



IMPACTO Y DESAFIOS DE LA AUTOMATIZACIÓN EN EL EMPLEO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN

LA INDUSTRIALIZACIÓN EN EL SECTOR DE LA
CONSTRUCCIÓN

Francisca Pérez, Alejandro Micco y Roberto Godoy
Santiago, 23 de junio de 2020

Introducción

La industrialización del sector de la construcción es un tema de preocupación global, ya que se ha alzado como la principal salida a la baja productividad del sector, problema del cual pocos países han podido escapar. La automatización todavía se encuentra en niveles experimentales y avanzará en la medida que se consoliden los ambientes controlados propios del sistema industrializado.

El presente documento forma parte la tercera etapa y final del proyecto y pretende hacer una revisión general de la construcción industrializada, sus ventajas y desventajas, la adopción que ha tenido en el mundo, y el estado de Chile en la materia. En primer término, se realiza una revisión de las causas probables del estancamiento de la productividad en el sector de la construcción. Luego se analizan dos sistemas generales de construcción industrializada: el Industrialized Building System y el sistema de Lean Construction. Ambos sistemas, cuando son aplicados, tienen en común la construcción fuera de sitio, ya sea prefabricación de elementos o la modularización de la construcción.

También se revisan las ganancias de productividad que puede implicar la adopción de un sistema de construcción industrializada como lo es el prefabricado. Se revisan las experiencias en los Estados Unidos, Singapur, Malasia, y Nueva Zelanda.

Finalmente, en las apostillas de este informe se hace una revisión de la opinión de expertos respecto de los principales desafíos del sector de la construcción frente a la pandemia del COVID-19, y el papel que jugará la construcción industrializada.

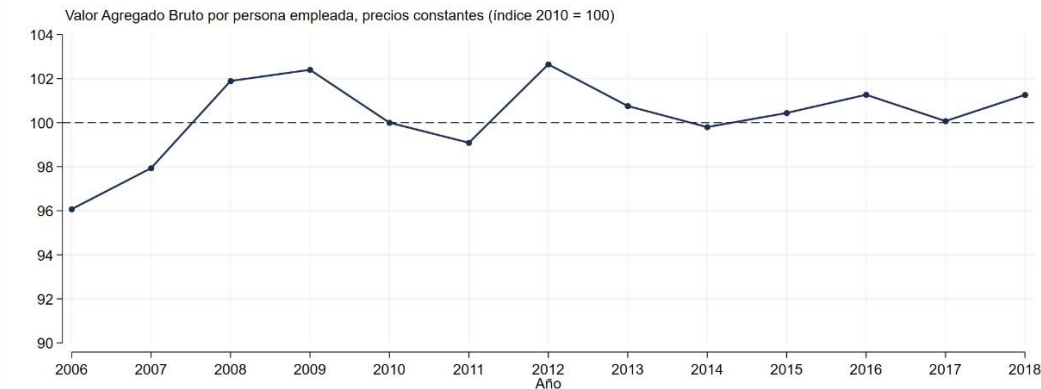
1. Baja productividad en el sector de la construcción

La principal motivación para la industrialización en el sector de la construcción durante el siglo XX fueron las urgencias de enfrentar las devastadoras consecuencias de las dos guerras mundiales. En este período, la industrialización del sector se realizó preferentemente a través de la construcción prefabricada. En el siglo XXI, en cambio, una de las principales motivaciones para adoptar o profundizar en la industrialización del sector, es que la industria de la construcción ha mostrado una productividad relativamente estancada (Barbosa et al., 2017, estudio del McKinsey Global Institute). El crecimiento de la productividad del trabajo anual en el sector de la construcción en los últimos 20 años ha sido de un 1% en el mundo.

Para el caso chileno, el mismo estudio del McKinsey Global Institute (“MGI”, en adelante) señala que la productividad del sector ha estado 0,5 puntos porcentuales por debajo de la productividad total de la economía en los últimos 20 años. Los datos de la

OECD muestran que desde el 2008 al 2018 el valor agregado por trabajador se ha mantenido relativamente constante en el sector.

Figura 1: Evolución del Valor Agregado por persona en el sector de la construcción



Nota: Precios constantes, índice fijado relativo al año 2010 en 100.

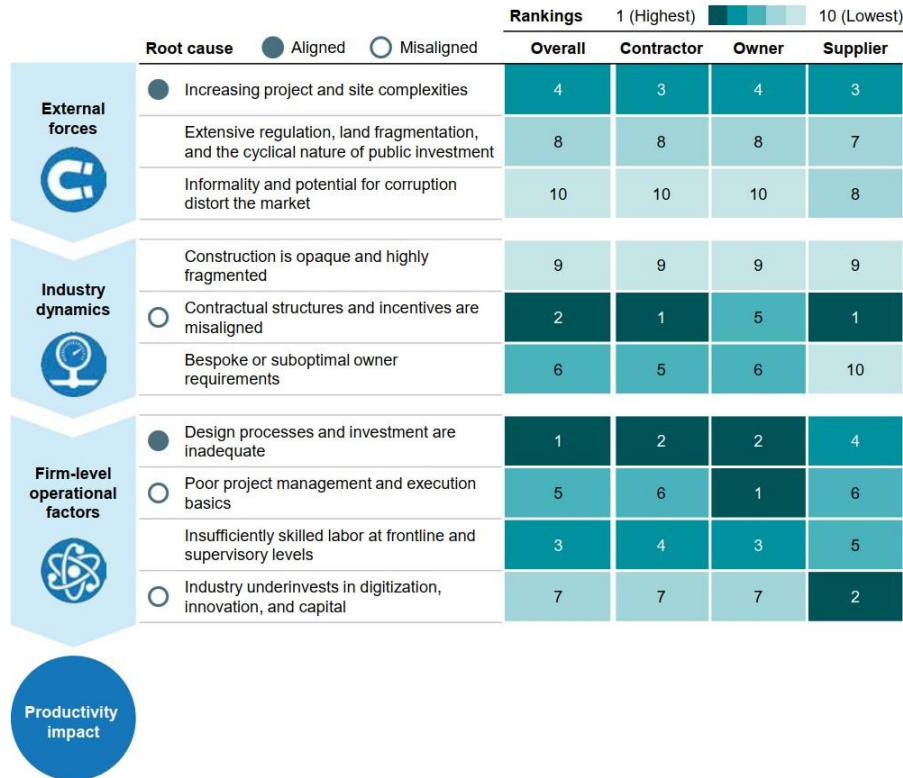
El estudio del MGI, donde encuestan a representantes de empresas ligadas a la construcción de todo el mundo, se identifican 10 causas de raíz para el estancamiento de la productividad en el sector. Estas 10 razones las agrupan en tres categorías: a) razones externas al sector; b) razones relacionadas a la dinámica de la industria; y c) razones relacionadas con factores operacionales de las firmas. Las 10 causas de raíz se enlistan en la Figura 2, junto con las respuestas de los encuestados. Se puede observar que existe acuerdo entre los diferentes grupos de empresas ligadas al sector que la complejidad de los proyectos ha ido en aumento (razón externa) y que los procesos de diseño e inversión son inadecuados (razón relacionada a factores operacionales de las empresas).

Es precisamente dentro del último grupo de causas, las de carácter operacional, donde la industrialización puede tener un rol importante para solucionarlas. Estas tienen que ver—entre otras cosas—con que el sector trabaja típicamente con diseños de proyectos poco o nada estandarizados, no invierte lo suficiente en innovación y tecnología, y planifica y ejecuta mal tanto en tiempo como en costos. La modularización de los diseños—de acuerdo con el Construction Industry Institute Performance Assessment System—ha crecido desde el 2000 al 2017 en 5 puntos porcentuales sobre el total de diseños, pasando de 1,7% a 6,2%. Este avance es descrito como una magnitud modesta por el MGI.

Figura 2: Diez causas de raíz para la baja productividad en el sector de la construcción.

The relative importance for improving productivity of the ten root causes varies by industry player, but consistent themes emerge for all

Number of respondents = 210

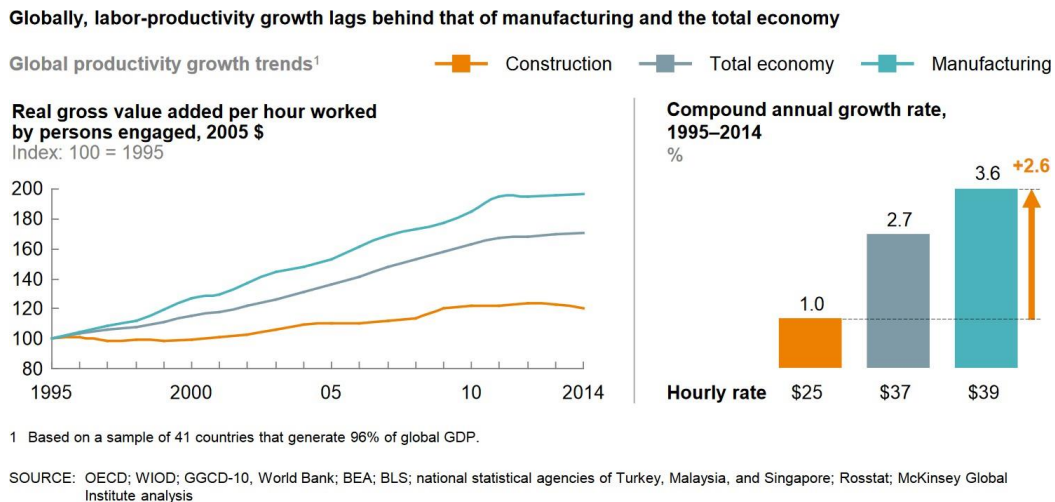


SOURCE: McKinsey Global Institute analysis

Fuente: Sacado de Reinventing construction: a route to higher productivity. McKinsey Global Institute (2017).

Junto con recomendar una reestructuración de la regulación del sector y el diseño de los contratos, MGI recomienda también, otras acciones para avanzar en la industrialización (Barbosa et al., 2017). Estas acciones comprenden, por un lado, el rediseño de la ingeniería de procesos, que implica pensar la construcción como un sistema de producción fuera de la obra, con tecnología de prefabricación y ensamblaje en obra. Por otro lado, incluyen propuestas para introducir herramientas digitales, automatización, y la implementación de programas de capacitación para los trabajadores. Todas estas recomendaciones van en la línea de fortalecer y profundizar los procesos de industrialización.

Figura 3: Crecimiento de la construcción a nivel mundial. Barbosa et al. - MGI (2017)



2. ¿Qué es la industrialización en el contexto de la construcción?

La industrialización en la construcción puede tener un amplio abanico de significados. El International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB) define la industrialización en su reporte del 2010—en una definición corta—como la racionalización de los procesos de trabajo en la industria para lograr eficiencia en costos, mayor productividad y calidad. Si bien es una definición general, permite incluir elementos dentro de ella como el uso de herramientas mecánicas, sistemas computarizados, estandarización de productos, prefabricación, modularización, producción en masa, u otros procesos o acciones que se tienden a relacionar o vincular con el concepto de industrialización.

Al plantearse el desafío de industrializar procesos, Girmscheid & Frits (2010) mencionan que significa más que reemplazar trabajo con maquinaria y robots. Para realizar un proceso de industrialización exitoso se tiene que llegar a un replanteamiento de toda la ingeniería de los procesos, incluyendo las cadenas de suministros. La industrialización requiere, además, la planificación y coordinación de los distintos actores que participan en la construcción: Cliente, Arquitecto, Diseñador, Constructor, etc. También se precisa la coordinación “macro” de la industria con el objeto de acordar medidas, tolerancias dimensionales, etc.

Actualmente no existe una métrica única que sirva para describir el avance de la industrialización en diferentes países. Sin embargo, un marco conceptual que resulta útil es el que se desarrolla en Richard (2010). En dicho trabajo describe que una construcción, en

particular, se puede clasificar en 1 a 5 niveles de construcción industrializada. Estos niveles son los siguientes:

1. Prefabricación
2. Mecanización
3. Automatización
4. Robótica y
5. Reproducción

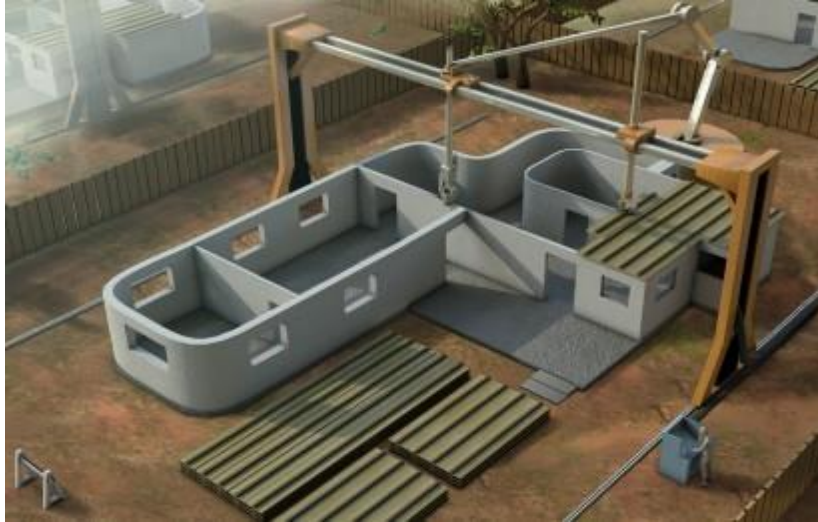
La **prefabricación** típicamente tiene que ver con construir componentes o módulos completos en una fábrica. Estas construcciones pueden ser de diferentes materiales, como madera o concreto. El autor señala que la prefabricación puede bajar los costos hasta en un 15%, principalmente relacionado con el grado de control que se tiene sobre la producción (factores climáticos y de planificación), sumado a la baja de costos en salarios que tiene asociada.

La **mecanización**, por su parte, describe el uso de máquinas para facilitar el trabajo de las personas. La mecanización acompaña a la prefabricación, por ejemplo, el uso de martillos neumáticos, grúas, y otro tipo de maquinaria.

La **automatización** es el nivel donde las máquinas reemplazan por completo las tareas o ciertas tareas antes llevadas a cabo por personas. En construcción esto se ve, por ejemplo, en máquinas hechas para producir muros de madera o acero. Típicamente este nivel es observado en la producción de materiales homogéneos. Si bien las máquinas hacen el trabajo “manual”, las personas son necesarias en los trabajos de supervisores y programadores para el proceso.

El nivel de **robótica** hace referencia a máquinas más complejas y flexibles que puede llevar a cabo tareas diversas. Está relacionada a la Manufactura Computacionalmente Asistida que puede generar formas complejas de una unidad a otra. Un ejemplo es el Contour Crafting, se trata de una tecnología desarrollada por Behrokh Khoshnevis de la University of Southern-California que permite construir edificaciones rápidas mediante una grúa o una especie de pórtico. Actualmente se encuentran desarrollando aspectos relacionados con la impresión 3D para edificar.

Figura 4: Contour Crafting: Sistema de construcción computarizado que imprime en 3D estructuras grandes



Fuente: <https://news.usc.edu/69544/contour-crafting-earns-professor-top-design-prize/>

Finalmente, está el nivel de **reproducción**, que es un término sacado de las tecnologías de impresión. Este nivel apunta a simplificar el proceso de “multiplicar” bienes o productos complejos. Este nivel típicamente va acompañado con los demás grados de industrialización.

Los cinco niveles de la industrialización descritos se han llevado a la práctica en diferentes partes del mundo, y han derivado en formas de construcción relacionadas de una forma u otra con la prefabricación (el primer nivel descrito, pero en escalas mayores). La prefabricación es el nivel más común de construcción industrializada, y por lo mismo es el que se desarrolla más en extenso en este documento.

3. Principales sistemas de construcción industrializada

a. Industrialized Building System

El Industrialized Building System (IBS) es un concepto de prefabricación e industrialización desarrollado en Malasia a comienzos de la década de 1960. Comenzó como una iniciativa para aumentar la velocidad en la construcción de viviendas sociales (Musa et al. 2015). Actualmente, a raíz de la baja productividad del sector, este sistema ha vuelto a tener relevancia. De acuerdo con Kamar et al. (2011) el concepto de IBS es diferente al concepto de prefabricado para dicho país, ya que el primero hace referencia a la industrialización del sector como un todo.

Breve historia del prefabricado

El prefabricado y la construcción modular en los Estados Unidos se inicia a principios del siglo XX (McGraw Hill—Construction, 2011). Aladdin en Michigan y Sears Roebuck Company en Chicago, fueron las empresas pioneras en el prefabricado en los Estados Unidos. Posteriormente, el uso del prefabricado se extendió durante la Segunda Guerra Mundial debido a la necesidad de contar con instalaciones para los militares. Su uso se masificó durante la segunda mitad del siglo XX de la mano de la mayor demanda por edificaciones como hospitales, hoteles, oficinas y escuelas.

Luego de la Segunda Guerra Mundial, Japón y Alemania tuvieron necesidades urgentes de reconstrucción. Para poder dar abasto a la demanda recurrieron al prefabricado, y es por esta adopción temprana de la construcción modular y prefabricada que algunas de las empresas líderes del mercado pertenecen a estos países.

En la actualidad, la prefabricación e industrialización han vuelto a tener avances gracias a la tecnología. El desarrollo tecnológico tanto de software (BIM) como de materiales e instalaciones en fábricas ha permitido que el alcance de la prefabricación haya crecido. El prefabricado y la construcción modular ha sido reconocida por el National Research Council of the National Academies, en su informe “Advancing the Competitiveness and Efficiency of the U.S. Construction Industry”, como central para aumentar la eficiencia y competitividad del sector de la construcción en los Estados Unidos.

Sin embargo, este concepto se ha extendido también al resto del mundo. Elliot & Zuhairi (2017) mencionan que en los últimos 20 años el resurgimiento del IBS ha sido testigo de los mayores avances tecnológicos en Europa, Estados Unidos y China. Los autores destacan que la definición más informativa para el IBS es que *“IBS is a construction technique in which components are manufactured in a controlled environment (on or off site), transported, positioned and assembled into a structure with minimal additional site work.”*. Es decir, es un sistema de construcción donde los componentes no se fabrican en el mismo sitio de la construcción. Estos se producen fuera (aunque podría ser en la obra misma, mas no en el lugar de construcción) lo que permite una estandarización de los elementos. Esta técnica requiere planificación previa y permite que la calidad final del producto sea controlable y predecible.

El IBS se clasifica en cuatro sistemas principales:

1. Macros y fachadas de concreto prefabricado

2. Marcos de acero
3. Marcos de madera
4. Encofrados de acero, reforzamientos de acero, mallas, etc.

Entre las principales ventajas del IBS se cuentan la calidad, el ahorro en los tiempos de construcción, y la limpieza en el sitio de construcción. Estas ventajas se explican por la existencia de planos y de construcción en serie, para las cuales deben existir tolerancias de error estipuladas con anterioridad. Además, la construcción mediante IBS es sostenible. Existen estimaciones que indican que reducen el impacto medioambiental por traslado de materiales hasta en un 1/3 (Elliot & Zuhairi (2017)).

Dentro de las desventajas que presenta el IBS está que compite directamente con los costos laborales. Esto es, en regiones donde el valor por trabajador es alto, conviene adoptar medidas de industrialización, pero donde el costo del trabajo es relativamente más bajo, no es claro que sea conveniente. Adicionalmente, requiere una demanda por construcciones estandarizadas suficientemente alta, sea pública o privada. La coordinación de la industria es fundamental, ya que se necesita un nivel de estandarización en diversas etapas de la cadena de producción. Los niveles de tolerancias para los componentes deben ser homogéneos, y los diseñadores y clientes requieren una coordinación temprana para una planificación coherente con sus necesidades.

b. Lean Construction

La construcción tipo “Lean” o Lean Construction fue un término que se acuñó durante los 90s y se formalizó a comienzos del siglo XXI (Koskela et al. 2002). Se inspira en el sistema de producción Lean, o “Lean Production” que nació con la forma de operar de la Toyota en la década de 1930. La idea de la producción “Lean” es minimizar los residuos en la cadena productiva y producir bienes de acuerdo con las necesidades de los consumidores. Esto, en contraposición a la producción en masa de un mismo bien homogéneo, como el ejemplo clásico de la cadena de producción de Ford.

Esta metodología fue desarrollada por el ingeniero de Toyota, Taiichi Ohno y su aplicación al mundo de la construcción implica lo siguiente:

1. Tener claros los objetivos para todos los procesos.
2. Apuntar a maximizar el desempeño del producto para el consumidor.
3. Diseñar en paralelo tanto el producto como el proceso para producirlo.
4. Controlar la producción a través de la vida del proyecto.

Las formas de construcción clásicas están enfocadas en las actividades, en donde se apunta a optimizar el proyecto actividad por actividad, asumiendo que los requerimientos

del consumidor se han identificado bien al momento de diseñar el producto. La construcción Lean busca entender la relación entre las diferentes tareas y actividades, para minimizar las interdependencias de actividades y así poder alcanzar mayores niveles de complejidad de productos, pero con menores desperdicios (Howell, 1999).

Además, la construcción Lean permite tener una teoría de la construcción, y así crea un lenguaje y conceptos para poder entender mejor los problemas, y darles soluciones apropiadas. A esta característica se suma el hecho que es más efectiva que los métodos de construcción convencionales. Por lo mismo, la Lean Construction, más que una alternativa de formas de construcción, es un marco teórico y práctico para pensar la construcción (Koskela et al. 2002).

La metodología de construcción Lean Construction tiene una utilidad especial en conjunto con los prefabricados, de acuerdo con el cofundador del Lean Construction Institute, Greg Howell (McGraw-Hill Construction, 2013). Lo anterior, porque permite una respuesta de alta calidad frente a proyectos complejos, repentinos, y que se tienen que construir de forma rápida, tales como hospitales, data centers o plantas de manufactura. Todas las partes —como arquitectos, constructora, ingenieros, eléctricos —están involucrados desde etapas tempranas en el proyecto, lo que permite que las decisiones se tomen con la menor incertidumbre posible y las ventajas del prefabricado se aprovechen al máximo.

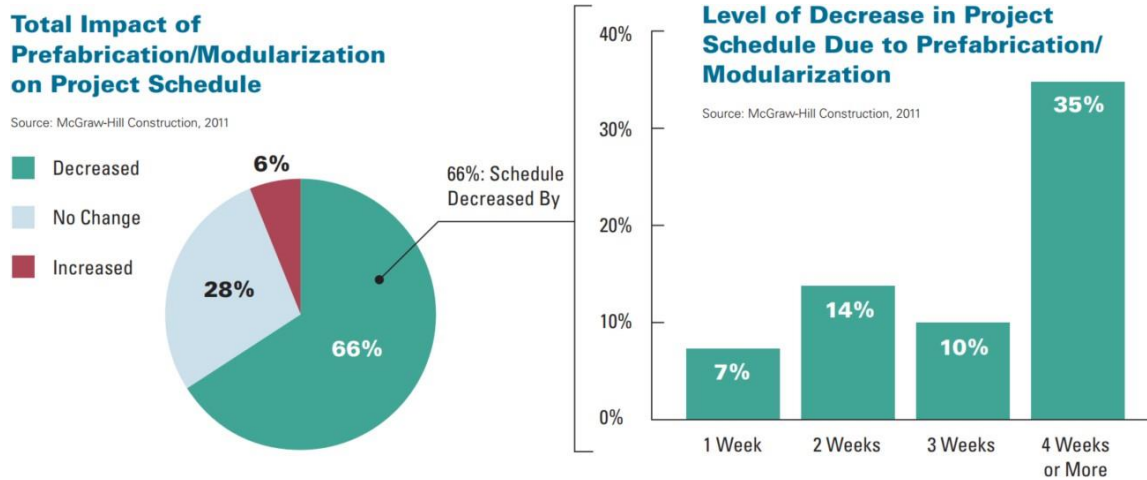
4. Impactos de la prefabricación en la productividad de la prefabricación: Experiencia de los Estados Unidos

La compañía McGraw Hill-Construction el 2011 realizó un estudio sobre los avances de la construcción prefabricada en los Estados Unidos. Para esta investigación recolectaron datos de contratistas, arquitectos e ingenieros, a quienes les preguntaron por sus experiencias con el prefabricado. Junto con lo anterior, analizaron la actividad del mercado, la productividad de los proyectos, los factores que influyen el uso de la prefabricación y la modularización, entre otras variables. Aquí se resumen algunos de los datos que presentaron en su informe.

a. Impactos en los plazos de los proyectos

Un 35% de las firmas que fueron consultadas experimentaron ahorros de tiempos de 4 semanas o más en la planificación y plazos de la obra. Estos ahorros llegan a un 47% para las firmas medianas y grandes, y un 50% para las firmas que utilizan BIM. Estas ganancias de tiempos pasan principalmente por la posibilidad de superponer actividades. El uso extensivo de la prefabricación permite ser más intensivo en las tareas, la coordinación temprana y mejorar el diseño del proyecto.

Figura 5: Impactos en plazos de los proyectos

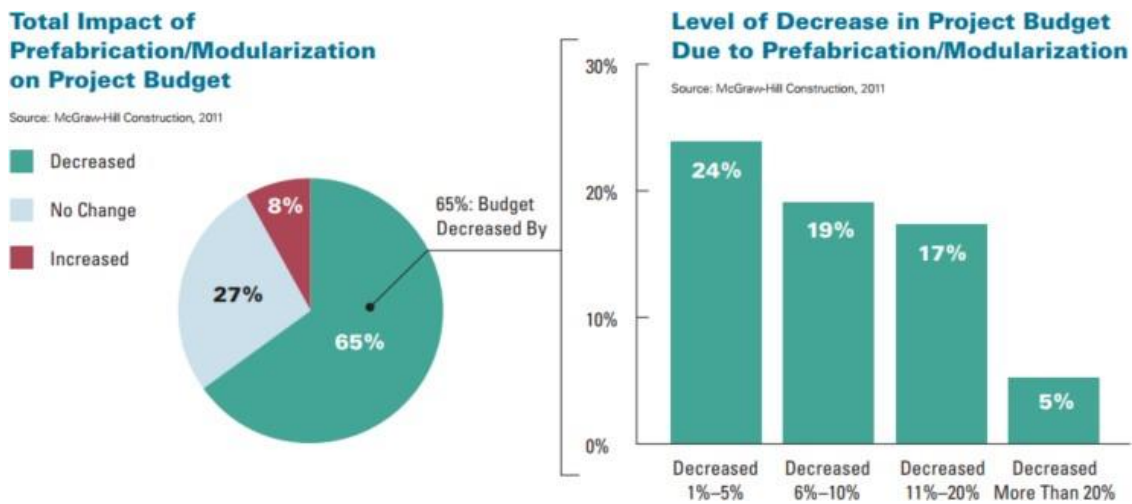


Fuente: Gráficos extraídos de McGraw Hill-Construction (2011).

b. Impactos en costos de proyectos

En cuanto al impacto en los costos de los proyectos, el 65% de las empresas que utiliza la prefabricación mencionan que redujeron sus costos. Un 42% de las firmas indican que la reducción de los costos fue de un 6% o más. Las razones que señalan para explicar estos ahorros se relacionan con aspectos derivados de la planificación y la construcción fuera del sitio de la obra. También se menciona la disminución de las horas extraordinarias de los trabajadores, ahorro en los costos no previstos, reducción de las instalaciones en el sitio de la obra, entre otras. Muchos encuestados mencionan que una de las ventajas—a pesar que la prefabricación pueda ser un poco más cara— es que los costos fijos están garantizados y al igual que una buena calidad de los productos.

Figura 6: Impacto en costos de proyectos



Fuente: Gráficos extraídos de McGraw Hill-Construction (2011).

Las disminuciones en los costos no son siempre evidentes y tampoco son inmediatas. Existen algunos aumentos de costos en diseño e ingeniería adicional que se deben realizar. Las empresas que se dedican al diseño de construcción son las que asumen el mayor riesgo con el prefabricado, aunque también son las que tienen mayores retornos.

c. Impactos en Seguridad

En términos agregados, las tasas de accidentabilidad del sector, de acuerdo con este estudio se han mantenido constantes, a pesar de que ha habido una desaceleración en el sector de la construcción.

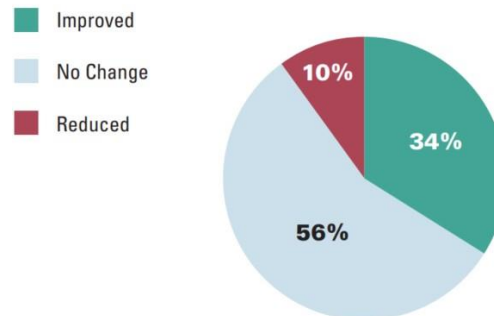
No obstante, un tercio (34%) de los entrevistados mencionó que han tenido aumentos en seguridad con la prefabricación. Factores comunes en esta reducción son la menor necesidad que los trabajadores utilicen escaleras, andamios, y también se evita trabajar en lugares estrechos.

Sin embargo, también hay un 10% que menciona que la seguridad se vio reducida con el prefabricado. Las piezas que hay que movilizar e instalar son más grandes en relación a la construcción clásica, por lo que considerar esta dificultad es clave.

Figura 7: Impactos en seguridad en el trabajo

**Impact of Prefabrication/
Modularization on Site Safety**

Source: McGraw-Hill Construction, 2011



Fuente: Gráficos extraídos de McGraw Hill-Construction (2011).

d. Impactos en calidad de los proyectos

El principal impacto en la calidad de los proyectos está dado por construir en ambientes controlados. Quiénes operan máquinas en una fábrica adquieren habilidades específicas y permanentes, y además, los productos son verificables con mayor facilidad en cuanto al cumplimiento de estándares de calidad. De los encuestados que no utilizan prefabricados, un 65% esperaba tener ganancias en calidad al utilizar procesos que incluyan modularización o prefabricación.

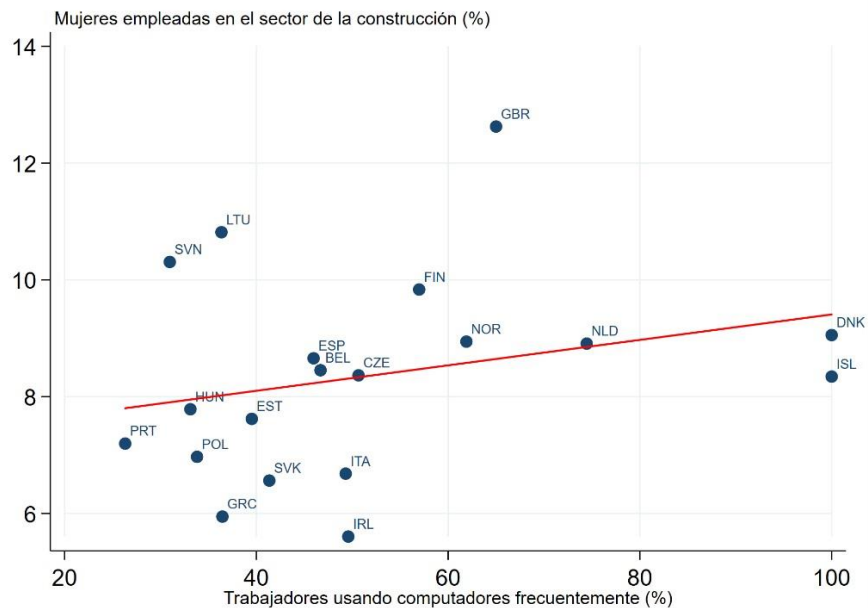
Los arquitectos son los que esperan una mayor ganancia en cuanto a calidad. Lo anterior está en directa relación con el hecho que, con la prefabricación, los arquitectos ganan en capacidad de agencia al momento de decidir los materiales de construcción. Con los métodos de construcción tradicionales, el contratista puede decidir usar materiales de menor calidad para abaratar costos, pero con la prefabricación el arquitecto tiene mayor injerencia en la decisión final de los materiales.

e. Otros aspectos positivos de la construcción industrializada

Un aspecto recurrente al hablar de construcción industrializada, en conjunto con los beneficios de seguridad y control de calidad, es que ésta tiene impactos ambientales en el sitio o lugar de la construcción (en la obra). En los casos de la construcción modular y la prefabricación, se reducen significativamente los desperdicios, el polvo y el ruido ambiental. Así lo documentan varios estudios, entre ellos Jaillon & Poon (2008) que realizan un análisis de la industria de la construcción prefabricada en Hong-Kong. Esta es una característica positiva en tanto permite que esta forma de construir tenga mejor aceptación en la comunidad y potencialmente los permisos de construcción sean más fáciles de conseguir.

Otro factor que es mencionado frecuentemente, aunque no ha sido empíricamente documentado, es que la construcción industrializada favorece la participación laboral femenina en el sector de la construcción. Para revisar evidencia que puede sugerir tendencias en este aspecto, la Figura 8 compara para el sector de la construcción la participación de las mujeres en el total de los empleados del sector de la construcción con el porcentaje de uso frecuente del computador para el año 2019. Se puede notar una correlación positiva entre las mujeres trabajando en la construcción y el uso de tecnología en la construcción. Esto sugiere que un sistema de construcción industrializada, en donde el uso de tecnología es más intensivo que en los sistemas tradicionales de construcción, podría favorecer la participación laboral femenina.

Figura 8: Porcentaje de mujeres empleadas vs trabajadores usando computadores frecuentemente en el sector de la construcción. Año 2019.



Fuente: Elaboración propia. Datos de uso del computador en el trabajo sacados de la OECD. Datos de empleo femenino en el sector de la construcción sacados de la base ILOSTAT de la International Labour Organization.

f. Razones señaladas para no utilizar prefabricado

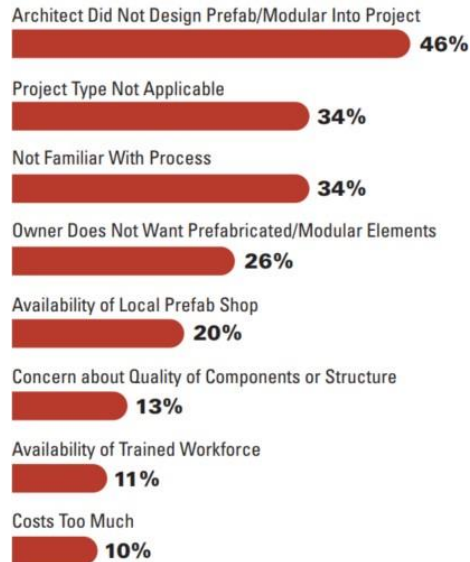
Siguiendo con la revisión del estudio, un 46% de los encuestados que no utilizan técnicas de prefabricación señalan que es porque el arquitecto no diseñó el proyecto de tal forma que se pudiera utilizar este sistema constructivo. La segunda razón que aparece como la más señalada, es que el proyecto no sería adecuado para el uso del sistema de prefabricación, seguida por la razón de que no se está familiarizado o no se conoce

apropiadamente este sistema constructivo. Al final, la razón menos recurrida es que los costos de este sistema son más altos.

Figura 9: Razones reportadas para no utilizar sistemas prefabricados

Non-Users Current Reasons for Not Using Prefabrication/Modularization on Projects

Source: McGraw-Hill Construction, 2011



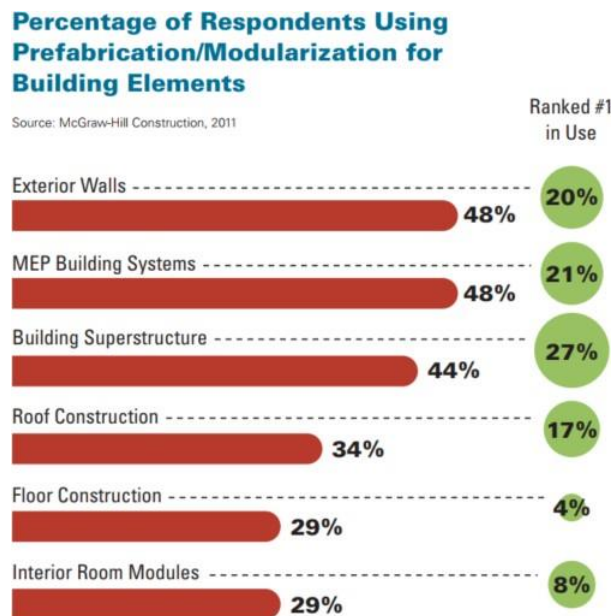
Fuente: Gráficos extraídos de McGraw Hill-Construction (2011).

Esto deja espacio para pensar fundamentalmente que la masificación de la prefabricación tiene más que ver con aspectos de diseño, y potencialmente de demanda por este tipo de edificaciones. Si los clientes se comienzan a sentir cómodos con la construcción prefabricada, es posible que los arquitectos diseñen proyectos en esta línea. Los costos parece ser un tema secundario.

g. Prefabricados más utilizados

Dentro de los prefabricados más usados se encuentran los muros y los módulos para sistemas mecánicos, eléctricos y de cañerías. La construcción de superestructuras modulares son el 44% de los elementos más utilizados, pero son los prefabricados que los encuestados rankean en el número 1. Lo anterior, dado que para quienes lo utilizan es su principal forma de construcción y asimismo, es en la que se obtienen mayores beneficios en cuanto a reducción de costos y de tiempos.

Figura 10: Utilización más frecuente de prefabricados como elementos de construcción



Fuente: Gráficos extraídos de McGraw Hill-Construction (2011).

5. Experiencias de otros países en construcción industrializada

a. Singapur

Singapur es uno de los países donde la construcción industrializada, en particular la construcción modular y prefabricada, se encuentra más desarrollada. A finales de los años 90 el gobierno tomó medidas para mejorar la industria de la construcción que se encontraba estancada en cuanto a su productividad y calidad (Idiem, 2018).

Es así que Singapur desde el año 1999 tiene una organización dependiente del Ministerio de Desarrollo llamada Building and Construction Authority (BCA). Esta organización es la encargada de impulsar políticas en el sector de la construcción, y en sus palabras, “busca hacer del sector de la construcción algo seguro, de alta calidad, sostenible y amigable con el medio ambiente”.

Entre las políticas que impulsa esta agencia se destaca la BCA Academy, que es una organización encargada de entrenar a los trabajadores del sector de la construcción. Esta academia fue creada en 1984 bajo otro nombre, y en 1999 con la creación de la BCA fue puesta bajo su administración. A través de esta entidad se ofrecen programas académicos

de licenciaturas y magíster. Sus instalaciones están situadas en un campus de 25.000 metros cuadrados construidos.

El año 2011 la BCA introdujo una regulación al Building Control Act sobre materias relacionadas con la forma de construir y la productividad mínima requerida para diferentes tipos de proyectos públicos y privados. Se define un puntaje de construcción que considera diferentes factores que incluyen aspectos de prefabricado, y el cual se utiliza para exigir ciertos mínimos de acuerdo a las características de cada proyecto.¹ En dicha regulación además, se establecen las penas financieras para quienes no cumplan con los requerimientos. El año 2013 y el 2014 la misma BCA aumentó los requerimientos de puntaje con el objeto de empujar a la industria de la construcción hacia una mayor estandarización.

Las características de Singapur lo hacen una realidad alejada a la chilena, particularmente por la verticalidad del gobierno y la regulación que requieren para casi todas las acciones.

b. Malasia

En Malasia el método de prefabricación se popularizó durante la década de los 60 principalmente por la escasez de viviendas. Posteriormente, durante más de 40 años el sistema no siguió desarrollándose (Musa, 2015). En el último tiempo, y dada la necesidad que vio el gobierno de Malasia de aumentar la productividad en el sector de la construcción, decidió dar un reimpulso a la industrialización.

Así, el gobierno de Malasia mediante el Construction Industry Development Board (CIBD) promueve el cambio de la forma de construcción, desde el método tradicional hacia el Industrialized Building System (IBS). En los últimos años se han llevado a cabo políticas en esta línea, como el plan de construcción para los años 2006 al 2015, llamado Construction Industry Master Plan (Musa, 2015).

También se han implementado—como en otros países—hojas de ruta para la implementación de IBS. Estos son conocidos como IBS Roadmaps, y han tenido versiones para los tramos 2003-2010, 2011-2015. Para el tramo 2016-2020 la hoja de ruta quedó dada por el Construction Industry Transformation Program 2016-2020.

En Malasia el gobierno estima un puntaje para las edificaciones llamado IBS Score. Con este puntaje realiza políticas públicas para incentivar la construcción off-site. El año 2008 el gobierno con el objetivo de promover aún más la construcción industrializada, estableció que todos los proyectos públicos debían construirse con al menos un 70% de componentes

¹ https://www1.bca.gov.sg/docs/default-source/docs-corp-news-and-publications/publications/codes-acts-and-regulations/building_control_buildability_regulations.pdf?sfvrsn=b399abb9_0

industrializados (Mohd, 2015). De hecho, esta política comenzó el año 2004 cuando exigía un 30% de componentes industrializados, porcentaje que fue gradualmente aumentando hacia el 2006 llegó a un 50%.

c. Nueva Zelanda

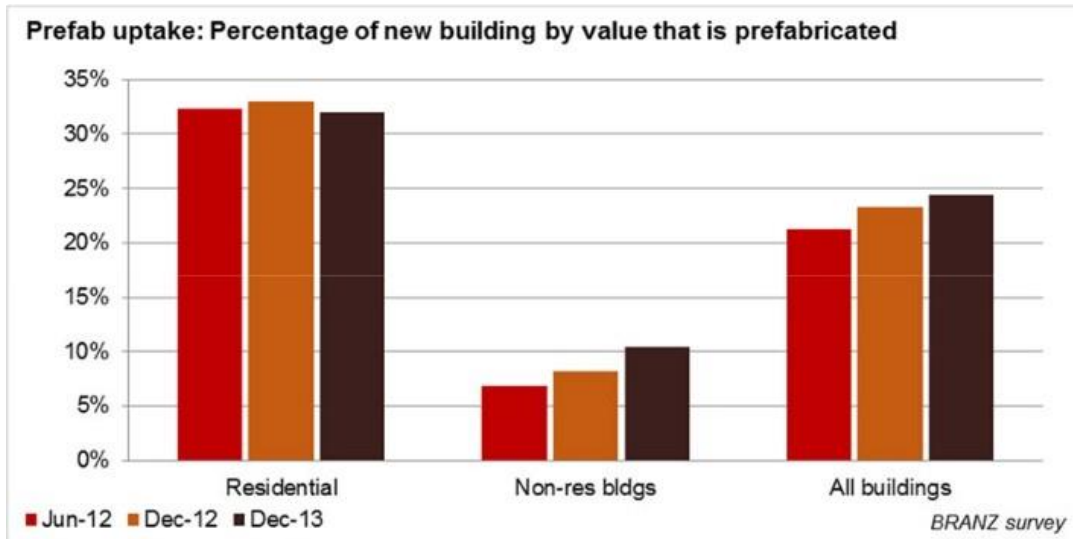
El prefabricado en Nueva Zelanda ha existido desde antes del 1800 en diferentes construcciones del país. Sin embargo, se tratan de construcciones aisladas y no de una técnica sistemáticamente.

El año 2009 una tesis de magíster de la estudiante Pamela Bell de la Victoria University of Wellington titulada “Kiwi Prefab: Prefabricated Housing in New Zealand” identificó dos áreas clave para el prefabricado y 15 recomendaciones para avanzar en esta línea. Dicha tesis sirvió como punto de partida para generar conciencia sobre los alcances del prefabricado. Al año siguiente, la misma universidad albergó un workshop “Kiwi Prefab” en donde variados agentes de la industria de la construcción llegaron a la conclusión que era necesario crear una organización a nivel de industria para impulsar el prefabricado. Así nace PrefabNZ.

PrefabNZ funciona como una organización “paraguas” que sirve para conectar, informar, educar, y lograr realizar más rápido actividades colectivas en torno al prefabricado.

Para el año 2015, Nueva Zelanda tenía un 32% de uso del prefabricado si se considera la construcción de viviendas (Page & Norman, 2014). Esto lo pone a la par con países como Estados Unidos y Japón, que tienen un 33% y 35% respectivamente (PrefabNZ, 2015). Considerando países europeos avanzados en prefabricación, Nueva Zelanda se encuentra detrás de Finlandia y Suecia, que presentan 50% y 90% de uso del prefabricado en la construcción de viviendas.

Figura 11: Penetración del prefabricado en Nueva Zelanda al 2013.



Fuente: Page, I. and Norman, D. (2014). Informe de BRANZ.

Figura 12: Comparado de países en prefabricación en el sector de la construcción de viviendas

Uptake of prefabrication (Housing Sector only). Source : PrefabAUS + PrefabNZ		
Australia	3%	With an ambition to achieve 10% of the market by 2020
UK	4%	Prefab housing makes up less than 4% of new buildings (2005)
Spain and France	5%	In France this figure is rapidly increasing due to strict building green codes
Germany	20%	Increasing due to speed, quality and user demand for sustainable construction
New Zealand	32%	Mostly wall framing, roof trusses, windows and joinery (BRANZ 2013)
North America	33%	Up to 1/3 all new single-family houses are modular or manufactured
Japan	35%	Prefabrication seen as a medium to high-end product
Finland	50%	Quality focus for prefabrication, long acceptance of prefabrication
Sweden	90%	Quality focus for prefabrication, panelised housing is the norm

Fuente: PrefabNZ (2015). Levers for Prefab.

6. El caso de Chile

La industrialización de la construcción en Chile no ha sido una prioridad de la política pública y tampoco un esfuerzo sistemático del sector privado. Han existido distintas experiencias en el tiempo, pero ninguna se ha consolidado, salvo las viviendas de emergencia. En los últimos años y como consecuencia del deterioro de la productividad del sector, las exigencias regulatorias, y el surgimiento de una ciudadanía cada vez más

consciente de sus derechos y demandante de mejoras en los estándares de calidad del entorno urbano, se han venido desarrollando esfuerzos más sistemáticos con el objeto de avanzar en sistema constructivos industrializados.

Uno de los esfuerzos más importantes destinados a impulsar la industrialización de la construcción en Chile fue la creación del Consejo para la Construcción Industrializada. Este consejo fue una iniciativa surgida al amparo del programa Corfo “Construye 2025”, el que busca mejorar la productividad y la sustentabilidad del sector de la construcción. Construye 2025 es un programa que funciona como puente de unión entre diferentes actores del mundo de la construcción, como lo son las constructoras, arquitectos, sector público y el mundo académico.

En Chile, de acuerdo con números expuestos en el Segundo Seminario de Construcción Industrializada de Construye 2025, sólo el 1% de la construcción se realiza con métodos industrializados (Construye 2025, 2018). Dentro de los exponentes más importantes se encuentran empresas como Tecnofast y Baumax.

Tecnofast es una empresa que se dedica a modularizar proyectos de arquitectura, con tal de que el 85% del proyecto se lleve a cabo en la fábrica, y sólo el 15% se realice en la obra misma. En un comienzo se enfocaron principalmente en campamentos mineros, pero luego de que el boom de la minería en Chile decayó, la empresa diversificó sus productos. Hoy llevan a cabo proyectos que implican soluciones para el sector de la salud, la educación, viviendas y también el sector de negocios. Han armado casas desde 40 metros cuadrados hasta más de 400 metros cuadrados, y también han construido proyectos en altura de hasta 6 pisos (Construye 2025, 2018).

Baumax, por otro lado, es una empresa de prefabricados que propone una mezcla de diseños flexibles con una construcción industrializada. Fabrican en una planta tipo “carrusel”, lo que reduce los riesgos laborales y los tiempos de construcción. De acuerdo a números de la propia empresa, en comparación con la construcción tradicional son un 30% más rápidos, 26% más eficientes (menor hora hombre por m²), y reducen las mermas en un 50%.

A pesar de los avances de las empresas líderes, Chile se encuentra por debajo de países desarrollados en construcción industrializada que presentan en torno al 25% de construcción off-site.

Adicional a esto, se cuenta el Plan BIM, que es un programa que busca impulsar la adopción del BIM a través del instrumento de compras públicas. Tiene como objetivo la incorporación gradual hacia el 2020.

Apostillas: “La nueva normalidad en la construcción” – McKinsey (2020)

La consultora internacional McKinsey (en adelante MCK) publicó en junio del 2020 un reporte llamado “The next normal in Construction” donde analizan el panorama actual del sector de la construcción, y revisa la opinión de expertos frente a la pandemia del COVID-19. En dicho informe, se destaca a la construcción industrializada como una de las grandes transformaciones que se está viviendo en el sector. En esta sección se revisan los puntos más destacados de este informe.

El sector de la construcción —como ha sido mencionado en reiteradas ocasiones— se ha desempeñado pobremente en cuanto a productividad. Los problemas que se han destacado en diversos estudios apuntan a las excesivas regulaciones, proyectos públicos hechos a medida, problemas operacionales de las empresas, falta de trabajadores cualificados, y en general un sector con baja estandarización, opaco y atomizado. Esto ha dado pie para que en los últimos años surjan fuerzas disruptivas que poco a poco han cambiado la industria. Estas fuerzas disruptivas tienen diferentes orígenes, y una de ellas es la construcción industrializada.

Si bien la construcción industrializada ha ido creciendo en los últimos años, el desarrollo de la pandemia hará mucho más atractivo el moverse hacia un sistema de construcción controlado, off-site, y automatizado.

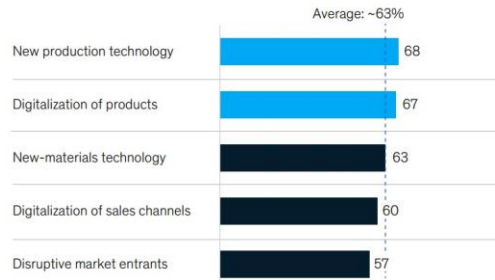
Los datos que analiza MCK provienen de dos encuestas que realizaron a expertos internacionales. La primera la realizaron entre noviembre y diciembre del 2019 a 400 gerentes, ejecutivos y dueños de empresas relacionadas a la construcción. La segunda la realizaron en mayo de 2020 a 100 tomadores de decisiones en el mundo de la construcción respecto a los cambios a los que se verá enfrentada la industria a raíz del COVID-19.

Ya en el año 2019, la encuesta a los 400 expertos da luces de que los cambios principales que ven venir tienen que ver con las nuevas tecnologías de producción, digitalización de productos y canales de venta, nuevos materiales de producción, y nuevos entrantes al mercado. Más de 2/3 de los encuestados en el 2020 creen que la pandemia acelerará estos cambios y alrededor de la mitad de los encuestados señala que su compañía ya ha invertido en digitalización de sus canales de venta (57%) y en la digitalización de sus productos (45%).

Figura 13: Disrupciones emergentes esperadas en el sector de la construcción y expectativas de aceleración por la pandemia

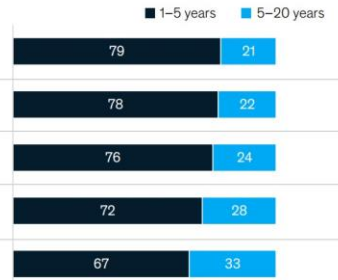
Industry leaders expect disruption to occur.

Which [of these emerging disruptions] do you think will have highest impact on the construction industry? Share of respondents rating that emerging disruptions will have "high impact,"¹ %



More than two-thirds of respondents think that industrialization and digitalization will have the highest impact of the emerging disruptions

When do you think the emerging disruptions will impact construction at scale? Share of respondents, %



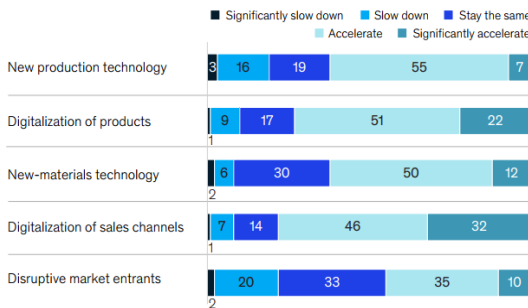
More than two-thirds of respondents expect disruptions to impact construction in the near term

¹ High impact equals a 7 or higher, where 10 is highest impact.

Source: McKinsey survey of 400 construction-industry CxOs; expert interviews; McKinsey analysis

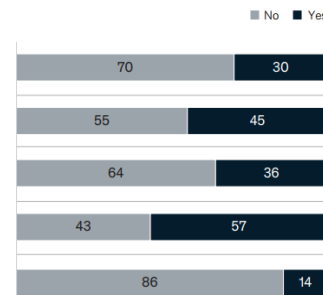
A majority of survey respondents believe that the COVID-19 crisis will accelerate disruptions—and have increased investments accordingly.

As a result of COVID-19, which [of these emerging disruptions] do you believe will accelerate, stay the same, or slow down? Share of respondents, %



Around two-thirds of respondents believe that the COVID-19 crisis will accelerate virtually all emerging disruptions (disruptive market entrants being the exception)

As a result of COVID-19, has your company increased investments in the respective disruptions? Share of respondents, %



Around one-third of respondents' companies have invested more in disruptions (except in market entrants), especially in the digitalization of sales channels and products

Source: Survey of 100 industry CxOs, May 2020

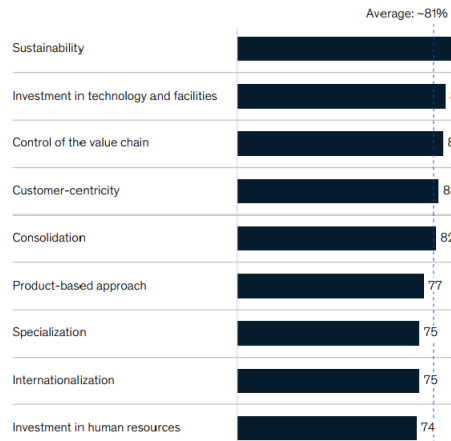
Fuente: Gráficos extraídos del reporte McKinsey (2020) – The next normal in Construction

De los cambios que más se esperaban que ocurrieran en la industria, el 2019 los expertos rankearon dentro de los tres primeros: cambios en sustentabilidad, inversión en tecnología e instalaciones, y cambios en el control de la cadena de valor. El 2020, un 53% cree que el COVID-19 acelerará los cambios en sustentabilidad, pero un 69% cree que se acelerará la inversión en tecnología e instalaciones, y un 70% cree que se anticiparán los cambios en la cadena de valor. Además, destacan que la pandemia acelerará cambios en la consolidación y concentración de actores en la industria de la construcción (71%).

Figura 14: Cambios disruptivos esperados en el sector de la construcción y expectativas de aceleración por la pandemia

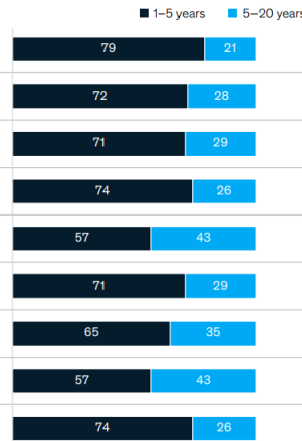
Industry leaders expect shifts to occur in the short term.

How probable do you think [the listed shifts] are to occur?
Share of respondents rating shifts as "probable,"¹ % , n = 400



More than 75% of respondents believe that the shifts will probably occur—sustainability shift seen as most likely

When do you think the shifts will impact at scale? Share of respondents who rated shifts as "probable,"¹ % , n = 370



More than 70% of the respondents who believe that shifts will occur also believe that industrialization will occur in the short term

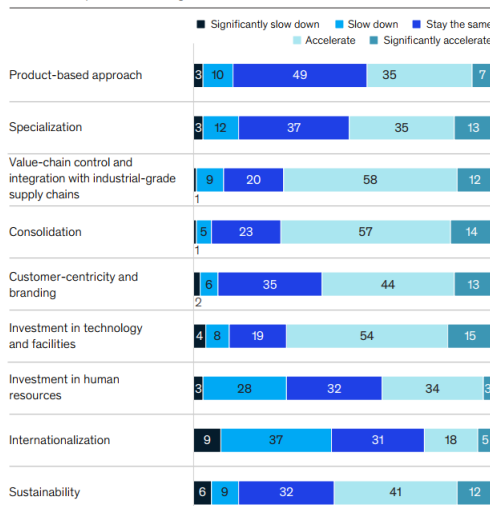
Note: N = 400 - whereof 63% real estate, 19% infrastructure, 18% industrial; 47% North America, 39% Europe, 11% APAC, 2% Middle East and Africa, 2% Latin America

¹ Probable equals a 5 or higher, where 10 equals the highest certainty that the shift will occur.

Source: McKinsey survey of 400 construction-industry CxOs; expert interviews; McKinsey analysis

Around two-thirds of respondents believe that most industry shifts will accelerate as a result of the COVID-19 crisis, although internationalization and investment in people are expected to slow down.

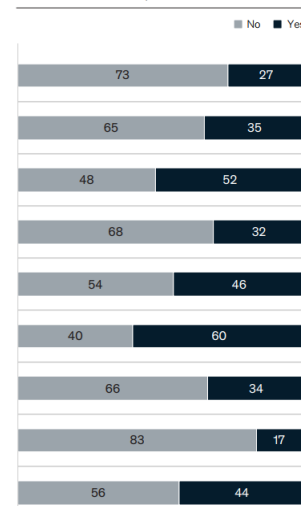
As a result of COVID-19, which [of these shifts] do you believe will accelerate, stay the same, or slow down?
Share of respondents rating shifts, %



Around two-thirds of respondents believe that the COVID-19 crisis will accelerate virtually all emerging disruptions (disruptive market entrants being the exception)

Source: Survey of 100 industry CxOs, May 2020

As a result of COVID-19, has your company increased investments in the respective shifts? Share of respondents, %



Around one-third of respondents' companies have invested more in most shifts, especially in technology and value-chain control

Fuente: Gráficos extraídos del reporte McKinsey (2020) – The next normal in Construction

Bibliografía

Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M. J., Sridhar, M., Parsons, M., ... & Brown, S. (2017). Reinventing construction: a route to higher productivity. *McKinsey Global Institute*.

Construye 2025. (2018). Segundo Seminario Internacional de Construcción Industrializada. Disponible en <https://youtu.be/jtmta1DaRGE> [Última vez revisado: 17/06/2020]

Elliot Kim, S., & Abd, H. Z. (2017). Modernisation, mechanisation and industrialisation of concrete structures.

Girmscheid, G. (2005). Industrialization in Building Construction: Production Technology or Management Concept?. In *Understanding the Construction Business and Companies in the New Millennium: Proceedings of the 11th Joint CIB International Symposium: Combining Forces-Advancing Facilities Management and Construction through Innovation* (Vol. 1, pp. 427-441). VTT Technical Research Centre of Finland and RILUniversity of West Indies.

Girmscheid, G., & Frits, S. (2010). New perspective in industrialisation in construction: A state-of-the-art report. In CIB publication (No. 329). Eigenverlag des Institut für Bauplanung und Baubetrieb an der ETH Zürich.

Howell, G. A. (1999, July). What is lean construction-1999. In *Proceedings IGLC* (Vol. 7, p. 1).

IDIEM. (2018). Estandarización de medidas de partes y piezas de componentes de la construcción. Documento CONSTRUYE 2025.

Jaillon, L., & Poon, C. S. (2008). Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: a Hong Kong case study. *Construction management and Economics*, 26(9), 953-966.

Kamar, A. M., Hamid, Z. A., & Azman, N. A. (2011). Industrialized building system (IBS): Revisiting issues of definition and classification. *International journal of emerging sciences*, 1(2), 120.

Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., & Tommelein, I. (2002). The foundations of lean construction. *Design and construction: Building in value*, 291, 211-226.

McGraw-Hill Construction (2013). Lean construction: Leveraging collaboration and advanced practices to increase project efficiency. *Bedford, MA: McGraw-Hill Construction*.

McKinsey & Company. (2020). The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem. *McKinsey & Company Report*.

Musa, M. F., Mohammad, M. F., Yusof, M. R., & Mahbub, R. (2015). The way forward for industrialised building system (IBS) in Malaysia. In InCIEC 2014 (pp. 163-175). Springer, Singapore.

Richard, R. B. (2010). Five degrees of industrialized building production. *Girmscheid, G & Scheublin, F.(toim.). New Perspective in Industrialisation in Construction—A State-of-the-Art Report. Zürich, IBB-Institut für Bauplanung und Baubetrieb, 15-27.*

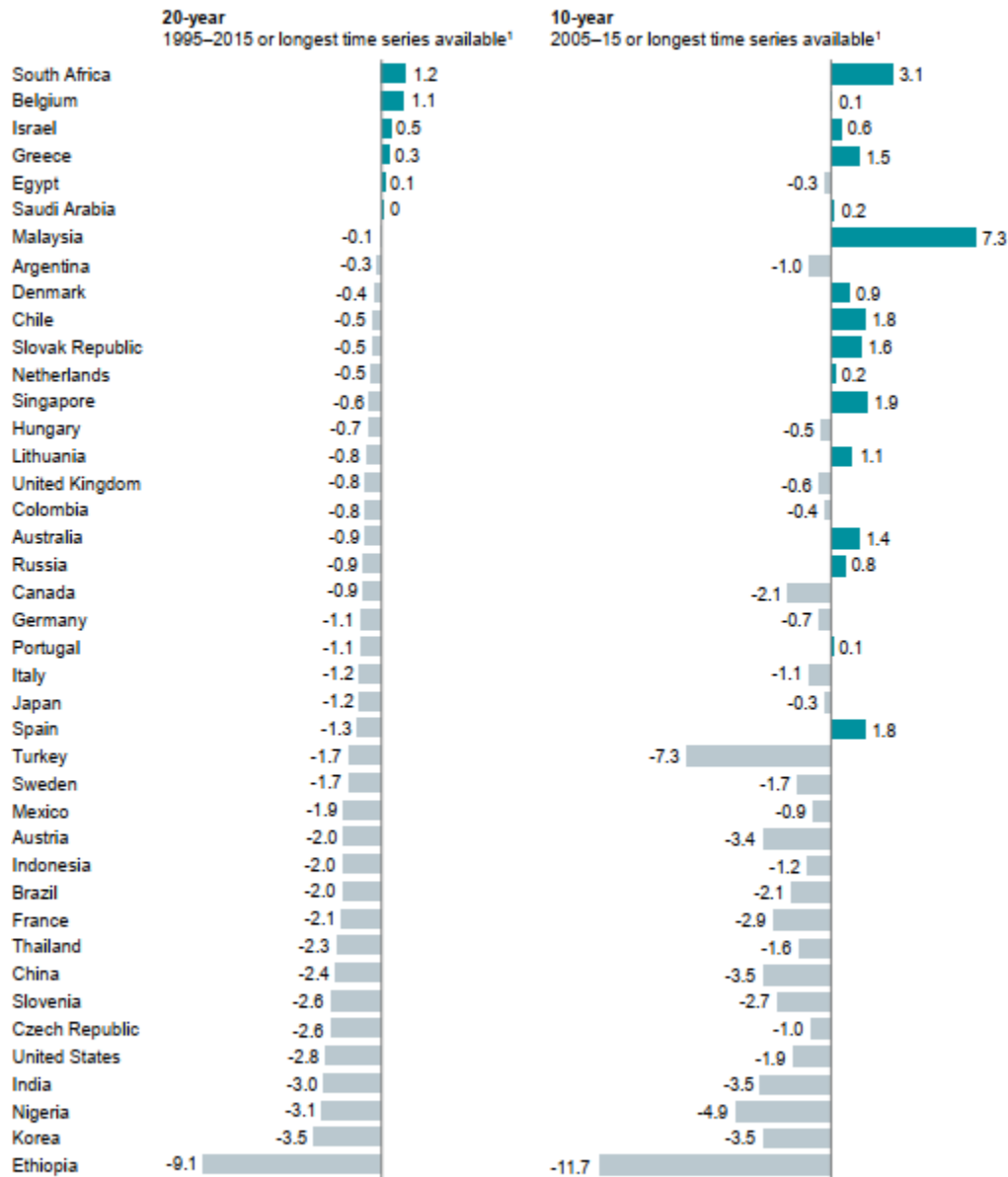
Anexos

Exhibit 10

Productivity has been slow compared with the total economy across geographies for the past 20 years

Differential in construction sector and overall economy labor productivity

Real gross value added per hour worked by persons engaged, compound annual growth rate, %



¹ Countries with a shorter time series due to data availability: Argentina, Australia, Brazil, Chile, Ethiopia, Japan, Mexico, Nigeria, South Africa (1995–2011); Belgium (1995–2014); China (1999–2014); Colombia (1995–2010); Czech Republic, France, Israel, Malaysia, Russia (1995–2014); Egypt (1995–2012); Indonesia (2000–14); Saudi Arabia (1999–2015); Singapore (2001–14); Thailand (2001–15); and Turkey (2005–15). Only persons employed data available; assumed each person worked 35 hours per week, 48 weeks per year.

SOURCE: OECD Stat; EU KLEMS; Asia KLEMS; World KLEMS; CDI, Saudi Arabia; Ministry of Labor, Saudi Arabia; WIOD; GGDC-10, Ganda; McKinsey Global Institute analysts