

Briones C., Vasquez D., Oyarzún V., Quintan K., Bais L., Castañeda K., & Herrera R. (2024). Guía de Métodos Modernos de Construcción: una revisión de literatura. In *Proceedings of the IX Ibero-American Congress of Construction Management and Technology (IX ELAGEC2024)*. Herrera, RF, Salazar, LA, (Editors).

GUÍA DE MÉTODOS MODERNOS DE CONSTRUCCIÓN: UNA REVISIÓN DE LITERATURA

Carolina Briones¹ - carolina.briones@ctecinnovacion.cl

Daniela Vásquez² - daniela.vasquez@ctecinnovacion.cl

Verónica Oyarzún³ - veronica.oyarzun@ctecinnovacion.cl

Karla Quintan⁴ - karla.quintana@ctecinnovacion.cl

Lukas Bais⁵ - lukas.bais@ctecinnovacion.cl

Karen Castañeda⁶ - karen2178721@correo.uis.edu.co

Rodrigo F. Herrera*⁷ - rodrigo.herrera@pucv.cl

¹Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, CTeC. Santiago, Metropolitana, Chile.

²Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, CTeC. Santiago, Metropolitana, Chile.

³Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, CTeC. Santiago, Metropolitana, Chile.

⁴Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, CTeC. Santiago, Metropolitana, Chile.

⁵Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, CTeC. Santiago, Metropolitana, Chile.

⁶Department of Civil Engineering, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

*⁷Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

RESUMEN

La industria de la construcción enfrenta desafíos significativos en el contexto del entorno económico nacional y la creciente crisis climática global, debido a que, no solo debe incrementar su productividad y rentabilidad, sino también adoptar prácticas más sostenibles para minimizar su impacto en el ambiente. Así, surge la Construcción Industrializada (CI) como una respuesta innovadora que propone mejoras sustanciales en los procesos constructivos y los Métodos Modernos de Construcción (MMC) como un marco complementario para la implementación efectiva de la CI. Ante la necesidad de transformar y modernizar el sector de la construcción, este documento presenta los hallazgos y recomendaciones de la Guía de MMC, publicada por la Comisión Técnica de Edificación y Construcción (CTEC). El propósito de esta publicación es establecer un lenguaje común que facilite la adopción universal de la CI y MMC, para mejorar la

productividad y sostenibilidad en la industria. Esta guía realiza una revisión de literatura específica y entrevistas tanto a nivel nacional como internacional, para proponer una taxonomía de MMC que integra estrategias clave y habilitadores como el Building Information Modeling (BIM), Lean Management (LM), y Design for Manufacture and Assembly (DfMA).

PALABRAS CLAVE

Métodos Modernos de Construcción; Building Information Modeling; Lean Management; Design for Manufacture and Assembly.

INTRODUCCIÓN

La productividad laboral en Chile ha experimentado un aumento del 20% entre los años 2000 y 2018. Sin embargo, la industria de la construcción no ha mostrado avances considerables, quedando rezagada en comparación con los estándares de países desarrollados y otras industrias (CEIC Data, 2024). Esta situación se atribuye a diversos factores, tales como baja eficiencia de la gestión en diseño y ejecución, adopción limitada de tecnologías, metodologías constructivas anticuadas y falta de mano de obra especializada, entre otros (Matrix Consulting, 2020). En contraste, los países desarrollados han logrado incrementar significativamente la productividad en la construcción mediante la implementación de soluciones tecnológicas e innovación, junto con inversiones en capacitación especializada. Esto ha resultado en una notable mejora en la eficiencia y calidad de los proyectos en comparación con Chile (Chile Construction Market, 2024).

Estudios indican que el sector de la construcción en Chile es poco atractivo para las nuevas generaciones y la fuerza laboral femenina, debido a los bajos niveles de sofisticación tecnológica, salarios reducidos y un entorno de alta demanda física en condiciones riesgosas. Este desinterés se ve reflejado en la dificultad para atraer talento joven y diverso al sector. Además, desde una perspectiva de salud y seguridad, este sector lidera los índices de accidentes laborales en Chile, lo que representa el 15,2% del total nacional (Superintendencia de Seguridad Social Gobierno de Chile, 2022). Esto subraya la necesidad imperiosa de mejorar las condiciones de seguridad y salud laboral en la industria. Asimismo, el sector de la construcción enfrenta el desafío crucial de minimizar su impacto ambiental, tanto a nivel nacional como internacional. La construcción es responsable del consumo del 40% de materias primas, aparte de producir entre el 25% y el 40% de los residuos sólidos, y el 37% de las emisiones globales de CO₂ (World Economic Forum, 2016). En Chile, la eficiencia en el manejo de residuos es notablemente baja, lo que exige acciones urgentes para mejorar la sostenibilidad en el sector. Así, la implementación de prácticas más sostenibles no solo reduciría el impacto ambiental, sino que también podría mejorar la imagen del sector al igual que su atractivo para una fuerza laboral más diversa.

La Construcción Industrializada (CI) ha emergido en Chile como una estrategia clave para abordar la crisis climática y la baja productividad del sector de la construcción. El déficit habitacional en Chile, agravado por la pandemia, asciende a aproximadamente 650,000 viviendas, lo que ha resultado en asentamientos precarios, personas en situación de calle y condiciones de hacinamiento (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2022). Esta crisis habitacional no solo representa un problema social significativo, sino que también pone de relieve la necesidad de mejorar la eficiencia y la calidad de la construcción de viviendas en el país. En 2023, se publicó la Norma Chilena NCh 3744 Instituto Nacional de Normalización (Instituto Nacional de Normalización, 2023), que define la Construcción Industrializada como una forma de construir que busca mejorar el desempeño de la construcción en distintas etapas y áreas de un proyecto, con o sin el uso de prefabricados, con el objetivo de mejorar aspectos como productividad, sostenibilidad, gestión de residuos, salud, seguridad ocupacional, plazos, costos y rentabilidad, entre otros (Consejo de Construcción Industrializada, 2023). El Consejo de Construcción Industrializada (CCI) ofrece una definición similar (Fuentes et al., 2022), complementando con conceptos como el diseño integrado, producción estandarizada, digitalización y metodología BIM. Ambas definiciones coinciden en que la CI implica la estandarización de trabajos, eficiencia en el uso de recursos e integración de diversas tecnologías. A nivel internacional, el concepto de Métodos Modernos de Construcción (MMC) ha surgido para brindar una clasificación más precisa de las estrategias de industrialización. Esto incluye técnicas avanzadas como la construcción modular y el uso de materiales innovadores que mejoran tanto la eficiencia como la sostenibilidad de los proyectos (Consejo de Construcción Industrializada, 2023). Debido a la creciente necesidad de incorporar prácticas sostenibles para mejorar la rentabilidad y productividad frente a una emergente crisis climática global. El objetivo principal de este estudio presentar el contenido y las recomendaciones derivadas de la Guía de Métodos Modernos de Construcción (MMC), publicada inicialmente por la Comisión Técnica de Edificación y Construcción (CTEC) en julio de 2024 (CTEC Innovación en la Construcción, 2024). La intención de difundir este contenido a través de un artículo de conferencia se centra en proporcionar una plataforma para la discusión y el intercambio académico y profesional ampliado, permitiendo una mayor visibilidad y diálogo alrededor de las prácticas recomendadas por la guía. Reconocemos que el contenido del artículo no introduce hallazgos nuevos más allá de los expuestos en la guía original, pero subrayamos su importancia en la promoción de la adopción de prácticas de construcción innovadoras y sostenibles a nivel global. Por tanto, este artículo cumple una función esencialmente divulgativa y educativa, buscando promover el diálogo en conferencias y encuentros profesionales sobre los avances en la construcción industrializada y los métodos modernos de construcción.

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Disclaimer: Este estudio incluye contenido derivado de la Guía de Métodos Modernos de Construcción (MMC), publicada inicialmente por la Comisión Técnica de Edificación

y Construcción (CTEC) en julio de 2024 (CTEC Innovación en la Construcción, 2024). Dado que los autores de este documento participaron en la elaboración de dicha guía, se ha obtenido el permiso correspondiente para su uso en este documento. El método de investigación adoptado por la guía original es mostrado en la Figura 1.

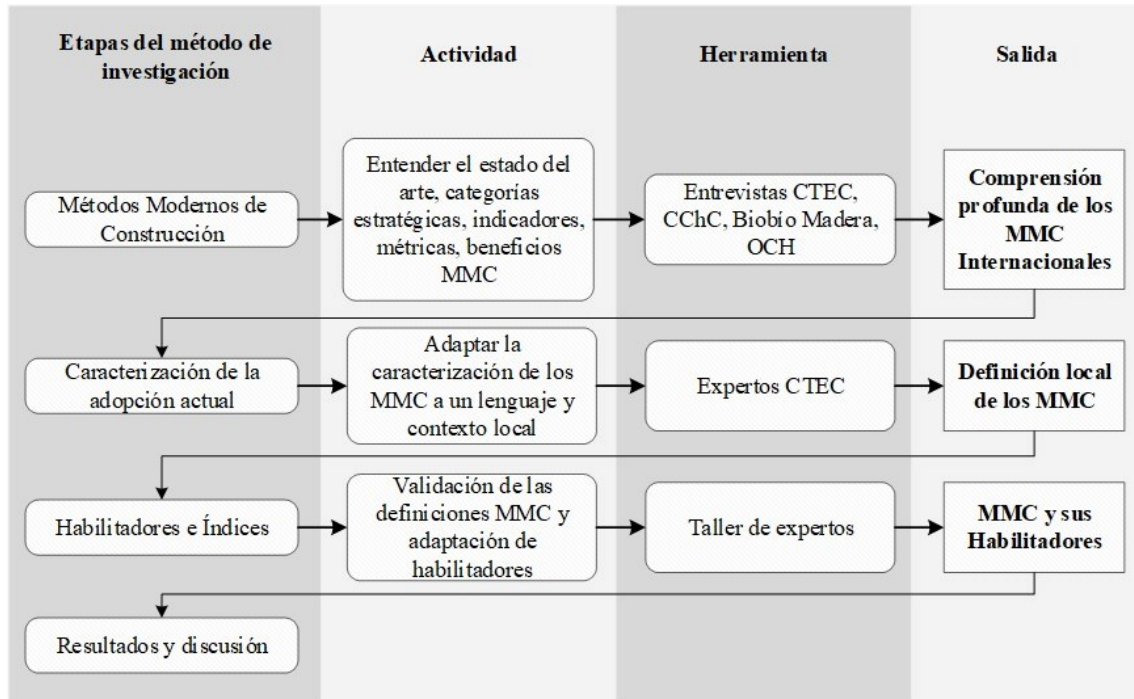


Figura 1. Método de investigación adoptado por la Guía de Métodos Modernos de Construcción (MMC) (CTEC Innovación en la Construcción, 2024).

Este estudio propone establecer una guía para la adopción de la Construcción Industrializada (CI) y MMC para mejorar la productividad y sostenibilidad en la construcción, a través de un método de investigación de cuatro etapas principales. En la primera etapa, se realizó una revisión de literatura orientada para entender el estado del arte los MMC, categorías estratégicas, indicadores, métricas, beneficios percibidos, niveles de adopción y terminologías comunes basadas en referencias internacionales. Además, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con profesionales y expertos del sector para validar y complementar la información obtenida de la literatura. En la segunda etapa, se caracterizó la adopción actual de los MMC internacionales a nivel local, por medio de la revisión de estudios y reportes de adopción de MMC en diversos países. También se identificaron los niveles de adopción y los impactos observados en el contexto de productividad y sostenibilidad. En la tercera etapa, se identificaron los habilitadores o metodologías de colaboración para la implementación efectiva de CI. Además, se validó la adopción de los MMC a un contexto local por medio de un taller con 14 expertos y profesionales en el campo de la Construcción Industrializada, con el fin de asegurar la relevancia y aplicabilidad de tanto de los habilitadores como de los MMC. Estos profesionales contaban con experiencia en la aplicación y adopción de los métodos de construcción y construcción industrializada. Finalmente, se identifican los Índices de medición para la CI, basada en la revisión de estudios previos, planes y códigos de trabajo internacionales para evaluar la adopción y el desempeño de la CI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MÉTODOS MODERNOS DE CONSTRUCCIÓN

La Tabla 1 presenta las siete categorías estratégicas de los Métodos Modernos de Construcción identificados, a partir de lo presentado en la Asociación Española de Construcción Industrializada (OCH) (Asociación Española de Construcción especializada, 2023) y las fuentes británicas desde donde surge el concepto inicialmente. Esta clasificación fue ajustada al contexto nacional y complementada con una descripción adecuada a conceptos y terminología local.

Tabla 1. Clasificación de Métodos Modernos de Construcción.

Id	Clasificación	Descripción
MMC ₁	Módulos Estructurales 3D	Elementos volumétricos Espaciales (3D) que forman parte del sistema estructural, fabricados en condiciones controladas previo a su instalación.
MMC ₂	Componentes Estructurales 2D	Elementos planos (2D) estructurales como losas, muros y/o techumbre de diversos materiales, que son fabricados en ambientes controlados y que se ensamblan entre ellos o se montan junto a elementos en obra para aportar al sistema estructural.
MMC ₃	Componentes Estructurales 1D	Partes o componentes estructurales prefabricados que se montan y conectan en obra para formar parte del esqueleto estructural soportante de un proyecto.
MMC ₄	Componentes Aditivos	Componentes aislados que pueden ser o no estructurales, que forman parte de los sistemas constructivos de un proyecto y son fabricados mediante procesos de impresión tridimensional y/o manufactura aditiva
MMC ₅	Prefabricados no Estructurales	Componentes prefabricados (unidades volumétricas, panelizados o elementos aislados) que no aportan resistencia estructural al proyecto.
MMC ₆	Partes y Piezas Sustitutivas	Elementos, partes y piezas que adelantan faenas en obra y reducen los recursos utilizados en los procesos constructivos, ya sea por su fácil ensamblaje y montaje o por su eficiencia ante los requerimientos de un proyecto.
MMC ₇	Tecnologías Sustitutivas	Tecnologías para mejorar los procesos contributivos y constructivos en sitio. El trabajo fuera de sitio es prácticamente nulo, ya que se aplican en obra herramientas digitales y tecnologías que brindan mejoras productivas, facilitan y/o sustituyen procesos tradicionales.

Estas siete categorías de estrategias comprenden los MMC que representan soluciones constructivas que permiten modernizar los proyectos de edificación e infraestructura a enfoques más eficientes y sustentables. Estos métodos se destacan por la naturaleza dinámica y evolutiva que han presentado a lo largo del tiempo. Los Módulos Estructurales 3D MMC₁, son presentados en diversas variantes que pueden adaptarse a diferentes necesidades constructivas. Estas variantes incluyen desde el básico armazón estructural tridimensional hasta opciones más completas que incorporan terminaciones interiores y revestimientos externos. Estos elementos modulares 3D se pueden utilizar en varias configuraciones, desde sistemas de edificación completa hasta construcciones híbridas que combinan partes sistematizadas con otras tradicionales. Además, se pueden emplear

para estructuras secundarias que mejoren el rendimiento del sistema principal. Los Componentes Estructurales 2D MMC₂ permiten adaptar cada componente a las necesidades específicas del proyecto mediante diversas variantes en dos dimensiones. Desde un diseño elemental que consta únicamente de un armazón estructural básico, como un tabique prefabricado, pasando por opciones mejoradas que incorporan aislamiento y revestimientos internos, hasta llegar a elementos completamente terminados que, además de aislamiento y revestimientos, están equipados con puertas y ventanas, lo cual facilita una construcción eficiente y de alta especificación.

Los Componentes Estructurales 1D MMC₃, son elementos de 1 dimensión ensamblados en obra para formar la estructura soportante del proyecto, estos pueden incluir variaciones como pilotes, cepas, vigas de amarre, columnas, vigas, escaleras, estructuras de techo como cerchas, y fundaciones prefabricadas, entre otras. Los Componentes Aditivos MMC₄, pueden incluir variantes de componentes estructurales o no estructurales, cuya construcción está ejecutada bajo principios de fabricación aditiva o impresión 3D. Los Prefabricados no Estructurales MMC₅ están enfocados a prefabricados sin una contribución a la resistencia estructural del proyecto y pueden variar ampliamente según su función y diseño. Estos incluyen módulos completos para baños, cocinas y quinchos, todos con su estructura propia de cerramiento y soporte, así como módulos combinados que integran ambas funciones. También se cuenta con módulos especializados para alojar equipos centrales de ventilación, salas de calderas y electricidad. Adicionalmente, hay componentes como fachadas no estructurales que incorporan ventanas y revestimientos, secciones de techo diseñadas para soportar su propio peso, sistemas completos para infraestructura de climatización, aguas y electricidad, así como componentes de piso y de subdivisión que incluyen instalaciones y terminaciones.

Con respecto a los Partes y Piezas Sustitutivas MMC₆, sus variantes incluyen productos diseñados para paredes externas e internas, terminaciones de techo y otros componentes tradicionales que vienen predimensionados y/o cortados a medida. Además, se ofrecen productos caracterizados por su facilidad de instalación, ensamblaje y unión, con el propósito de eficientar la construcción en terreno, como por ejemplo escaleras precolgadas o sistemas de montaje de paneles tipo clip. Los Tecnologías Sustitutivas MMC₇, contienen variantes en medidas de protección del sitio, tecnologías inmersivas como realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR), además, de incorporar tecnologías que aumentan las capacidades físicas de los trabajadores, como exoesqueletos y sistemas de distribución asistida de materiales. El uso de robótica y drones en diversos procesos de construcción, también forman parte de este MMC.

Así, los MMC pueden ser orientados de acuerdo con su aporte a la resistencia estructural del edificio. Los MMC₁ al MMC₃, y de manera opcional el MMC₄, corresponden a soluciones estructurales del proyecto, mientras que MMC₅, MMC₆ y MMC₇ son soluciones que no aportan al desempeño estructural del proyecto. Otra forma de clasificar los MMC es según el nivel de prefabricación fuera del sitio. Las categorías del MMC₁ al MMC₅ se refieren a soluciones que se fabrican principalmente en plantas industrializadoras, cerca del lugar de construcción o incluso en talleres de fabricación dispuestos en la misma obra. En cambio, los MMC₆ y MMC₇ se centran en soluciones y procesos que se llevan a cabo mayoritariamente en el sitio de construcción. Además, en términos generales, estos métodos se pueden organizar en función de la cantidad de horas

de trabajo fuera del sitio siendo el MMC₁ el que implica la mayor intensidad de trabajo fuera del sitio.

CARACTERIZACIÓN DE LA ADOPCIÓN ACTUAL DE LOS MMC A NIVEL INTERNACIONAL

El término MMC no es reciente ni procedente de Chile. Se originó en países líderes en la industrialización, donde ha sido adoptado, desarrollado y perfeccionado durante varias décadas. En los últimos años, su implementación ha estado dirigida principalmente a abordar la escasez de viviendas y a enfrentar los desafíos de productividad en el sector de la construcción. Entre los principales referentes internacionales, Reino Unido destaca como pionero en la instauración del término MMC. El uso de métodos para mejorar aspectos de productividad, tiempos y costos de construcción se remonta a la posguerra, con lo cual se impulsó la implementación de los primeros programas de viviendas "no tradicionales", y tuvo como resultado la entrega de aproximadamente 450,000 viviendas para 1950 (Avenue & Keynes, 2016). Sin embargo, informes como el de MACE (2018) demuestran que, a pesar de la capacidad instalada desde la posguerra, el sector de la construcción no ha experimentado un aumento significativo en su productividad en comparación con otras industrias. Para enfrentar esta situación y abordar el déficit habitacional, en 2019 propone una redefinición y clasificación clara de los MMC, con lo cual se buscó proponer múltiples soluciones desde la prefabricación fuera de sitio hasta técnicas innovadoras in situ (National House Building Council (NHBC), 2022). Así, a principios de 2023, el Reino Unido avanza en la normalización de los MMC a través del British Standard Institution (BSI) para fomentar la innovación en la construcción de viviendas. Con este propósito, se está elaborando la norma PAS 8700, que establecerá los estándares recomendados para el uso de los MMC en viviendas y definirá los procesos de aseguramiento de calidad (Fire Protection Association (FPS), 2023).

En España, el presidente de la Asociación Española de Construcción Industrializada (OCH) señala que, “a pesar de la quinta revolución industrial (incorporación de la tecnología y robótica), la construcción sigue usando métodos pre-industriales. Frente a este retraso, se busca catapultar al sector a través de la industrialización y empujarlo hacia una industria 4.0, y así prepararlo para los desafíos futuros mediante el diseño colaborativo, alcance de industrialización y uso de MMC” (Santos de Paz, 2021). Los MMC, son presentados como métodos constructivos evolucionados y enfocados en maximizar la eficiencia de los recursos, mediante la integración temprana de las diversas disciplinas que incluyen manufactura y montaje. Así, para mejorar el entendimiento y aplicación de los métodos, la OCH propone siete categorías ordenadas de forma descendente con relación a la cantidad de horas productivas fuera de sitio y a la reducción de residuos en obra (Asociación Española de Construcción especializada, 2023).

A nivel latinoamericano, en el año 2013, nace el Instituto dedicado a la industrialización de las edificaciones en Brasil (ITIE), el cual promueve la construcción industrializada por medio de los MMC. Según el presidente del instituto, “la CI es un mercado completamente distinto al de la construcción tradicional, enfocándose en satisfacer las necesidades de los consumidores y superando los prejuicios de la academia y del ámbito técnico convencional”. De esta manera, el instituto se especializa en la construcción fuera de sitio, con lo cual provee ventajas en términos de sostenibilidad, confiabilidad,

eficiencia productiva y creatividad, además de promover el concepto de inteligencia multi-constructiva como solución a los problemas del sector. El centro sirve como enlace para la integración de soluciones tecnológicas, por medio de capacidades adaptativas, sostenibles, flexibles y centradas en el consumidor (Instituto de tecnologías de industrialização das edificações (ITIE), 2023).

El término MMC se ha implementado en varios países desde hace años, con tasas de adopción superiores al 20% anual en la construcción de viviendas en lugares como Suecia y Singapur (Ver Figura 2) (Source Savills Research using CITB et al., 2022). Además, en el sector privado, empresas multinacionales como WSP (2023) y ARUP (2019) apoyan y expanden el uso de los MMC, ofreciendo métodos de trabajo y asesorías para su implementación en proyectos de edificación e infraestructura, lo que sugiere que el término seguirá ganando popularidad en los próximos años.

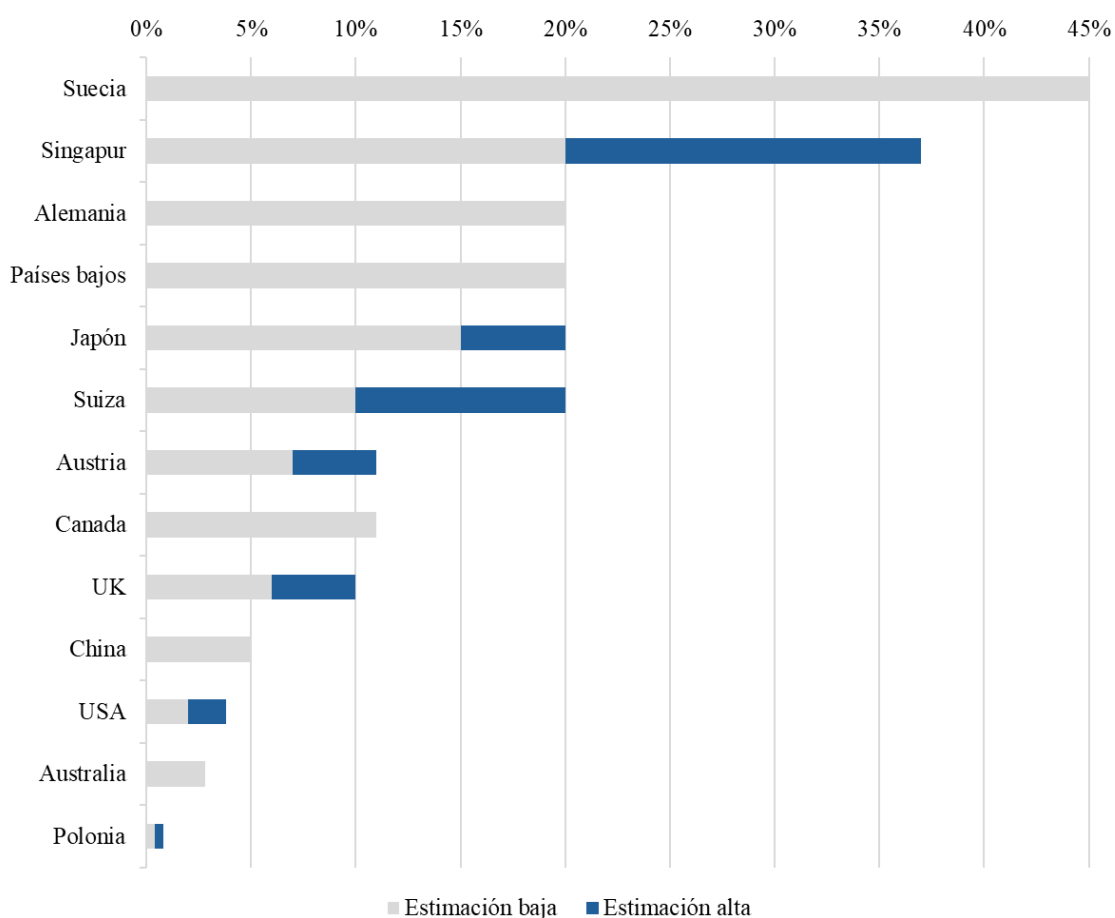


Figura 2. Nivel de adopción de MMC en el mundo: Proporción de viviendas construidas con MMC anualmente por país. Adaptado de Source Savills Research using CITB et al., (2022).

En Chile, al igual que en referentes internacionales, han surgido iniciativas para promover la CI y los MMC como alternativas a los métodos tradicionales de construcción. Estas iniciativas tienen como objetivo mejorar la productividad y los indicadores ambientales, económicos y sociales. Desde el sector privado, el Consejo de Construcción

Industrializada (CCI), fundado en 2017 como parte del programa Construye2025 de Corfo, se dedica a fomentar la industrialización en la construcción a nivel nacional. El CCI, junto con la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), centra sus esfuerzos en impulsar el desarrollo de la industria para mejorar la productividad y la sostenibilidad, organizando webinars, talleres, encuentros, concursos, ferias y otras actividades de networking para promover la CI. En el ámbito público, liderado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (DITEC) (2024), se han implementado programas, normas y resoluciones que apoyan la transformación del sector. Sobresale el Plan de Emergencia Habitacional, que fomenta la mejora en los procesos de producción de viviendas de interés público mediante la incorporación de tecnología e innovación, fomentando la construcción industrializada. Además, se han desarrollado normativas como la NCh 3744 of. 2023 y proyectos de ley que respaldan la CI.

A nivel regional, se ha lanzado la iniciativa multisectorial 'Biobío Madera', un Programa Estratégico Regional (PER) de Corfo centrado en Métodos Modernos de Construcción sostenible en madera. Este programa aborda cuestiones como la descarbonización y la circularidad, destacando el potencial de la madera como material de construcción sostenible. Estudios respaldan que la madera puede mitigar significativamente el impacto ambiental y social en comparación con el hormigón armado y el acero. Así, la implementación de los MMC en los proyectos permite abordar diversas problemáticas inherentes al sector de la construcción en diferentes ámbitos. La elección de los métodos a emplear determina la capacidad para mejorar varios indicadores como: costos, generación de residuos, emisiones de CO2, productividad y seguridad, entre otros aspectos relevantes. En el Reino Unido, la adopción de Design for Manufacture and Assembly (DfMA) y diseño integrado es clave para el uso de los MMC. La evidencia muestra resultados positivos en rentabilidad, sostenibilidad ambiental y social, y eficiencia, con ahorros en costos de construcción de entre 20% y 40% (Ver Figura 3).

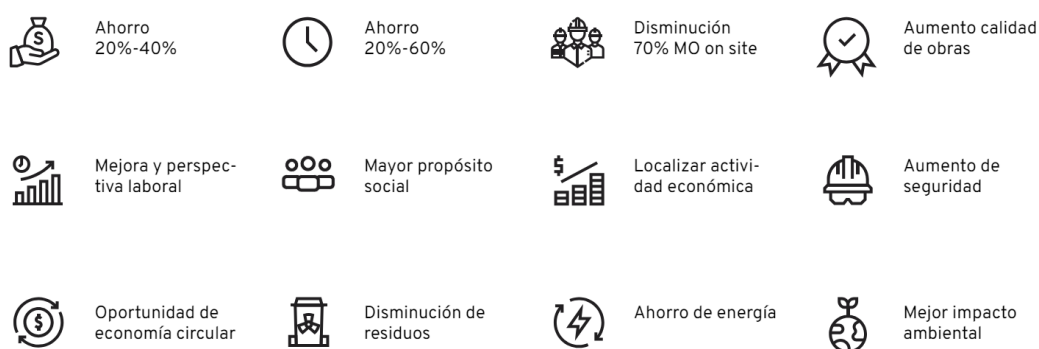


Figura 3. Indicadores, métricas y beneficios percibidos a nivel nacional relacionados a la productividad, el ámbito social y la sustentabilidad medio ambiental. Tomado de (CTEC Innovación en la Construcción, 2024).

A nivel nacional, Idiem y PMG Business Improvement (2018) compararon viviendas similares que utilizaron CI y viviendas construidas con sistemas tradicionales de albañilería. El estudio mostró una reducción de 40% a 75% en los plazos de construcción y un aumento de 48% a 127% en la productividad durante la obra gruesa (Ver Figura 4).



Figura 4. Indicadores, métricas y beneficios percibidos a nivel nacional relacionados a la productividad, el ámbito social y la sustentabilidad medio ambiental. Tomado de (CTEC Innovación en la Construcción, 2024).

PRINCIPALES HABILITADORES DE LOS MMC

La Tabla 2 presenta los principales habilitadores de los Métodos Modernos de Construcción, los cuales fueron identificados por medio de la revisión de literatura guiada y específica. Esto proporciona un conjunto de tecnologías, métodos y prácticas que abarcan desde el diseño hasta la operación, y ayudan a la implementación exitosa de los MMC.

Tabla 2. Principales habilitadores de los Métodos Modernos de Construcción.

Id	Habilitador	Descripción
DfMA	Design for Manufacture and Assembly	Filosofía de diseño y metodología, perteneciente a la industria manufacturera por décadas. Por medio de este, se busca introducir soluciones y procesos en el diseño de proyectos, para facilitar la fabricación y el montaje de partes y piezas (Tan et al., 2020).
BIM	Building Information Modeling	Conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que facilitan el diseño, la construcción y la operación de un proyecto de manera colaborativa en un entorno virtual (Planbim, 2019). La combinación de estas características posibilita el trabajo temprano y en equipo, lo que agrega valor a los procesos de la industria de la construcción.
LM	Lean Management	Cultura de gestión originada en la industria automotriz japonesa con Toyota, enfocada en optimizar los procesos eliminando pérdidas que causan retrasos y reprocesos en los flujos de trabajo.

La integración de los métodos debe darse desde etapas tempranas en los procesos de desarrollo de los proyectos, por medio de habilitadores o metodologías de trabajo colaborativo como: Building Information Modeling (BIM); Diseño para Manufactura y Montaje (DfMA); y Lean Construction, entre otras. Estos habilitadores o metodologías ayudan a orientar y facilitar la aplicación efectiva de los MMC, con lo cual se resalta la necesidad de contar con capital humano capacitado para integrar CI desde las primeras fases de los proyectos. Estos habilitadores consideran aspectos de: integración temprana, sistemas de trabajo colaborativo, metodologías de optimización de procesos, liderazgo,

coordinación y entrenamiento de las personas. En conjunto con estos habilitadores, para la CI es necesario llevar a cabo un trabajo colaborativo y la integración temprana de todos los colaboradores del proyecto. Las decisiones importantes en relación con qué solución o MMC se utilizará, deben tomarse en cuenta desde el inicio del proyecto y para esto es necesario pensar de una manera distinta a la habitual, lo que es posible gracias a las personas o agentes habilitadores del cambio.

En el Reino Unido y a nivel nacional, se han identificado algunas razones causales de la baja adopción de CI y MMC en la industria como: capacidades limitadas de las cadenas de suministro; desconocimiento sobre nuevas soluciones; escasez de talento y capacitaciones; y falta de aprobación de soluciones por parte de entidades públicas, entre otras (Bassi et al., 2021). Así, la importancia tanto de detectar el talento facilitador de implementaciones orientadas a la industrialización como de fomentar la capacitación se han abordado desde las altas gerencias hacia los cargos operativos de las organizaciones, además, de detectar y gestionar las resistencias en los equipos. De esta forma es posible capacitar y potencializar las capacidades ya instaladas, para promover la transición hacia el uso de MMC. En 2021, el CCI definió los roles y responsabilidades de capital humano para impulsar y habilitar la CI. Con esta estructura se busca ayudar a las instituciones y empresas a comprender la capacidad instalada y la necesaria para fomentarla. También sirve para dar un lineamiento a las instituciones de educación sobre su incorporación en los programas de estudio, así como promover un lenguaje común en torno a la industrialización. Para esto, se definieron cinco roles y experiencias en CI de acuerdo con la función que se debe ejercer en cada etapa del ciclo de vida de un proyecto. Estos abordan desde el liderazgo estratégico hasta la coordinación, revisión y ejecución de los procesos con enfoque en industrialización (Ver figura 5) (Consejo Construcción Industrializada, 2021).



Figura 5. Habilidades, niveles de conocimiento y Roles CI. Tomado de (CTEC Innovación en la Construcción, 2024).

La Figura 6 presenta en qué momento del ciclo de vida de un proyecto, los distintos actores involucrados, incluido el MMC Adviser, deberían comenzar a ser parte de un proyecto (Royal Institute of British Architects (RIBA), 2021). La matriz está organizada por categorías MMC y fases del plan RIBA. Por un lado, las secciones de color azul

oscuro indican, de manera secuencial, el período recomendado para el nombramiento de los miembros del equipo de proyecto, desde las etapas más tempranas hasta las más tardías. Por otro lado, las secciones en azul claro muestran la duración típica de dichos nombramientos para las distintas partes involucradas.

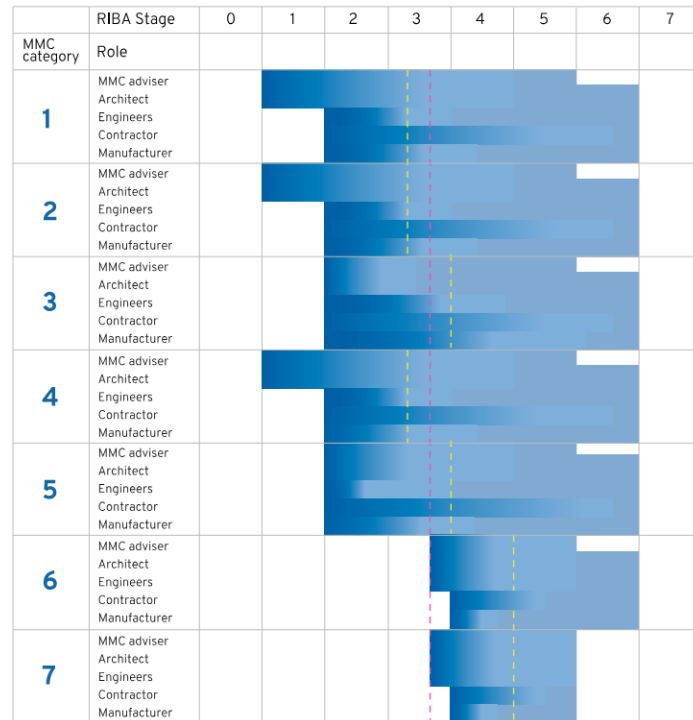


Figura 6. Matriz de habilidades, niveles de conocimiento e involucramiento de los Roles CI. Tomado de (CTEC Innovación en la Construcción, 2024).

La ventana de oportunidad para tomar decisiones varía según la categoría de MMC considerada. Por ejemplo, los sistemas de revestimiento de gran formato MMC₆ pueden ser seleccionados durante la fase RIBA 4, mientras que las soluciones de MMC₁ requieren ser consideradas ya desde la fase RIBA 2 para evitar rediseños costosos y retrasos en el programa. Además, la Figura 5 incluye una línea de puntos rosa que cruza la Fase 3, esta línea simboliza la solicitud de planificación en dos etapas, la cual puede presentarse en cualquier punto durante esta fase. La línea de puntos amarillos, por su parte, marca el punto de congelación del diseño, crítico para maximizar el valor de las soluciones offsite. Así, se considera que la participación de cada actor de un proyecto posee un tiempo determinado y un período óptimo de incorporación, los cuales están en función del tipo de MMC abordado. A su vez, en cada caso se determina la etapa o límite de tiempo donde el diseño debe ser cerrado y consensuado para lograr el mayor valor agregado al proyecto.

ÍNDICES DE MEDICIÓN PARA LA CI

Por medio de la revisión de estudios previos, planes y códigos de trabajo internacionales se identifican índices representativos para la medición para la CI. Estos desempeñan un papel crucial, ya que permiten evaluar los métodos implementados, por medio de la

medición de su impacto en la eficiencia del proyecto. Con lo cual es posible construir una herramienta valiosa para los profesionales del sector y los tomadores de decisión.

PRE MANUFACTURED VALUE (PMV)

Utilizado en el Reino Unido corresponde al valor porcentual entre los costos totales de construcción, menos todos los costos asociados a trabajos en obra y dividido en el costo total. Este indicador nace del Construction Leadership Council Housing Industry Metrics (CLC) de Reino Unido, y mide la proporción de construcción que ocurre offsite versus la que ocurre onsite a través de los costos asociados. El CLC determina que para tener un PMV superior al de la construcción tradicional, se deben superar los 40 puntos porcentuales (Royal Institute of British Architects (RIBA), 2021).

CONSTRUCTABILIDAD Y DISEÑO EDIFICABLE O DISEÑO CONSTRUIBLE

El gobierno de Singapur ha implementado dos conceptos clave, el diseño construible y la Constructabilidad, para elevar la productividad en proyectos de construcción. Estos conceptos establecen un estándar mínimo para la obtención de permisos de construcción a través de puntajes (Building and Construction Authority, 2019). El diseño construible evalúa los proyectos según la eficiencia de su diseño para la construcción, mientras que la Constructabilidad es un enfoque más amplio que valora la integración de prácticas constructivas efectivas en todas las etapas del proyecto, incluyendo diseño, logística y montaje.

BUILTREADY

Certificación de Nueva Zelanda, introducida en 2023, que se basa en el código de construcción para componentes modulares prefabricados. Esta certificación asegura que el diseño y la fabricación de los elementos cumplen con los estándares requeridos, fomentando así la construcción fuera del sitio (Building Performance New Zealand, 2023). En Chile, el CCI está desarrollando un Manual de Constructabilidad a través de un esfuerzo colaborativo. Este manual, que se basa en los documentos del Índice de Industrialización, y está orientado a mejorar la aplicabilidad de la Constructabilidad en proyectos nacionales.

CONCLUSIONES

Es importante destacar que el presente estudio no pretende introducir diferencias significativas ni nuevas contribuciones respecto a lo ya publicado en la Guía de Métodos Modernos de Construcción (MMC) por la Comisión Técnica de Edificación y Construcción (CTEC). El objetivo principal de este trabajo es divulgar los hallazgos y recomendaciones de la Guía en un formato académico que facilite su comprensión y discusión en un contexto más amplio, permitiendo así su adopción y aplicación en distintos entornos dentro de la industria de la construcción. De este modo, el documento actúa como un puente entre la guía original y la comunidad académica, para promover un lenguaje común que impulse la adopción de la CI y los MMC para mejorar la productividad y sostenibilidad en la industria.

Así, los resultados de la guía presentan cuatro principales contribuciones teóricas. Primera, por medio de una revisión de literatura dirigida y entrevistas a profesionales pertenecientes a entidades y organizaciones internacionales se identificaron siete Métodos Modernos de Construcción: módulos estructurales 3D; componentes estructurales 2D; componentes estructurales 1D; componentes aditivos; prefabricados no estructurales; partes y piezas sustitutivas; y tecnologías sustitutivas. Segunda, se enfocó a la caracterización de la adopción actual de los MMC a nivel internacional. Clarificar y sistematizar los términos y conceptos asociados con los MMC y la CI, es esencial para la difusión y comprensión uniforme de estos métodos a nivel global. Además, proporciona una base conceptual sólida para futuras investigaciones en el ámbito de la construcción sostenible y eficiente. Tercera, se identificaron los principales habilitadores de los MMC. Estas tecnologías, metodologías y prácticas que abarcan desde el diseño hasta la operación, y ayudan a la implementación exitosa de los MMC. Así, esta investigación propone un lenguaje común referencia que facilita la adopción de los MMC en la industria de la construcción, en conjunto con la identificación de categorías estrategias y habilitadores claves que pueden ser implementados por las empresas para mejorar sus procesos constructivos. Cuarta, se orientó a identificar índices representativos para la medición de la CI. Estos permiten una evaluación objetiva y continua del grado de adopción de los MMC, para promover una mejora constante y sostenible en la práctica constructiva.

A pesar de los importantes hallazgos, este estudio enfrenta ciertas limitaciones. Primero, la recopilación de datos estuvo limitada a fuentes especializadas en los MMC, lo que podría no reflejar completamente la diversidad y las particularidades de la adopción de los MMC en el contexto nacional. Segunda, se incluyeron únicamente profesionales y organizaciones promotoras de la Construcción Industrializada, para el levantamiento de información relevante local, dejando de lado industrias afines a la construcción. Incluir otras industrias similares podría enriquecer la terminología adaptada al contexto nacional. Así, futuras investigaciones podrían enfocarse en estudios de caso específicos que analicen la adopción de los MMC en diferentes contextos regionales y culturales, para ofrecer una visión más detallada y contextualizada. Además, será beneficioso investigar el impacto a largo plazo de la implementación de los MMC en la sostenibilidad y rentabilidad de los proyectos de construcción, para proporcionar datos empíricos que validen y refinen las estrategias y habilitadores propuestos. Finalmente, explorar nuevas tecnologías emergentes en el ámbito de los MMC y su integración con prácticas de construcción sostenible podría abrir nuevas oportunidades para innovaciones futuras en la industria.

REFERENCIAS

- ARUP. (2019). *How Modern Methods of Construction can deliver “more” through the planning system.*
- Asociación Española de Construcción especializada. (2023). *Guía de la industrializada construcción.* www.rabuso.com

- Avenue, D., & Keynes, M. (2016). *Modern methods of construction: views from the industry*. NHBC Foundation.
- Bassi, R., Dunster, A., Miller, J., Noonan, K., & Quarry, R. (2021). *Benefits of Modern Methods of Construction in Housing*.
- Building and Construction Authority. (2019). *Code of Practice on Buildability*.
- Building Performance New Zealand. (2023). *BuiltReady*. Building Performance New Zealand
- CEIC Data. (2024, April 24). *Chile Labour Productivity Growth*. CEIC Data. <https://www.ceicdata.com/en/indicator/chile/labour-productivity-growth>
- Chile Construction Market. (2024, April 28). *Chile Construction Market Size, Trends, and Forecasts by Sector - Commercial, Industrial, Infrastructure, Energy and Utilities, Institutional and Residential Market Analysis, 2024-2028*. Research and Markets. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5625087/chile-construction-market-size-trends-and>
- Consejo Construcción Industrializada. (2021). *Definición de una matriz de roles y capacidades del capital humano para la construcción industrializada*.
- Consejo de Construcción Industrializada. (2023, October 23). *NCh3744: Términos y definiciones claras de construcción industrializada*.
- CTEC Innovación en la Construcción. (2024). *GUÍA MMC Introducción a los Métodos Modernos de Construcción*.
- Fire Protection Association (FPS). (2023). *Development of new standards for MMC commissioned by government*. <https://www.thefpa.co.uk/news/development-of-new-standards-for-mmc-commissioned-by-government>.
- Fuentes, M., Vásquez, A., Ortega, J., Pulgar, P., Bertín, D., & Sepúlveda, Í. (2022). *Metodología para la construcción industrializada*.
- Idiem y PMG Business Improvement. (2018). *Acompañamiento Proyecto Construcción Industrializada*.
- Instituto de tecnologias de industrializaçãõ das edificações (ITIE). (2023). *repórter construaçõ off-site, um novo mercado de base tecnologica*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2023). *Norma Chilena NCh 3744*.
- Matrix Consulting. (2020). *Impulsar la productividad de la Construcción a estándares mundiales*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2022). *Plan de Emergencia Habitacional*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (DITEC). (2024). *Construcción Industrializada*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (DITEC). <https://www.minvu.gob.cl/ditec/>
- National House Building Council (NHBC). (2022). *Trust and Productivity The private sector construction playbook*.

Planbim. (2019). *Estándar BIM para Proyectos Públicos* (Vol. 1).

Royal Institute of British Architects (RIBA). (2021). *DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work Mainstre Aming Design for Manufacture and Assembly in Construction*.

Santos de Paz. (2021). *Construcción industrializada*.
<https://Www.Interempresas.Net/Construccion-Industrializada/Articulos/357676-Entrevista-a-Luis-Fernandez-Presidente-de-Offsite-Construction-Hub-OCH.Html>.

Source Savills Research using CITB, UC Berkeley Turner Center for Housing Innovation, RICS, Association of German Prefabricated Building Manufacturers, Roland Berger, US Census Bureau, Canadian Manufactured Housing Institute, US Modular Building Institute, Boston Consulting Group, Chinese Department of Energy Conservation, Science & Technology, Singapore Housing & Development Board, & McKinsey. (2022). *A modern approach to construction*.
<https://www.savills.com/impacts/technology/why-modern-methods-of-construction-are-a-good-fit.html#:~:text=The%20use%20of%20MMC%20varies,%2C%20it%E2%80%99s%20close%20to%2080%25>

Superintendencia de Seguridad Social Gobierno de Chile. (2022). *Estadísticas de la Seguridad Social 2022*. SUSESO. <https://www.suseso.cl/608/w3-article-708568.html>

Tan, T., Lu, W., Tan, G., Xue, F., Chen, K., Xu, J., Wang, J., & Gao, S. (2020). Construction-Oriented Design for Manufacture and Assembly Guidelines. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(8).
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001877](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001877)

World Economic Forum. (2016). *Environmental Sustainability Principles for the Real Estate Industry*. www.weforum.org

WPS. (2023). *Delivery using Modern Methods of Construction*.
<https://www.wsp.com/en-gb/hubs/modern-methods-of-construction>