



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

EVALUAR EL GRADO DE ADOPCIÓN DE CONSTRUCCIÓN 4.0. EN  
PLANIFICACIÓN Y CONTROL, EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

PABLO GABRIEL LEIVA REYES

PROFESOR GUÍA:  
JORGE PULGAR ALLENDES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
EDGARDO GONZALEZ LIZAMA  
WILLIAM WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE  
2022

# Resumen

El presente trabajo de título consiste en evaluar el grado de adopción del paradigma de Construcción 4.0. en la industria constructiva local, en particular en su área de planificación y control. Para realizar esta evaluación, se investigó el estado actual del sector constructivo, tanto a nivel local como global, respecto de su transición a Construcción 4.0. Posteriormente, se realizó una compilación de avances y tecnologías asociadas a este nuevo paradigma que se encuentren en uso en la actualidad. Como resultado, se estableció que actualmente existen tres niveles de avances o pasos que completar para que una empresa del sector constructivo, o el sector completo puedan considerarse como adaptados completamente a la Construcción 4.0, y que actualmente la industria constructiva local se encuentra en una etapa temprana de su transición a esta nueva versión de la construcción.



*Para mis abuelas Cristina, Angelina y Saruca.  
Y a los que dejamos la academia desilusionados.*



# Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por su enorme paciencia y apoyo a lo largo de todos estos años, y siempre tener una palabra para ayudar a volver a ponerme de pie, y pucha que me caí muchas veces.

Agradezco al profesor Jorge Pulgar por su paciencia y comprensión a lo largo del desarrollo de este trabajo, y a la comisión de este trabajo por proporcionarme sus ideas y tiempo.

Muchas gracias a mis amigos del Instituto Nacional, que siempre me han escuchado y dado su compañía a través de buenas y malas. Me llena de orgullo vernos cumplir nuestras metas después de todo estos años y espero seguir viéndolos cumplir las suyas por mucho tiempo más.

A mi pandilla de Plan Común, que me hizo sentir aceptado y cómodo siendo mi mismo en un lugar extraño. Todas las tardes, almuerzos e historias se llevarán en el corazón por siempre. A todos mis maravillosos compañeros de Física y Astronomía, gente de la que aprendí tanto, con las que compartí tantas tardes de stress, matraca y juegos, y que me dieron la oportunidad de moldear un espacio con ellos para que todos pudiéramos tener un mejor pasar por la facultad. Para mí, la comunidad que logramos crear en ese lugar es lo más lindo en lo que participé en mi paso por la facultad.

A mis queridas amigas de Asmodee Chile, donde más que aprender sobre el mundo laboral, terminé aprendiendo el como ser un líder, a equivocarme y finalmente a ser una mejor persona. Lo aprendido con ustedes me ayudó a crecer en todo aspecto de una forma que no hubiese podido ser posible de otro modo.

A mi equipo de Pokemon, que mediante su constante entusiasmo y energía me impulsaron a soñar de nuevo y sentir que puedo lograr lo que me proponga si pones el tiempo y el trabajo, pero siempre es mejor si hay motivación y la pasas bien.

Y finalmente a Paula, la mejor amiga y compañera que pude haber tenido durante estos años de civil. Si hay alguien a quien le debo haber llegado hasta este punto, es a ella. Gracias por todo el apoyo, la comprensión, las salvadas y las horas de conversaciones acerca de la u, el universo y el futuro, que seguramente será uno brillante para todos.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.2.1. Objetivo General . . . . .	2
1.2.2. Objetivos Específicos . . . . .	2
1.3. Metodología . . . . .	2
<b>2. Marco Conceptual</b>	<b>3</b>
2.1. Industria 4.0. . . . .	3
2.1.1. Construcción 4.0. . . . .	4
2.2. Etapa de Construcción . . . . .	8
2.3. Planificación y Control en etapa de construcción . . . . .	8
<b>3. Estado de la implementación de Construcción 4.0.</b>	<b>10</b>
3.1. Estado de implementación a nivel mundial . . . . .	10
3.2. Estado de implementación a nivel nacional . . . . .	13
<b>4. Aplicaciones de Construcción 4.0.</b>	<b>18</b>
4.1. Inteligencia Artificial para planificación . . . . .	18
4.2. Aplicaciones para monitoreo y control . . . . .	19
4.3. Manejo de información . . . . .	22
4.4. Aplicaciones para diseño . . . . .	22
4.5. Aplicaciones para seguridad . . . . .	23
4.6. Manufactura aditiva y elementos prefabricados . . . . .	24
4.7. Visualización del proyecto . . . . .	25
<b>5. Análisis de información recopilada</b>	<b>27</b>
<b>6. Evaluación del grado de adopción</b>	<b>32</b>
<b>Conclusión</b>	<b>35</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>37</b>

# Índice de Ilustraciones

2.1. Cuadro resumen del ambiente tecnológico en torno a Construcción 4.0. - Fuente Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0 F. Craveiro, J. Pinto Duarte, H. Bartolo, P.J. Bartolo . . . . .	7
3.1. Proyecciones de uso de tecnologías avanzadas en la industria constructiva estadounidense - Fuente: Commercial Construction Index Q4 2018, por USG Corporation y la Cámara de Comercio de Estados Unidos . . . . .	12
3.2. Porcentaje de empresas usuarias de BIM que lo utilizan en tareas específicas - Fuente: Encuesta BIM América Latina y el Caribe 2020 . . . . .	13
3.3. Comparativa de niveles de productividad del sector constructivo de diferentes países. Extraído de Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales . . . . .	14
3.4. Evolución en el tiempo del porcentaje de adopción de BIM en Chile - Fuente: Encuesta nacional BIM 2019 . . . . .	15
3.5. Comparación de uso de tipos de elementos prefabricados en la industria local con el uso internacional - Fuente: Estudio de Productividad en la Construcción 2020, de la Cámara Chilena de la Construcción. . . . .	16
4.1. Muestra del programa de NewMetrix, utilizado para determinar la distancia entre trabajadores. Fuente <a href="http://www.enr.com/articles/49193-industry-finds-new-innovations-to-stay-ahead-of-covid-19">www.enr.com/articles/49193-industry-finds-new-innovations-to-stay-ahead-of-covid-19</a> . . . . .	20
4.2. Proceso de impresión del Laboratory for Drones en el Solar Park de Seih Al-Dahal, Dubai - Fuente: <a href="https://cybe.eu/cases/rdrone-lab/">https://cybe.eu/cases/rdrone-lab/</a> . . . . .	24
4.3. Proyección de modelo de puente sobre lugar donde se construirá, generada por ARki - Fuente: <a href="https://youtu.be/mnoIe1J4Izc">https://youtu.be/mnoIe1J4Izc</a> . . . . .	26
6.1. Tipos de estrategias de implementación de BIM usadas por empresas del sector de construcción - Fuente: Encuesta BIM América Latina y el Caribe 2020 . .	34
6.2. Tipos de estándares BIM utilizados en la industria latinoamericana de construcción - Fuente: Encuesta BIM América Latina y el Caribe 2020 . . . . .	34





# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

Construcción 4.0. es un concepto que nace a partir de la Industria 4.0 o cuarta revolución industrial. La Industria 4.0. busca usar los avances conseguidos por la tecnología de la información en los últimos años para crear sistemas que combinan lo físico con lo digital sin dificultades, creando un ecosistema digital que permite automatizar y estandarizar los procesos productivos. Para el caso de la industria constructiva, este cambio no es solo una adición de nuevas tecnologías a los procesos tradicionales de construcción, también significa una transformación en la forma de ver al sector y en la forma de trabajar tanto internamente como con otras especialidades.

Este cambio de visión incluye el considerar a la construcción como una industria manufacturera más, donde muchos de los procesos de construcción pasan a ser automatizados y estandarizados, como en una fábrica. Este cambio se vuelve necesario para el sector de la construcción al observar que sus cifras de productividad se han mantenido estancadas los últimos 20 años, en comparación con otras industrias que adoptaron tempranamente los cambios tanto materiales como de visión que traía el desarrollo tecnológico. El sector de la construcción se ve en la necesidad de realizar esos cambios con urgencia ante los nuevos desafíos y problemas que han surgido en los últimos años, además de presentarse como una oportunidad de poseer una ventaja competitiva para las empresas que adopten este nuevo paradigma frente a otros competidores.

El proceso de adopción de la visión y tecnologías asociadas a Construcción 4.0. ya ha comenzado en todo el mundo, a velocidades diferentes y con distintos resultados. Este trabajo estudia el estado de las industrias constructivas locales y mundiales respecto de su incorporación de Construcción 4.0., en particular en el área de planificación y control. Para esto se estudian las tecnologías y técnicas que se encuentran en uso hoy en día, se analizan sus posibles impactos en una obra y finalmente se evalúa la cercanía que posee la industria local en el área de planificación y control con las posibilidades estudiadas.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es evaluar el grado de adopción de Construcción 4.0. en Planificación y Control, en la etapa de construcción.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el estado de la adopción de la Construcción 4.0. en el contexto mundial.
- Estudiar el estado de la adopción de la Construcción 4.0. en el contexto nacional.
- Analizar y comprender las ventajas y beneficios que pueden entregar estas tecnologías y métodos de trabajo.
- Estudiar tecnologías y metodologías de trabajo asociadas a la Construcción 4.0. que se encuentren en uso o en estudio en la actualidad y que estén relacionadas con optimización y mejora de la Planificación y Control de contratos constructivos, tanto en la industria nacional como en el extranjero.
- Analizar el grado de adopción de Construcción 4.0. entre el caso nacional.

## 1.3. Metodología

La metodología de trabajo se dividió en las siguientes etapas:

- Recopilación de bibliografía respecto del estado de adopción de Construcción 4.0. en la industria constructiva mundial y local.
- Análisis de las tecnologías recopiladas, agrupándolas según sus posibles usos para el sector de construcción.
- Evaluación del grado de adopción de Construcción 4.0. en Chile
- Discusión y Conclusiones

# Capítulo 2

## Marco Conceptual

### 2.1. Industria 4.0.

Desde el comienzo de la industrialización, han existido cambios de paradigmas asociados a la adopción de nuevas tecnologías que hoy se denominan Revoluciones Industriales. La primera revolución industrial se asocia a la integración de la mecanización al proceso productivo. La segunda se asocia con la adopción de la electricidad como fuente de energía tanto para la producción como el funcionamiento de lo producido, la tercera se relaciona con la integración de sistemas computacionales y de automatización, mientras que la cuarta revolución industrial se asocia con la interconexión de sistemas físicos con sistemas digitales en un solo ambiente integrado. El establecimiento de estas conexiones que antes no eran posibles son permitidas por los avances en los campos de las Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. Este proceso de cuarta revolución industrial es uno que se encuentra en proceso en la actualidad, en donde aún no se conoce completamente los alcances e impactos que tendrá en las industrias, ni la totalidad de las tecnologías emergentes que se asociarán con esta revolución.

El concepto de Industria 4.0. fue utilizado por primera vez el año 2011, como parte de una estrategia del gobierno alemán para fortalecer su sector industrial y fomentar su posición como uno de los líderes del área en Europa [1]. y si bien aún no existe un consenso general respecto de sus alcances, esta nueva versión de la industria ha sido descrita como 'Un cambio en la lógica de la manufactura hacia un enfoque cada vez más descentralizado y auto regulado de creación de valor, que es posible gracias a tecnologías y conceptos como Sistemas ciber-físicos (CPS), Internet de las cosas (IoT), procesamiento en la nube, manufactura aditiva y fábricas inteligentes, que ayuden a las compañías a cumplir requerimientos futuros de producción' [1].

Este nuevo paradigma en las industrias busca establecer una mayor conexión entre las personas, objetos participantes en el proceso productivo y la información asociada a la producción, y se desea transformar los espacios de producción tradicionales en espacios inteligentes con mayores niveles de automatización y dependencia de sistemas computacionales.

Adicionalmente, en Industria 4.0. se busca que durante todas las etapas del proceso productivo ocurra una continua recolección de datos de múltiples índoles, que se puedan utilizar para mejorar continuamente los procesos mediante ajustes rápidos a los equipos relacionados a un proceso particular y a la conversión de estos procesos en esfuerzos colaborativos al facilitar el intercambio rápido de información entre múltiples partes de una organización y/o entes externos como clientes. Gracias a estos nuevos métodos de obtención y tratamiento de la información y su conexión con los elementos físicos que crean los productos, es posible tener soluciones específicas para situaciones particulares o requerimientos de clientes con mayor facilidad, lo que también facilita la adición de valor a los productos mientras que se producen ahorros de recursos.

### 2.1.1. Construcción 4.0.

La adopción de las tecnologías y filosofías de la Industria 4.0 por parte del área de la construcción es lo que se entiende como el concepto de Construcción 4.0. Este concepto fue mencionado en un artículo científico por primera vez en 2015 [2], y al ser un concepto relativamente nuevo aún, tal como el de Industria 4.0. no hay una definición final de los alcances del concepto, pero si se entiende que comprende la aplicación de tres conceptos clave a la industria: nuevas tecnologías digitales, industrialización de la producción en construcción, y la integración de sistemas cibernético-físicos. Estos conceptos junto con otros que pueda emerger durante el desarrollo de la Industria 4.0 buscan mejorar los procesos y condiciones de desarrollo de los contratos asociados a la construcción, en todas sus fases.

Si bien el desarrollo de las nuevas tecnologías asociadas a la Industria y Construcción 4.0. aún se encuentran en desarrollo, lo que podría conducir a la aparición de nuevas técnicas y tecnologías asociadas a este paradigma, hoy en día se pueden apreciar una serie de líneas tecnológicas asociadas con Construcción 4.0. que se encuentran en estudio y uso hoy en día. Generalmente se entiende que hay una serie de tecnologías asociadas con Construcción 4.0. A continuación se deja una lista de estas tecnologías y sus potenciales usos.

- Internet de las Cosas (IoT): adición de elementos que registran y transmiten información a objetos que previamente carecían de esas capacidades, como la adición de sensores a herramientas de trabajo, o elementos de protección personal.
- Procesamiento en la nube La posibilidad de acceder a grandes cantidades de archivos y datos desde cualquier lugar gracias a una conexión a internet facilita la toma de decisiones más acertadas y precisas sin la necesidad de cargar grandes volúmenes físicos de información. Las actualizaciones automáticas de archivos para todos quienes pueden acceder a la nube resulta de alta importancia también para la construcción ya que permite mantener informados a todos los participantes de un proyecto de cada evento que ocurre.
- Big Data: Grupo de técnicas y métodos de procesamiento de grandes cantidades de datos que permiten obtener información de importancia en plazos menores que con los métodos tradicionales. Adicionalmente, estas técnicas suelen asociarse con el tratamiento de datos en la nube.

- Robótica: La adición de maquinaria autónoma puede ayudar a la construcción a realizar tareas demasiado riesgosas para trabajadores humanos, al igual que ejecutar tareas de repetición como inspecciones de terreno o automatizaciones de pasos determinados del proceso constructivo. Esta adición permite potencialmente aumentar la productividad al disminuir la tasa de errores y accidentes.
- Realidad Virtual (VR) Y Realidad Aumentada (AR): Estos modos de visualización inmersiva permiten entender de mejor forma los diseños, observar detalles de importancia y realizar comparaciones con los avances reales sin necesidad de encontrarse directamente en el sitio.
- Simulación o Modelación: Mediante modelos digitales no es solo posible visualizar el modelo y planos del proyecto en todo momento, sino que también es posible organizar acciones de coordinación entre distintos entes participantes del proyecto, al igual que simular posibles soluciones o cambios que se quieran añadir al proyecto.
- Manufactura Aditiva: A través de métodos automatizados de creación de elementos de construcción como impresión 3D de muros o columnas se hace posible acelerar aquellos procesos, disminuyendo la tasa de errores, accidentes y entregando una productividad fija y conocida a lo largo del tiempo.

La combinación de estas tecnologías y su integración a los distintos procesos de un proyecto de construcción tiene el potencial de incrementar considerablemente la productividad de los proyectos de construcción, junto con presentar otra serie de potenciales beneficios añadidos como la reducción de uso de recursos materiales y energéticos o la disminución de la tasa de accidentes en cada proyecto. Al integrar estos elementos a proyectos, comienzan a verse en acción sistemas ciber-físicos y procesos de industrialización que debieran ser desarrollados e impulsados para maximizar los beneficios que pueden traer a largo plazo.

Los sistemas ciber-físicos han sido explicados como 'Sistemas que son diseñados y armados en función, y dependen de una integración sin interrupciones de componentes físicos y computacionales.' [3]. Un ejemplo de elementos pertenecientes a sistemas ciber-físicos son los que operan con Internet de las cosas como vehículos o maquinaria a la que se les añaden sensores adicionales para registrar nueva información.

Respecto de la industrialización de la construcción, algunas de las tecnologías asociadas a este proceso son las asociadas a la prefabricación y construcción modular, junto con las que buscan traer la manufactura aditiva al sector, pasando de las impresiones 3D de la industria manufacturera tradicional a versiones de mayor escala y con materiales más complejos, llevando una parte del proceso constructivo a un ambiente controlado fuera del sitio, que entrega mejores condiciones para la construcción que las presentes en el lugar de la obra.

Todas estas tecnologías, junto con los elementos tradicionales de la construcción deben unirse en un solo espacio en donde la información pueda ser procesada, pueda entrecruzarse con otras fuentes de datos y pueda mantenerse en constante actualización. Ese espacio es conocido actualmente como Building Information Modeling (BIM), que permita conectar lo que ocurre en el edificio real con un modelo virtual, realizando intercambios de información

al interior de todos los niveles del proyecto y con entes externos a la compañía constructora con agilidad, facilitando la toma de decisiones, promoviendo conductas colaborativas y facilitando el acceso a la información desde cualquier lugar.

Se entiende que el objetivo final del paradigma de la Construcción 4.0 es la digitalización de la industria constructiva más la automatización de los procesos productivos, es decir, no solo busca una transformación en la forma de trabajar en el sitio del terreno, también busca la digitalización de los procesos administrativos y de control, tanto en las etapas de diseño e ingeniería como en las etapas de ejecución y puesta en marcha, sumado a mejorar y agilizar la interacción y comunicación con los entes externos que participan del proyecto, ya sean proveedores, autoridades gubernamentales o el cliente, de modo que el completar procesos que requieran grandes intercambios de información que se encuentren en constante cambio pueda ocurrir de forma más ágil y directa.

Si bien la adopción de Construcción 4.0. se entiende como una integración de nuevas tecnologías principalmente, una implementación exitosa de este en una organización requiere de esfuerzos adicionales al de la adquisición de la infraestructura y equipos, también requiere de cambios en los objetivos y cultura de la organización para que sus métodos de trabajo y formas de organización sean compatibles con este nuevo paradigma. Estos cambios en la forma de funcionamiento de la organización resultan fundamentales para que se puedan maximizar los beneficios que otorgan las nuevas tecnologías.

A continuación se deja un cuadro resumen que muestra una versión del ecosistema de Construcción 4.0. [4]

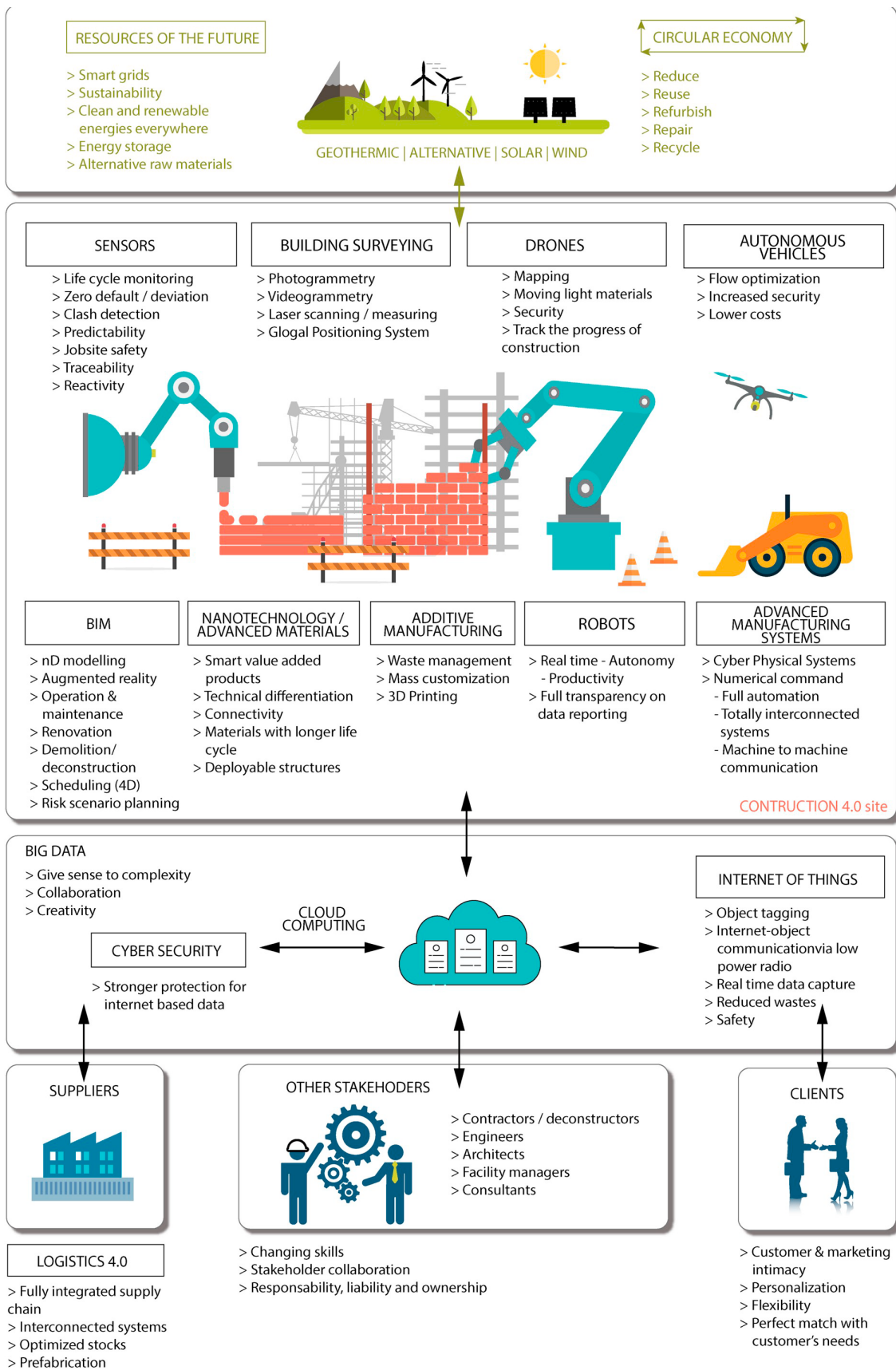


Figura 2.1: Cuadro resumen del ambiente tecnológico en torno a Construcción 4.0. - Fuente Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0 F. Craveiro, J. Pinto Duarte, H. Bartolo, P.J. Bartolo



## **El papel de BIM en Construcción 4.0.**

Resulta importante establecer que si bien BIM es una de las tecnologías claves asociadas a Construcción 4.0. al tener la tarea de reunir toda la información asociada a un proyecto de construcción y hacerla disponible a todos los participantes que la necesiten, no es una pieza suficiente para considerar que un proyecto opera bajo Construcción 4.0, ya que el solo uso de BIM contempla uno de los principios de esta versión de la construcción, que corresponde al de la digitalización de la información. Otras ideas como la automatización de procesos y tareas son necesarias que ocurran para poder indicar que un proyecto de construcción opera bajo Construcción 4.0, y son acciones que no pueden ejecutarse solamente integrando BIM a un proyecto tradicional.

Si bien BIM se encuentra al frente de los cambios que trae Construcción 4.0. al sector, y es una pieza muy importante para la implementación de Construcción 4.0, estos no son sinónimos ni equivalentes.

## **2.2. Etapa de Construcción**

Durante la ejecución de un proyecto de inversión, se pueden identificar tres fases con varias etapas dentro de cada fase. Estas fase son conocidas como Fase Pre-Inversional, Fase Inversional y Fase Operacional.

Al interior de la fase Pre-inversional pueden apreciarse que existe una etapa de prefactibilidad, donde se ejecutan las Ingeniería de perfil e Ingeniería Coneptual, y una etapa de factibilidad donde se ejecuta la ingeniería básica. Es al final de la fase pre-inversional donde se decide si realizar la inversión, o en este caso, llevar a cabo la obra constructiva.

En la fase Inversional se llevan a cabo las etapas de Ingeniería de detalle, construcción y puesta en marcha. La etapa de construcción es donde la mayoría de los recursos contemplados son utilizados, tanto en recursos materiales como humanos y todos los equipos estimados como necesarios en la etapa de ingeniería de detalle. Finalmente la etapa de operación es donde la obra ya terminada se encuentra en uso o funcionamiento, dependiendo de su propósito. Para el caso de el presente trabajo, el foco estará principalmente en la etapa de construcción.

## **2.3. Planificación y Control en etapa de construcción**

En el contexto de los proyectos, la planificación corresponde a un esfuerzo que comienza en la etapa preliminar, y se extiende a lo largo de todo su desarrollo, en donde se busca determinar una estrategia para cumplir los objetivos establecidos para el proyecto, teniendo en cuenta los recursos disponibles y las limitaciones que puedan existir. Mientras se avanza en las diferentes etapas de la fase preliminar y las partes tempranas de la fase inversional, la planificación recibe más detalles, pasando de un plan maestro a una programación detallada que finalmente termina considerando cada una de las tareas que deben ejecutarse.

Durante el proceso original de planificación se establecen los objetivos del proyecto, como

también se identifican los problemas a resolver y se anticipan posibles problemas que pudieran aparecer durante su ejecución. Estos problemas y objetivos deben balancearse con los recursos materiales y humanos que estarán disponibles.

A partir de estos dos factores se tiene que determinar las tareas necesarias para completar el proyecto, al igual que la forma en que esas tareas se relacionan entre sí, estos análisis permiten establecer una secuencia de pasos y planes que permitan llevar a cabo el proyecto de forma exitosa, organizando las tareas a completar a lo largo del tiempo, junto con la posibilidad de asignar los recursos disponibles y las responsabilidades necesarias. Todas estas acciones conducen a que finalmente pueda conocerse el costo individual de cada tarea, lo que permite conocer en detalle el costo del proyecto.

Posterior a la planificación de un proyecto y la puesta en marcha de la planificación realizada, se pasa a realizar seguimiento y control de la correcta ejecución de lo planeado. El seguimiento corresponde a la reunión de información relacionada con los avances reales de las actividades planificadas hasta el momento donde se está realizando el seguimiento.

El control de un proyecto corresponde a la comparación del avance real del proyecto con el avance planificado. Esta comparación puede hacerse en términos de múltiples factores, como tiempo utilizado, gasto de recursos, calidad, etc. Y sus resultados son utilizados para realizar modificaciones a la planificación, produciendo un ciclo iterativo de planificación, ejecución, seguimiento y control que se extiende durante las fases todas las fases del proyecto.

# Capítulo 3

## Estado de la implementación de Construcción 4.0.

### 3.1. Estado de implementación a nivel mundial

La incorporación de nuevas tecnologías al sector construcción ha sido un proceso lento, los motivos que explican esta lentitud son muchos pero se pueden resumir en preocupaciones por los costos, insuficiencia de conocimientos y capacitación para el uso apropiado de estas tecnologías y la general resistencia a cambios en los métodos de trabajo.

Añadiendo a la problemática, han existido casos de intentos fallidos de incorporación de tecnologías al sector, en donde se busca adoptar una nueva tecnología sin realizar los cambios necesarios a la cultura laboral o a los puestos de trabajo para que esta pueda operar de forma óptima y entregar los beneficios que puede dar a una compañía. Al no ser acompañada por liderazgos y cambios en la forma de operar, la incorporación de nuevas tecnologías puede volverse contraproducente, terminando con el regreso a los métodos tradicionales.

Esta resistencia a los cambios ha causado que la productividad del sector se mantenga estancada por lo últimos 20 años, en comparación con otras industrias productivas que si han adoptado nuevas tecnologías con mayor rapidez. Se ha reportado que la productividad del sector construcción ha experimentado un incremento anual del 1 % los últimos 20 años, mientras que el resto de las industrias productivas ha crecido a tasas anuales del 3.6 % [5] Como respuesta a estas cifras en todo el mundo se han realizado distintas acciones que impulsan la adopción de nuevas tecnologías y métodos de trabajo en el sector.

En particular, esto puede verse con los impulsos a la incorporación de BIM como un requisito para que una empresa pueda adjudicarse un proyecto, tanto por parte del sector público como privado. Este proceso de incorporación aún se encuentra en desarrollo, con diversas fechas de inicio y velocidades de avance. En países europeos existen múltiples planes gubernamentales para incorporar el uso de BIM a los proyectos públicos, que comenzaron generalmente a mediados de la década de 2010 con proyecciones a exigir el uso de este en todos los proyectos para 2025 o incluso antes. A esta tendencia de solicitar el uso de BIM para proyectos públicos se han sumado otros países como Australia, Nueva Zelanda y Singapur, mientras que Estados Unidos no ha presentado programas para exigir implementación de tecnologías en construcción a nivel federal, pero gobiernos locales han realizado acciones en esa dirección,

lo que puede explicarse debido a que este país fue uno de los pioneros en la implementación de BIM, por lo que el tiempo para incorporar la tecnología a la industria ha sido mayor que el resto de los países.

Respecto de otras tecnologías asociadas a Construcción 4.0. se ha observado un incremento sostenido de investigaciones asociadas a estas, y el surgimiento de cada vez más compañías que ofrecen productos o servicios relacionados con el paradigma 4.0. Este enfoque con una empresa externa implemente los cambios tecnológicos podría ser clave en facilitar el proceso de adopción de nuevas tecnologías, ya que se puede mostrar cual es el método de trabajo apropiado para aprovechar los beneficios del producto, lo que entrega un guía para que las compañías que obtienen estos nuevos productos y servicios los puedan implementar de forma más fácil. En la industria, si bien hay un ritmo lento de incorporación de nuevas tecnologías al sector, la misma industria que este se mantenga en constante crecimiento. Un reporte de la Cámara de Comercio de Estados Unidos de 2018 [6] muestra que se espera que la cantidad de empresas que ocupan al menos una tecnología avanzada se reduzca de 46 % a 26 % en tres años.

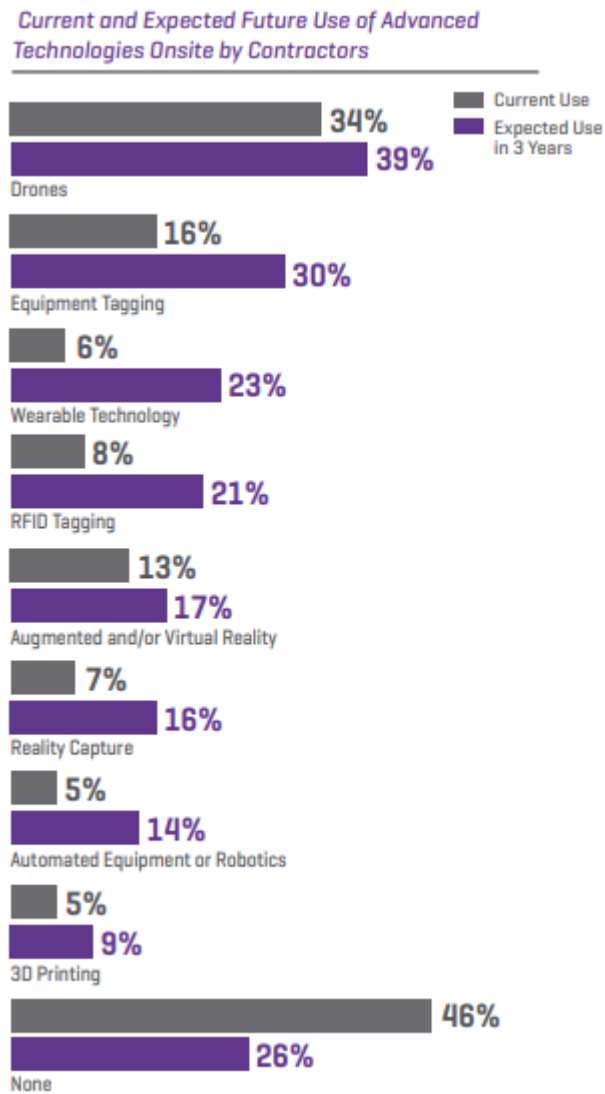


Figura 3.1: Proyecciones de uso de tecnologías avanzadas en la industria constructiva estadounidense - Fuente: Commercial Construction Index Q4 2018, por USG Corporation y la Cámara de Comercio de Estados Unidos

El uso de BIM y otras tecnologías en latinoamérica se ha incrementado con el tiempo, sin embargo muchas aún se encuentran en un proceso de adaptación y aprendizaje de como usar estas nuevas herramientas. Según la encuesta BIM para América latina y el Caribe de 2020, [7] un 47% de las empresas tiene menos de tres años de experiencia con BIM, mientras que más de la mitad está utilizando una estrategia propia de implementación de BIM, basada principalmente en ensayo y error, lo que retrasa un uso efectivo del mismo al tener que re aprender y re capacitar a los usuarios de distintos niveles. La encuesta indica también que un gran porcentaje de empresas usuarias de BIM siguen estándares de elaboración propia, lo que indica un bajo nivel de comunicación entre pares o entes coordinadores para conseguir una implementación más rápida de esta herramienta.

El reporte también muestra los usos más comunes que se le dan a BIM entre quienes lo usan.

Destacan las áreas de diseño y planificación como las de uso más frecuente.

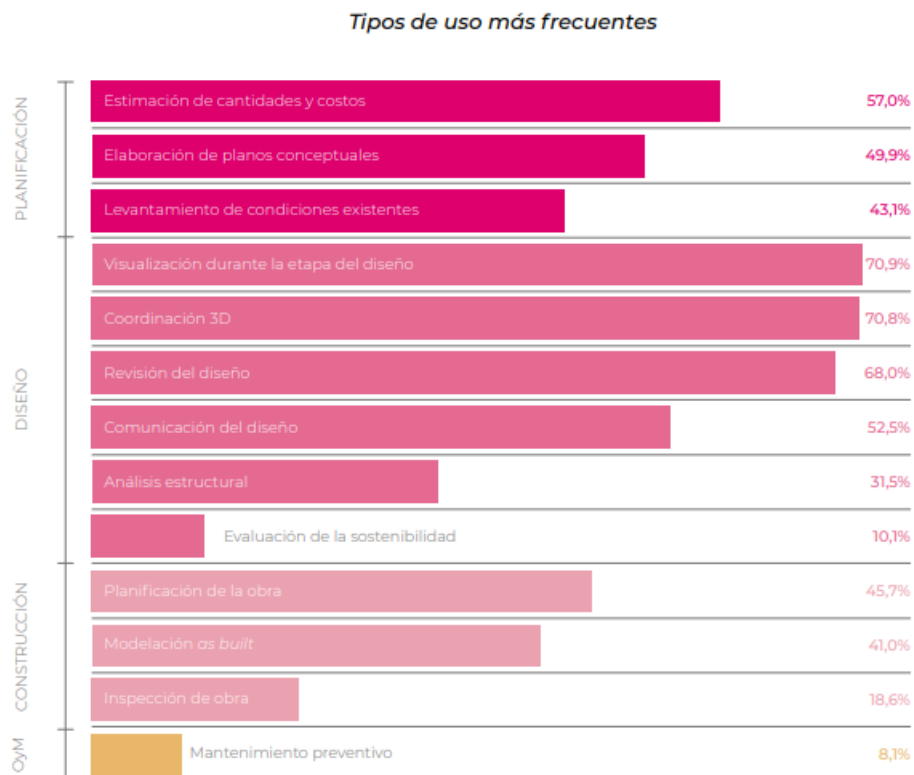


Figura 3.2: Porcentaje de empresas usuarias de BIM que lo utilizan en tareas específicas - Fuente: Encuesta BIM América Latina y el Caribe 2020

Tanto el reporte de la cámara de comercio de Estados Unidos como las encuestas de uso de BIM indican que son las grandes compañías constructoras quienes lideran el cambio hacia la incorporación de nuevas tecnologías, siendo un foco las tecnologías que les permitan cumplir metas específicas, como un incremento de la productividad o una mejor capacidad para administrar la planificación y programación de sus proyectos. Al mismo tiempo, se indica que estos dos aspectos son en los que hay un mayor consenso entre las constructoras como los que son más probables que mejoren gracias a la incorporación de nuevas tecnologías.

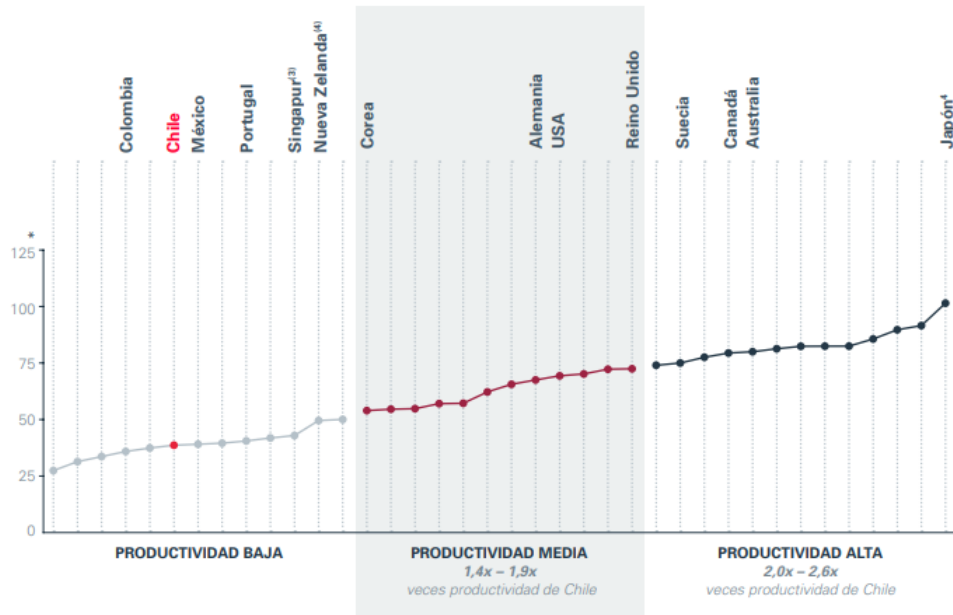
### 3.2. Estado de implementación a nivel nacional

Al igual que en el panorama mundial, la industria constructiva chilena sufre de un problema de baja productividad en comparación con el resto de la economía. Según un estudio de productividad de la Cámara Chilena de la Construcción, la productividad de la economía nacional ha incrementado en un 20%, mientras que la productividad de la construcción en particular se mantenido prácticamente sin variación [8]. Este estudio no solo indica que la productividad en la construcción se mantiene muy por debajo de la que tiene la economía

en general, además indica que la productividad del sector constructivo local es inferior a las productividades de las industrias constructivas de otros países.

### Productividad laboral en la construcción, valor agregado por trabajador<sup>1</sup>

\*Miles de USD por trabajador, 2017. Precios constantes, ajustado por PPP<sup>2</sup>



Fuente: OECD; Gobierno de Singapur; Análisis Matrix Consulting

(1) Valor agregado de la industria de la construcción a precios constantes, según la cantidad de trabajadores del sector (GVA in construction – ISIC rev4).

(2) Paridad del poder adquisitivo (PPP por sus siglas en inglés), ajustado como base al año 2015.

(3) Valor de Singapur es referencial y fue calculado según el valor agregado por trabajador en la construcción informado por el Gobierno de Singapur, ajustado a dólares al tipo de cambio promedio de 2017, informado por el *Monetary Authority of Singapore* y ajustado al PPP de 2015 según la OCDE.

(4) Utiliza dato 2016, el más reciente disponible para la serie.

Figura 3.3: Comparativa de niveles de productividad del sector constructivo de diferentes países. Extraído de Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales

Este fenómeno ocurre por una combinación de factores que dificultan la generación de productividad, que otros países han logrado revertir mediante la adaptación en función de los recursos y fortalezas locales.

Al igual que en el resto del mundo, se ha buscado implementar elementos asociados a Construcción 4.0. al sector de forma paulatina, con el objetivo de cerrar la brecha de productividad y crecimiento respecto de los otros sectores productivos. Este proceso ha comenzado de forma más lenta en el país, enfrentado a las mismas problemáticas y dudas que ocurrieron en otros países, terminando con empresas constructoras integrando elementos puntuales de Construcción 4.0. a un ritmo más lento que los países europeos y de norte América. Los resultados de la encuesta nacional BIM realizada en 2019 [9] indica que un 69 % de los encuestados son usuarios de BIM, con un tercio del total indicando que son usuarios regulares de este, y el resto siendo usuarios ocasionales o indirectos de la tecnología. La encuesta tam-

bién revela que la mayoría de usuarios de BIM lo utiliza para usos básicos como visualización de modelos y creación de planos, siendo otras actividades más avanzadas como coordinación de equipos, planificación de obras o análisis estructural. Finalmente, la encuesta revela que hay grandes diferencias en el uso de BIM entre diferentes disciplinas, mostrando que quienes usan más esta tecnología son los arquitectos, mientras que las ingenierías mecánicas, eléctricas y de plomería son las que muestran menor tasa de uso.

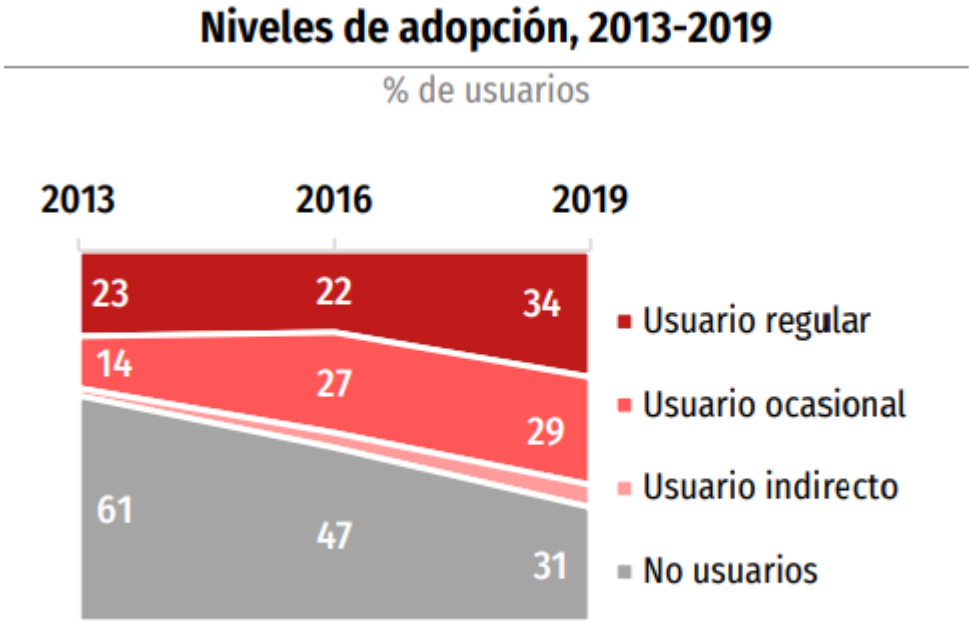


Figura 3.4: Evolución en el tiempo del porcentaje de adopción de BIM en Chile - Fuente: Encuesta nacional BIM 2019

En cuanto a iniciativas de integración de nuevas tecnologías y métodos de trabajo, Corfo creó la iniciativa PlanBIM en 2016, con el objetivo de que los proyectos de construcción públicos sean desarrollados usando la metodología BIM, y que los edificios públicos sean operados siguiendo la misma metodología, comenzando el año 2020, y que BIM sea incorporado en proyectos privados para el año 2025. Para conseguir este objetivo, PlanBIM elaboró un estándar para proyectos públicos, junto con desarrollar guías de uso de la metodología e impulsar la integración de contenidos relacionados a BIM a planes de estudio en diversos niveles educacionales.

En el sector privado, los esfuerzos por facilitar la implementación de BIM se han canalizado en varias iniciativas. Una de las principales es Bim Forum Chile, a cargo del Centro de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, en donde se busca fomentar y facilitar el uso de BIM tanto en empresas públicas como privadas. Para lograr esto la organización se enfoca en tres aspectos fundamentales, que son educación en torno a BIM,



búsqueda de estandarización de prácticas y planificación de proyectos usando BIM. Adicional a Bim Forum existen otras iniciativas que buscan complementar su labor, como el grupo de trabajo BIM de especialidades, que busca integrar de forma temprana a otras especialidades al trabajo que se realiza en BIM, de modo de aprovechar mejor su potencial.

Respecto de otras tecnologías asociadas a Construcción 4.0, existen datos entregados por el estudio de productividad de la CCHC que indican que el uso de elementos prefabricados o modulares, que es una de las direcciones en las que apunta la Industria 4.0. se mantiene con un bajo ritmo de adopción. El uso de elementos prefabricados de menor complejidad es realizado por un 33% de las empresas del sector, pero elementos de mayor embergadura como losas o muros terminados tienen solo un 2% de uso en el sector. Su incorporación a una mayor cantidad de proyectos se hace necesaria al tener resultados que indican que su uso disminuye los plazos de ejecución en un 66% de los casos, y los costos de los proyectos bajan en un 65% de las ocasiones. La lenta incorporación de estos elementos a las obras constructivas tiene varios motivos, entre ellos figuran el tener que considerar los prefabricados o modulares desde la fase de diseño, lo que es resistido por la manera tradicional de llevar a cabo obras de construcción, sumado al bajo nivel de colaboración existente entre diferentes actores como mandantes y proveedores en las etapas tempranas de los proyectos del sector.

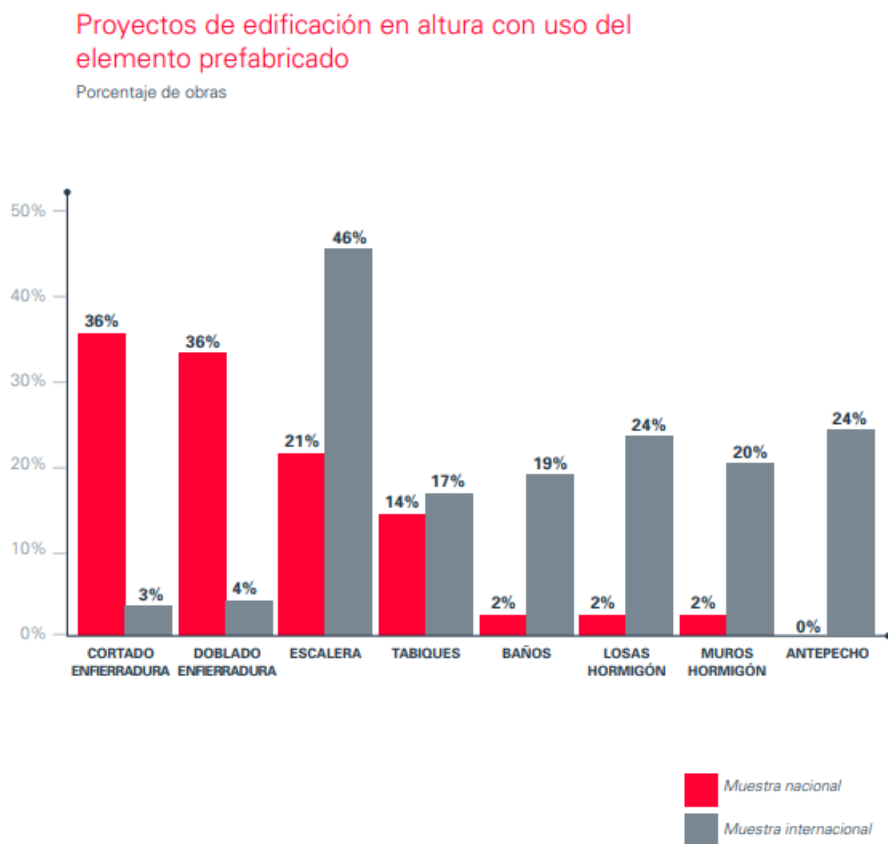


Figura 3.5: Comparación de uso de tipos de elementos prefabricados en la industria local con el uso internacional - Fuente: Estudio de Productividad en la Construcción 2020, de la Cámara Chilena de la Construcción.

Respecto de planificación y control en la industria nacional, según el estudio de productividad de la Cámara Chilena de la Construcción, la principal causa de no cumplimientos en obras de infraestructura es la mala planificación, y actualmente un 71 % de las obras de edificación y un 72 % de las obras viales no se entregan a tiempo. El estado actual de la planificación incluye un amplio conocimiento de metodologías modernas, como Last Planner, pero bajas tasas de implementación. Adicionalmente, otros elementos que pueden contribuir a la planificación, como el uso de software especializado, son usados por un 34 % de las empresas constructoras. El uso de planillas Excel y otros métodos menos robustos aún predominan en la planificación y el control de costos en comparación con los softwares especializados en estas tareas. El uso de software para gestión de costos alcanza un 31 % de uso, mientras que solo el 40 % de las empresas del rubro miden las causas de sus no cumplimientos. Adicionalmente, el estudio detecta que las prácticas de planificación y control no son estandarizadas entre los diferentes proyectos de la misma empresa.

# Capítulo 4

## Aplicaciones de Construcción 4.0.

En esta sección se reunirán aplicaciones de tecnologías asociadas a Construcción 4.0. En particular se dará enfoque a las aplicaciones de estas tecnologías para el área de Planificación y control en las etapas de diseño y de construcción.

### 4.1. Inteligencia Artificial para planificación

La integración de aplicaciones de Inteligencia Artificial con modelos BIM es una de las tendencias que busca explotar el máximo potencial de ambas tecnologías, con algunas empresas mostrando y ofreciendo sus avances a miembros del sector. Una de las empresas de mayor avance en este aspecto es Alice Technologies, que ofrece una implementación de Inteligencia Artificial que reúne múltiples aplicaciones modernas asociadas a Construcción 4.0, logrando desarrollar una plataforma con múltiples funciones para diferentes momentos del proyecto. Una de estas funciones es la de planificación de la fase de diseño, en donde es posible crear múltiples programaciones del proyecto, hasta encontrar alguna que optimice parámetros a seleccionar como uso de materiales, horas de trabajo, o uso de equipos. También entrega programaciones alternativas para diferentes escenarios o casos que posiblemente podrían ocurrir, como la falta de algún equipamiento o la imposibilidad de que se trabajen horas extras, así como la corrección automática de la programación en caso de implementar algún cambio de forma manual. La IA puede recibir un modelo en 3D del proyecto para transformarlo en un modelo 4D que se puede usar para la ejecución del proyecto. Si no existe un modelo 3D, existen otras alternativas para desarrollar el modelo 4D.

Adicionalmente, la IA permite modelar alternativas en caso de contingencias, con lo que es posible reducir los riesgos y poseer mayor certeza sobre la posibilidad de que la programación pueda ser cumplida. Esto permite presentar una propuesta de proyecto con mayor seguridad de que los plazos serán cumplidos y los recursos serán bien administrados.

Durante la fase constructiva, Alice AI puede reprogramar de forma automática en función

de eventos o retrasos en la programación, buscando maneras de mantener al proyecto dentro del plazo establecido o reduciendo los retrasos lo más posible. Esto puede hacerse incluso si Alice no ha realizado la programación durante la pre inversión, como lo indica uno de sus casos de estudio, es posible implementar la plataforma Alice en medio de la ejecución del proyecto y aún así poder optimizar la programación del mismo.

Según los resultados de los casos de estudio de la compañía, una implementación exitosa de esta IA puede llevar a reducciones significativas en duración de los proyectos, en gastos de trabajadores y en gastos en equipos. [10]

Además de crear una planificación, es posible para una IA determinar un costo aproximado para un diseño, ya sea generado de forma automática o creado manualmente, con lo que se pueden realizar modificaciones al proyecto con rapidez en función de los resultados de la estimación, o considerar otras alternativas en las etapas tempranas del proyecto. Este proceso tiene el potencial de acelerar las etapas de pre-inversión de un proyecto de construcción de forma considerable, al acelerar la creación de opciones de propuesta para un proyecto y facilitando el proceso de ofertar para adjudicación de un proyecto. La compañía constructora ConXTech en conjunto con Autodesk ha desarrollado una IA con estas capacidades, [11] mientras que la compañía de construcción Kier, [12] junto con la organización nPlan [13] han desarrollado una IA capaz de analizar proyectos previos, su parecido al proyecto en el que se está trabajando, y encontrar posibles fuentes de riesgo para el proyecto como etapas o tareas donde es más probable que existan atrasos, así como encontrar otras etapas donde es posible ahorrar en costos, lo que permite a Kier elaborar propuestas más precisas y de forma más rápida a potenciales clientes.

## 4.2. Aplicaciones para monitoreo y control

Otro de los potenciales usos de Inteligencia Artificial en la fase constructiva viene por el lado de identificación de objetos y personas mediante reconocimiento de imágenes. En este ámbito existen varias compañías que ofrecen servicios que hacen uso de esta tecnología para facilitar las tareas de control de avances, seguridad en el sitio, entre otros.

Un ejemplo de esta aplicación es lo realizado por la compañía NewMetrix [14], que se especializa en reconocimiento de imágenes mediante Inteligencia Artificial con el objetivo de monitorear tanto a trabajadores como objetos específicos como herramientas, equipos o elementos de protección a través de imágenes de cámaras de seguridad. Esto les permite vigilar el uso de estos elementos de seguridad o monitorear el cumplimiento de protocolos de distanciamiento.

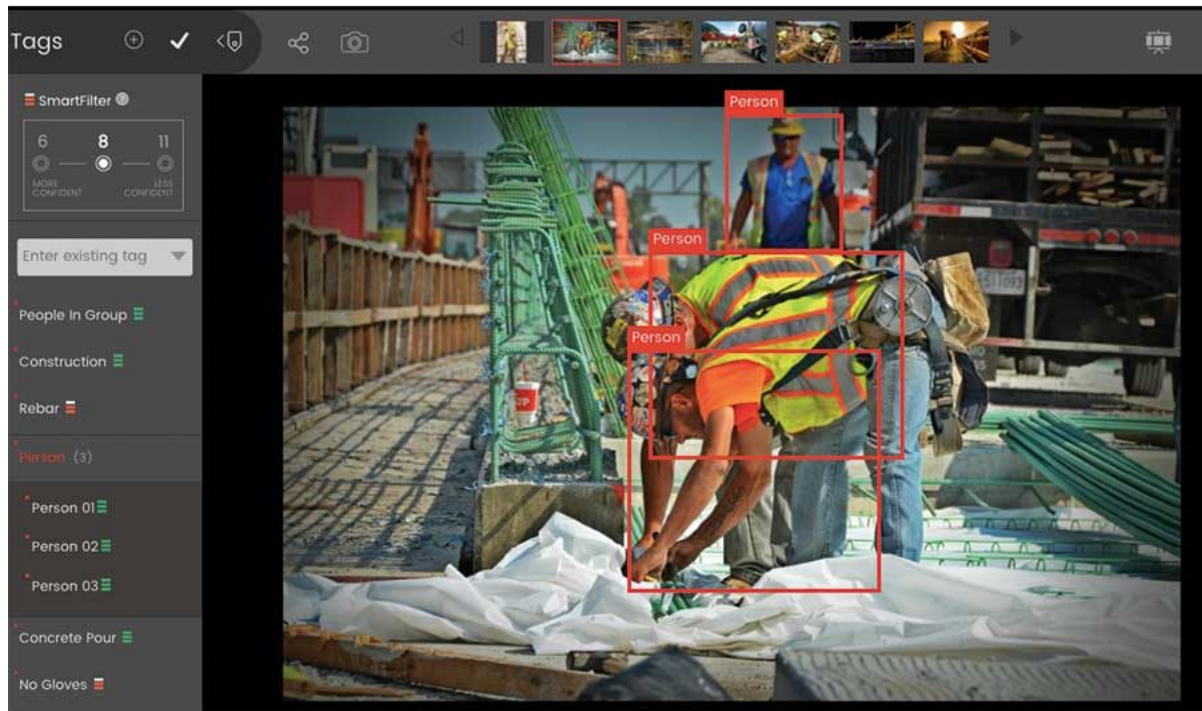


Figura 4.1: Muestra del programa de NewMetrix, utilizado para determinar la distancia entre trabajadores. Fuente [www.enr.com/articles/49193-industry-finds-new-innovations-to-stay-ahead-of-covid-19](http://www.enr.com/articles/49193-industry-finds-new-innovations-to-stay-ahead-of-covid-19)

Del mismo modo, existen métodos de reconocimiento de imágenes que usan sistemas de cámaras de seguridad, drones, u otros elementos de vigilancia que permiten identificar personas, objetos y equipos, entregando su ubicación en tiempo real al resto de los participantes de la obra, lo que permite un uso más eficiente de los recursos presentes al conocer su ubicación en todo momento al igual que la cantidad de materiales disponibles. Una IA creada por TÜV SÜD y Contillo [15] permite analizar defectos, calidad de instalaciones y vigilancia de progresos mediante escaneos y drones.

Adicionalmente, el uso de scanners, cámaras en 360 grados y otros dispositivos de obtención de imágenes de uso no permanente, junto a equipos de monitoreo permanente permiten registrar el estado de avance de las tareas en ejecución. Algunas aplicaciones de estos métodos son las utilizadas por la compañía BuildDots, en donde capturan imágenes de la obra en proceso con cámaras que capturan en 360 grados añadidas a un casco, lo que permite registrar automáticamente el estado de la construcción mientras se recorre la obra, para luego comparar lo obtenido con un modelo digital. De esta manera puede determinarse con facilidad el grado de avance comparado con lo planificado, la existencia de posibles errores, desviaciones de lo modelado y secciones por finalizar.

En una línea parecida está lo que hace OpenSpace [16], quienes mediante el análisis de imágenes capturadas con cámaras en 360° son capaces de crear un modelo digital del sitio de construcción en su estado actual, lo que ofrece una manera de controlar los avances en el sitio y compararlos tanto con versiones anteriores del modelo del sitio como con modelos BIM mediante la herramienta BIM Compare. Adicionalmente la aplicación que genera estos modelos permite añadir notas y archivos referentes a algún lugar particular del sitio, además

de incluir un sistema de mensajería para poder mantener la información relacionada con la obra en un solo lugar.

Una versión más automatizada del recorrido por el sitio constructivo y registro de avances es lo implementado por Boston Dynamics, quienes implementaron el sistema de cámaras en 360 grados en un robot, lo que tiene las ventajas de poder acceder a lugares potencialmente difíciles o peligrosos para una persona, junto con poder inspeccionar en cualquier momento del día sin la inversión de tiempo de un inspector humano que implica aquella actividad [17].

Otro modo de monitorear trabajadores y objetos en obra es mediante la adición de sensores a herramientas, equipos y maquinarias, con esto se vuelve posible que aquellos objetos informen de forma constante respecto de determinados parámetros internos como gasto de combustible o energía, cantidad de material restante, presión ejercida, etc. Esto no solo sirve para administrar los recursos asociados a estos elementos, además puede ayudar a detectar cuando herramientas o equipos estén fallando o requieran de reparación o mantención, lo que permite anticipar esas acciones y evitar periodos de inactividad por no disponibilidad de aquellos elementos.

Otra posibilidad existente es la adición de etiquetas con tecnología RFID (Radio Frequency ID) a equipos de alto valor monetario o importancia, para conocer su posición de forma constante y poder entregar fácil acceso a estos.

Un ejemplo de uso de monitoreo de parámetros es lo realizado por la compañía EquipmentShare, [18] que añade hardware de monitoreo a maquinaria pesada y accesorios, para recibir su información en una sola plataforma centralizada, de modo de poder administrar la totalidad de los objetos de forma simultánea. Por otro lado, la compañía Trimble [19] desarrolla software y hardware que se agrega a maquinarias de movimiento de tierra para realizar movimientos precisos que optimizan la cantidad de acciones ejecutadas, disminuyendo el gasto de combustible y el tiempo de operación. Adicionalmente los operadores son informados de los espacios a trabajar mediante proyecciones en una pantalla, y es posible ajustar algunos parámetros de algunas maquinarias para conseguir resultados parejos, como regular la presión en un equipo de compactación mediante ajustes automáticos realizados gracias a sensores y su software asociado.

Así como se puede monitorear a equipos y herramientas con objetos físicos, también es posible monitorear la actividad de los trabajadores mediante el uso de dispositivos de rastreo al interior de la obra. La compañía TriaxTec [20] ha desarrollado una serie de soluciones para gestión de personal en terreno, seguridad en sitio y de acceso, entre otras, basadas en elementos portátiles por quienes participan en el proyecto. Al hacer que cada trabajador posea un dispositivo de rastreo es posible conocer sus posiciones en todo momento, lo que facilita la gestión de trabajadores, la prevención de accidentes y la posibilidad de enviar instrucciones a los trabajadores en tiempo real.

También existen empresas que ofrecen soluciones para monitorear el estado del sitio de obra en múltiples dimensiones. Mediante una combinación de sensores es posible obtener información continuada de las condiciones ambientales del sitio, de modo de conocer si existen

posibles riesgos para quienes trabajen en el sitio, o si se están cumpliendo códigos de contaminación y ruidos. Al conocer el estado del sitio, también es posible anticipar la duración de algunos fenómenos como el secado del hormigón. La compañía Pillar [21] posee un sistema que permite recibir información de temperatura, humedad, niveles de ruido, monóxido de carbono, partículas en suspensión, intensidad de luz, presión y compuestos orgánicos volátiles en un solo dispositivo, lo que permite capturar mucha información que puede ser de relevancia para el avance del proyecto dependiendo de su ubicación y condiciones ambientales.

### 4.3. Manejo de información

En términos de manejo de información de obra, existen múltiples enfoques posibles, uno de ellos es el ofrecido por la empresa Calidad Cloud [22] en Chile, que entrega una plataforma que centraliza la documentación existente en el proyecto en la nube, permitiendo acceder y actualizar en todo momento los archivos con los que se trabaja, pudiendo usarse de manera offline y enviando los cambios a la nube cuando se vuelva a tener señal de internet. Esto permite mantener una conexión constante entre los grupos de trabajo y un acceso continuo a material importante como contratos, planos, guías de despacho, entre otros.

Adicionalmente, la plataforma permite controlar otros aspectos del proyecto como la llegada de materiales, control de calidad, prevención de riesgos, recepción de obras terminadas, además de procesar la información recibida para detectar fallas comunes y realizar comparaciones de rendimiento con bases de datos de otros proyectos. Otra plataforma que busca integrar múltiples aspectos de un proyecto de construcción es Procore, [23] una aplicación que busca reunir múltiples tipos de documentación relacionada con muchos aspectos del proyecto en un solo lugar, permitiendo que todos los participantes del proyecto tengan acceso a toda la documentación necesaria en todo momento desde un dispositivo móvil, lo que facilita la cooperación entre distintos equipos y especialidades. Procore también tiene integración con BIM para poder observar los modelos tridimensionales con los que se trabaja, agregar observaciones y recibir actualizaciones automáticas del modelo cuando estas son publicadas.

Junto a las ofertas que compañías externas ofrecen a empresas de la industria, también se exponen los avances e investigaciones que se realizan tanto desde la academia como desde la empresa privada para la adición de funcionalidades asociadas a Construcción 4.0.

### 4.4. Aplicaciones para diseño

El Diseño Generativo es un proceso iterativo donde una Inteligencia Artificial es capaz de generar múltiples opciones de diseño, enfocándose en alcanzar determinados parámetros y limitaciones indicadas por el conjunto de entes encargados del diseño del proyecto, lo que puede significar buscar alternativas aceptables en torno a tamaño, espacios, costos, materiales, o normativas constructivas. Se vuelve necesario que quienes ingresan las metas o restricciones al sistema lo hagan de manera correcta para obtener el resultado deseado.

Este método de diseño es posible gracias a que la IA recibe los datos de cientos o miles de planos y diseños previamente construidos, con lo que puede crear múltiples soluciones, mien-

tras desecha las que considera que no cumplen con lo solicitado, y usa aquella experiencia como aprendizaje para futuras solicitudes.

Existen aplicaciones de este método utilizadas de manera arquitectónica, como lo realizado por Autodesk, que utilizó diseño generativo en un edificio ya existente para optimizar el uso de sus espacios en función de parámetros relacionados a la productividad de sus equipos, mientras que existen casos de optimización de uso de materiales y costos en elementos estructurales sujetos al cumplimiento de las normativas vigentes [24]. Este proceso puede entregar como resultado elementos de formas complejas que normalmente no podrían ser creadas en el sitio de construcción pero que gracias a aplicaciones de construcción fuera de sitio y manufactura aditiva resultan viables. Alternativamente, el método de diseño generativo permite realizar pruebas con múltiples tipos de un material, como vigas, y determinar cual es el producto más adecuado en función de los parámetros que se buscan priorizar.

En la misma línea, una investigación de magíster del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile [25] busca predecir y realizar sugerencias de elementos estructurales para el diseño inicial de una obra, pudiendo entregar soluciones que posiblemente han sido omitidas por el equipo diseñador. Para lograr estos resultados se trabajó con datos de los planos de arquitectura de 165 edificios, con más de 30 variables a trabajar. A partir de los cuales se entrenó inicialmente a la red neuronal para realizar sus predicciones y sugerencias.

Uno de los avances realizados por Autodesk ha sido en el área de manejo de riesgos, donde al trabajar en conjunto con un modelo BIM, una Inteligencia Artificial llamada Construction IQ [11] puede detectar de forma temprana situaciones de potencial riesgo, asignarles un nivel de riesgo inminente y una prioridad para ser resueltas.

## 4.5. Aplicaciones para seguridad

En la búsqueda de reducir la tasa de accidentes que ocurren en una obra y disminuir la cantidad de peligros presentes en los sitios constructivos, un equipo del Instituto Tecnológico de Georgia y la Universidad Hanyang diseñaron un programa que realiza chequeos a un modelo BIM para determinar si existen potenciales fuentes de accidentes o determinar si alguna sección de la obra no está cumpliendo con las normas de seguridad establecidas. De este modo se pueden tomar las acciones correctivas necesarias mientras se bloquea el acceso a personas a aquellos sectores indicados como peligrosos en base a reglas establecidas previamente por el usuario, que se busca sean los reglamentos de seguridad que debe seguir la obra. En particular este programa está enfocado en la prevención de caídas, pero debido a su forma de operar este tiene el potencial de detectar otros peligros. [26]

Otro enfoque a la seguridad en el sitio constructivo puede darse en función de los trabajadores del mismo, un caso de esta situación es la creación de una red neuronal de inteligencia artificial que entrega un índice de riesgo de sufrir un accidente para cada trabajador en base a parámetros como su nivel de preparación, edad, accidentes previos, entre otros, con lo que es posible identificar con anticipación a los miembros más propensos a accidentarse y capacitarlos de manera preventiva en temas de seguridad. [27]



## 4.6. Manufactura aditiva y elementos prefabricados

Un aspecto de Construcción 4.0. que ha presentado avances concretos en varias partes del mundo ha sido el de la manufactura aditiva, tecnología que permite la creación de múltiples tipos de objetos de formas específicas a altas velocidades gracias a las ventajas que presentan frente a la forma tradicional de manufactura. La manufactura aditiva ocurre de forma totalmente automática, no requiere de herramientas adicionales además del equipo que deposita el material, conocido popularmente como impresora 3D, y permite cambios rápidos al diseño que se está fabricando. Después ver éxito en otras industrias como la automotriz y aeronáutica, la manufactura aditiva aparece en la construcción como una oportunidad de diseñar elementos de una obra, o estructuras completas solo con estos equipos.

Algunos ejemplos de usos de manufactura aditiva son las obras construidas por WinSun, en Shanghai. quienes usaron un sistema de impresión de grandes dimensiones para imprimir componentes de gran escala, que al ser transportados y ensamblados en el sitio de la obra fueron utilizados para concretar proyectos como una mansión de 1100 metros cuadrados, además de otros proyectos que se han completado posteriormente.[28]

La empresa eslovena BetAbram desarrolló un modelo de impresora 3D de concreto que puede ser utilizada para imprimir elementos de una estructura o imprimir una estructura completa de escala pequeña, como una casa de un piso, mientras que la compañía CyBe ha podido completar proyectos de casas, edificios de baja altura y mobiliario público gracias a las impresoras que han desarrollado. Un avance importante que se detecta en este caso es que ellos han podido imprimir exitosamente tanto en ambientes controlados como directamente en el sitio de la obra, lo que presenta un avance significativo en la viabilidad del uso de los equipos de impresión. [29]



Figura 4.2: Proceso de impresión del Laboratory for Drones en el SOLar Park de Seih Al-Dahal, Dubai - Fuente: <https://cybe.eu/cases/rdrone-lab/>

Dentro del área de manufactura aditiva existen múltiples métodos para conseguir una impresión que sea precisa y resistente, cada una presenta diferentes ventajas. En el caso de

la empresa rusa Apis Cor [30], ellos han conseguido imprimir el edificio más grande posible hasta la fecha, con un área de 640 metros cuadrados y 2 pisos de alto. Este proceso fue realizado en terreno con una impresora que podía ser cambiada de lugar sin causar problemas para la calidad de la obra.

En Chile existen avances en esta materia también. Ya existen universidades como la de Chile [31] o del BioBio [32] han presentado avances como la creación de impresoras propias por parte de alumnos, o la impresión de elementos estructurales. Del mismo modo, un proyecto de la docente Verónica Arcos de la Universidad Técnica Federico Santa María [33] en conjunto con el Centro Interdisciplinario para la Productividad y Construcción Sustentable (CIPYCS) se encuentran imprimiendo elementos prefabricados y elementos verticales a escala.

Por otro lado, el uso de elementos prefabricados también representa una posibilidad importante para mejorar tanto la productividad en los proyectos de construcción como para mejorar las condiciones de los mismos. En Chile destaca la empresa Baumax [34], quien ha logrado contribuir a múltiples proyectos habitacionales con elementos prefabricados creados en ambientes controlados, lo que les ha permitido reducir los tiempos de construcción en un 30 %, junto con otros beneficios.

El uso de prefabricados en construcción puede realizarse también en madera, como lo hace E2EChile [35], quienes han tomado parte de proyectos de casas y edificios con elementos de madera proporcionados con ellos, cuyas características facilitan el montaje y reducen los tiempos de construcción.

Del mismo modo existen otras compañías en el exterior que se dedican a la creación de elementos prefabricados en múltiples tipos de materiales, que han contribuido a proyectos habitacionales de diferentes escalas. Ejemplos de esto es lo realizado por Elements Europe [36] en Reino Unido, Plant Prefab [37] en Estados Unidos o las empresas agrupadas en la Asociación de Proveedores y Manufactureros para construcción de Japón. [38]

## 4.7. Visualización del proyecto

Formas alternativas de visualizar la obra ofrecen beneficios al momento de ejercer funciones de control, o al encontrar conflictos entre distintas especialidades en el sitio o en el diseño, entre otras funcionalidades. Estas nuevas formas de visualizar un proyecto y en particular la obra son conocidas como Realidad Virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR). Realidad Virtual permite al usuario observar un modelo tridimensional de la obra y recorrerlo en detalle desde cualquier lugar donde el equipo de VR pueda operar. Por su parte, la tecnología de Realidad Aumentada interactúa con el espacio real para entregar e ingresar información asociada al lugar que se está observando.

En el caso de Realidad Virtual, esta ya es utilizada por compañías chilenas como FourdPlan [39] como parte de sus procesos para facilitar a los clientes la visualización del proyecto, facilitando la comunicación entre estos y los ejecutores del proyecto ya que el cliente poseerá información más precisa sobre el estado de la obra.

Del mismo modo, Fleischmann [40] ha logrado crear aplicaciones para BIM que permiten

visualizar y recorrer el modelo, mientras se simulan diferentes estados de avance de la obra. Estas aplicaciones están enfocadas a las entidades que trabajan directamente en el proyecto y les permiten realizar comparaciones de forma remota, junto con detectar errores y posibles conflictos entre especialidades o equipos.

Por otro lado, las aplicaciones de AR permiten entregar información variada a los usuarios dependiendo del lugar donde se utilicen. Ejemplos de estas aplicaciones pueden comenzar con algo tan simple como medir distancias usando una cámara de un dispositivo móvil, o tareas más complejas como las listadas a continuación.

La aplicación Gamma AR [41] permite realizar comparaciones inmediatas entre el modelo BIM de un proyecto y el estado actual del mismo al escanear la posición dentro del sitio donde se encuentra el usuario. Esto le permite al usuario utilizar un teléfono o tablet para encontrar diferencias o posibles errores y poder corregirlos de forma temprana.

Otra herramienta que es posible gracias a Realidad Aumentada es ARki [42], aplicación que permite proyectar modelos tridimensionales sobre lugares reales, para poder explorarlos en el lugar donde se busca construirlos.

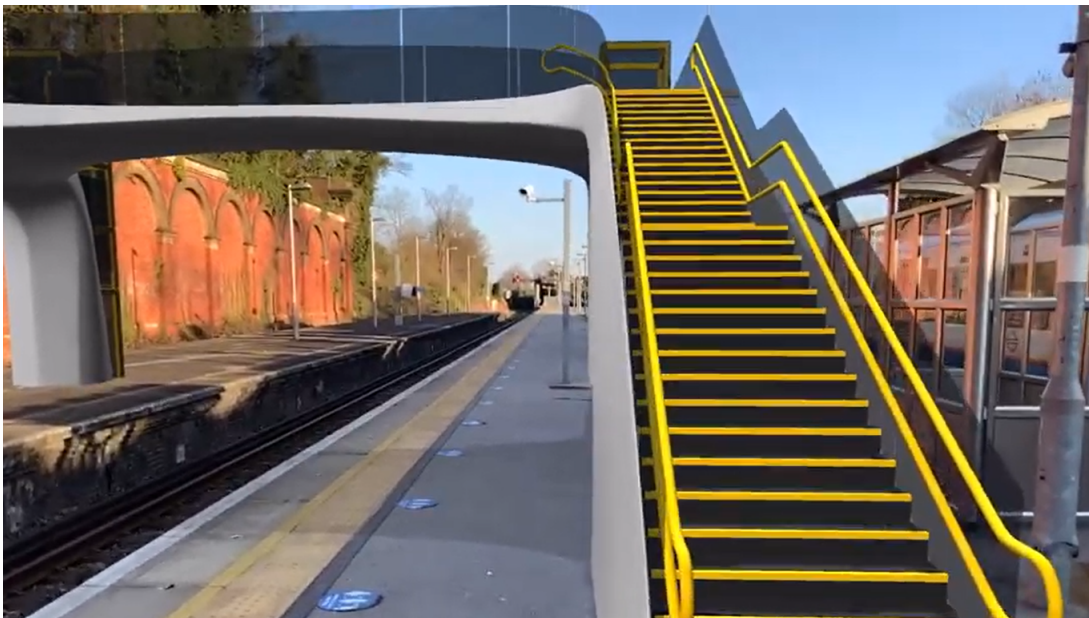


Figura 4.3: Proyección de modelo de puente sobre lugar donde se construirá, generada por ARki - Fuente: <https://youtu.be/mnoIe1J4Izc>

Existen aplicaciones que buscan combinar tecnologías de Realidad Aumentada y Virtual para facilitar la visualización de los datos y modelos. La aplicación Holo [43] se especializa en control de avances, planificación y gestión, a lo que añade modos de visualización de modelos BIM y de los datos incluidos en el modelo, con el objetivo de facilitar el acceso a estos datos para todos los participantes del proyecto, y agregar una asociación de estos datos a algún lugar físico.

# Capítulo 5

## Análisis de información recopilada

Al observar las posibilidades de lo que pueden aportar las nuevas tecnologías al proceso de planificación y control de un proyecto de construcción y al observar el estado actual de la industria constructiva tanto global como local, puede determinarse que existen varios pasos pendientes a tomar por parte de la industria local para llegar a un punto de automatización y digitalización comparable al del resto de sectores productivos. Estos cambios se pueden agrupar basados en los objetivos que buscan conseguir, comenzando por el manejo de información y comunicaciones en un medio digital unificado, para luego añadir elementos que automaticen la obtención, procesamiento y generación de información, para finalmente pasar a una etapa donde tareas de alta importancia que normalmente son ejecutadas por humanos se realicen de forma automática, tanto en el ámbito digital como en terreno.

### Digitalización de información

El primer paso a completar es el de mover la información del proyecto y la forma de manejarla al plano digital, ya sea mediante algún sistema de archivos que se maneje en la nube, o alguna plataforma especializada que permita manejar y procesar toda la documentación del proyecto para las diferentes actividades que se realizan durante el proyecto. Esto se puede lograr mediante un sistema que integre modelos BIM y otros sistemas de manejo de archivos compatibles con estos modelos. Una de las características más importantes que este sistema de manejo digital de archivos debe tener es la posibilidad de que todos los involucrados en el proyecto puedan colaborar al poder editar y comentar sobre los modelos y otros documentos, este principio colaborativo corresponde a uno de los principios fundamentales de la Industria 4.0 y es una de las razones que permiten que las productividad en las industrias incrementa al acelerar y facilitar el flujo de información entre todas las partes participantes.

Esta migración de datos está en proceso tanto en la industria local como mundial, y se proyecta que para que ocurra una transición completa a sistemas digitales de manejo de información tendrán que pasar algunos años aún. Las exigencias de uso de BIM para proyectos públicos y también de mandantes privados habrán de acelerar el proceso de movimiento pero se estima que un porcentaje de empresas del sector tendrán problemas para adaptarse

de forma exitosa a las exigencias, haciendo el proceso mucho más lento. Dado que se busca exigir que los proyectos públicos en Chile exijan el uso de BIM para el año 2025, se proyecta que una adopción completa de uso de medios digitales para manejo de información ocurra cerca del año 2030, terminando con las empresas de menor tamaño y/o recursos.

En el contexto de Planificación y Control este paso resulta fundamental, ya que para mejorar ambos procesos la disponibilidad de información es de alta importancia. Al reunir toda la información del proyecto en un solo ecosistema, y al recibir actualizaciones constantes o en tiempo real del estado del proyecto, las decisiones a tomar tanto en proyectos actuales como futuros resultan ser más precisas y oportunas. La posibilidad de reunir toda la información en un solo lugar permite también que otras figuras asociadas al proyecto, como el resto de las especialidades involucradas, proveedores o autoridades puedan recibir la información necesaria de forma oportuna y comunicarse entre ellos de forma efectiva, permitiendo que existan registros y recordatorios de tareas y decisiones tomadas y que estas sean de fácil acceso para todos los involucrados.

### **Automatización de obtención de información**

El segundo paso a realizar en un proceso de adopción de la Construcción 4.0. corresponde a los usos avanzados de las nuevas tecnologías y la incorporación de herramientas que automaticen procesos al sistema digital donde se reúne la información. Esto quiere decir que se utilicen las posibilidades que ofrece la digitalización de información no solo para visualizarla y editarla manualmente, sino que también para que se realicen procesos y análisis de forma independiente, se incorporen formas de capturar datos de forma automática, realizar análisis automáticos de información captada o ingresada y que aquellos análisis proporcionen información adicional que pueda ayudar a tomar mejores decisiones y agilizar procesos.

En el área de Planificación y Control esto involucra cálculos automáticos de costos del proyecto en la fase de diseño, la generación de planificaciones y alteraciones automáticas a estas durante el proceso de construcción, junto a la captura de información de avance y monitoreo de trabajadores y equipos en tiempo real. Muchos de estos avances pueden conseguirse al incorporar varias inteligencias artificiales al sistema digital donde se maneja la información de los proyectos, y dependiendo del tamaño y condiciones de cada proyecto, una solución que integre análisis de imágenes y/o monitoreo por sensores permite vigilar de buena forma a los trabajadores y equipos en el sitio. Al añadir otras soluciones que indiquen condiciones ambientales y adviertan de riesgos de seguridad se hace posible mantener la salud y moral de los trabajadores, además de evitar retrasos en el progreso del proyecto.

Otro elemento a considerar integrar en este paso es el de los elementos prefabricados o modulares, que si bien no son una herramienta que directamente ayuda para hacer planificación o control, son elementos que entregan mayores certezas en términos de plazos de fabricación e instalación, lo que estabiliza las planificaciones al disminuir las posibles variaciones temporales dadas por errores o imprevistos que no se dan en ambientes controlados como los de las fábricas de estos elementos.

Como este paso depende de la velocidad de adopción de un ambiente digital para el tratamiento y transmisión de información, de la experiencia que adquieran los participantes de cada proyecto con el sistema, resulta complejo determinar un horizonte de tiempo en el que se podría esperar una adopción completa de estas características por parte de la totalidad del sector. Se entiende que las primeras empresas en adoptar estos pasos serán las empresas de mayor tamaño y recursos, que tienen la oportunidad de invertir en algunas de estas tecnologías, y lentamente empresas más pequeñas accederán a formas de implementar estas adiciones a su forma de trabajar.

### **Automatización de procesos materiales**

El paso final del proceso de digitalización o adopción de Construcción 4.0. en la industria se puede entender como una completa automatización de procesos de alta importancia con mínima supervisión humana además de las revisiones necesarias, junto con la incorporación de maquinarias y equipos que realizan tareas que hasta ahora habían sido ejecutadas en su totalidad por humanos. Algunas de estas tareas incluyen el uso de diseño generativo para crear soluciones de diseño, el uso de construcción aditiva o impresiones 3D para elementos específicos de una obra, junto con la adición de robots para la ejecución de tareas peligrosas o rutinarias, como la inspección de sitio para recolectar información de avances o la ejecución de tareas en ambientes demasiado peligrosos para un trabajador humano.

Adicionalmente, es necesario entender que los avances relacionados con la Industria 4.0. siguen en desarrollo y que nuevas técnicas y tecnologías podrían hacer una aparición en los próximos años, sus posibles beneficios a la construcción deben ser analizados y las nuevas técnicas y tecnologías tendrían que ser integradas a un proceso de digitalización de la construcción en esta etapa, ya que es probable que estos nuevos avances requieran de una base de digitalización que no pueda ser posible en los pasos previos.

Al igual que en el paso anterior, se entiende que resulta difícil de estimar un rango de tiempo en el que se podría completar este paso en la industria local, ya que las acciones que buscan hacer mediante estas implementaciones requieren una mayor inversión que el paso anterior, por lo que la implementación de estas técnicas y tecnologías tomarán más tiempo en compañías de menor tamaño.

Para el área de planificación y control, este paso implica la automatización de procesos que anteriormente consumen altas cantidades de tiempo, como el diseño estructural o arquitectónico, al igual que la mayor adición de elementos que añaden certezas temporales a la planificación, junto con la adición de más fuentes de información para el control de avances, costos y calidad. Mientras más fuentes de información respecto del progreso del proyecto se tenga, se pueden detectar e incluso anticipar problemas que puedan surgir durante la ejecución del proyecto, lo que permite resolverlos en etapas tempranas, evitando que puedan causar problemas como afectar a otros aspectos del proyecto, atrasos o re trabajos a futuro. Resulta importante agregar que tanto para este paso de automatización de procesos de mayor importancia como en el anterior de automatización de obtención de información se vuelve necesario tener métodos eficientes de tratamiento de datos y formas seguras de almacena-

miento y protección de estos datos, ya que mientras más datos se generen estos se volverán uno de los activos más valiosos de cualquier empresa del sector.

### **Otros elementos a considerar durante la adopción de Construcción 4.0.**

Otro punto a tener en cuenta al momento de analizar y proponer un proceso de digitalización es la disposición y actitud de la industria a aceptar los cambios a la cultura laboral que traen las nuevas tecnologías y técnicas. Para que la incorporación de nuevas tecnologías sea un proceso exitoso y entregue los beneficios que prometen entregar es necesario que estos cambios estén respaldados por las posiciones de liderazgo, que entiendan las razones por las que estos cambios son necesarios y se comprometan los recursos requeridos para implementar estos cambios a un ritmo que permita a todos los niveles de una empresa a acostumbrarse a ellos.

Una de las medidas más importantes a tomar para asegurar una buena transición a las nuevas formas de operar, es que los cambios tienen que ejecutarse comenzando con un proyecto en escala pequeña, donde se puedan determinar los ajustes y enfoques necesarios para que una transición al uso de las nuevas tecnologías sea exitoso. Al comenzar con un proyecto pequeño, es posible determinar con facilidad el nivel de capacitación requerido por los trabajadores tanto para el uso de nuevo hardware y software como en el seguimiento de nuevos protocolos, al igual que detectar cuales son los pasos que requieren mayor atención en el proceso de transición cuando se realice para proyectos de mayor escala. La implementación de nuevas técnicas o tecnologías de forma repentina y sin la debida preparación podría llevar que esta cause efectos contrarios a los esperados, del mismo modo que si no existe un compromiso por parte de las posiciones de liderazgo con estas transformaciones. El cambio de visión de la construcción de una industria de trabajo artesanal a una industria manufacturera resulta primordial para que la transformación del sector pueda ocurrir y pueda maximizar los beneficios que estos cambios pueden entregar. Este cambio de visión y aceptación del cambio le entregará al sector constructivo la posibilidad de incorporar con mucha mayor rapidez otras mejoras que puedan desarrollarse en el futuro, y que sus beneficios puedan observarse más rápidamente en la industria.

Tabla 5.1: Cuadro resumen de los pasos a seguir en la incorporación de Construcción 4.0.

Paso del proceso de digitalización	Descripción	Tecnologías a incorporar en la etapa
1-. Manejo de información digital	<p>Movimiento de toda la información de los proyectos de construcción y las comunicaciones a una plataforma digital unificada, donde todos los participantes del proyecto puedan acceder y manipular la información relevante para sus labores. Idealmente en esta plataforma debe existir registros de modificaciones y mensajería para evitar pérdidas de información, así como actualizaciones instantáneas de los cambios realizados al resto de los participantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de BIM para modelación y reunión de información de avance.</li> <li>- Plataformas en la nube para manejo de documentación.</li> </ul>
2-. Automatización de obtención de información	<p>Uso de métodos automatizados para capturar información desde el sitio de trabajo de forma constante, junto con un análisis automático de aquella información, la que puede tratar sobre el estado de avance de algunas tareas, ubicación de trabajadores y equipos, medidas de seguridad, disponibilidad de materiales, control de costos. También pueden empezar a verse los primeros usos de inteligencia artificial apoyando tareas realizadas regularmente por humanos, así como la incorporación de elementos creados en ambientes controlados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de imágenes mediante inteligencia artificial</li> <li>- Adición de sensores y dispositivos de captura de datos a objetos sin capacidades de transmisión de datos.</li> <li>- Uso de inteligencia artificial en la creación de la programación del proyecto y sus reprogramaciones.</li> <li>- Inicio de la incorporación de elementos prefabricados o modulares al diseño de los proyectos.</li> </ul>
3-. Automatización de procesos manuales	<p>Cambio en tareas regularmente ejecutadas por humanos a ser realizadas de manera automática, con una supervisión o participación humana reducida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aplicación de diseño generativo durante la etapa de diseño.</li> <li>- Uso de elementos prefabricados y/o modulares desde la etapa de diseño.</li> <li>-Incorporación de manufactura aditiva al sitio de trabajo.</li> <li>- Uso de robots en tareas de monitoreo o de alto riesgo para humanos.</li> </ul>



# Capítulo 6

## Evaluación del grado de adopción

A partir de lo investigado y analizado, se observa que el grado de avance que presenta la incorporación de tecnologías digitales en el área de planificación y control de la industria constructiva local, comparado con las técnicas y tecnologías que se encuentran en uso hoy en día, corresponde al de una etapa temprana en el proceso de digitalización, en donde un porcentaje considerable de la industria aún se encuentra sin comenzar su proceso de digitalización. Si bien existe una parte de la industria que lleva avanzado su proceso de adopción de Construcción 4.0. y se ha movido más allá de la etapa inicial, se entiende que esta parte es minoritaria, y se entiende que la fracción del sector que está más allá de la etapa inicial es menor en el caso local que en el internacional.

Como se mencionó en el análisis, se pueden distinguir tres etapas diferentes del proceso de adopción de Construcción 4.0, donde cada una busca incorporar elementos diferentes para tareas cada vez más complejas, para lo que es necesario tener la base que entregan las implementaciones de los pasos anteriores. Debido a que este paso es el que en teoría se ve con más dificultades del tipo cultural al interior de una empresa, resulta ser el más complejo de iniciar de forma orgánica, ya que requiere un cambio en la forma de pensar y operar a todo nivel de una empresa, donde si bien los beneficios de estos cambios son conocidos, es natural ponerlos en duda para un caso particular. Como se mencionó previamente, para que este primer paso hacia la digitalización ocurra de forma exitosa se requiere un proceso de cambio gradual que permita evaluar las dificultades que puedan existir en el camino y que logre eliminar las dudas que pudieran existir respecto del manejo digital y colaborativo de información, resulta en especial importante el despejar las dudas de las posiciones de liderazgo respecto de estos cambios, para que estos puedan ocurrir sin mayor oposición de quienes participan en las empresas.

Por otro lado, se entiende que existen procesos que han impulsado o forzado una aceleración en los procesos de digitalización, en particular del paso de manejo de información a métodos digitales y unificados. En particular, las exigencias de uso de BIM por parte de gobiernos y entidades privadas a las empresas constructivas ha causado que estas tengan que iniciar a al menos familiarizarse con esta forma de trabajar con miras a los plazos impuestos por las entidades públicas y privadas, sin embargo si estas exigencias son acompañadas por

iniciativas que busquen incentivar la adopción de estas tecnologías el proceso puede facilitarse. Para estos casos las iniciativas como PlanBIM o BIMForum resultan de gran importancia para asegurar un crecimiento sostenido de la cantidad de usuarios de BIM y que estos logren una transición exitosa de sus empresas hacia un modelo de manejo digital de datos.

En cambio, situaciones como la pandemia de COVID-19 han causado efectos que han forzado a que algunas empresas tengan que implementar nuevas maneras digitales de manejo de información, pero esta obligación no es acompañada por un incentivo o facilidades para realizar estos cambios, por lo que al realizarse de modo urgente en lugar de ser parte de un plan hacen dudoso que los cambios implementados vayan a sostenerse en el tiempo, o entregar los beneficios que deberían proporcionar teóricamente. Para que la adopción de métodos digitales de manejo de información ocurra de forma exitosa y sostenida se hace necesario proporcionar ayuda externa de parte de iniciativas como las mencionadas previamente para que los cambios se establezcan y se pueda obtener el mayor beneficio de estos.

Como se ha mencionado previamente, para que ocurran los cambios culturales y organizacionales que una implementación exitosa de Construcción 4.0. requiere, es necesario un proceso gradual que comience a escala pequeña para poder ajustar y entender cuales aspectos requieren mayor énfasis en cada organización. Cada adición o implementación de un elemento nuevo podría tomar del orden de meses o años para ser implementado exitosamente sin grandes regresiones al estado anterior, por lo que se entiende que una adopción completa del paradigma 4.0. podría demorar el orden de años, incluso décadas, lo que tiene sentido si se considera el como el resto de industrias productivas realizaron su transición a su versión 4.0. Ya que una de las ideas u objetivos detrás de la adopción de Construcción 4.0. es el equiparar los niveles de productividad del sector constructivo con los de otras industrias, se deben crear estrategias que permitan la implementación de Construcción 4.0. a un ritmo más acelerado que lo que ocurrió en el resto de industrias. Para esto no solo se vuelve necesarias la creación de recomendaciones de como implementar tecnologías en general, sino que también impulsar la creación de estándares y métodos de implementación de forma colaborativa entre múltiples organizaciones y órganos de asociación o regulación, de modo que la adopción de nuevas técnicas y tecnologías pueda ser más fácil para compañías que comienzan su proceso hacia Construcción 4.0. de forma más tardía o tienen menores recursos.

Esto se vuelve de mayor importancia para los procesos de incorporación de métodos automáticos de recolección de información hacia adelante, ya que las tecnologías y técnicas existentes para completar esta tarea son variadas, y no hay grandes consensos respecto de cuales son las tecnologías más apropiadas para la industria, y cuales son las formas más apropiadas de incorporarlas a proyectos de diferentes condiciones y escalas. Dada esta mayor diversidad de opciones disponibles en comparación con el paso de manejo digital de la información, la creación de estándares y guías para la adopción de herramientas autónomas resultará crítico para que el avance de Construcción 4.0. a lo largo del sector ocurra a un ritmo que permita alcanzar a las otras industrias. Actualmente el uso de estrategias de implementación de BIM proporcionadas por agentes externos a una empresa tienen baja aceptación, siendo prevalente que cada empresa elabore una estrategia propia, ocurriendo lo mismo con los estándares de uso de BIM. Este tipo de situaciones requieren un giro para que las siguientes fases de transición a Construcción 4.0. sean más rápidas y fluidas.

### Estrategias de implementación BIM

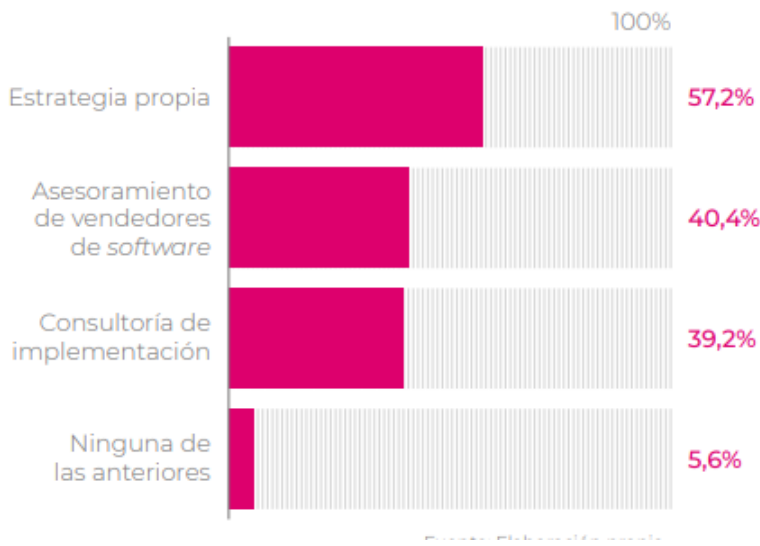


Figura 6.1: Tipos de estrategias de implementación de BIM usadas por empresas del sector de construcción - Fuente: Encuesta BIM América Latina y el Caribe 2020

### Uso de estándares para el trabajo en BIM

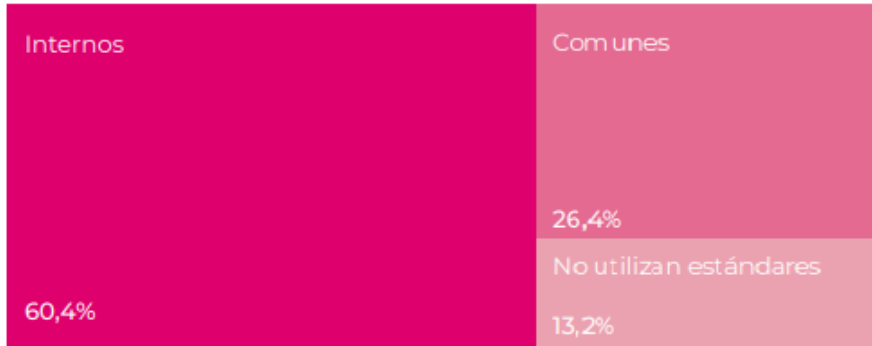


Figura 6.2: Tipos de estándares BIM utilizados en la industria latinoamericana de construcción - Fuente: Encuesta BIM América Latina y el Caribe 2020

La adopción de BIM en la industria local lleva más de 8 años en proceso, con unos cuantos años más aún por delante para que haya una adopción total y exitosa. Las lecciones obtenidas de este primer paso hacia la digitalización del sector de construcción deben ser aplicadas a los procesos que lo sucederán para que estos puedan ocurrir de manera más rápida, sin pasar a llevar las ideas y formas de trabajo que son necesarias de entender para que la inversión que se realice en estos avances tecnológicos entreguen los máximos beneficios posibles.

# Conclusión

La industria de la Construcción se encuentra en un punto donde está buscando un cambio importante, y las ideas asociadas a Construcción 4.0. se perfilan como una solución efectiva a las problemáticas actuales del sector, principalmente los relacionados a productividad, comunicación, seguridad y uso de recursos, y así lo han entendido las grandes entidades pertenecientes a esta industria. Las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías en la actualidad presentan beneficios que no pueden ser ignorados, y estos beneficios y posibilidades seguirán incrementado con el tiempo debido a que el avance tecnológico asociado a la Industria 4.0. aún se encuentra en desarrollo tanto a nivel nacional como global.

Al analizar las mejoras que la integración de los nuevos avances traerán al sector, es posible identificar tres niveles o pasos de adopción que se apoyan uno sobre otro. Estos niveles de adopción se entienden como:

- Implementación de plataformas digitales donde se reúna toda la información del proyecto.
- Automatización y expansión de los métodos de obtención de información asociada al proyecto.
- Automatización de procesos tradicionalmente ejecutados de forma manual.

Mediante el avance en la integración de nuevas tecnologías y aplicaciones se avanzará en los niveles previamente mencionados, y mientras se progresa, ocurrirá un proceso de transformación de la industria que posee actividades que se consideran artesanales en comparación al resto de industrias manufactureras, a una industria que incluye un alto porcentaje de procesos automatizados, donde la información se vuelve un recurso de mayor importancia para mejorar proyectos futuros.

Luego de analizar el estado actual de la industria constructiva local, se determinó que esta se encuentra en un estado inicial en la transformación hacia la Construcción 4.0., en donde se detecta que ha comenzado una transición de la forma de trabajar y manejar la información de los contratos a un plano digital, lo que se estima tendrá como consecuencia no solo una base sólida para la implementación de tecnologías más avanzadas, sino que también incentivará la cooperación y estandarización de la forma de trabajar.

Estas nuevas tecnologías y métodos de trabajo tienen el potencial de mejorar la productividad,

sustentabilidad y seguridad del sector, pero también se entiende que requieren de nuevos modelos de gestión y coordinación de proyectos, que logren integrar a la mayor cantidad de entidades posibles, favoreciendo la colaboración entre los participantes de cada proyecto.

En el análisis del estado de adopción de Construcción 4.0. se determina que las acciones que tendrían que seguir a futuro para que el proceso de adopción ocurra exitosamente, y se puedan maximizar los beneficios de las nuevas tecnologías es que se consolide el proceso de manejo digital de datos, para luego pasar a un proceso de automatización de obtención de información. Se entiende que estas acciones tendrían que ocurrir a mediano plazo para que la construcción pueda alcanzar al resto de industrias manufactureras en términos de productividad.

En paralelo a la implementación de tecnologías, se reconoce como necesario encontrar métodos para que estas tecnologías sean aceptadas ampliamente para que su uso sea aceptado por quienes serán sus usuarios directos en el sector.

Finalmente, se sugiere realizar una nueva evaluación de grado de adopción en el futuro cercano, ya que se entiende que las tecnologías de la Industria 4.0. aún no alcanzan su desarrollo completo, por lo que la totalidad de las posibilidades que ofrecen aún no es conocida completamente. Del mismo modo, es posible que nuevas tecnologías surjan en el corto plazo que podrían cambiar las posibilidades que ofrece tanto la Industria 4.0. como la Construcción 4.0. En particular, se entiende que pueda surgir un nuevo nivel de digitalización o adopción al que el sector pueda aspirar.

# Bibliografía

- [1] E. Hofmann and M. Rüsç, “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics,” *Computers in Industry*, vol. 89, pp. 23–34, 2017.
- [2] E. Forcael, I. Ferrari, A. Opazo-Vega, and J. A. Pulido-Arcas, “Construction 4.0: A literature review,” *Sustainability*, vol. 12, no. 22, 2020.
- [3] National Science Foundation, “Cyber-physical systems.” <https://www.nsf.gov/pubs/2021/nsf21551/nsf21551.pdf>, 2021.
- [4] F. Craveiro, J. P. Duarte, H. Bartolo, and P. J. Bartolo, “Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on construction 4.0,” *Automation in Construction*, vol. 103, pp. 251–267, 2019.
- [5] F. Barbosa, J. Mischke, and M. Parsons, “Improving construction productivity.” <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/improving-construction-productivity>, 2017.
- [6] U. C. o. C. USG Corporation, “Commercial construction index q4 2018.” [https://www.usg.com/content/dam/USG\\_Marketing\\_Communications/united\\_states/product\\_promotional\\_materials/finished\\_assets/usg-united-states-chamber-of-commerce-commercial-construction-index-en-Q4-2018.pdf](https://www.usg.com/content/dam/USG_Marketing_Communications/united_states/product_promotional_materials/finished_assets/usg-united-states-chamber-of-commerce-commercial-construction-index-en-Q4-2018.pdf), 2018.
- [7] L. Lacaze, “Encuesta bim: América latina y el caribe 2020.” <https://publications.iadb.org/es/encuesta-bim-america-latina-y-el-caribe-2020>, 2021.
- [8] Cámara Chilena de la Construcción y Matrix Consulting, “Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la construcción en Chile a estándares mundiales.” [https://cchc.cl/assets/landings/2020/informe-productividad/pdf/ResumenEjecutivo\\_Estudio\\_de\\_Productividad\\_Construcci%C3%B3n2020.pdf](https://cchc.cl/assets/landings/2020/informe-productividad/pdf/ResumenEjecutivo_Estudio_de_Productividad_Construcci%C3%B3n2020.pdf), 2021.
- [9] M. Loyola, “Encuesta nacional bim 2019: Informe de resultados.” <https://bim.uchilefau.cl/>, 2019.
- [10] Alice Technologies. <https://www.alicetechnologies.com/home>.
- [11] Mehdi Nourbakhsh, “Design and bid intelligently with ai.” <https://www.autodesk.com/>

autodesk-university/ja/node/130631.

- [12] David Price, “Kier using ai technology to support bids.” <https://www.constructionnews.co.uk/contractors/kier/kier-using-ai-technology-to-support-bids-29-06-2021/>, 2021.
- [13] Sam Steers, “Kier uses nplan ai technology to support new work bids.” <https://constructionglobal.com/technology-and-ai/kier-uses-nplan-ai-technology-support-new-work-bids>, 2021.
- [14] NewMetrix, “Covid-19 starter kit.” <https://www.newmetrix.com/covid19-starter-kit>, 2021.
- [15] TÜV SÜD, “3d ai construction inspection.” <https://www.tuvsud.com/en/industries/real-estate/buildings/3d-ai-construction-inspection>.
- [16] OpenSpace. <https://www.openspace.ai/>.
- [17] Adam Williams, “Spot the robot dog adopts role as construction site inspector.” <https://newatlas.com/architecture/spot-robot-dog-foster-partners-boston-dynamics/>, 2020.
- [18] EquipmentShare, “T3 fleet - fleet management software.” <https://www.equipmentshare.com/digital-solutions/fleet>.
- [19] Trimble Heavy Industry. <https://heavyindustry.trimble.com/products/civil-construction/machine-control>.
- [20] Triax Technologies. <https://www.triaxtec.com/construction/>.
- [21] Pillar Technologies. <https://pillar.tech/>.
- [22] Calidad Cloud. <https://www.calidadcloud.com/>.
- [23] Procure. <https://www.procure.com/es>.
- [24] G. Díaz, R. F. Herrera, F. C. Muñoz-La Rivera, and E. Atencio, “Applications of generative design in structural engineering,” *Revista ingeniería de construcción*, vol. 36, pp. 29 – 47, 04 2021.
- [25] Beauchef Magazine 2021, “Investigadores u. de chile dan los primeros pasos en el país para usar inteligencia artificial en la construcción.” <https://www.uchile.cl/noticias/182155/los-primeros-pasos-para-usar-ia-artificial-en-la-construccion>, 2021.
- [26] S. Zhang, J. Teizer, J.-K. Lee, C. M. Eastman, and M. Venugopal, “Building information modeling (bim) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules,” *Automation in Construction*, vol. 29, pp. 183–195, 2013.
- [27] R. E. Chang López, E. A. Morales, J. C. Chávez, K. Nahún Hernández, K. P. Salgado,

- and V. M. Banegas, “Ciencia de datos: : Investigación aplicada sobre los accidentes de la compañía cosmo astral en el sector de la construcción de honduras mediante el diseño de redes neuronales de inteligencia artificial y su uso como apoyo a los procesos de toma de decisiones,” *Revista Centroamericana de Administración Pública*, p. 32–44, dic. 2019.
- [28] “Future of construction - winsun.” <https://www.futureofconstruction.org/case/winsun/>, 2016.
- [29] CyBe. <https://cybe.eu/cases/>.
- [30] Apis Cor. <https://www.apis-cor.com/dubai-project>.
- [31] Universidad de Chile, “Estudiantes de ingeniería crean primer prototipo de impresora 3d de concreto.” <https://www.uchile.cl/noticias/144274/estudiantes-crean-prototipo-de-impresora-3d-de-concreto>, 2018.
- [32] Noticias UBB, “Alumnos ubb ejecutan primer muro impreso en 3d del país.” <http://noticias.ubiobio.cl/2018/10/31/alumnos-ubb-ejecutan-primer-muro-impreso-en-3d-del-pais/>, 2018.
- [33] CIPYCS, “La impresión de hormigón en 3d avanza en chile: permite construir viviendas sustentables y en tiempo récord.” <https://www.cipyics.cl/blog/la-impresion-de-hormigon-en-3d-avanza-en-chile-permite-construir-viviendas>, 2021.
- [34] Baumax. <https://www.apis-cor.com/dubai-project>.
- [35] E2E Chile. <http://www.e2echile.com/>.
- [36] Elements Europe. <https://elements-europe.com/>.
- [37] Plant Prefab. <https://www.plantprefab.com/>.
- [38] Japan Prefabricated Construction Suppliers and Manufacturers Association. <https://www.purekyo.or.jp/bukai/jyutaku/english/index.html>.
- [39] Fourplan. <https://www.fourdplan.com/>.
- [40] Fleischmann, “Bim + realidad virtual.” <https://www.fourdplan.com/>.
- [41] Gamma AR. <https://gamma-ar.com/?lang=es>.
- [42] Darf Design. <https://www.darfdesign.com/arki.html>.
- [43] Holo. <https://holo.cl/>.
- [44] Foro Económico Mundial, “Shaping the future of construction.” [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Shaping\\_the\\_Future\\_of\\_Construction\\_full\\_report\\_..pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report_..pdf), 2016.
- [45] Global Construction Perspectives y Oxford Economics, “Global construction 2030:



A global forecast for the construction industry in 2030..” <https://www.pwc.se/sv/entreprenad/assets/global-construction-2030.pdf>, 2015.

- [46] Comisión Nacional de Productividad, “Productividad en el sector de la construcción.” <https://www.comisiondeproductividad.cl/wp-content/uploads/2020/11/Comisi%C3%B3n-Nacional-de-Productividad-Informe-Productividad-en-la-Construccion.pdf>, 2020.
- [47] Project Management Institute, *Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos*. 2008.
- [48] J. W. Hinze and J. Teizer, “Visibility-related fatalities related to construction equipment,” *Safety Science*, vol. 49, no. 5, pp. 709–718, 2011.
- [49] Corporación de Desarrollo Tecnológico, “Webinar construcción 4.0: Oportunidades de la transformación digital.” <https://www.youtube.com/watch?v=eDIEzIzJ1OE>, 2020.
- [50] iConstruye.com, “Webinar: Desafío de aceleración de la transformación digital y cultural en la construcción.” [https://www.youtube.com/watch?v=o\\_NpeGBRp0](https://www.youtube.com/watch?v=o_NpeGBRp0), 2021.
- [51] S. Lim, R. Buswell, T. Le, S. Austin, A. Gibb, and T. Thorpe, “Developments in construction-scale additive manufacturing processes,” *Automation in Construction*, vol. 21, pp. 262–268, 2012.