

Proyecto apoyado por

CORFO

GUÍA MMC

*Introducción a los Métodos
Modernos de Construcción*

Desarrollado por

Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción / CTEC

Editores

Carolina Briones, directora ejecutiva CTEC

Verónica Oyarzún, gerente Nuevos Negocios CTEC

Daniela Vásquez, gerente general Construye Zero

Karla Quintana, jefa de Proyectos CTEC

Lukas Bais, coordinador de Proyectos CTEC

Frane Zilic, gerente Programa Estratégico Regional Biobío Madera

María de los Angeles Aguirre, jefa de Comunicaciones CTEC

Diseño Gráfico

María José Cid, diseñadora

Flavia Eloy, diseñadora CTEC

contacto@ctecinnovacion.cl

www.ctecinnovacion.cl

Santiago, Chile, mayo 2024

CONTENIDO

1	SECTOR CONSTRUCCIÓN	10
2	CONTEXTO NACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA	12
3	¿QUÉ SON LOS MÉTODOS MODERNOS DE CONSTRUCCIÓN (MMC)?	14
4	ADOPCIÓN DE LOS MMC A NIVEL INTERNACIONAL	28
5	ADOPCIÓN DE LOS MMC EN CHILE	32
6	¿POR QUÉ UTILIZAR LOS MMC?	34
7	HABILITADORES	38
8	ROLES PARA LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA (CI)	42
9	ÍNDICES DE MEDICIÓN PARA LA CI	46

ENTIDADES INVOLUCRADAS Y COLABORADORES

Esta guía ha sido elaborada por el Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción (CTEC) y Biobío Madera, junto al Comité de Productividad de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) como socio estratégico.

Para el levantamiento de información relevante, validación de definiciones y alcances locales, se convocaron a profesionales y organizaciones promotoras de la Construcción Industrializada.

Se contó con la colaboración de profesionales pertenecientes a entidades y organizaciones nacionales e internacionales ligadas al sector, quienes participaron de entrevistas guiadas:

Tatiana Martínez

Gerenta general de Hormipret y Past
President del Consejo de Construcción
Industrializada (CCI)
/ Chile

Marcos Brito

Gerente del Programa Construye2025
/ Chile

Beda Barkokebas

Docente de la Pontificia Universidad
Católica
/ Chile

Luis Fernández

Director de Industrialización
de Viuda de Sainz y Presidente
Asociación Española de
Construcción Industrializada (OCH)
/ España

Gilberto de Freitas

Director General del Instituto de
Tecnologías de Industrialización de
las Edificaciones
/ Brasil

Además, se trabajó con profesionales del ecosistema nacional para consolidar y validar las definiciones descritas en este documento:

Francisco Costabal

Presidente de la Comisión de Productividad / CChC

Frane Zilic

Gerente Programa Estratégico Regional de Métodos Modernos de Construcción Sostenible en Madera / Biobío Madera

Eduardo Hernández

Jefe de Innovación y Desarrollo / CChC

Erwin Navarrete

Director de la Escuela de Ingeniería en Construcción / Universidad Autónoma Temuco

Geraldine Meneses

Coordinadora de proyectos de Sostenibilidad Ambiental y Productividad / CDT

José Luis Jiménez

Líder de Productividad / CDT

Leonardo Caamaño

Coordinador de proyectos de Industrialización y Sustentabilidad / CDT

Marcos Brito

Gerente del Programa Construye2025 / Chile

Mikel Fuentes

Líder de Innovación y Economía Circular / Desarrollos Constructivos Axis

Nayib Tala

Asesor Externo / Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Janen Calle

Gerente del Programa Industrializa / CDT

Carolina Briones

Directora Ejecutiva / CTEC

Verónica Oyarzún

Gerente de Nuevos Negocios / CTEC

Jessica Barrueto

Técnico Especificador / Cintac

PROPÓSITO DE ESTA GUÍA

En el complejo entorno económico nacional y en la emergente crisis climática global, la industria de la construcción enfrenta desafíos de gran magnitud, ya que debe incrementar su productividad y rentabilidad, y al mismo tiempo debe incorporar prácticas más sostenibles. Esta coyuntura demanda una transformación radical en la metodología de diseño, construcción y operación del entorno construido.

Es imperativo que el sector evolucione hacia un paradigma de construcción industrial, que permita minimizar el impacto ambiental, incrementando los beneficios sociales y económicos para asegurar la sostenibilidad de la construcción. Este cambio permitirá dejar atrás el modelo lineal basado en la premisa de la disponibilidad ilimitada de recursos, para pasar a un modelo de economía circular.

En este contexto surge la Construcción Industrializada (CI) como una respuesta innovadora que propone mejoras sustanciales en los procesos constructivos. Este enfoque tiene como finalidad optimizar los plazos de ejecución, racionalizar el uso de recursos, minimizar la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), elevar la calidad de las edificaciones, crear mejores condiciones laborales y atraer a las nuevas generaciones de trabajadores, entre otros beneficios significativos.

A nivel internacional, se está difundiendo el concepto de Métodos Modernos de Construcción (MMC), que no pretende sustituir el concepto de CI, sino complementarlo creando una taxonomía de estrategias. Los MMC ofrecen un marco para la implementación efectiva de la CI en proyectos diversos, a través de la selección de una o varias de sus siete categorías, para ajustarse a los objetivos específicos, variables y oportunidades de optimización que cada proyecto presenta. Estas innovaciones, ya en práctica en países como Reino Unido y España, tienen el potencial de reducir significativamente la huella ambiental, incrementando la eficiencia, la seguridad y la calidad constructiva.

En resumen, esta guía tiene como finalidad establecer un lenguaje común y una terminología en torno a los MMC, basada en la referencia internacional, con el propósito de aclarar términos para facilitar su aplicabilidad en los proyectos.

SECTOR CONSTRUCCIÓN

Entre 2000 y 2018, la productividad laboral en Chile aumentó un 20%, no obstante, la industria de la construcción no mostró avances considerables, quedando rezagada respecto a los estándares de países desarrollados y frente a otras industrias. Esto se debe a una serie de factores entre los que encontramos la gestión ineficiente en diseño y ejecución, una limitada adopción de tecnologías, las metodologías constructivas anticuadas y la falta de mano de obra especializada.¹

Los países desarrollados han logrado incrementar significativamente la productividad en construcción mediante la implementación de soluciones tecnológicas e innovación, complementadas con inversiones en capacitación especializada. Esto ha marcado una notable diferencia en eficiencia y calidad de los proyectos en comparación con Chile.

Diversos estudios señalan que la industria de la construcción es poco atractiva para las nuevas generaciones y la fuerza laboral femenina, lo que es atribuible a los bajos niveles de sofisticación tecnológica, salarios reducidos y un entorno de alta demanda física en condiciones riesgosas. Desde una perspectiva de salud y seguridad, este sector encabeza los índices de accidentes laborales en Chile, representando el 15,2% del total nacional, registrando además un número significativo de fatalidades laborales.² Esto subraya la necesidad imperiosa de mejorar las condiciones de seguridad y salud laboral en la industria.

Adicionalmente, el sector enfrenta el desafío crucial de minimizar su impacto ambiental, tanto a nivel nacional como internacional.

¹ Cámara Chilena de la Construcción (CCHC) - Matrix Consulting, Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales, 2020.

² Superintendencia de Seguridad Social (SUSESO) - Estadísticas sobre seguridad social, 2022

La construcción es responsable del consumo del 40% de materias primas, genera entre el 25% y el 40% de los residuos sólidos y además, la construcción y su uso, contribuyen con el 37% de las emisiones globales de CO₂.³

En Chile, la eficiencia en el manejo de residuos es notablemente baja, lo que exige una acción urgente para mejorar la sostenibilidad en el sector.

Finalmente, el significativo déficit habitacional, agravado por la pandemia, asciende a una cifra aproximada de 650.000 viviendas, lo que trae consigo asentamientos precarios, personas en situación de calle y condiciones de hacinamiento.⁴ Esta realidad representa un gran desafío a nivel país, tanto por la velocidad de entrega de viviendas como por su calidad.

³ The World Economic Forum (WEF) - Environmental Sustainability Principles for the Real Estate Industry, 2016, United Nations Environment Programme (UNEP) - Global status Report, Towards a zero-emission, efficient and resilient building and construction sector, 2021. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) - Primer Reporte sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile, 2010. Cámara Chilena de la Construcción (CCHC) - Fundamenta 45. El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global, 2019.

⁴ Ministerio de Vivienda y Urbanismo Chile (MINVU) - Plan de emergencia Habitacional 2022-2025, 2022.

CONTEXTO NACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA (CI)

En Chile, la Construcción Industrializada (CI) se ha convertido en una estrategia clave para hacer frente a la crisis climática y la baja productividad del sector de la construcción. Para consensuar un entendimiento común de los conceptos en torno a la CI, se publicó en 2023 la Norma Chilena NCh 3744 que define la Construcción Industrializada como:

“Forma de construir que busca mejorar el desempeño de la construcción en distintas etapas y áreas de un proyecto, que puede o no incluir prefabricados, con el objetivo de mejorar aspectos como productividad, sostenibilidad, gestión de residuos, salud y seguridad ocupacional, plazos, costos y rentabilidad”.⁵

⁵ Norma Chilena NCh 3744 - Términos y definiciones claras de construcción industrializada

Por otra parte, el Consejo de Construcción Industrializada (CCI) ofrece una definición similar⁶, complementando con conceptos como el diseño integrado, producción estandarizada, digitalización y metodología BIM. Ambas coinciden en que la CI implica la estandarización de trabajos, eficiencia en el uso de recursos e integración de diversas tecnologías.

Además de los conceptos como CI, industrialización, prefabricación, off-site construction, entre muchos otros, surge a nivel internacional el concepto de Métodos Modernos de Construcción (MMC), para brindar una clasificación que permita caracterizar las estrategias de industrialización con mayor precisión.

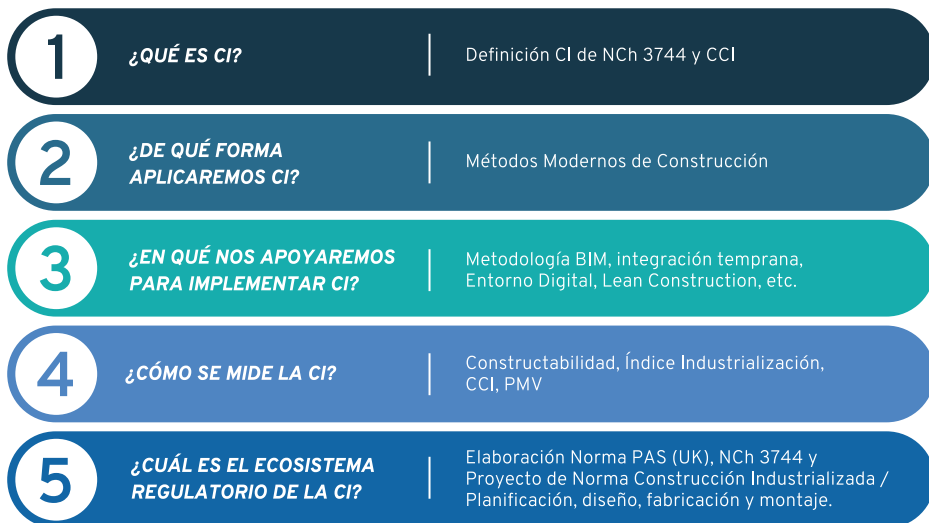


Imagen 1: Diagrama que representa la relación que existe entre los diferentes conceptos en torno a la Construcción Industrializada, donde coexisten para facilitar y fomentar su adopción y transitar hacia industrias más tecnolizadas y sustentables.

Los MMC son los métodos por medio de los cuales se aplica CI en un proyecto. Estos métodos ordenan las soluciones constructivas en categorías de estrategias que permiten modernizar los proyectos de edificación e infraestructura, haciéndolos más eficientes y sustentables. A continuación, se aborda la evolución del término MMC, su adopción internacional y su creciente aplicación en Chile.

6 CCI 2022 - Metodología para la Construcción Industrializada

¿QUÉ SON LOS MÉTODOS MODERNOS DE CONSTRUCCIÓN (MMC)?

Los Métodos Modernos de Construcción, conocidos como MMC (sigla en inglés de Modern Methods of Construction), destacan por su naturaleza dinámica y evolutiva a lo largo del tiempo. Se espera que esto siga sucediendo con la llegada de nuevas tecnologías a la industria.

Los MMC son métodos que buscan hacer más eficiente el uso de recursos para mejorar la productividad y sustentabilidad de los proyectos de edificación e infraestructura a lo largo de todo el ciclo de vida. Abarcan desde soluciones constructivas, tecnologías, metodologías y procesos que han sido estructurados en siete categorías y que pueden desarrollarse tanto en obra como fuera de ella.

La integración de estos métodos debe darse desde etapas tempranas en los procesos de desarrollo de los proyectos, por medio de **“habilitadores”** o **“metodologías de trabajo colaborativo”** como pueden ser el Modelado de Información para la Construcción (BIM), el Diseño para Manufactura y Montaje (DfMA), Lean Construction, entre otras.

Su objetivo es orientar y facilitar la aplicación efectiva de estos métodos, enfatizando la necesidad de contar con capital humano capacitado para integrar CI desde las primeras fases de los proyectos, considerando toda la vida útil de estos.

Existen siete categorías que entregan un amplio abanico de opciones para fabricar, montar, ensamblar y monitorear fuera de obra y/o en el emplazamiento final, permitiendo industrializar diversas partidas y etapas de los proyecto que se pueden combinar libremente y usar complementariamente con sistemas constructivos tradicionales.



MÉTODOS MODERNOS DE CONSTRUCCIÓN (MMC)



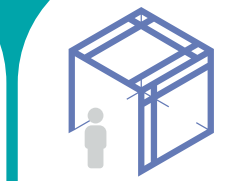
MMC 1
MÓDULOS ESTRUCTURALES 3D

Elementos volumétricos Espaciales (3D) que forman parte del sistema estructural, fabricados en condiciones controladas previo a su instalación.



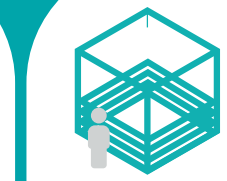
MMC 2
COMPONENTES ESTRUCTURALES 2D

Elementos planos (2D) estructurales como losas, muros y/o techumbre de diversos materiales, que son fabricados en ambiente controlado y que se ensamblan entre ellas o 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.



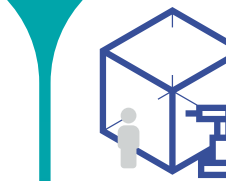
MMC 5
PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES

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 que disminuyen 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 in situ. 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.



HABILITADORES < DfMA - BIM - LEAN MANAGEMENT >

Imagen 2: Diagrama de los MMC. Elaborado por CTEC en base a definiciones de Reino Unido y España (MMC UK y MMC OCH)

7 CATEGORÍAS DE LOS MMC

La clasificación de los MMC se realizó basándose en referentes internacionales⁷ y fue ajustada al contexto nacional adecuando conceptos e introduciendo terminología local. Además, se realizó un taller de validación de definiciones con actores representantes de la industria.

⁷ Asociación Española de Construcción Industrializada (OCH) - *Guía de la Construcción Industrializada, 2023* / Government UK - *Modern Methods of Construction, Introducing the MMC definition Framework, 2019* / Biobío Madera, Programa Estratégico Regional - *Hoja de Ruta Métodos Modernos de construcción sostenible en madera, para la región de Biobío, 2023.*

MMC 1

Elementos volumétricos espaciales (3D) que forman parte del sistema estructural, fabricados en condiciones controladas previo a su instalación.

Las variantes podrían incluir:

- Armazón estructural.
- Armazón estructural con terminación interior.
- Armazón estructural, con terminación interior y revestimiento externo/techo completo.
- Armazón estructural con terminación interior y revestimiento externo, incluyendo cápsulas, como baños y cocinas, etc.

Las variantes podrían usarse en las siguientes configuraciones:

- Sistema de edificio completo.
- Construcción híbrida – parte sistematizada, parte tradicional.
- Construcción híbrida – estructura secundaria para mejorar el rendimiento del sistema.



COMPONENTES ESTRUCTURALES 2D

MMC 2

Elementos planos (2D) estructurales como losas, muros y/o techumbre de diversos materiales, que son fabricados en ambiente controlado y que se ensamblan entre ellos o montan junto a elementos en obra para aportar al sistema estructural.

Las variantes podrían incluir:

- a. Elemento básico - solo armazón estructural básico.
- b. Elemento mejorado - aislación y revestimientos internos.
- c. Elemento terminado - aislación, revestimientos, puertas y ventanas.



COMPONENTES ESTRUCTURALES 1D

MMC 3

Partes o componentes estructurales prefabricados que se montan y conectan en obra para formar parte del esqueleto estructural soportante de un proyecto.

Las variantes podrían incluir:

- a. Pilotes.
- b. Cepas y vigas de amarre prefabricadas.
- c. Columnas.
- d. Vigas.
- e. Escaleras.
- f. Estructura de techo - Cerchas.
- g. Fundaciones prefabricadas.



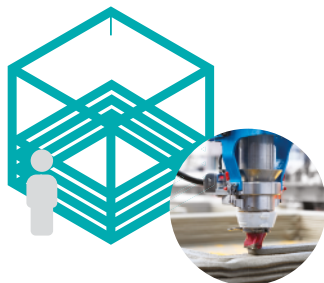
COMPONENTES ADITIVOS

MMC 4

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.

Las variantes podrían incluir:

- a. Componentes estructurales
- b. Componentes no estructurales.



MMC 5

Componentes prefabricados (unidades volumétricas, panelizados o elementos aislados) que no aportan resistencia estructural al proyecto.

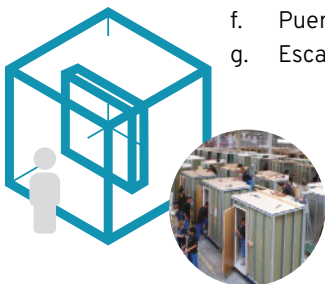
Las variantes podrían incluir:

Módulos:

- a. Módulos completos de baños (incluyendo estructuras de cerramiento).
- b. Módulos de cocina (incluyendo estructuras de cerramiento/ soporte).
- c. Módulos que combinan baños y cocinas (incluyendo estructuras de cerramiento/soporte).
- d. Módulos de equipos centrales de ventilación y electricidad (como armarios de servicios, etc.)

Componentes:

- a. Componentes de fachada no estructurales (incluyendo ventanas, revestimiento sólido, hojalatería).
- b. Componentes de techo – secciones de techo (incluyendo estructura para soportar su propio peso).
- c. Componentes de infraestructura de ventilación y electricidad (planta central y equipamiento).
- d. Componentes de piso con instalaciones y terminaciones añadidas.
- e. Componentes de subdivisión con instalaciones y terminaciones añadidas.
- f. Puertas (precolgadas, terminados con herrajes).
- g. Escaleras.



MMC 6

Elementos, partes y piezas que adelantan faenas en obra y disminuyen 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.

Las variantes podrían incluir:

- a. Productos para paredes externas.
- b. Productos para paredes internas.
- c. Terminaciones de techo componentes tradicionales pre-dimensionados y cortados a medida.
- d. Productos con características de fácil instalación, ensamblaje y unión.

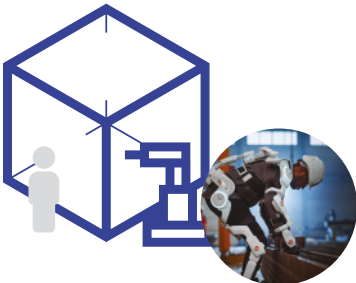


MMC 7

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.

Las variantes podrían incluir:

- a. Medidas de protección en el sitio – recintos resistentes a la intemperie y controlados ambientalmente.
- b. Uso de plataformas de entrega conectados a BIM – planificación de flujo de trabajo habilitado digitalmente.
- c. Tecnologías inmersivas en el sitio (tecnología de Realidad Aumentada AR o Virtual VR).
- d. Tecnologías de aumento de capacidades físicas del trabajador en el sitio (exoesqueletos, distribución asistida de materiales, etc.)
- e. Herramientas de planificación de productividad del trabajador en el sitio (GPS, dispositivos portátiles, etc.).
- f. Robótica y drones en los procesos en el sitio (armaduras, mampostería, enlucido, decoración, topografía, etc.).
- g. Planta y equipos autónomos y drones (grúas sin conductor, excavadoras, etc.).
- h. Herramientas de verificación digital en el sitio (fotogrametría, video tracking, escaneo LIDAR, etc.).



ESTRUCTURA DE ORDENAMIENTO DE LOS MMC

Por un lado, se pueden ordenar los MMC de acuerdo a su aporte a la resistencia estructural del edificio. Los MMC 1 al 3, y de manera opcional el MMC 4, corresponden a soluciones estructurales del proyecto, mientras que los MMC 5, 6 y 7 son soluciones que no aportan al desempeño estructural de la edificación o infraestructura.

Otra forma de clasificar los MMC es según el nivel de prefabricación fuera del sitio. Las categorías del MMC 1 al 5 se refieren a soluciones que se fabrican principalmente en industrias o cerca del lugar de construcción, aunque esto no descarta la posibilidad de prefabricar elementos en el mismo sitio de la obra. En cambio, los MMC 6 y 7 se centran en soluciones y procesos que se llevan a cabo mayoritariamente en el sitio de construcción.

Además, en términos generales, estos métodos se organizan en función de la cantidad de horas de trabajo fuera del sitio, siendo el MMC 1 el que implica la mayor intensidad de trabajo fuera del sitio.



ADOPCIÓN DE LOS MMC A NIVEL INTERNACIONAL

El término MMC no es reciente ni originario de Chile. Surge de países pioneros en la industrialización, que han adoptado, desarrollado y mejorado estos métodos a lo largo de varias décadas. En los últimos años, su implementación se ha enfocado principalmente en abordar los déficits de vivienda, además de enfrentar retos de productividad en el sector de la construcción.

De los principales referentes internacionales revisados, Reino Unido es el pionero en instaurar el término MMC. El uso de métodos para mejorar la productividad, tiempos y costos de construcción se remonta a la posguerra, lo que impulsó la implementación de los primeros programas de viviendas “no tradicionales”, resultando en la entrega de alrededor de 450.000 viviendas en la década de los 50⁸. Sin embargo, informes como el MACE (2018) evidencian que, a pesar de la capacidad instalada desde la posguerra, el sector de la construcción no experimentó un aumento en su productividad en comparación con otras industrias. Para hacer frente a esta situación y abordar el déficit habitacional, el año 2019, se trabajó en una redefinición y clasificación clara de los MMC, abarcando un amplio espectro de soluciones que van desde la prefabricación fuera de sitio hasta técnicas in situ innovadoras⁹.

Desde comienzos de 2023 Reino Unido avanza en la normalización de los MMC a través del BSI (British Standard Institution) para aumentar la innovación en la construcción de viviendas. Para ello está elaborando la norma PAS 8700, que definirá los estándares recomendados para la utilización de MMC en viviendas, además de definir procesos de aseguramiento de calidad¹⁰.

8 National House Building Council (NHBC) - *Modern Methods of Construction, Views from the industry*, 2016.

9 Productivity Taskforce Private - *Trust and Productivity, The private Sector Construction Playbook*, 2022.

10 Fire Protection Association (FPS) - *Development of new standards for MMC commissioned by government*, <https://www.thefpa.co.uk/news/development-of-new-standards-for-mmc-commissioned-by-government>, 2023. PAS 8700 PA Modern methods of construction British Standards Institution - Project (bsigroup.com)

Por su parte en España, 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”*, según comenta el presidente de la OCH¹¹. Los MMC, se presentan como metodologías constructivas evolucionadas y enfocadas en maximizar la eficiencia de los recursos mediante el uso imprescindible de la integración temprana de las diversas disciplinas incluyendo manufactura y montaje. Para su entendimiento y aplicabilidad la OCH divide los MMC en siete categorías ordenadas de forma descendente con relación a la cantidad de horas productivas fuera de sitio y reducción de residuos en obra¹².



¹¹ Entrevista para el presente documento (2023) a Luis Fernandez, Presidente del Offsite Construction Hub (OCH) España.

¹² Asociación Española de Construcción Industrializada (OCH) - Guía de la Construcción Industrializada, 2023.

A nivel latinoamericano, en el año 2013, nace el Instituto dedicado a la industrialización de las edificaciones en Brasil (ITIE), que promueve la construcción industrializada por medio de los Métodos Modernos de Construcción. El presidente del instituto señala que *“la CI es un mercado completamente diferente al de la construcción tradicional, que busca solucionar las necesidades de los consumidores, dejando de lado los prejuicios preconcebidos de la academia y del mundo técnico tradicional”* El Instituto se centra en la construcción fuera de sitio, con el fin de obtener beneficios relacionados con la sustentabilidad, la confiabilidad, la eficiencia de la producción y la creatividad, y promueve el concepto de inteligencia multiconstructiva como respuesta a las problemáticas del sector. El centro actúa como nexo para la integración de soluciones tecnológicas, mediante las capacidades adaptativas, sustentables, flexibles y enfocadas en el consumidor.¹³

El término MMC se implementa en distintos países desde hace algunos años, con variados niveles de adopción, pero ya existen registros de adopción por sobre el 20% anual en la construcción de viviendas, en países como Suecia y Singapur¹⁴. Adicionalmente, desde el mundo privado, empresas multinacionales como WSP¹⁵ y ARUP¹⁶ promueven y masifican el uso de los MMC, otorgando metodologías de trabajo y asesorías para su incorporación en obras de edificación e infraestructura, por lo que es posible prever que el término se masificará aún más dentro de los próximos años.

13 Instituto de tecnologias de Industrialização das edificações (ITIE) - Reporte Construcao off-site, um novo mercado de base tecnológica, 2023.

14 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 - A modern approach to construction, 2020. McKinsey <https://www.savills.com/impacts/technology/why-modern-methods-of-construction-are-a-good-fit.html#:~:text=The%20use%20of%20MMC%20varies,%2C%20it's%20close%20to%2080%25.>

15 WSP, es una empresa de servicios profesionales líderes globales en consultoría técnica y de gestión para el sector inmobiliario. Publicación: WSP Delivery using Modern Methods of Construction, <https://www.wsp.com/en-gb/hubs/modern-methods-of-construction>, 2023.

16 Arup es una empresa global de consultores de ingeniería, diseñadores, planificadores urbanos y directores de proyectos. Publicación: Government of Jersey, ARUP - Solving The Housing Crisis Series, How Modern Methods of Construction can deliver “more” through the planning system, 2019.

PROPORCIÓN DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON MMC POR AÑO

"Año publicación 2020"

Porcentaje de viviendas construidas con MMC

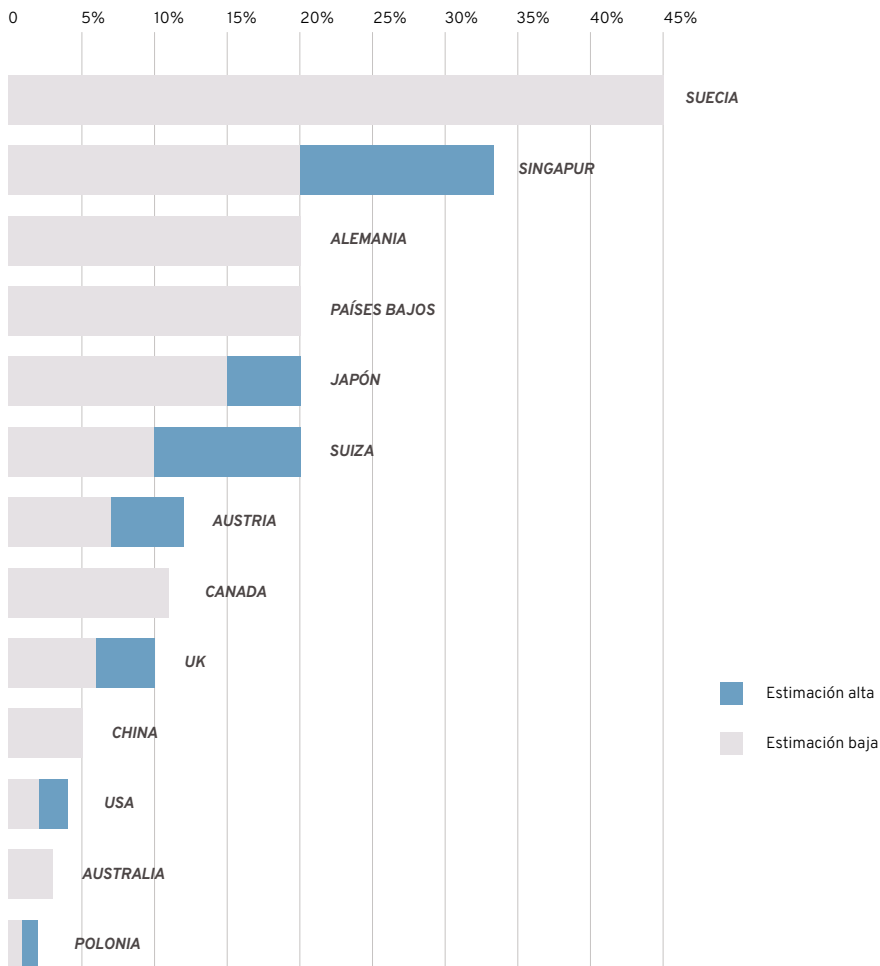


Imagen 3: Nivel de adopción de MMC en el mundo: Proporción de viviendas construidas con MMC anualmente por país.¹⁷

17 <https://www.savills.com/impacts/technology/why-modern-methods-of-construction-are-a-good-fit.html#:~:text=The%20use%20of%20MMC%20varies,%2C%20it's%20close%20to%2080%25.>

ADOPCIÓN DE LOS MMC EN CHILE

En Chile al igual que en referentes internacionales, han surgido iniciativas para fomentar la CI y MMC como alternativas a la construcción tradicional, con el objetivo de mejorar la productividad y los indicadores medioambientales, económicos y sociales.

Desde el sector privado, el Consejo de Construcción Industrializada (CCI), creado en 2017 como parte del programa Construye2025 de Corfo, se dedica a promover la industrialización en la construcción a nivel nacional. El CCI, junto con la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), enfocan sus esfuerzos en promover el desarrollo de la industria en miras de mejorar la productividad y la sustentabilidad organizando periódicamente diversos webinar, talleres, encuentros, concursos, ferias, entre otras actividades de networking, como instancias facilitadoras de la promoción de la CI. Actualmente se enfocan no sólo en el sector privado, sino también, en el sector público y académico para abordar las brechas de desconocimiento que frenan la adopción de la CI, según comenta su past president Tatiana Martínez.

En el ámbito público, liderado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (DITEC), se han implementado programas, normas y resoluciones que apoyan la transformación del sector. Destaca el Plan de Emergencia Habitacional de 2022 del MINVU que busca disminuir la brecha habitacional mediante mejoras en los procesos de producción de viviendas, incorporando tecnología e innovación, y fomentando la construcción industrializada. Paralelamente, se han desarrollado normativas como la NCh 3744 of. 2023 y proyectos de ley que respaldan la CI.

A nivel regional, surge la iniciativa multisectorial “Biobío Madera”, un Programa Estratégico Regional (PER) de Corfo sobre Métodos Modernos de Construcción sostenible en madera, que aborda problemáticas como la descarbonización y circularidad. Este programa destaca el potencial de la madera como material de construcción sostenible, respaldado por estudios que indican una reducción significativa del impacto ambiental y social en comparación con el hormigón armado y el acero.



¿POR QUÉ UTILIZAR LOS MMC?

La aplicación de los MMC en los proyectos, posibilita abordar diversas problemáticas inherentes al sector de la construcción en diversos ámbitos. La elección del o los MMC a implementar determina la capacidad para abordar distintos indicadores, tales como costos, generación de residuos, emisiones de CO₂, productividad y seguridad, entre otros aspectos relevantes.

A continuación, se exponen cifras de investigaciones a nivel nacional e internacional que presentan resultados y beneficios asociados al uso de MMC y CI.

BENEFICIOS E INDICADORES EN REINO UNIDO

En Reino Unido la adopción de Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) y diseño integrado son elementos fundamentales en el uso de MMC. A partir de los continuos datos que entrega esa experiencia se genera la evidencia de resultados favorables en términos de rentabilidad, sostenibilidad ambiental y social y eficiencia en las obras, destacando los ahorros en costos de construcción de entre un 20% y 40%.



Imagen 4: Indicadores, métricas y beneficios percibidos a nivel nacional relacionados a la productividad, el ámbito social y la sustentabilidad medio ambiental.

A partir de la interacción con los proyectos en estudio y de la medición de diversos indicadores se logran sacar las siguientes conclusiones:

- Hay un mayor nivel de confianza en los productos hechos en ambientes controlados, ya que evitan o disminuyen el error humano en los procesos.
- Los indicadores permiten tomar medidas para la mejora continua de los diseños y procesos.
- Los MMC necesitan certeza de diseño en etapas tempranas de la vida de un proyecto.
- La adopción de MMC obliga a un cambio cultural en los procesos y metodologías de trabajo.

BENEFICIOS E INDICADORES NACIONALES

A nivel nacional, IDIEM y PMG realizaron un estudio (2018) donde compararon viviendas similares que utilizaron CI versus otras viviendas construidas con sistemas tradicionales de albañilería. El estudio reveló una disminución entre un 40 y un 75% en los plazos de construcción; y un aumento entre un 48 y 127% de la productividad durante la etapa de la obra gruesa.¹⁸



Ahorro
40%-75%



Variación costos
86% -113%



Disminución 73%-
92% MO on site



Disminución
de Residuos
65%-70%



4,7 a 3,5 veces
menos accidentes



Aumento
productividad
48%-127%

Imagen 5: Indicadores, métricas y beneficios percibidos a nivel nacional relacionados a la productividad, el ámbito social y la sustentabilidad medio ambiental.

¹⁸ Idiem y PMG Business Improvement - Informe Final: Estudio Acompañamiento Proyecto Construcción Industrializada" Pen Productividad y Construcción Sustentable CODIGO 14 PEDN 35718-3, 2018.

En 2021 el CCI publicó un documento titulado “*Set de indicadores para medir la industrialización - Metodología de medición*”¹⁹, que tiene por objetivo definir indicadores para medir la productividad, sustentabilidad y beneficios sociales derivados de procesos industrializados en proyectos de construcción. En ese estudio se buscó crear un índice de industrialización basado en indicadores medidos en la obra finalizada, ofreciendo una visión integral del desempeño de los proyectos. La metodología detalla el cálculo, las unidades de medición y la ponderación de cada indicador para obtener el Índice de industrialización. Los indicadores se dividen en categorías que incluyen aspectos económicos, ambientales y sociales, abordando desde costos y plazos hasta consideraciones sobre beneficios para la comunidad y la mano de obra.²⁰



19 <https://construccionindustrializada.cl/download/metodologia-de-medicion-indice-de-industrializacion-2021/>

20 Consejo de Construcción Industrializada (CCI) - Presentación y programación de la medición para calibrar el set de indicadores, 2020.

HABILITADORES

Los habilitadores hacen referencia a un conjunto de tecnologías, métodos y prácticas que abarcan desde el diseño hasta la operación, y ayudan a la implementación exitosa de los MMC.

Entre estos se consideran la integración temprana, los sistemas de trabajo colaborativo, las metodologías de optimización de procesos, el liderazgo y la coordinación y entrenamiento de las personas.

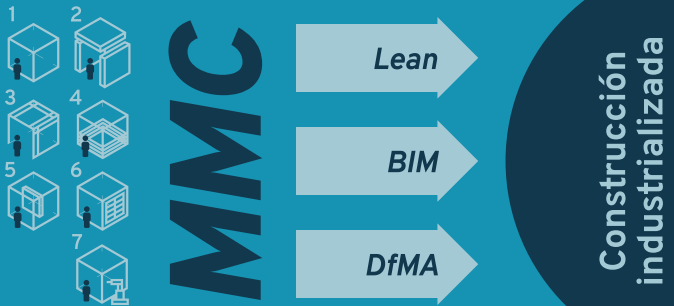


Imagen 6: Habilitadores de los MMC que permiten desarrollar proyectos industrializados

DfMA

Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) o Diseño para Fabricación y Montaje, corresponde a una filosofía de diseño y una metodología, que ha existido en la industria manufacturera por décadas. En pocas palabras, es introducir soluciones y procesos en el diseño de proyectos, para facilitar la fabricación y el montaje de partes y piezas.²²

El diseño que considera la manufactura, transporte y montaje de los productos o DfMA, es un “driver” para la construcción industrializada, y requiere desarrollar una mentalidad orientada a los procesos y a la consideración temprana de las soluciones constructivas.

²² Tan tanTan, T., Lu, W., Tan, G., Xue, F., Chen, K., Xu, J., Wang, J. & Gao, S. - *Construction-Oriented Design for Manufacture and Assembly (DfMA) Guidelines*, *Journal of Construction Engineering and Management*, 2020.

BIM

Building Information Modeling (BIM) es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten el diseño, construcción y operación de un proyecto de forma colaborativa en un entorno virtual.²³ La conjugación de estas características permite el trabajo colaborativo y temprano, lo que agrega valor a los procesos de la industria de la construcción.

Por sus características, BIM puede considerarse como habilitante para la Construcción Industrializada, ya que fomenta conceptos antes mencionados como el trabajo colaborativo e integración de la información. Esta metodología de trabajo, con sus distintos tipos de uso y niveles de madurez alcanzados, permite optimizar el uso de MMC, tanto para la producción en fábrica, como para la fase de montaje u optimización de procesos en obra a través de la construcción digital.

²³ PlanBIM - Estándar BIM para proyectos Públicos, Intercambio de información entre solicitante y proveedores, 2019.



LEAN MANAGEMENT

Lean Management es una cultura de gestión nacida en la industria automotriz en Japón con Toyota, para la optimización de los procesos, mediante la eliminación de pérdidas que generan retrasos y reprocesos en los flujos de trabajo.

Este sistema de producción plantea variadas herramientas y recursos que se pueden incorporar a diversos sectores. Es por esta razón que la industria de la construcción ha implementado su uso para mejorar procesos y productividad. La aplicación de Lean Management en la Construcción Industrializada y los MMC genera una mejora de procesos y productividad, ya que permite supervisar, mejorar y evaluar procesos no solo en fábrica, sino que también en obra.

ROLES PARA LA CI

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 a 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 ha detectado que algunas de las razones para la baja adopción de CI y MMC, son las capacidades limitadas de las cadenas de suministro, desconocimiento sobre nuevas soluciones, la escasez de talento y capacitaciones, y falta de aprobación de soluciones por parte de entidades públicas²⁴. En base a estos puntos toma importancia detectar el talento facilitador de implementaciones orientadas a la industrialización y fomentar la capacitación, abordando este punto desde las altas gerencias hacia los cargos operativos de las organizaciones, además, en este sentido, se torna importante detectar y gestionar las resistencias en los equipos. De esta forma se capacita y potencian las capacidades ya instaladas, para promover el cambio 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 ello, se definieron cinco roles y experiencias en CI de acuerdo a 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.²⁵

DEFINICIÓN ROL

 <p>DIRECCIÓN EN CI</p>	 <p>GESTIÓN EN CI</p>	 <p>COORDINACIÓN EN CI</p>	 <p>EJECUCIÓN EN CI</p>	 <p>REVISIÓN EN CI</p>
<p>Liderar y fomentar estrategias de implementación de CI en una organización, de acuerdo a las necesidades, beneficios y recursos destinados al desarrollo de proyectos e inversiones en el tiempo.</p>	<p>Liderar la implementación de la estrategia de CI, en relación a los RRHH, procesos y tecnologías. Gestionar la planificación, diseño, comunicación, programación y/o producción onsite y offsite con los distintos actores. Definir los procesos y partidas a industrializar.</p>	<p>Implementar y coordinar el proceso de integración, comunicación y flujo de información entre las diferentes especialidades de un proyecto. Prever conflictos y consensuar soluciones con la cadena de suministro, considerando la secuencialidad y repetitividad de las soluciones industrializadas, ya sea en la etapa de diseño, modelación, producción onsite y offsite, logística y/o montaje.</p>	<p>Desarrollar los procesos de CI de proyectos según especialidad en las etapas de planificación, diseño, construcción, operación y deconstrucción, utilizando diferentes tecnologías y metodologías de prefabricación e industrialización.</p>	<p>Examinar y verificar el cumplimiento detallado de la calidad de la información, procesos, elementos y/o componentes industrializados según especialidad y etapa del ciclo de vida del proyecto.</p>

Imagen 7: Roles CI. Cada rol CI busca distintas habilidades y niveles de conocimiento, así como también, determina el nivel de involucramiento con los aspectos más técnicos.

24 BRE, Bristol City Council, RLB and Constructing Excellence - Benefits of Modern Methods of Construction in Housing, Performance Data & Case Studies, 2021 y Asociación Española de Construcción Industrializada (OCH) - Guía de la Construcción Industrializada, 2023.

25 Consejo de Construcción Industrializada (CCI) - Definición de una matriz de roles y capacidades del capital humano para la construcción industrializada, 2021.

Por otro lado, el Royal Institute of British Architects (RIBA), definió un rol asociado al uso de MMC en proyectos, el “MMC Adviser” quien tiene la labor de guiar, proponer y asesorar la cadena de valor de un proyecto con el enfoque de promover la mejor y más óptima utilización de MMCs²⁶, labor similar a la descrita para el rol de coordinación según la matriz del CCI.

Así mismo, se definió en qué momento del ciclo de vida de un proyecto (basado en los RIBA Plan of Work Stage declarados por la asociación), los distintos actores involucrados, incluido el MMC adviser, deberían comenzar a ser parte de un proyecto para aprovechar las oportunidades que esta participación significa.

Se considera que la participación de cada actor de un proyecto, posee un tiempo determinado que, a su vez, posee un período óptimo de incorporación y estos 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.

La existencia de personas facilitadoras, su pronta incorporación y experticia son clave para los cambios de paradigma dentro de las organizaciones, y es por este motivo que la necesidad de buscar y/o potenciar estos perfiles es imperativo para que el ecosistema logre avanzar hacia la construcción industrializada.

²⁶ Royal Institute of British Architects (RIBA) - *DFMA Overlay to the RIBA Plan of Work, Mainstreaming design for manufacture and assembly in construction*, 2021.

La existencia y uso de habilitadores es un factor clave a la hora de aplicar los MMC para lograr la CI ya que el mero uso de una categoría de MMC no conducirá a capturar los beneficios de la CI, esto debido a que si no existe un entorno que permita el uso de nuevas soluciones, con los liderazgos apropiados y el apoyo con metodologías colaborativas, los MMC no cumplirían con mejorar los indicadores y beneficios que desean capturar.²⁷

MMC PROCUREMENT

	RIBA Stage	0	1	2	3	4	5	6	7
MMC category	Role								
1	MMC adviser								
	Architect								
	Engineers								
	Contractor Manufacturer								
2	MMC adviser								
	Architect								
	Engineers								
	Contractor Manufacturer								
3	MMC adviser								
	Architect								
	Engineers								
	Contractor Manufacturer								
4	MMC adviser								
	Architect								
	Engineers								
	Contractor Manufacturer								
5	MMC adviser								
	Architect								
	Engineers								
	Contractor Manufacturer								
6	MMC adviser								
	Architect								
	Engineers								
	Contractor Manufacturer								
7	MMC adviser								
	Architect								
	Engineers								
	Contractor Manufacturer								

Organised by MMC category and RIBA Plan of Work Stage, the dark blue sections on this matrix show, from earliest to latest, the recommended window for the appointment of members of the project team. The light blue sections represent the typical duration of different parties' appointments.

The windows of opportunity vary depending on the category of MMC being considered. For example, it may be possible to decide on large-format cladding systems (Category 6) as late RIBA Stage 4, but category 1 solutions will need to be considered from RIBA Stage 2 to prevent costly redesign and programme delays.

The pink dotted line running through Stage 3 represents the town planning application, which may in practice be submitted at any time during Stage 3. The yellow dotted line represents design freeze, which is essential for deriving optimum value from using offsite solutions. This is shown in each case as the latest time for fixing the design and fixing it earlier is likely to bring greater value.

27 BRE, Bristol City Council, RLB and Constructing Excellence - Benefits of Modern Methods of Construction in Housing, Performance Data & Case Studies, 2021

ÍNDICES DE MEDICIÓN PARA LA CI

Tanto a nivel internacional como local, existen sistemas de indicadores que ofrecen una métrica precisa del grado de adopción de los MMC y la industrialización en proyectos de construcción.

Estos indicadores desempeñan un papel crucial, ya que permiten evaluar los métodos implementados, midiendo su impacto en la eficiencia del proyecto, constituyendo una herramienta valiosa para los profesionales del sector y los tomadores de decisión.

- **Pre Manufactured Value (PMV):** Utilizado en 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.²⁸
- **Constructabilidad y diseño edificable o diseño construible:** El gobierno de Singapur, impulsado por la necesidad de aumentar la productividad de los proyectos de construcción, instauró dos conceptos y requerimientos; el diseño construible y la Constructabilidad que determinan un estándar mínimo de los proyectos para la obtención de los permisos de edificación mediante puntajes tabulados. El diseño construible o diseño edificable, es una puntuación a los proyectos en función de su diseño eficiente para la construcción²⁹. La Constructabilidad por otro lado, es un concepto más amplio que otorga puntajes en base a la integración de la lógica de construcción en todas las etapas de un proyecto, abarcando no solo el diseño, sino que también, el uso de metodologías y técnicas en obra, incorporando actividades como logística y montaje.
- **BuiltReady:** Certificación neozelandesa basada en su código de construcción para prefabricados de componentes modulares, que busca asegurar el cumplimiento en diseño y fabricación de los elementos. Esta certificación busca reforzar la construcción fuera de sitio y su aplicación comenzó en el año 2023.³⁰
- **Constructabilidad en Chile:** Mediante un trabajo colaborativo, el CCI está trabajando en un Manual de Constructabilidad para su aplicabilidad en proyectos nacionales, basándose en documentos publicados en el Índice de Industrialización

28 Royal Institute of British Architects (RIBA) - *DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work, Mainstreaming design for manufacture and assembly in construction*, 2021.

29 Building and Construction Authority - *Code of Practice on Buildability*, 2017.

30 Building Performance New Zealand - *BuiltReady*, www.building.govt.nz, 2023.

LINKS DE INTERÉS

OCH - Guía de la Construcción Industrializada: <https://www.offsitehub.org/3d-flip-book/och-guia-sobre-industrializacion-en-la-construccion>

CCI - Metodología para la construcción Industrializada 2022. <https://construccionindustrializada.cl/download/metodologia-para-la-construccion-industrializada-cci-2022/>

CCI - Informe definición de una matriz de roles y capacidades del capital humano para la construcción industrializada. <https://construccionindustrializada.cl/download/informe-definicion-de-una-matriz-de-roles-y-capacidades-del-capital-humano-para-la-construccion-industrializada/>

CCI - Metodología de medición índice de industrialización 2021. <https://construccionindustrializada.cl/download/metodologia-de-medicion-indice-de-industrializacion-2021/>



BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Española de Construcción Industrializada (OCH) - Guía de la Construcción Industrializada, 2023.*
- Biobío Madera, Programa Estratégico Regional - Hoja de Ruta Métodos Modernos de construcción sostenible en madera, para la región de Biobío, 2023.*
- BRE, Bristol City Council, RLB and Constructing Excellence - Benefits of Modern Methods of Construction in Housing, Performance Data & Case Studies, 2021.*
- Building and Construction Authority - Code of Practice on Buildability, 2017.*
- Building Performance New Zealand - BuiltReady, www.building.govt.nz, 2023.*
- Cámara Chilena de la Construcción (CChC) - Matrix Consulting, Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales, 2020.*
- Cámara Chilena de la Construcción (CChC) - Fundamenta 45. El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global, 2019.*
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) - Primer Reporte sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile, 2010.*
- Consejo de Construcción Industrializada (CC) - Definición de una matriz de roles y capacidades del capital humano para la construcción industrializada, 2021.*
- Consejo de Construcción Industrializada (CCI) - Presentación y programación de la medición para calibrar el set de indicadores, 2020.*
- Fire Protection Association (FPS) - Development of new standards for MMC commissioned by government, <https://www.thefpa.co.uk/news/development-of-new-standards-for-mmc-commissioned-by-government>, 2023.*

Government of Jersey, ARUP - *Solving The Housing Crisis Series, How Modern Methods of Construction can deliver “more” through the planning system*, 2019.

Government UK - *Modern Methods of Construction, Introducing the MMC definition Framework*, 2019.
Idiem y PMG Business Improvement - *Informe Final: Estudio Acompañamiento Proyecto Construcción Industrializada” Pen Productividad y Construcción Sustentable CODIGO 14 PEDN 35718-3*, 2018.

Instituto de tecnologias de Industrializaçãõ das edificações (ITIE) - *Reporte Construcao off-site, um novo mercado de base tecnológica*, 2023.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo Chile (MINVU) - *Plan de emergencia Habitacional 2022-2025*, 2022.

National House Building Council (NHBC) - *Modern Methods of Construction, Views from the industry*, 2016.

PlanBIM - *Estándar BIM para proyectos Públicos, Intercambio de información entre solicitante y proveedores*, 2019.

Productivity Taskforce Private - *Trust and Productivity, The private Sector Construction Playbook*, 2022.

Royal Institute of British Architects (RIBA) - *DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work, Mainstreaming design for manufacture and assembly in construction*, 2021.

Savills Research using CITB, UC Berkeley Terner 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 - *A modern approach to construction*, 2020.

Superintendencia de Seguridad Social (SUSESO) - *Estadísticas sobre seguridad social*, 2022.

Tan tanTan, T., Lu, W., Tan, G., Xue, F., Chen, K., Xu, J., Wang, J. & Gao, S. - *Construction-Oriented Design for Manufacture and Assembly (DfMA) Guidelines*, *Journal of Construction Engineering and Management*, 2020.

The World Economic Forum (WEF) - *Environmental Sustainability Principles for the Real Estate Industry*, 2016.

United Nations Environment Programme (UNEP) - *Global status Report, Towards a zero-emission, efficient and resilient building and construction sector*, 2021.

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