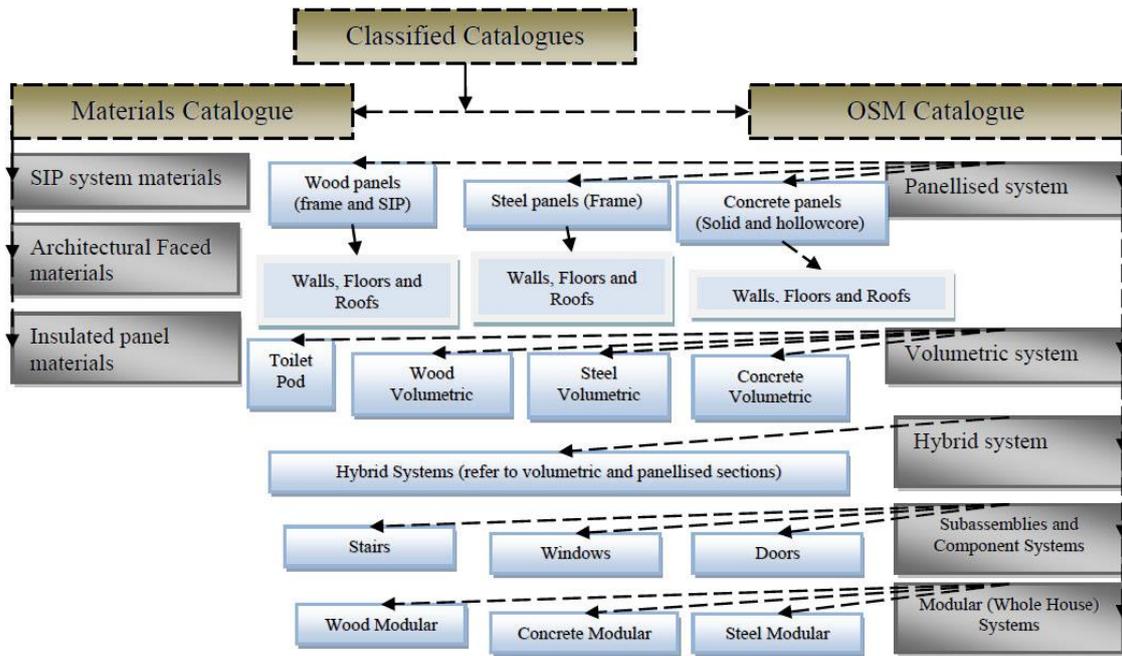
Tabla 3. Resumen de clasificaciones OSM. Fuente de elaboración propia.

Del mismo modo, en la Tabla 4 se puede observar el resultado de las clasificaciones acerca de la MMC. En este caso, la diversidad de términos es mayor. Cada una de las clasificaciones emplea términos similares, pero no se estructuran de la misma forma.

CATEGORIAS MMC	- <i>buildoffsite</i> (2018) - CITB - RIBA	LIBRO MANUBUILD	Publicación: De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación
1	<i>Component subassembly</i>	<i>Redícula estructural + Paneles</i>	<i>Sistemas cerrados</i>
2	<i>Non-volumetric pre-assembly</i>	<i>Panel / panel:</i>	<i>Empleo parcial de componentes</i>
3	<i>Volumetric pre-assembly</i>	<i>Combinación de componentes 3D</i> <i>3D – wagon</i> <i>3D – cápsulas</i> <i>3D – compactos.</i>	<i>Sistemas tipo mecano</i>
4	<i>Complete buildings</i>	-	<i>Sistemas abiertos</i>

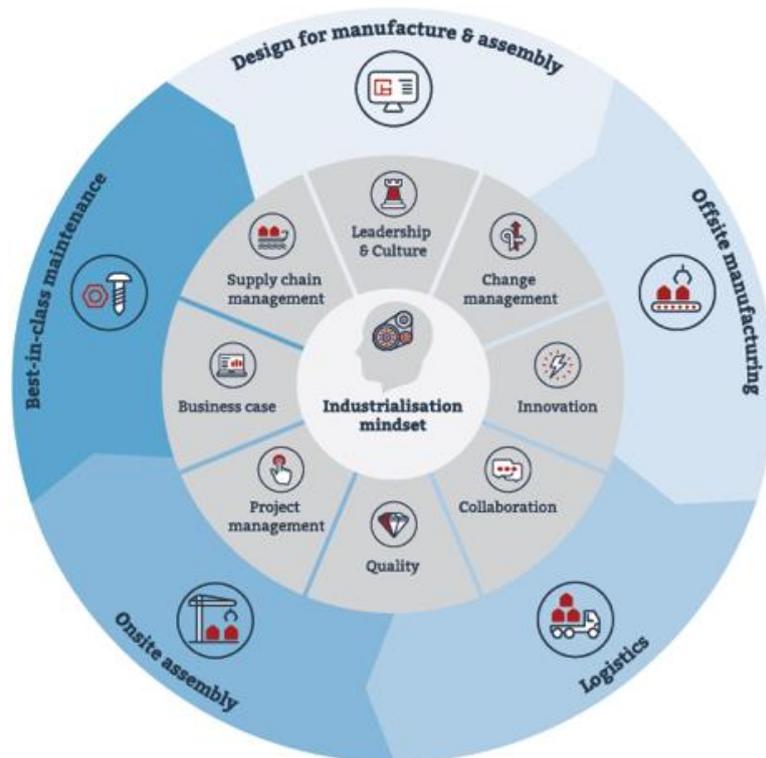
Tabla 4. Resumen de clasificaciones MMC. Fuente de elaboración propia.

La siguiente Ilustración 1 Ilustración 4 hace referencia a la clasificación que se recoge en la publicación *A classification system for representation of off-site manufacturing concepts through*, se puede observar detenidamente el tipo de elementos o conjuntos a los que hace referencia.



Il·lustració 4. Clasificación OSM. Fuente: (Abosaod, Underwood, Isikdag, & Barony, 2010)

A través de un workshop virtual organizado por el *Supply Chain Sustainability School* (Offsite for Logistics virtual workshop, 2021), se muestra la Il·lustració 5. Recoge un resumen de los procesos, intervinientes y diferentes etapas del *Offsite Construction o DfMA*, es decir, la cadena de valor imprescindible para que se de este sistema constructivo.



Il·lustració 5. Offsite Construction. Fuente: Supply Chain Sustainability School.

Impacto sobre los ODS de los sistemas industrializados y de los sistemas prefabricados

Teniendo en cuenta la terminología y las clasificaciones desarrolladas en los apartados anteriores, el tema que se va a desarrollar en este apartado trata el impacto que causan los sistemas industrializados y prefabricados, así como el sector de la construcción en general, sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Además, hay dos aspectos más a desarrollar, los cuales son el modelo económico y productivo en referencia a la “Economía circular” y el Análisis de ciclo de vida (ACV) de los proyectos (AEDAS HOMES; B LEAF, 2021).

En primer lugar, los ODS constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos (Ilustración 6. ODS Agenda 2030. Fuente: Ilustración 6) como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años (Naciones Unidas, s.f.).



Ilustración 6. ODS Agenda 2030. Fuente: (Naciones Unidas, s.f.).

Según una publicación consultada (Wandel, Avellaneda, & Cuchi, 2010), es hacia 1987 y con la aparición del informe Nuestro futuro común (Organización de las Naciones Unidas, 1987), cuando se produce un primer acuerdo mundial sobre la concepción contemporánea del problema ambiental, con la incorporación del concepto de sostenibilidad, más concretamente el desarrollo sostenible, al ideario de muchas disciplinas, entre ellas también la arquitectura.



En referencia al sector de la construcción, el cual engloba los sistemas prefabricados e industrializados, la entidad *World Green Building Council (WorldGBC)* nace a causa de que los edificios y la construcción representan el 39% de las emisiones de CO2 relacionadas con la energía, así pues, es la encargada de la adopción de edificios sostenibles para todos, en todas partes. En 1993, se fundó el primer *Green Building Council* y, así nació un movimiento global.

La misión de esta entidad es transformar el sector de la edificación y la construcción en tres áreas estratégicas: acción climática, salud y bienestar, y recursos y circularidad. Se trata de una red de acción global compuesta por alrededor de 70 consejos de construcción ecológica en todo el mundo.

Son miembros del Pacto Mundial de la ONU, por lo que trabajan con empresas, organizaciones y gobiernos para impulsar las ambiciones del Acuerdo de París y los Objetivos Globales de Desarrollo Sostenible de la ONU. A través de un enfoque de cambio de sistemas, la red está liderando la industria hacia un entorno construido con cero emisiones de carbono, saludable, equitativo y resistente.

Objetivos del *WorldGBC*:

- Acción por el clima: descarbonización total del entorno construido.
- Salud y bienestar: un entorno construido que ofrece edificios, comunidades y ciudades saludables, equitativos y resilientes.
- Recursos y circularidad: un entorno construido que apoya la regeneración de recursos y sistemas naturales, proporcionando beneficios socioeconómicos a través de una economía circular próspera.

Según el *WorldGBC* (World Green Building Council, s.f.), un edificio de construcción ecológica, "verde" o *green building* es un edificio que, en su diseño, construcción u operación, reduce o elimina los impactos negativos y puede crear impactos positivos en nuestro clima y entorno natural. Los edificios ecológicos preservan los preciosos recursos naturales y mejoran nuestra calidad de vida.

Hay una serie de características que pueden hacer que un edificio sea "ecológico". Éstos incluyen:

- Uso eficiente de energía, agua y otros recursos.
- Uso de energías renovables, como la energía solar.
- Medidas de reducción de la contaminación y los desechos, y habilitación de la reutilización y el reciclaje
- Buena calidad del aire ambiental interior
- Uso de materiales no tóxicos, éticos y sostenibles.
- Consideración del medio ambiente en el diseño, construcción y operación.

- Consideración de la calidad de vida de los ocupantes en el diseño, construcción y operación.
- Un diseño que permite la adaptación a un entorno cambiante

Cualquier edificio puede ser un edificio ecológico, ya sea una casa, una oficina, una escuela, un hospital, un centro comunitario o cualquier otro tipo de estructura, siempre que incluya las características enumeradas anteriormente.

Se dice, por tanto, que mediante la construcción ecológica se mejora la vida de miles de millones de personas ayudando a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. (World Green Building Council, s.f.)

Como bien dice Dominika Czerwinska, Directora de Membresía y Redes Regionales del WorldGBC, en uno de los post de la página del *WorldGBC*, mientras que muchos pueden mirar un edificio y ver sólo una estructura inanimada, otros miran los edificios y ven tanto el aspecto físico como el proceso por el que se crean: una oportunidad no sólo para ahorrar energía, agua y emisiones de carbono, sino para educar, crear puestos de trabajo, fortalecer las comunidades, mejorar la salud y el bienestar, y mucho, mucho más. La construcción ecológica es un verdadero catalizador para abordar algunos de los problemas más acuciantes del mundo (Czerwinska).

Aunque los 17 objetivos son muy variados, desde acabar con el hambre hasta promover sociedades pacíficas e inclusivas, cada uno con metas detalladas que deben alcanzarse en los próximos 15 años, hay varios objetivos, según recoge la Ilustración 7, en los que los edificios ecológicos pueden contribuir, y de hecho ya lo han hecho, de manera significativa.



Ilustración 7. ODS aplicables según WorldGBC. Fuente (World Green Building Council, s.f.)



Objetivo 3: BUENA SALUD Y BIENESTAR - Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

En la actualidad hay pruebas abrumadoras que sugieren que la forma en que se diseña un edificio puede afectar a la salud y el bienestar de sus ocupantes. Según la Organización Mundial de la Salud, las enfermedades pulmonares y respiratorias asociadas a la mala calidad del ambiente interior son tres de las cinco principales causas de muerte. Pero se ha demostrado que las características de los edificios ecológicos, como la mejora de la iluminación, de la calidad del aire y de la vegetación, tienen un impacto positivo en la salud y el bienestar, y este programa ha cobrado cada vez más fuerza en los últimos años. El proyecto global *Better Places for People* se centra en crear un mundo en el que los edificios no sólo sean buenos para el medio ambiente, sino que también contribuyan a una vida más sana, feliz y productiva. Además, la reducción de las emisiones de los edificios, especialmente en las ciudades, puede reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire, beneficiando la salud de los habitantes de las ciudades.

Objetivo 7: ENERGÍA ASEQUIBLE Y LIMPIA - Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

La energía más barata es la que no utilizamos, y el ahorro energético de los edificios eficientes y ecológicos (ya sean edificios de oficinas comerciales o viviendas) suele ser uno de los beneficios más comentados. Los edificios ecológicos también utilizan energía renovable, que puede ser más barata que las alternativas de combustibles fósiles. Por ejemplo, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) sugiere que los sistemas solares domésticos en África pueden proporcionar electricidad a los hogares por tan sólo 56 dólares al año, mucho más barato que la energía procedente del gasóleo o el queroseno. La energía renovable tiene además la ventaja de no producir emisiones de carbono, lo que limita el impacto sobre el planeta. La eficiencia energética unida a las fuentes renovables locales también mejora la seguridad energética.

Objetivo 8: TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO - Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.

A medida que crece la demanda de edificios ecológicos en todo el mundo, también lo hace la mano de obra necesaria para llevarlos a cabo, y este es otro objetivo al que la construcción ecológica puede contribuir significativamente. Por ejemplo, el sector de la construcción ecológica en Canadá representó casi 300.000 puestos de trabajo a tiempo completo en 2014. Además, el ciclo de vida de un edificio ecológico (desde la concepción hasta la construcción, pasando por la explotación e incluso la renovación)



afecta a una gran variedad de personas, lo que ofrece aún más oportunidades de empleo inclusivo.

Algunos Consejos de Construcción Ecológica, como el de Sudáfrica, han desarrollado formas de integrar cuestiones socioeconómicas más complejas, como el desempleo o la falta de cualificación, en los sistemas de calificación de los edificios ecológicos, creando más incentivos para que las empresas tengan en cuenta estos criterios en sus desarrollos.

Objetivo 9: INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA - Construir infraestructuras resistentes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

Los edificios ecológicos no se limitan a la actualidad. Deben diseñarse de forma que se garantice su resistencia y adaptabilidad frente a nuestro cambiante clima mundial. Esto es de vital importancia en los países en desarrollo, muchos de los cuales serán especialmente susceptibles a los efectos del cambio climático. Pero no se trata sólo de edificios a prueba de futuro, sino de los espacios intermedios, las infraestructuras que deben ser igualmente sostenibles y resistentes a los riesgos futuros. Un informe reciente de la Nueva Economía Climática concluye que se necesitan 90 billones de dólares de inversión en todo el mundo en los próximos 15 años en el sector de las infraestructuras para lograr un futuro próspero y con cero emisiones netas. La búsqueda de edificios que superen los límites de la sostenibilidad, como los edificios de emisiones netas cero, es también un importante motor de innovación y tecnología.

Objetivo 11: CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES - Hacer que las ciudades sean inclusivas, seguras, resistentes y sostenibles.

Casi el 60% de la población mundial vivirá en zonas urbanas en 2030, por lo que garantizar su sostenibilidad es de vital importancia. Los edificios son los cimientos de las ciudades, por lo que los edificios ecológicos son clave para su sostenibilidad a largo plazo. Ya se trate de viviendas, oficinas, escuelas, tiendas o espacios verdes, el entorno construido contribuye a la composición de las comunidades, que deben ser sostenibles para garantizar una alta calidad de vida para todos. De hecho, en muchos países, los *Green Building Councils* han ido más allá de la certificación de edificios verdes individuales y han desarrollado herramientas que facilitan la formación de barrios y distritos verdes. Otros, como el GBC de Filipinas, han ayudado a ciudades como Mandaue a desarrollar y aplicar políticas que promueven prácticas de construcción sostenible en ciudades enteras.

Objetivo 12: CONSUMO Y PRODUCCIÓN RESPONSABLES - Garantizar modelos de consumo y producción sostenibles.



Este objetivo se centra en la promoción de la eficiencia de los recursos y la energía, las infraestructuras sostenibles y el acceso a los servicios básicos y los empleos verdes. El sector de la construcción tiene un papel importante que desempeñar en la prevención de los residuos mediante la reducción, el reciclaje y la reutilización, principios de la "economía circular" en los que los recursos no se desperdician. Nuestro movimiento incluye a los principales fabricantes de productos, como *Shaw Contract*, que han desarrollado formas de generar productos, en este caso moquetas, a partir de lo que antes se consideraba un residuo, lo que se conoce como el enfoque "de la cuna a la cuna". Esto no sólo reduce la cantidad de residuos que van al vertedero, sino que también reduce la cantidad de materias primas que se extraen de la tierra. Desde 2006, *Shaw* ha recuperado y reciclado más de 400 millones de kilogramos de moqueta postconsumo.

Objetivo 13: ACCIÓN CLIMÁTICA - Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos.

Los edificios son responsables de más del 30% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, contribuyen en gran medida al cambio climático. Pero, del mismo modo, los edificios verdes tienen un enorme potencial para combatirlo, ofreciendo una de las formas más rentables de hacerlo, a través de medidas como la eficiencia energética.

Objetivo 15: LA VIDA EN LA TIERRA - Gestionar de forma sostenible los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de la tierra, detener la pérdida de biodiversidad.

Los materiales que componen un edificio son fundamentales para determinar su sostenibilidad. Por ello, el sector de la construcción y sus cadenas de suministro tienen un papel importante en el uso de materiales de origen responsable, como la madera. Las herramientas de certificación de edificios ecológicos también reconocen la necesidad de reducir el uso del agua, así como el valor de la biodiversidad y la importancia de garantizar su protección, y la incorporan al espacio en el que se construye, tanto durante como después de la construcción, minimizando los daños y diseñando formas de mejorar la biodiversidad, como por ejemplo mediante el paisajismo con flora local.

Objetivo 17: ALIANZAS PARA LOS OBJETIVOS - Revitalizar la asociación mundial para el desarrollo sostenible.

Históricamente, el sector de la construcción ha carecido de una voz colectiva en la escena mundial en las principales conferencias sobre el cambio climático y, a menudo, no ha sido reconocido por las enormes oportunidades que presenta. En 2015, se logró



un hito importante cuando el *WorldGBC*, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el gobierno francés y varias otras organizaciones se unieron para organizar el primer "Día de los Edificios" como parte de la agenda oficial de la COP21 y para lanzar la Alianza Global para la Edificación y la Construcción. Un año y medio después, el movimiento ya está viendo los beneficios de tener un asiento en la mesa. Se han establecido nuevas y sólidas asociaciones, como las establecidas con el Instituto de Recursos Mundiales y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, que aumentan nuestra capacidad de impulsar el cambio y garantizan que todos aprovechemos los puntos fuertes de los demás en lugar de reinventar la rueda. Nuestro movimiento reconoce desde hace tiempo que los obstáculos para un entorno construido sostenible no son las soluciones técnicas, sino más bien la forma en que colaboramos eficazmente, garantizando que nuestros esfuerzos colectivos estén realmente alineados para lograr un impacto mucho mayor.

Cuando se trata de los restantes ODS, los vínculos directos entre ellos y los edificios verdes pueden ser menos explícitos, pero eso no quiere decir que no existan en absoluto.

Por todas estas razones, se dice que el movimiento de la construcción ecológica supondrá un progreso significativo en la disociación del crecimiento económico del cambio climático, la pobreza y la desigualdad, ayudando a alcanzar los objetivos y creando un mundo más verde que todos podamos estar orgullosos de llamar hogar.

Como se decía al inicio de este apartado, el ACV y la Economía circular son aspectos muy importantes que van de la mano en el sector de la construcción, según una publicación titulada "La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales" (Wadel, Avellaneda, & Cuchi, 2010), plantean desarrollar un sistema de gestión de los recursos empleados de los sistemas de construcción modular ligera en el ciclo de vida de los edificios capaz de cerrar los ciclos materiales hasta en un 90%, mientras que en la construcción convencional se alcanza un 10%. Como se observa desde hace años, el modelo productivo dominante se sintetiza en la secuencia lineal: extracción, fabricación, uso y residuo. Por otro lado, una minoría de industrias basan su organización en una ecología industrial, es decir, industrias en que los residuos de una actividad pueden ser recursos de sí misma, o bien de otra. Debido a esto, la arquitectura podría incorporar un modelo productivo cerrando los ciclos de los materiales, dando como resultado un cambio en la secuencia lineal del modelo productivo: reciclaje, fabricación, uso y reciclaje.

La metodología que permite una valoración exhaustiva del impacto ambiental de los edificios es el ACV establecida por las normas ISO 14040/43, puesto que permite cuantificar el impacto medioambiental global realizando una contabilidad completa del consumo de recursos



y de la emisión de residuos asociados a las distintas fases del ciclo de vida. No obstante, las metodologías y herramientas relacionadas con el ACV de los edificios no son suficientemente conocidas ni utilizadas entre los agentes del sector de la construcción: promotores, constructores, proyectistas, autoridades locales y propietarios de los edificios. La complejidad de su aplicación en una industria de las características de la construcción, el tiempo que requiere su desarrollo respecto de los plazos de realización del proyecto de los edificios y la elevada inversión económica que requeriría su aplicación en ellos con las herramientas y metodologías actualmente disponibles, muchas de las cuales no se encuentran adaptadas a las características específicas del sector en España, hace que su implantación sea muy difícil.

A nivel internacional, según recoge el libro *Off-site and industrialised timber construction* (Hairstans, 2019), el mercado de la construcción en el Reino Unido refleja la tendencia mundial a construir edificios más eficientes desde el punto de vista medioambiental, con un énfasis cada vez mayor en el coste del ciclo de vida completo. Las políticas y la legislación internacionales y las normativas descentralizadas, combinadas con una mayor concienciación de los clientes y los usuarios finales, exigen una mejora del rendimiento de los tejidos, así como de las credenciales medioambientales cualificadas de los componentes. Se entiende por tanto que, desde el inicio de la concepción de los proyectos, se tienen más en cuenta los aspectos medioambientales, así como el ciclo de vida completo.

Finalmente, como parte fundamental del impacto ambiental en el sector de la construcción, cabe destacar las certificaciones medioambientales aplicables a edificios, infraestructuras o similares. Se observa como estas certificaciones tienen en cuenta tanto el impacto de los ODS, como el ACV. Las principales certificaciones a nivel nacional son las que se muestran a continuación. Se incorpora, además, una descripción breve de cada una de ellas.

Certificación BREAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*) - (BREAM, s.f.)

Entidad: *Building Research Establishment* (BRE)

Año fundación: 1990

Objetivos: Certificado, de carácter privado y voluntario, evalúa impactos en 10 categorías (Gestión, Salud y Bienestar, Energía, Transporte, Agua, Materiales, Residuos, Uso ecológico del suelo, Contaminación, Innovación) y otorga una puntuación final que sirve de referencia, junto al Manual Técnico de la metodología, para una construcción más sostenible tanto en fase de diseño como en fases de ejecución y mantenimiento, disponiendo de diferentes esquemas de evaluación y certificación en función de la tipología y uso del edificio.



Descripción: Método de evaluación y certificación de la sostenibilidad en la edificación técnicamente más avanzado y líder a nivel mundial por el número de proyectos certificados desde su creación.

Certificación WELL *Building Standard* - (Instituto Tecnológico de Galicia, s.f.)

Entidad: *International WELL Building Institute™ (IWBI™)* / Instituto Tecnológico de Galicia (ITG)

Año fundación: 2016 / 1991

Objetivos: Sistema de puntuación dinámico para edificios y comunidades que permite identificar, medir y monitorizar las características de los espacios construidos que impactan en la salud y el bienestar de los ocupantes.

Descripción: Primera certificación centrada exclusivamente en la salud y el confort de los usuarios. Se basa en el rendimiento y no en la prescripción.

Certificación LEED (Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenible) (LEED, s.f.)

Entidad: *U.S. Green Building Council / Spain Green Building Council*

Año fundación: 1999 / 2006

Objetivos: Los edificios con certificación LEED están diseñados para:

- Soportar menores costos de operación y aumentar el valor de los activos.
- Reducir los residuos enviados a los vertederos.
- Conservar la energía y el agua.
- Ser más saludables y seguros para los ocupantes.
- Reducir las emisiones de gases nocivos de efecto invernadero.
- Beneficiarse de desgravaciones fiscales, permisos de zonificación y otros incentivos en cientos de municipios.
- Demostrar el compromiso del propietario con el cuidado del medioambiente y con la responsabilidad social.

Descripción: Sistema internacionalmente reconocido de certificación de edificios sostenibles, que los clasifica en función de su grado de excelencia y establece una calificación por puntos de los logros sostenibles conseguidos a través de una verificación por tercera parte independiente de que un edificio o una comunidad están diseñados y construidos mediante estrategias encaminadas a mejorar la eficiencia en todos los indicadores más importantes: ahorro de energía, eficiencia en agua, reducción de emisiones de CO₂, mejora de la calidad interior, gestión y conservación de recursos, reducción de residuos, etc...



Certificación VERDE - (Green Building Council España, s.f.)

Entidad: *Green Building Council* España (GBCe)

Año fundación: 2009

Objetivos:

- Consideración de los impactos ambientales, sociales y económicos de los edificios.
- Estructura basada en el Análisis de Ciclo de Vida.
- Proporcionar información cuantitativa a través de indicadores de sostenibilidad.
- Primar los indicadores prestacionales, premiando la innovación y el uso de nuevas técnicas y materiales.
- Adaptable a distintos usos de los edificios: residencial, terciario, industrial, etc.
- Evaluar los distintos tipos de intervenciones en edificios: diseño y nueva construcción, rehabilitación y edificios existentes.

Descripción: Todas las herramientas VERDE son accesibles al público a través de la página web www.gbce.es donde se encuentran las herramientas y también pueden descargarse los manuales que describen cada uno de los criterios a evaluar y su metodología de cálculo.

Certificación DGNB *System* (*German Sustainable Building Council*)- (Green Building Council España, s.f.)

Entidad: *German Sustainable Building Council*

Año fundación: 2009

Objetivos:

- Está diseñada para ayudar a las organizaciones a mejorar aspectos tangibles de la sostenibilidad de los edificios.
- Se basa en el concepto holístico de la sostenibilidad, prestando atención equivalente al medio ambiente, las personas y la viabilidad económica.
- Es el sistema líder en certificación de distritos en Europa.

Descripción: Herramienta internacional, basada en normas y estándares europeos, que puede ser aplicable en todo el mundo. La implementación del sistema *DGNB System* en cada país requiere la adaptación a las condiciones específicas del mismo.

En último lugar, cabe destacar que el GBCe apoya los ODS y busca concretarlos en acciones medibles que sigan la dirección correcta por medio de sus herramientas voluntarias de certificación (*VERDE* y *DGNB-System*). Además, el GBCe y DGNB forman parte del grupo



impulsor de la red G17, cuyo objetivo es colaborar para alcanzar los ODS de Naciones Unidas, siguiendo el poderoso mensaje del Objetivo 17 “Alianzas para conseguir los objetivos”. (Green Building Council España, s.f.)

2. Material y métodos

En cuanto a la metodología aplicada para el desarrollo del presente trabajo final de máster, ha sido la siguiente. La evolución de dicho trabajo se ha desarrollado en diferentes etapas:

1. Búsqueda de los objetivos y temática a desarrollar.
2. Investigación bibliográfica general sobre la temática del trabajo.
3. Análisis y síntesis del material incorporado al documento final.
4. Desarrollo de la información que recoge el documento.

A través de la Ilustración 8, se puede observar de forma esquemática el proceso de desarrollo del trabajo.



Ilustración 8. Proceso metodología. Fuente de elaboración propia.

El material empleado se trata de recursos como libros publicados, revistas de diferentes asociaciones u organizaciones públicas o privadas de diferentes países, publicaciones de periódicos digitales, extractos de publicaciones de investigación, así como recursos propios de empresas privadas.

Ante la diversidad de conceptos que se han visto a lo largo del trabajo, se podría decir que principalmente los criterios de elección adoptados en la metodología han sido la elección de conceptos actualizados y de gran repetición citados por entidades u organismos privados y públicos, con gran influencia y antigüedad en el sector. Así mismo, la repetición de los mismos conceptos ha sido otro de los motivos de elección para la elección de dicho concepto.

3. Resultados

Tras la visualización de la revisión bibliográfica, se desarrollan a continuación los resultados obtenidos.

En primer lugar, establecer la terminología principal sobre sistemas industrializados y sistemas prefabricados. Puede resumirse en los términos que recogen la Ilustración 2. Esquema de los términos de los sistemas industrializados. Fuente

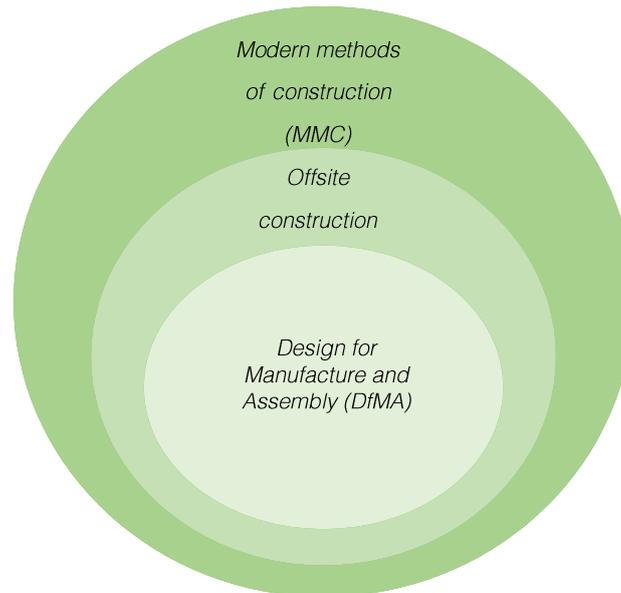


Ilustración 2. Esquema de los términos de los sistemas industrializados. Fuente de elaboración propia.

Los métodos modernos de construcción (MMC) albergan principalmente los sistemas prefabricados al ser un término más inclusivo, su clasificación es menos restrictiva que la referente a OSM, por ejemplo, acepta elementos como carpinterías.

Por otro lado, la *Offsite construction* (OSM), hace referencia a los sistemas industrializados por las características de su clasificación. Recoge claramente que los tres últimos ítems de su clasificación especifican que forman parte de los MMC, pero no de la OSM.

Para resumir, los sistemas industrializados se pueden considerar tanto en la OSM como en los MMC, siendo mas correcto considerarlo dentro de la OSM, mientras que los sistemas prefabricados únicamente forman parte de los MMC.

Complementariamente, el DfMA, es la optimización de la aplicación de la OSM. Es la metodología OSM desarrollada de forma específica mejorando sus rendimientos y por consiguiente los resultados obtenidos.

Por otro lado, acerca de la clasificación de los sistemas, los resultados se resumen en la Tabla 3 y en la Tabla 4 con el fin de hacer una propuesta de los términos más empleados y con mayores referencias bibliográficas, por lo tanto, los más fiables a la hora de aplicarlos a los proyectos.

CATEGORIAS OSM	- <i>Cast consultancy</i> (2019) – Reino Unido. - CIRIA (Jasen van Vuuren & Middleton, 2020)	- <i>buildoffsite</i> (Gibb & Pendlebury, 2006) - <i>Housing Corporation</i> - <i>BeAware</i> (bre, 2009)	Publicación: <i>A classification system for representation of OSM // Building Offsite – An introduction</i>
1	<i>Pre-manufacturing (3D primary structural systems)</i>	OSM – Volumetric	<i>Volumetric systems</i>
2	<i>Pre-manufacturing (2D primary structural systems)</i>	OSM – Panelised	<i>Panelised systems</i>
3	<i>Pre-manufacturing components (non-systemised primary structure)</i>	OSM – Hybrid	<i>Hybrid systems</i>
4	<i>Additive manufacturing (structural and non-structural)</i>	OSM – Subassemblies and components	<i>Sub-assemblies and component systems</i>
5	<i>Pre-manufacturing (Non-structural assemblies and sub-assemblies)</i>	Non-OSM Modern Methods of Construction	<i>Modular systems</i>
6	<i>Traditional building product led site labour reduction / productivity improvements.</i>	Non Applicable	-
7	<i>Site process led site labour reduction / productivity / assurance improvements.</i>	-	-

Tabla 3. Resumen de clasificaciones OSM. Fuente de elaboración propia.

CATEGORIAS MMC	- <i>buildoffsite</i> (2018) - CITB - RIBA	LIBRO MANUBUILD	Publicación: De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación
1	<i>Component subassembly</i>	<i>Retícula estructural + Paneles</i>	<i>Sistemas cerrados</i>
2	<i>Non-volumetric pre-assembly</i>	<i>Panel / panel:</i>	<i>Empleo parcial de componentes</i>
3	<i>Volumetric pre-assembly</i>	<i>Combinación de componentes 3D</i> <i>3D – wagon</i> <i>3D – cápsulas</i> <i>3D – compactos.</i>	<i>Sistemas tipo mecano</i>
4	<i>Complete buildings</i>	-	<i>Sistemas abiertos</i>

Tabla 4. Resumen de clasificaciones MMC. Fuente de elaboración propia.

Así pues, se comienza con la síntesis de la Tabla 3, acerca de la OSM. Principalmente los términos con mayor validez bibliográfica son los referentes al *Buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006), *Housing Corporation*, y *BeAware* (bre, 2009), son los más completos y se trata de la clasificación más repetida. Así mismo, las entidades *Housing Corporation* y *Buildoffsite* son de gran importancia en este sector. Además, las clasificaciones referentes a las publicaciones *A classification system for representation of OSM* y *Building Offsite – An introduction*, que también

recoge la Tabla 3, cuentan con una estructura similar basada en las entidades anteriormente citadas.

Siendo así, se propone como clasificación definitiva acerca de la OSM la siguiente:

Volumetric: La construcción volumétrica (también conocida como construcción modular) implica la producción de unidades 3D en condiciones controladas de fábrica antes de su transporte a la obra.

Panelised: Los paneles planos se producen en una fábrica y se ensamblan in situ para producir una estructura tridimensional. El enfoque más común es utilizar paneles abiertos o marcos, que consisten en una estructura esquelética solamente con las instalaciones, mientras que el aislamiento, el revestimiento exterior y el acabado interior se realizan in situ. Los paneles más complejos, denominados normalmente paneles cerrados, implican una mayor fabricación en fábrica y pueden incluir materiales de revestimiento y aislamiento. y pueden incluir materiales de revestimiento y aislamiento. También pueden incluir instalaciones, ventanas, puertas, acabados interiores de las paredes y revestimientos exteriores.

Hybrid: También denominado semivolumétrico, combina ambos sistemas, panelizado y volumétrico. Normalmente, las unidades volumétricas (a veces denominadas *Pods*) se utilizan para las zonas con más instalaciones y con mayor modulación, como las cocinas y los baños, mientras que el resto de la vivienda o edificio se construye con paneles.

Subassemblies and components: Abarca los enfoques que no llegan a clasificarse como OSM, utilizan varios subconjuntos o componentes innovadores producidos en fábrica en un tejido estructural de construcción tradicional.

Non-OSM Modern Methods of Construction: Engloba los esquemas que utilizan técnicas innovadoras de construcción de viviendas y sistemas estructurales que quedan fuera de las categorías OSM. La presencia de la innovación es una característica esencial que puede manifestarse a través de un sistema de construcción innovador que no sea OSM, a través de una técnica de construcción conocida en otros sectores, pero nueva para la construcción de viviendas, o a través de la combinación de componentes tradicionales de forma innovadora.

Non Applicable: Esta categoría pretende englobar todos los proyectos tradicionales de nueva construcción y de rehabilitación, renovación y reconversión de emplazamientos.



Por otro lado, acerca de la Tabla 4, con la clasificación de los MMC, se tiene en cuenta la terminología establecida por el *Buildoffsite*, el CITB y el RIBA; ya que igual que en el caso anterior son las entidades que mayor validez tienen y han sido como referencia para otras publicaciones en mayor consideración.

Por ende, la propuesta de clasificación definitiva acerca de los MMC es la siguiente:

Component subassembly: Artículos de escala relativamente pequeña que invariablemente se ensamblan fuera del lugar, por ejemplo, accesorios de iluminación, ventanas o puertas.

Non-volumetric pre-assembly: Una gran categoría que abarca los artículos que el diseñador ha elegido para ensamblar en una fábrica antes de la instalación. Las unidades no cierran espacios completos. Su aplicación puede ser esquelética, plana o compleja, por ejemplo, sistemas de paneles, paneles de revestimiento, o módulos de instalaciones por encima del techo.

Volumetric pre-assembly: Unidades que cierran el espacio utilizable y luego se instalan dentro o sobre un edificio o estructura. Normalmente cuentan con un acabado interior completo, por ejemplo, baños o salas de máquinas.

Complete buildings: Unidades que cierran un espacio utilizable y que forman parte del edificio o estructura completa (las unidades pueden o no incorporar dimensiones modulares coordinadas). Normalmente cuentan con acabado interior de fábrica, así como posiblemente con el exterior.

La estandarización de la terminología principal cumple un papel importante en el sector industrializado y prefabricado a la hora de desarrollar estas metodologías, ya que así se puede llegar a conseguir un criterio único de aplicación a este tipo de proyectos. De este modo, se consigue que, a nivel global, indiferentemente del lugar en el que se vaya a desarrollar el proyecto, se aplique de la misma forma en todas partes.

La propuesta de estas clasificaciones se realiza con el fin de establecer estas clasificaciones como estándares para la incorporación de estas metodologías de construcción a nivel internacional.

Por último, hay que destacar el importante papel que se lleva a cabo mediante la incorporación de los ODS a los proyectos que se desarrollan en el sector industrializado y prefabricado. La aplicación de estos ODS son un beneficio mundial en muchos aspectos, así



mismo, mediante el estudio de los procesos se pueden obtener la mayoría de los ODS enumerados. Los ODS que mayor repercusión tienen sobre los sistemas industrializados y prefabricados son los siguientes:

ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico – Mediante el desarrollo de proyectos de sistemas industrializados y prefabricados, al producir en fábrica este objetivo mejora la calidad del trabajo del sector notablemente. Se mejoran así las condiciones de trabajo para la mano de obra, que da empleo a tantas personas a nivel mundial. En síntesis, se reduce así la ejecución de trabajos al aire libre, y, por consiguiente, se evita sufrir los cambios climatológicos de cada estación del año.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura – En el desarrollo de proyectos cada vez se incorporan más técnicas novedosas, gracias a ellas los resultados son mejores y las instalaciones y explotaciones tienen calidades mayores.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles – La aglomeración de gente en las ciudades lleva a crear entornos más sostenibles, de este modo, los sistemas industrializados y prefabricados lo consiguen con la reducción de residuos que se obtienen al ejecutar estos trabajos, así como la optimización de recursos y mejora de las calidades en el resultado final.

ODS 12: Consumo y producción responsables – Con relación al ACV nombrado en apartados anteriores, tiene una relación directa, ya que el diseño de proyectos que tengan una economía y vida circular es mejor que otros proyectos que no tengan reutilización una vez se haya agotado su vida útil.

Por estas razones, la incorporación de los ODS a los proyectos tiene tanta importancia. Gracias a ellos se mejoran los resultados en varios ámbitos, como en el medioambiente, o en las calidades finales de los proyectos.

4. Conclusión

El resultado de la incorporación de estas metodologías de trabajo como son la *Offsite Manufacturing* (OSM), los métodos modernos de construcción (MMC) y el diseño para la fabricación y el montaje (DfMA) ya vienen utilizándose desde hace varios años, aunque no estén definidas como tal con una terminología, procesos e implantaciones estandarizadas.

Mediante la completa definición de estas metodologías y la estandarización de su uso se conseguirá una notable mejora a nivel global, ya que gracias a ello todos los agentes intervinientes en estos procesos tendrán una guía con el fin de aplicar correctamente los sistemas industrializados y prefabricados.

En vista de la expansión de este tipo de sistemas a nivel internacional se mejorarán notablemente los procesos de diseño de proyectos, procesos de ejecución, así como el seguimiento de los proyectos *as built*.

La estandarización de estos sistemas tendrá un impacto positivo en cada uno de los agentes que intervienen, desde los arquitectos, a la hora de la proyección del estudio; pasando por las empresas constructoras, con la implantación de la obra; hasta los suministradores de materiales; o el cliente final, obteniendo un producto de calidades óptimas.

Finalmente, en la actualidad poco a poco se están incorporando estas nuevas metodologías. A nivel nacional, en España, se está comenzando con su promoción gracias a la reciente creación de varias asociaciones. Se deberá hacer un gran esfuerzo por parte de todos los agentes intervinientes para alcanzar los altos porcentajes de implantación de los países del norte de Europa, ya que cuentan con un alto grado de aplicación de dichos sistemas.

Para concluir, cabe destacar que, gracias al cambio de procesos del sector de la construcción, por consiguiente, cambia también el resultado que se obtiene.

Futuras líneas de trabajo

Este trabajo puede ser de utilidad para unificar vocabulario y criterios de todos los agentes del sector de la edificación empezando por el nivel docente. Como se ha visto los términos son diversos y no existe todavía una homogeneidad acerca de los términos y clasificación de los sistemas. Mediante estos resultados, se podría desarrollar una normativa específica aplicable a cualquier proyecto de este tipo.

Por otro lado, futuras líneas de trabajo al respecto serían generar una clasificación visual que conecte los distintos sistemas existentes a nivel industrial con los términos a los que pertenecen.



También se podría desarrollar este trabajo de cara al estudio de las empresas principales existentes en el mercado nacional e internacional acerca de sistemas industrializados y prefabricados, con el fin de obtener una clasificación de las actividades que llevan a cabo cada negocio.

Así mismo, se puede llegar a realizar un estudio midiendo el impacto medioambiental que causa la incorporación de estos sistemas, los beneficios sobre los diferentes agentes, o las principales diferencias con los métodos tradicionales.



Bibliografía

- Li a, Z., Qiping Shen, G., & Alshawi, M. (2014). *Measuring the impact of prefabrication on construction waste reduction: an empirical study in Shenzhen, China.*
- Abosoad, H., Underwood, J., Isikdag, U., & Barony, S. (2010). *A CLASSIFICATION SYSTEM FOR REPRESENTATION OF OFF-SITE MANUFACTURING CONCEPTS THROUGH VIRTUAL PROTOTYPING.*
- AEDAS HOMES; B LEAF. (2021). *VIVIENDA INDUSTRIALIZADA SOSTENIBLE.*
- Authority, B. a. (2017). *Design for Manufacturing and Assembly (DfMA).*
- Bermejo Amarillo, J. (2020, 10). *Grupo Avintia.*
- Bizkaia, I. d. (2019). *Instituto de Construcción de Bizkaia.* Retrieved from <http://www.construccionbizkaia.com/arranca-el-proyecto-europeo-emic-gem-en-glasgow/>
- bre. (2009). *beaware.*
- BREAM. (n.d.). *BREAM ES.* Retrieved from <https://breeam.es/breeam-espana/>
- buildoffsite. (2018). *Glosary of Terms - Offsite residential construction.*
- Burón Maestro , M., & Fernández-Ordoñez Hdez, D. (1997). *EVOLUCIÓN DE LA PREFABRICACION PARA LA EDIFICACIÓN EN ESPAÑA.* Grupo PACADAR.
- Cast. (2019). *Cast-consultancy.*
- Centre, C. S. (2019). *Construction Scotland Innovation Centre.* Retrieved from <https://www.csic.org/innovationcentre/future-skills/embracing-modular-innovation-in-construction-getting-education-modernised/>
- Chicharro, C. (2020, 10). *Grupo Avintia.*
- Colmenares, S. (2010). *La simplificación como problema complejo: Habraken y el S.A.R.*
- Council, C. I. (2013, Febrero). *Offsite Housing Review.* 44.
- Council, W. G. (2020, 04 01). *Sourceable.* (A. Heaton, Editor) Retrieved from <https://sourceable.net/australia-must-embrace-innovative-construction-systems/>
- Czerwinska, D. (n.d.). *WorldGBC.* Retrieved from <https://www.worldgbc.org/news-media/green-building-improving-lives-billions-helping-achieve-un-sustainable-development-goals>
- Escrig Pérez, C. (2010). *EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADOS A BASE DE ELEMENTOS PREFABRICADOSVDE HORMIGÓN.* Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras a la Ingeniería.



- García Malo de Molina, L. (2020, 12 13). El futuro 'verde' de la edificación.
- Gibb, A., & Pendlebury, M. (2006). Glossary of Terms. *buildoffsite*, 39.
- Gómez Jáuregui, V. (2009). *Habidite: viviendas modulares industrializadas*.
- Green Building Council España. (n.d.). *Green Building Council España*. Retrieved from <https://gbce.es/certificacion-verde/>
- Green Building Council España. (n.d.). *Green Building Council España*. Retrieved from <https://gbce.es/certificacion-dgnb-system/>
- Hairstans, R. (2015). Building Offsite - An introduction.
- Hairstans, R. (2019). *Off-site and industrialised timber construction*. BM TRADA.
- ilkeHOMES. (2019). Building homes using volumetric manufacturing. 11.
- Instituto Tecnológico de Galicia. (n.d.). *Well Services*. Retrieved from <https://wellservices.itg.es/certificado-well/>
- Jasen van Vuuren, T., & Middleton, T. (2020). *CIRIA*.
- KIER*. (2019).
- LEED. (n.d.). *SPAIN GREEN BUILDING COUNCIL*. Retrieved from <http://www.spaingbc.org/web/sistemas-clasificacion.php#>
- López Letón, S. (2020, 10 10). *El País*. Retrieved from <https://elpais-com.cdn.ampproject.org/c/s/elpais.com/economia/2020-10-09/por-que-no-exportar-las-casas-fabricadas-en-espana.html?outputType=amp>
- Lospitao, C. (2020, 12 22). *idealista*.
- Martín Jiménez, A. (2020, 07 30). *Grupo Avintia*. Retrieved from <https://www.grupoavintia.com/2020/07/31/grupo-avintia-reune-a-sus-partners-para-el-lazamiento-de-avit-a-su-sistema-integral-de-construccion-industrializada/#gref>
- (2014). *METODOLOGÍAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO*.
- Modular Building Institute*. (2019). Retrieved from <https://www.modular.org/documents/public/images/2019-PMC-Report-reduced.pdf>
- Mohd Nawi, M., Akmar Abu Hanifa, F., Anuar Mohamad Kamar, K., Lee, A., & Nor Azhari Azman, M. (2014). *Modern Method of Construction: An Experience from UK*.
- Naciones Unidas. (n.d.). *Naciones Unidas*. Retrieved from <https://www.un.org/es/>
- Organización de las Naciones Unidas. (1987). *Comisión mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo / Our Common Future*.



- Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry. (2011). *McGraw-Hill Construction*, 56.
- Programme, W. &. (2008). *Waste & Resources Action Programme*. Retrieved from <http://www.wrap.org.uk/category/sector/construction>
- Proyecto MANUBUILD. (2009). *Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad*.
- Robinson, A. (2019). ISBU Modular Construction and Building Design Prototypes.
- Royal Institute of British Architects. (2016). *RIBA Plan of Work 2013*.
- Salas, J. (2008). *De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico*.
- Supply Chain Sustainability School. (2021, Febrero). Offsite for Logistics virtual workshop.
- Underwood, J., & Isikdag, U. (2010, Enero). *A Classification System for Representation of Off-Site Manufacturing Concepts Through Virtual Prototyping*.
- Vega Clemente, R. (2015). *Evaluación de la sostenibilidad de sistemas de construcción industrializados de fachas en edificios de viviendas*.
- Vidal Ordeig, M. (2020, 10 05). *EjePrime*. Retrieved from <https://www.ejeprime.com/empresa/avintia-invertira-hasta-20-millones-en-tres-anos-en-fabricas-de-viviendas-mecano.html>
- Vilaplana, M. (2021, 01 17). *Faro de Vigo*.
- Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchi, A. (2010). *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada cerrando el ciclo de los materiales*.
- Wandel, G., Avellaneda, J., & Cuchi, A. (2010). *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada, cerrando el ciclo de los materiales*.
- Wilson, J. (2019). *Desing for modular construction: An introduction for architects*. EE.UU.
- World Green Building Council. (n.d.). *World Green Building Council*. Retrieved from <https://www.worldgbc.org/news-media/green-building-improving-lives-billions-helping-achieve-un-sustainable-development-goals>