



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

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LOS AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

ALEJANDRA CAROLINA EYZAGUIRRE SILVA

PROFESOR GUÍA:

Alejandro Polanco Carrasco

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

David Campusano Brown

Edgardo González Lizama

SANTIAGO DE CHILE

2023

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
POR: ALEJANDRA CAROLINA EYZAGUIRRE SILVA
FECHA: 2023
PROF. GUÍA: ALEJANDRO POLANCO CARRASCO

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LOS AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

El sector de la construcción es una de las industrias más importantes para la economía del país. Esto se debe a que conforma del orden del 6 % del Producto Interno Bruto (PIB) y sobre el 60 % de la inversión nacional. A pesar de ser una industria tan relevante, su productividad se encuentra estancada en los últimos 15 años. Siendo incluso aproximadamente un 50 % menos productiva que la de países referentes a Chile. Por otro lado, McKinsey Global Institute, en 2017, afirma que si las construcciones invierten en tecnologías, estas podrían aumentar la productividad del sector entre 5 a 10 veces. Es por esto que se ha vuelto una necesidad que la industria de la construcción se incorpore en la denominada “*Industria 4.0*” o también llamada “*Transformación Digital (TD)*”. Las cuales generan nuevos enfoques y metodologías con la utilización de tecnologías que unen el mundo real con el digital.

El presente trabajo de título estudia el impacto que tienen los avances tecnológicos en la industria de la construcción. Esto se realiza a través de una caracterización y clasificación de los principales avances tecnológicos encontrados mediante una exhaustiva revisión bibliográfica. Donde se clasificaron 36 tecnologías entre plataformas de gestión y control, maquinarias inteligentes, innovaciones en materiales de construcción y metodologías de fabricación. Con el fin de filtrar aquellas tecnologías que tienen un mayor impacto, se realiza un análisis cualitativo, utilizando herramientas como encuestas y entrevistas a profesionales del sector. Se realizaron casos de estudios con empresas tecnológizadas para analizar de forma cuantitativa aquellas tecnologías más relevantes. Dentro de este análisis se estudian los ahorros en mano de obra, plazos y costos que genera el uso de drones, robot, prefabricados, impresión aditiva y plataformas de monitoreo de obra.

Dentro de las principales conclusiones se destaca que existe una variedad de tecnologías disponibles en el mercado, las cuales tienen un gran impacto en la productividad. A causa de que generan múltiples beneficios, tales como: disminución de errores, aumento de calidad, sustentabilidad, optimización de procesos, disminución de plazos y ahorros económicos en los costos totales del proyecto. De los casos de estudio se desprende que existen tecnologías que pueden reducir hasta 6-9 meses el plazo total de los proyectos y reducir hasta un 41 % las hh. Sin embargo, aún existe un bajo nivel de conocimiento y adopción de tecnologías en las construcciones del país, alcanzando un porcentaje de adopción menor a 7% en tecnologías tan relevantes como impresión 3D, robots, inteligencia artificial y algunos prefabricados. No obstante, los profesionales del rubro están conscientes del bajo nivel de industrialización de las empresas y de la ineficiencias que esto conlleva, por lo que cada vez son más las organizaciones que buscan resolver los problemas de productividad a través de la inclusión de nuevas metodologías basadas en tecnología. Finalmente, demostrada la importancia de los principales avances tecnológicos en la productividad, se espera que este trabajo fomente nuevos estudios y lograr así el desarrollo de un ecosistema digital en la industria de la construcción.

*Para mis padres,
los amo infinitamente.*

Gracias por todo

Agradecimientos

En primer lugar, les quiero agradecer a mi familia, por todo su amor y apoyo incondicional. Especialmente les quiero agradecer a mi mamá y papá, quienes siempre se han preocupado por mi educación. Si hoy estoy escribiendo los agradecimientos de mi trabajo de título para ser Ingeniera Civil, es gracias a ustedes. Gracias a mi mamá por apoyarme y estar conmigo cada vez que me sentía angustiada, frustrada y con miedo ante todo desafío que se me presentó a lo largo de todos estos años. De igual forma, le quiero agradecer a mi padre por quitarme la inseguridad que siempre me atormenta y convencerme que soy capaz de lograr todo lo que me proponga. Gracias a mis perritos por acompañarme en tantas noches de desvelo estudiando. También le quiero expresar mis agradecimientos a Evelyn y Álvaro, quienes me acompañaron en muchas largas noches de estudio e hicieron más linda mi vida universitaria. Por último, le quiero dar las gracias a mi pareja, quien fue un gran apoyo durante esta etapa de titulación. Gracias a todos.

De la misma manera, le quiero dar las gracias al profesor Alejandro Polanco, quien confió en mí para entregarme este tema de estudio tan interesante. Gracias profesor por todo el apoyo y por ser un guía tan presente durante todo este período. Gracias por todo su tiempo, consejos y disposición. Por último, quiero agradecer a todos aquellos que han hecho posible la realización de este trabajo de título, a todos los que participaron de las encuestas y entrevistas, como también a los profesores miembros de la comisión.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Metodología	3
1.3.1. Recopilación de avances tecnológicos en la construcción	3
1.3.2. Encuestas	3
1.3.3. Entrevistas	3
1.3.4. Análisis cualitativo y cuantitativo	3
1.3.5. Resultados esperados	3
1.4. Guía de lectura	4
2. Desarrollo Industrial y Avances Tecnológicos	5
2.1. Transformación Digital e Industria 4.0	5
2.2. Industria de la Construcción y Productividad	11
2.2.1. Antecedentes generales	11
2.2.2. Productividad	12
2.3. Transformación Digital y Construcción 4.0	14
3. Metodología	18
3.1. Metodología y Objetivos	18
3.2. Recopilación de avances tecnológicos en la construcción	19
3.3. Encuesta a profesionales del sector de la construcción	20
3.4. Entrevistas a empresas constructoras tecnologizadas	21
3.5. Indicadores de impacto para evaluar iniciativas innovadoras en general	22
3.6. Indicadores de impacto para evaluar avances tecnológicos en la construcción	23
3.7. Análisis cualitativo del impacto de los avances tecnológicos en la productividad	24
3.8. Análisis cuantitativo del impacto de los avances tecnológicos en la productividad	25
4. Desarrollo de avances tecnológicos y resultados de encuestas y entrevistas	26
4.1. Resultado de revisión bibliográfica	26
4.1.1. Recopilación de principales avances tecnológicos a nivel global	26
4.1.1.1. Propuesta de clasificación de Avances Tecnológicos en la Construcción	27
4.1.1.2. Avances tecnológicos de plataformas de gestión y control	30
4.1.1.2.1 BIM	30
4.1.1.2.2 Big Data	32

4.1.1.2.3	Blockchain y Contratos Inteligentes	32
4.1.1.2.4	El internet de las cosas (IoT)	33
4.1.1.2.5	Realidad Virtual y Aumentada	33
4.1.1.3.	Avances tecnológicos en maquinarias inteligentes	35
4.1.1.3.1	Exoesqueletos	35
4.1.1.3.2	Drones	36
4.1.1.3.3	Detector de errores en obra	37
4.1.1.3.4	Bulldozer autónomo	39
4.1.1.3.5	Robot de demolición	39
4.1.1.4.	Innovaciones en materiales de construcción	40
4.1.1.4.1	Morteros de densidad controlada (Fillcret)	40
4.1.1.4.2	Hormigón autocompactante (Producret y Fluicret)	40
4.1.1.4.3	Microaleación	40
4.1.1.4.4	Hormigón con áridos reciclados	40
4.1.1.4.5	Hormigón reforzado con grafeno	40
4.1.1.4.6	Hormigón autorreparable	40
4.1.1.4.7	Hormigón permeable	41
4.1.1.4.8	Aerogel	41
4.1.1.4.9	MagPanel	41
4.1.1.5.	Avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación	41
4.1.1.5.1	Manufacturación aditiva	41
4.1.1.5.2	Prefabricados	44
4.1.2.	Recopilación de principales avances tecnológicos usados a nivel nacional	47
4.1.2.1.	Grado de adopción de avances tecnológicos en Chile	47
4.1.2.2.	Experiencia de empresas nacionales con uso de avances tecnológicos	50
4.2.	Resultados de la Encuesta realizada a profesionales del rubro de la construcción	54
4.3.	Resultados de las Entrevistas a empresas tecnologizadas	61
4.3.1.	Experiencia de empresa Echeverría Izquierdo con utilización de Drones y plataformas de gestión y monitoreo de obra.	61
4.3.2.	Experiencia de empresa Socomaq con uso de Maquinarias inteligentes (Robot de demolición)	64
4.3.3.	Metodología de Industrialización y experiencia con innovaciones de empresa Desarrollos Constructivos Axis	66
5.	Análisis cualitativo del impacto de los avances tecnológicos en la construcción	70
5.1.	Análisis e interpretación de datos cualitativos: Revisión bibliográfica y entrevistas	70
5.1.1.	Beneficios cualitativos de avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación	71
5.1.2.	Beneficios cualitativos de avances tecnológicos de plataformas de gestión y control	72
5.1.3.	Beneficios cualitativos de avances tecnológicos en maquinarias inteligentes	73
5.1.4.	Beneficios cualitativos de innovaciones en materiales de construcción	74
5.2.	Análisis Cualitativo de la encuesta	75
5.2.1.	Matriz de priorización	76

5.3. Avances tecnológicos más relevantes	77
6. Análisis Cuantitativo	78
6.1. Casos de estudio con empresas tecnologizadas	78
6.1.1. Utilización de Drones	78
6.1.2. Plataformas de monitoreo de obra (ObraLink)	81
6.1.3. Utilización de prefabricados	84
6.1.4. Utilización de maquinarias inteligentes: Maquinaria de demolición Brokk	88
6.2. Utilización de Impresión Aditiva en construcción	91
7. Conclusiones	95
7.1. Desarrollo de principales avances tecnológicos	95
7.2. Adopción de principales avances tecnológicos	96
7.3. Conocimiento de principales avances tecnológicos por profesionales de la cons- trucción	97
7.4. Uso de avances tecnológicos más relevantes por empresas tecnologizadas . .	98
7.5. Rol de los avances tecnológicos y educación en la mejora de la productividad	99
Bibliografía	100

Índice de Tablas

2.1.	Beneficios de la Industria 4.0	8
2.2.	Los preceptos de la construcción 4.	14
2.3.	Beneficios de la Construcción 4.0	16
3.1.	Patrón para desarrollar matriz de priorización	24
4.1.	Avances tecnológicos de plataformas de gestión y control. [Elaboración propia (2022)]	28
4.2.	Avances tecnológicos enfocados a maquinarias inteligentes. [Elaboración propia (2022)]	28
4.3.	Innovaciones en materiales de construcción. [Elaboración propia (2022)]	29
4.4.	Avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación [Elaboración propia (2022)]	29
4.5.	Beneficios de aplicar BIM en la construcción	31
4.6.	Principales aplicaciones del Blockchain en las construcciones. [Fuente: Díez, David (2020)]	33
4.7.	Principales beneficios de la RA y RV en la construcción. [Fuente: CDT (2022)][14]	34
4.8.	Tecnologías de Realidad Aumentada aplicadas en la construcción. [Fuente:Souza, E. (2019)].	34
4.9.	Proyectos de construcción llevados a cabo con impresión aditiva.	43
4.10.	Principales tipos de prefabricados	44
4.11.	Beneficios de usar prefabricados en obra	47
4.12.	Entrevista Drones, empresa Echeverria Izquierdo	62
4.13.	Entrevista a empresa Echeverria Izquierdo, plataformas de monitoreo de obra. [Elaboración propia (2022)]	63
4.14.	Entrevista a empresa Socomaq por maquinaria de demolición Brokk. [Elaboración propia (2022)]	64
4.15.	Entrevista a empresa Desarrollos Constructivos AXIS. [Elaboración propia (2022)]	66
5.1.	Beneficios cualitativos de avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación. [Elaboración propia (2022)]	71
5.2.	Beneficios cualitativos de avances tecnológicos de plataformas de gestión y control. [Elaboración propia (2022)]	72
5.3.	Beneficios cualitativos de avances tecnológicos en maquinarias inteligentes. [Elaboración propia (2022)]	73
5.4.	Análisis cualitativo de innovaciones en materiales de construcción. [Elaboración propia (2022)]	74
5.5.	Avances tecnológicos con mayor impacto en costos, plazos y errores.	75
5.6.	Puntuación para evaluar criterios de Likert	76
5.7.	Utilización de escala de Likert para analizar pregunta 13. [Elaboración propia (2022)]	76

5.8.	Matriz de priorización para analizar de forma cualitativa los resultados de la encuesta. [Elaboración propia (2022)]	77
6.1.	Disminución de hh y recursos al utilizar drones.	79
6.2.	Ahorro en hh y km en turnos de 14 días con el uso de drones.	79
6.3.	Ahorro económico al usar drones en obra	80
6.4.	Cubicaciones de avance de obra con ObraLink	81
6.5.	Ahorros económicos involucrados a avance de obra y programación PAC	82
6.6.	Ahorros en desalzaprimado temprano	82
6.7.	Inversión de la empresa Siena en baños prefabricados	84
6.8.	Ahorros con baños prefabricados	84
6.9.	Ahorro obtenidos con la utilización de fachadas prefabricadas	86
6.10.	Comparación entre utilización de robot Brokk y el método tradicional en un proyecto de puente de losa de 35 cm de espesor.	88
6.11.	Ahorro económico al utilizar robot Brokk en un proyecto de puente de losa de 35 cm de espesor.	89
6.12.	Resultados de utilizar robot Brokk en la demolición de una losa de 20 cm de espesor.	90
6.13.	Tipos de tecnologías de construcción aditiva que han realizado proyectos utilizando hormigón impreso en 3D	92

Índice de Ilustraciones

2.1.	Cronología de las revoluciones industriales. [Fuente: Asociación de aseguradores de Chile A.G (2021)]	6
2.2.	Principales innovaciones de la Industria 4.0. Fuente: i-SCOOP (2019).	7
2.3.	Potenciales de valor de la Industria 4.0. [Fuente: Elaboración propia adaptado de McKinsey & Company (2022)].	7
2.4.	Índice de transformación Digital entre diferentes industrias nacionales. [Fuente: PMG Business Improvement (2021)]	9
2.5.	Medición de Impulsadoras y Habilitadores Digitales [Fuente: PMG Business Improvement (2021)].	9
2.6.	Comparación de uso de herramientas tecnológicas entre Industrias.[Fuente: PMG Business Improvement (2021)].	10
2.7.	Frecuencia de uso de herramientas tecnológicas entre empresas constructoras. [Fuente: PMG Business Improvement (2021)].	10
2.8.	Gráfico de productividad. [Fuente: Matrix Consulting (2020)]	11
2.9.	Dimensiones claves y diagnóstico de la industria. [Fuente: Matrix Consulting (2020)].	12
2.10.	Gráfico de distribución de tiempos en la minería. [Fuente: CDT (2015)].	13
2.11.	Aplicación de tecnologías en la construcción. Fuente: Construcción 4.0, Instituto Tecnológico de Aragón (s.f)	16
2.12.	Ambiente tecnológico de la Construcción 4.0. [Fuente: Craveiro. F, Duarte. J.P, Bartolo. H, Bartolo. P. (2019)].	17
3.1.	Objetivos con su respectiva metodología. Fuente: elaboración propia (2022)	18
3.2.	Resumen de metodología para cumplir con el objetivo general Fuente: Elaboración propia (2022)	19
3.3.	Principales directrices de la encuesta. [Fuente: Elaboración propia (2022)].	20
3.4.	Principales enfoques de las entrevistas. [Fuente: Elaboración propia (2022)].	21
3.5.	Indicadores de Impacto de Proyecto. [Fuente: Elaboración propia, adaptado de CDT (2022)].	22
3.6.	Indicadores de Impacto de Medio Ambiente. [Fuente: Elaboración propia, adaptado de CDT (2022)].	22
3.7.	Indicadores de Impacto Social. [Fuente: Elaboración propia, adaptado de CDT (2022)].	23
3.8.	Indicadores para evaluar impacto de avances tecnológicos. [Fuente: Elaboración propia (2022)]	23
3.9.	Principales directrices para desarrollar el análisis cuantitativo. [Fuente: Elaboración propia (2022)]	25
4.1.	10 tecnologías que pueden mejorar la productividad de la industria. [Fuente: Foro Económico Mundial, The Boston Consulting Group (2018)]	26

4.2.	Esquema de clasificación de principales avances tecnológicos en la construcción. [Fuente: Elaboración propia (2022)]	27
4.3.	Las 10 principales dimensiones BIM. [Fuente: Elaboración propia (2022)]. . .	31
4.4.	Ejemplo de herramienta que combina BIM con RV. [Fuente: Mindesk (2022)]. .	35
4.5.	Ejemplo de utilización de exoesqueletos en construcción. [Fuente: CDT (2022)[13]	36
4.6.	Ejemplo de utilización de drones en obra. [Fuente: Control Dron (s.f)]	36
4.7.	Aplicación Drones en Construcción. [Fuente:Elaboración propia (2022)].	37
4.8.	Ejemplo de funcionamiento de robot detector de errores Doxel. [Fuente: CDT (2022)].	38
4.9.	Robot de inspección: Spot por Boston Dynamics. [Fuente: Boston Dynamics (s.f)]	38
4.10.	Bulldozer autónomo. [Fuente: Ovacen (s.f)]	39
4.11.	Robot de demolición. [Fuente:Hormigón al día (2022)]	39
4.12.	Tipos de clases y materiales de Impresión 3D. [Fuente: Fablab (s.f)]	42
4.13.	Nivel de adopción de BIM en Chile en los últimos años. Fuente: Encuesta nacional BIM 2022 (2022).	48
4.14.	principales usos que le dan a BIM los ingenieros civiles	48
4.15.	Porcentaje de uso de herramientas tecnológicas y Software en construcción. [Fuente: Elaboración propia adaptado (2022) de PMG Business Improvement (2021)]	49
4.16.	Porcentaje de uso de innovaciones en prefabricados en edificación en altura. [Fuente: Elaboración propia (2022) adaptado de Matrix Consulting (2020)]. . .	49
4.17.	Instalación de fachadas prefabricadas. [Fuente: CDT (2022)]	50
4.18.	Montaje robotizado de muros de hormigón prefabricados en minería el Teniente. [Fuente: CDT (2022)]	51
4.19.	Muros tabiques de estaciones de metro de línea 3. [Fuente: Baumax, (s.f)] . . .	52
4.20.	Monitoreo de obra gruesa con ObraLink. [Fuente: ObraLink (2022)]	53
4.21.	Resumen de adopción de avances tecnológicos en Chile. [Fuente: Elaboración propia (2022)]	53
4.22.	Resultado de pregunta 1. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	54
4.23.	Resultado de pregunta 2. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	54
4.24.	Resultado de pregunta 3. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	55
4.25.	Resultado de pregunta 4. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	55
4.26.	Resultado de pregunta 5. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	56
4.27.	Resultado de pregunta 6. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	56
4.28.	Resultado de pregunta 7. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	57
4.29.	Resultado de pregunta 8. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	57
4.30.	Resultado de pregunta 9. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	58

4.31.	Resultado de pregunta 10. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	58
4.32.	Resultado de pregunta 11. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	59
4.33.	Resultado de pregunta 12. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	59
4.34.	Resultado de pregunta 13. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].	60
4.35.	Esquema de metodología de Industrialización de AXIS. [Fuente:Gentileza de Desarrollos constructivos AXIS]	68
4.36.	Procesos Inudstralizable de AXIS. [Fuente:Gentileza de Desarrollos constructivos AXIS]	69
5.1.	Herramientas utilizadas para el análisis cualitativo. [Fuente: elaboración propia (2022)]	71
5.2.	Avances tecnológicos más relevantes. [Fuente: Elaboración propia (2022)]	77
6.1.	Horas hombres entre el uso de drones vs el método tradicional. [Fuente: Elaboración propia adaptado de Echeverría Izquierdo (2022)].	79
6.2.	Imagen tomada con fotogrametría para llevar al evance de obra. [Fuente: Gentileza de Echeverria Izquiero (2022)].	80
6.3.	Imagen tomada con fotogrametría topografía del terreno. [Fuente: Gentileza de Echeverria Izquiero (2022)].	81
6.4.	Comparación de costos de deformaciones de losas. [Fuente: Elaboración propia, adaptado de Echeverria Izquierdo (2022)]	83
6.5.	Toma de datos por cámara Cibot de ObraLink. [Fuente: ObraLink (2021).]	83
6.6.	Diseño de baño prefabricado. [Fuente: Gentileza de Siena (2022)].	85
6.7.	Montaje de baños prefabricados. [Fuente: Gentileza de Siena (2022)].	85
6.8.	Carta gantt de fachadas prefabricadas.[Fuente: Elaboración propia adaptado de Siena (2023)]	86
6.9.	Montaje de fachadas prefabricadas. [Fuente: Gentileza de Siena (2022)].	87
6.10.	Resultado de instalación de fachada prefabricada en proyecto terminado. [Fuente: Fotografiada en terreno personalmente (2022)].	87
6.11.	Comparación de método tradicional vs Brokk. [Fuente: Elaboración propia adaptado de Socomaq (2023)].	89
6.12.	Robot de demolición Brokk en terreno. [Fuente: Gentileza de Brokk (2022)]. . . .	90
6.13.	Impresión 3D de en hormigón. [Fuente:]	91
6.14.	Comparación de m ² / hora de proyectos de casas impresos en 3D. [Fuente: Elaboración propia (2022)].	94
7.1.	Tabla resumen de clasificación de avances tecnológicos recopilados. [Fuente: Elaboración propia (2023)].	96
7.2.	Nivel de adopción de algunas tecnologías por el rubro de la construcción. [Fuente: Elaboración propia adaptado de PMG Business Improvement (2021).]	97
7.3.	Esquema resumen de los ahorros obtenidos en los casos de estudio. [Fuente: Elaboración propia (2023).]	98

Capítulo 1

Introducción

Estudios realizados por la CORFO (2016), afirman que en el 2012 el tamaño total del mercado de la construcción fue de US\$ 10.640 millones, incluyendo edificación e infraestructuras. En este mismo documento, se sostiene que el sector en cuestión reúne a 30mil empresas relacionadas con el rubro de la construcción Comercial, Pública y Residencial (CPR) y dentro de estas empresas un 98 % pertenecen a PYMES, las que producen el 81 % de los puestos de trabajo en el sector y proporciona el 34 % de la facturación. Por otra parte, la Cámara Chilena de la Construcción junto a Matrix Consulting (2020) señala que el área de construcción constituye aproximadamente el 6,4 % del Producto Interno Bruto (PIB) del país y concentra el 63 % de la inversión del país. Bajo este mismo contexto, la industria de la construcción corresponde al sexto empleador nacional. Esto se debe a que en el sector se produce un fenómeno denominado efecto multiplicador, es decir, que la construcción produce empleos para la fuerza laboral dentro de las mismas obras como también en las industrias que producen los materiales, maquinarias y transporte que se utilizan en el rubro.

Particularmente, la construcción minera tiene una significativa influencia en la economía del país. De acuerdo a CDT (2015) en su estudio de la productividad en la construcción minera, indica que en este sector se tiene un inversión anual en proyectos de US\$10.000 millones, donde un 60 % está destinado a las actividades de construcción y un 30 % a los RRHH. Tomando en cuenta lo anterior y que se tiene en promedio un costo de US\$30/HH, se infiere que el sector de la minería gasta 60 millones de HH anuales. Sin embargo, en dicho estudio de productividad se afirma que solo un 49 % del tiempo de trabajo total en las construcciones equivale a tiempo efectivo y que si se logra aumentar dicho tiempo a un 60 % se lograrían ahorros de 10 millones de HH, lo que equivalen a US\$300 millones.

Actualmente la industria de la construcción se encuentra en la fase denominada Construcción 4.0, la cual es parte de la Industria 4.0 o Transformación digital (TD) y significa en palabras simples a un nuevo enfoque y metodologías, ahora posibles con la utilización de nuevas tecnologías. De acuerdo a un estudio realizado por World Economic Forum (2018), las 10 tecnologías más importantes para el sector de la construcción son; impresión 3D, prefabricados, construcciones modulares, construcciones autónomas, Big Data, materiales sustentables, monitoreo inalámbrico, computación en la nube, escáner 3D, fotogrametría, BIM, realidad virtual y aumentada.

1.1. Motivación

Un estudio realizado por la CORFO (2016) identifica, clasifica, jerarquiza y prioriza las principales brechas existentes en el sector de la construcción y dentro de estas se encuentran las relativas a productividad y tecnología. En este mismo documento se plantea que la brecha existente en la tecnología es a causa de la poca inversión nacional en esta materia, dado que Chile se ubica en el último lugar de los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) en cuanto a inversión en I+D, con sólo un 0,39 % del total del PIB, ver-sus un 2,40 % como promedio. Por otra parte, McKinsey Global Institute (2017) indica que la aplicación de los avances tecnológicos en la construcción podría aumentar la productividad en la industria entre 5 a 10 veces.

De acuerdo Matrix Consulting (2020), en Chile desde hace 15 años que la productividad en la construcción se encuentra estancada en comparación con las otras industrias nacionales, las cuales aumentaron en un 20 % la productividad en el mismo periodo de años. Además, Matrix Consulting afirma que si se compara la productividad en las construcciones chilenas con el resto de países de la OCDE, existe una brecha significativa. Por ejemplo, para realizar una tarea en Chile se necesitan en promedio 10 trabajadores, mientras que para la misma tarea, en los países en comparación, se necesitan solo 6. De igual manera, Matrix Consulting menciona que a diferencia del resto de países, Chile exhibe un estancamiento en la utilización de tecnologías en la construcción, lo cual explica en parte la baja productividad y esta a su vez el exceso de plazo y costos en los proyectos de Infraestructura. CDT (2021), exhibe que la productividad en países referentes a Chile es un 53 % mayor en edificación y 220 % mayor en infraestructuras viales. Además, entrega 9 palancas clave que ayudan a disminuir la brecha existente en la productividad en Chile con otros países, en donde una de estas palancas se denomina Palanca Digitalización, la cual hace referencia a la implementación de la tecnología en la construcción.

De acuerdo a lo anterior, siempre ha existido una estrecha relación entre los avances tecnológicos con la productividad de la construcción y por eso se hace necesario estudiar el impacto que tienen los avances tecnológicos en la productividad de la industria de la construcción para así promover su uso masivo en el sector.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Estudiar el impacto que tienen en la construcción Chilena la implementación de los diferentes tipos de avances tecnológicos del último tiempo y cómo estos ayudan a contrarrestar la baja productividad laboral que se vive actualmente en el país.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar catastro y caracterización de los avances tecnológicos disponibles actualmente en la industria de la construcción.
- Realizar un análisis cualitativo de los impactos en la productividad que tiene la utilización de avances tecnológicos en la construcción. Para así identificar los que generan el mayor impacto.
- Efectuar un análisis cuantitativo del impacto que trae el uso de los avances tecnológicos

más relevante de acuerdo a su contribución en la reducción de plazos y costos, y con ello en la mejora de la productividad de la construcción.

1.3. Metodología

1.3.1. Recopilación de avances tecnológicos en la construcción

Recopilar antecedentes a través de paper, tesis, revistas e informes que contengan información sobre la implementación de los avances tecnológicos en la construcción. Además, de la recopilación de información que entregue datos sobre el aumento de la productividad laboral y económica en la industria de la construcción como resultado de implementar las diferentes tecnologías disponibles.

1.3.2. Encuestas

Se realizará un análisis cualitativo con el fin de seleccionar aquellos avances tecnológicos que generan un mayor impacto. Para este análisis se hará uso de una matriz de priorización, la cual se desarrollará con los resultados obtenidos a través de una encuesta realizada a profesionales del rubro de la construcción.

1.3.3. Entrevistas

Para generar el análisis cuantitativo, se hará uso de indicadores de impacto y entrevistas. Se realizarán entrevistas a empresas constructoras nacionales para analizar experiencias con el uso de diferentes tipos de avances tecnológicos, con el fin de obtener información para evaluar los indicadores de impacto y así poder realizar el análisis cuantitativo del impacto en la productividad de las obras.

1.3.4. Análisis cualitativo y cuantitativo

Con toda la información ya recopilada se hará un análisis cualitativo de los efectos de la utilización de los avances tecnológicos en los proyectos de ingeniería civil y construcción en la productividad. Adicionalmente, se realizará una evaluación cuantitativa de los ahorros en cuanto a plazos y costos en las obras de construcción.

1.3.5. Resultados esperados

El producto de este trabajo espera entregar un conocimiento actualizado de los diferentes tipos de avances tecnológicos que existen en la industria de la construcción y tener un análisis cualitativo de estos avances, con el fin de reconocer los más relevantes a la hora de mejorar la productividad en las empresas constructoras. También se espera disponer un análisis cuantitativo de los avances tecnológicos de aquellos que entregan un mayor aumento en la productividad gracias a la reducción de los plazos y costos en los proyectos.

1.4. Guía de lectura

Con fines de facilitar la comprensión y lectura de este informe, se entrega un resumen de lo que se presenta en cada capítulo.

1. **Capítulo 1:** Este capítulo pertenece a la introducción, donde se entregan principalmente las razones que motivaron a estudiar el tema en cuestión, seguido por los objetivos del estudio y un resumen de la metodología que se utilizará para conseguir dichos objetivos.
2. **Capítulo 2:** Dentro de este capítulo se entrega en un inicio datos e información del desarrollo industrial y una explicación de lo que es la denominada Industria 4.0. Luego se presentan antecedentes de la productividad de la industria de la construcción en Chile. Dentro de esto se puede encontrar la comparación de la industria chilena con el resto de países referentes. Por último se presenta qué se entiende por Transformación Digital (TD) y Construcción 4.0, es otras palabras, se entregan las tecnologías asociadas a dicha TD y cómo estas son aplicadas a la industria de la construcción. Este capítulo es resultado de una revisión bibliográfica.
3. **Capítulo 3:** Aquí se presenta en detalle la metodología que se utilizó para cumplir con cada uno de los objetivos del presente estudio.
4. **Capítulo 4:** Este capítulo representa el desarrollo del estudio. Aquí se presentan los resultados de la exhaustiva revisión bibliográfica; donde se recopilan y clasifican los principales avances tecnológicos en la construcción, ya sea a nivel global o nacional. Luego se entregan los resultados de la encuesta realizada a los profesionales del rubro. De la misma forma, se detallan los resultados de las entrevistas realizadas a empresas tecnológizadas. Es importante mencionar que estos dos últimos puntos, son resultados de una elaboración propia.
5. **Capítulo 5:** En este capítulo se analiza de forma cualitativa los antecedentes recopilados en la revisión bibliográfica, entrevistas y encuestas. Este análisis es resultado de una propia elaboración.
6. **Capítulo 6:** Aquí se presenta el análisis cuantitativo de los beneficios que trae la utilización de los avances tecnológicos más relevantes. Esto es resultado del análisis de algunos casos de estudios realizados con empresas constructoras nacionales.
7. **Capítulo 7:** En el último capítulo se entregan las conclusiones finales del estudio realizado.

Capítulo 2

Desarrollo Industrial y Avances Tecnológicos

2.1. Transformación Digital e Industria 4.0

A lo largo de la historia, las tecnologías han generado profundas transformaciones dando pasos a cambios de época, los cuales son conocidos como revoluciones industriales. Estas han surgido como consecuencia de la búsqueda de mejorar las condiciones de trabajo y estilo de vida de las personas. Esto se ha logrado a través de la optimización de procesos, convirtiéndose en más eficientes y eficaces. Estas transformaciones de la industria no solo traen un cambio tecnológicos, sino que también, económico y cultural, dado que generan una fuerte reactivación socioeconómica. Dentro de estas se reconocen principalmente 4:

- **Industria 1.0:** La primera revolución industrial se caracterizó por implementar las maquinarias de vapor en las fabricas de producción. Esto permitió sustituir la energía animal y humana por maquinarias más productivas. En consecuencia de este desarrollo se crearon los primeros grandes centros industriales (Solex, 2021).
- **Industria 2.0 (Tecnológica 2.0):** La segunda revolución está marcada por la aparición de nuevas formas de energía, como el petróleo y la electricidad. Además, gracias al desarrollo tecnológico, el ferrocarril fue el transporte destacado de la época (Solex, 2021). La producción en masa fue la gran consecuencia de esta revolución tecnológica.
- **Industria 3.0 (Digital 3.0):** Está relacionada con el concepto de “*Sociedad de la Información*”. Dado que se asienta en tecnologías de información y comunicación. Esta revolución surgió principalmente a causa de la aparición de Internet. También es importante destacar el desarrollo de energías renovables, tales como la electricidad ecológica (Solex, 2021).
- **Industria 4.0 (Transformación Digital):** La última revolución industrial se asocia a la combinación sinérgica de las tecnologías operativas (TO) y las tecnologías de la información (TI). En consecuencia a esto se han generado sistemas y máquinas inteligentes, interconectadas y autónomas (Solex, 2021). La transformación digital ha activado la combinación del mundo físico con el digital.

La figura 2.1 resume las principales innovaciones que marcan los 4 grandes hitos del desarrollo industrial a lo largo de la historia.

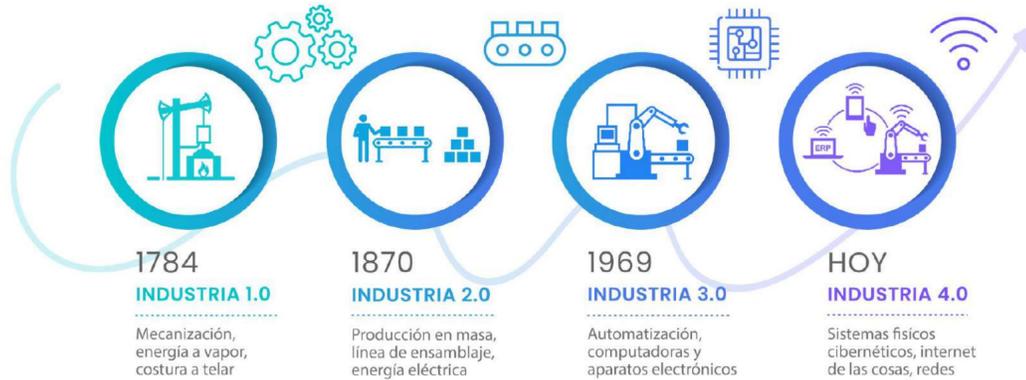


Figura 2.1: Cronología de las revoluciones industriales. [Fuente: Asociación de aseguradores de Chile A.G (2021)]

i-SCOOP (2019), establece que la Industria 4.0 hace referencia a la interconexión inteligente de máquinas y procesos para la industria, gracias a la ayuda de la tecnología de la información y comunicación. De esta forma, los sistemas ciberfísicos construyen la base de esta.

El internet de las cosas o IoT, por sus siglas en inglés, tiene un rol importante en la transformación Digital (TD), dado que direcciona los sistemas de control y software que posee la industria. Como resultado de esto, se obtiene una conexión en red entre los medios de producción y el producto, lo que abre paso a nuevas formas de producción, creación de valor y optimización en tiempo real.

La TD posee 3 dimensiones claves:

- Cambio cultural (personas)
- Cambios modelos negocios (procesos)
- Cambio en experiencias del cliente

Esto permite que la TD tenga una orientación personalizada a las necesidades del cliente-usuario. Además, la obtención de datos en tiempo real, beneficia la interacción cliente/consumidor.

Dentro del mismo estudio realizado por i-SCOOP (2019), se menciona que la Industria 4.0, es la transformación intensiva en información de la fabricación en un entorno conectado con big data, personas, procesos, servicios, sistemas y activos industriales habilitados para la IoT. Teniendo como resultado una industria inteligente y ecosistemas de innovación y colaboración industrial.

El objetivo esencial de la Industria 4.0 es hacer que la fabricación y las industrias relacionadas, como la logística, sean más rápidas, más eficientes y más centradas en el cliente, al mismo tiempo que van más allá de la automatización y optimización.

Como se mencionó anteriormente, el big data y el internet de las cosas son indispensables para la transformación industrial. Sin embargo, existen otras innovaciones que forman parte de la industria 4.0, tales como: computación en la nube, inteligencia artificial, comunicación de datos/ redes, machine learning techniques, impresión 3D, realidad aumentada y virtual.

La siguiente figura entrega un resumen de las principales innovaciones que hacen posible la transformación industrial.

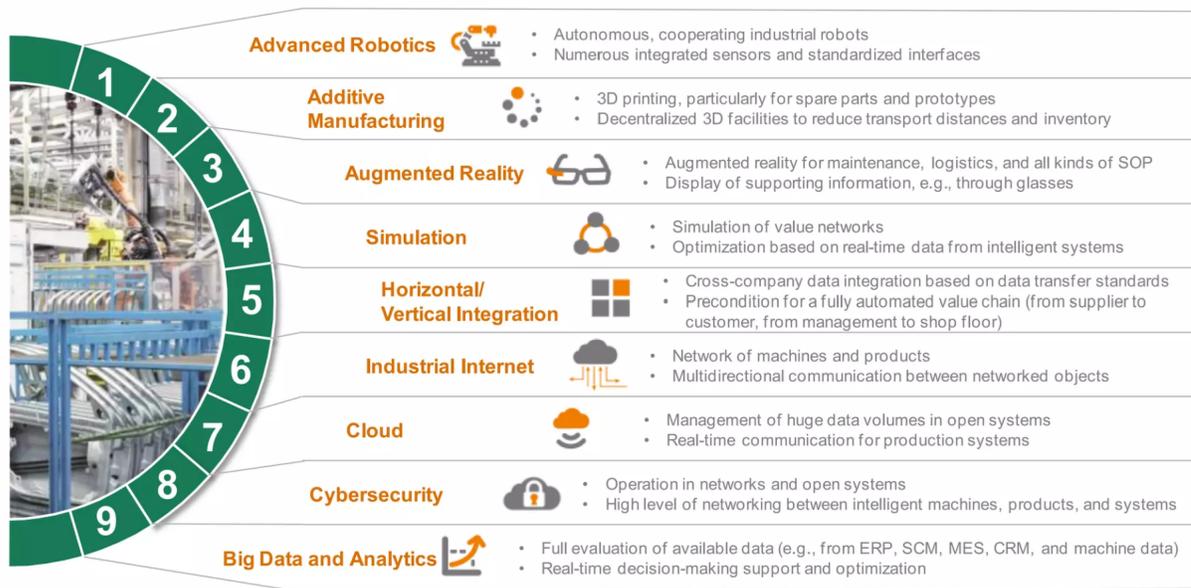


Figura 2.2: Principales innovaciones de la Industria 4.0. Fuente: i-SCOOP (2019).

De acuerdo como un estudio de McKinsey & Company (2022), las organizaciones que se han sumado a las transformaciones digitales están obteniendo beneficios en toda la cadena de valor de manufactura, gracias al aumento de la capacidad de producción, reducción del desperdicio de materiales, mejoramiento del servicio a clientes y tiempos de entrega. Además, han aumentado la satisfacción del personal y mitigado el impacto ambiental de sus operaciones. Todos estos beneficios transforman significativamente la posición competitiva de una empresa. En dicho estudio, se entregan 6 potenciales de valor de la Industria 4.0, las cuales se resumen con la figura 2.3.

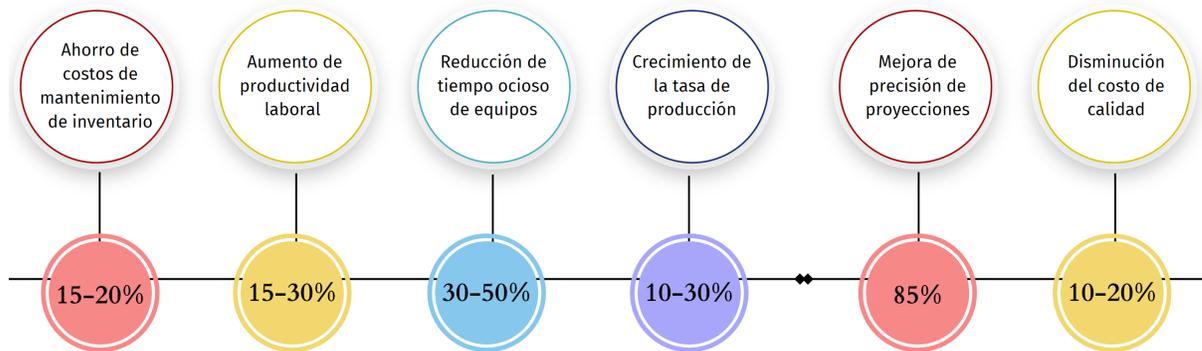


Figura 2.3: Potenciales de valor de la Industria 4.0. [Fuente: Elaboración propia adaptado de McKinsey & Company (2022)].

En base al mismo estudio de i-SCOOP (2019), se elabora la siguiente tabla que entrega un resumen de los principales beneficios de la transformación digital.

Tabla 2.1: Beneficios de la Industria 4.0

Beneficios de la Industria 4.0	
Productividad	Se produce una mejora en la productividad mediante la optimización de los procesos y automatización para evitar errores y retrasos. Además, existe un ahorro en los costo y aumento en la rentabilidad.
Datos en tiempo real	Agilización de la producción para trabajar más en tiempo real y en función de la cadena de valor global. La velocidad no es solo una ventaja competitiva y la expectativa del cliente en una economía cada vez más en tiempo real, también es una cuestión de alineación, costos y creación de valor.
Mayor continuidad del negocio	Cuando un activo industrial se estropea, es necesario repararlo. Eso cuesta tiempo, dinero y movimiento por parte del personal de soporte. Sin embargo, la transformación digital produce una mayor continuidad del negocio a través de posibilidades avanzadas de mantenimiento y monitoreo.
Mejor calidad	La TD cuenta con un sistema de producción y entorno conectado a sensores inteligentes, software, tecnologías IoT, sistemas enfocados en el cliente y con un alto grado de automatización. Esto permite la producción de productos de mejor calidad.
Mejores condiciones de trabajo	El ambiente laboral es más óptimo, gracias a la mejora de temperatura, detección rápida y protección en caso de incidentes.

A pesar de los múltiples beneficios que trae la industrialización de las empresas, el índice de transformación digital (TD) en Chile sigue siendo bajo. Inclusive, el índice de TD es aún más bajo en el sector de la construcción. El índice de Transformación Digital (ITD) es un indicador diseñado en 2018 por la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) junto a PMG en 2018 (PMG Business improvement, 2021)[35]. Ambas entidades realizaron un estudio en 2021, donde midieron el nivel de madurez en la incorporación de prácticas de Transformación Digital en las empresas. Para esto diseñaron una escala de 0 100 puntos que permite clasificar las empresas en 5 niveles de madurez:

- Analógico
- Principiante Digital
- Intermedio Digital
- Avanzado Digital
- Líder Digital

En 2019, el ITD en el rubro de la construcción alcanzaba los 35 puntos con 78 casos analizados, siendo clasificado como “*Principiante Digital*”. En el 2021 se presentó un incremento, alcanzando un promedio de 46 puntos y pasando a la categoría de “*Intermedio Digital*”. Sin embargo sigue estando por debajo del ITD nacional. Esto se ve reflejado en la siguiente figura.

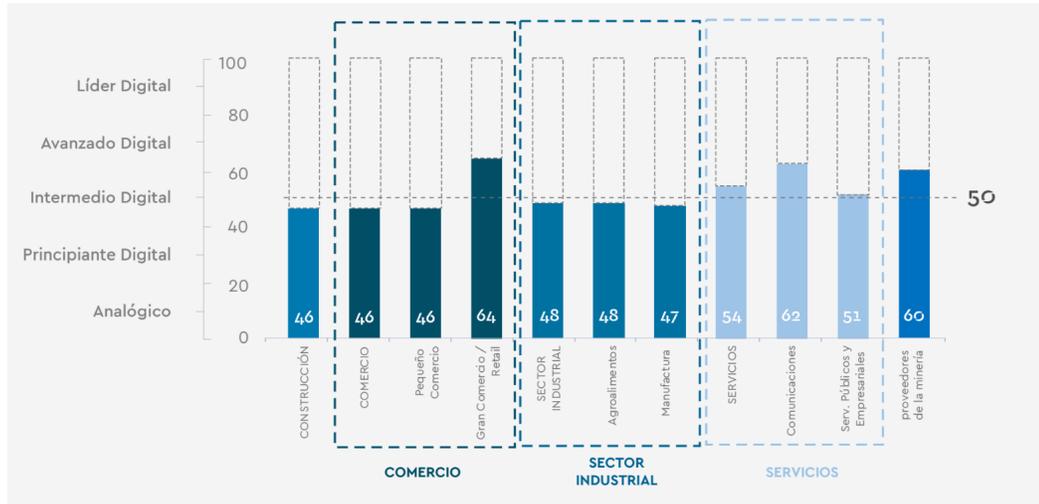


Figura 2.4: Índice de transformación Digital entre diferentes industrias nacionales. [Fuente: PMG Business Improvement (2021)]

En el mismo estudio realizado por PMG, diseñaron 5 niveles de Impulsadores y Habilitadores Digitales: Liderazgo hacia lo digital, Visión y estrategia de la organización, Forma de trabajo; persona y cultura, Digitalización de procesos y toma de decisiones y Tecnología, manejo de datos y herramientas digitales. Los resultados arrojaron que la industria de la construcción, en 4 de estos Impulsadores y Habilitadores de la TD están bajo el promedio nacional, quedando clasificados como “*Análogos*” y “*Principiante Digital*”. Con esto queda demostrado que el sector de la construcción posee un rezago significativo en el avance de variables impulsadoras del desarrollo de la Transformación Digital (PMG Business Improvement, 2021)[35]. La figura 2.5 corresponde a una representación gráfica de lo mencionado anteriormente.

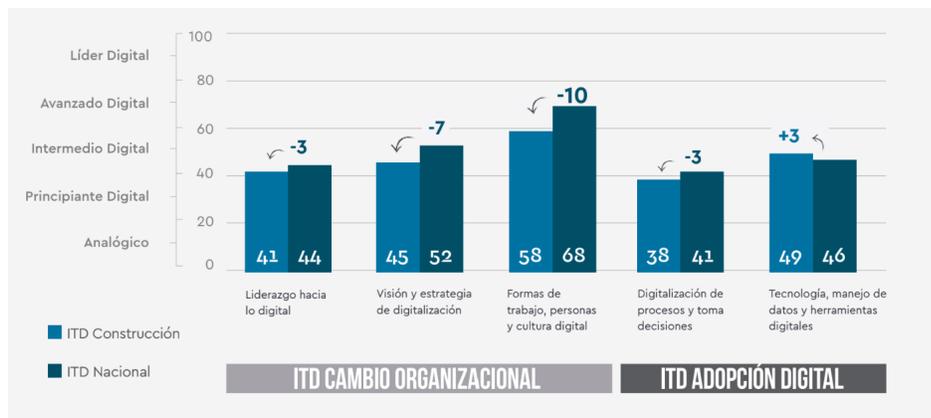


Figura 2.5: Medición de Impulsadoras y Habilitadores Digitales [Fuente: PMG Business Improvement (2021)].

La figura 2.2 representa las principales innovaciones de la Industria 4.0. En el mismo estudio realizado por PMG y la CChC, se midió el uso de herramientas tecnológicas, muchas de las cuales son mencionadas en la figura 2.2. Este análisis arrojó como resultado que el sector de la construcción tiene indicadores más bajos de uso de tecnologías que la media nacional, a excepción del BIM, lo cual es razonable, dado que este es empleado principalmente en el desarrollo de las distintas fases de los proyectos de construcción. Sin embargo, el resto de tecnologías que poseen un porcentaje alto, se encuentran en el nivel básico en el camino hacia la TD, de modo que, en la medida que aumenta la complejidad en la herramienta, su uso en las industrias chilenas disminuye. La figura 2.6 muestra el bajo nivel de uso de tecnologías que tiene el rubro de la construcción con el resto de industrias nacionales. Por otro lado, la figura 2.7 entrega la frecuencia que se utilizan los avances tecnológicos y softwares entre las empresas constructoras.

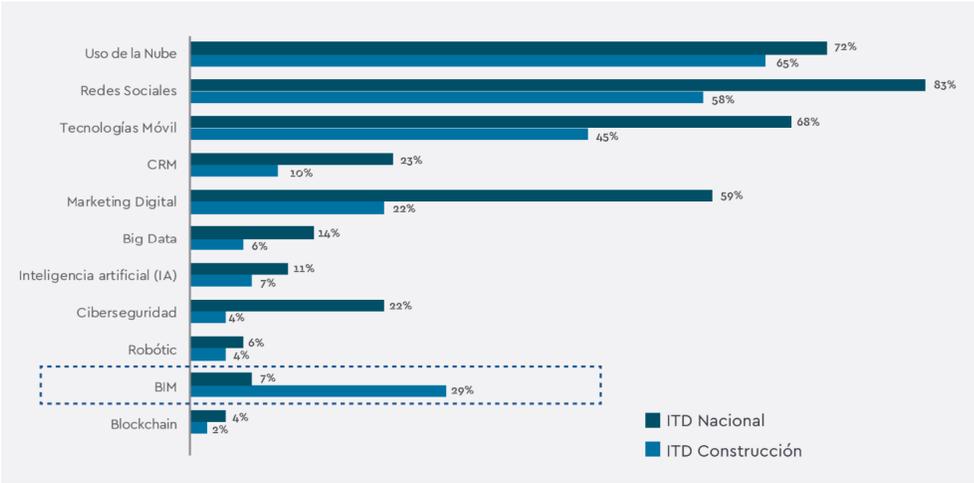


Figura 2.6: Comparación de uso de herramientas tecnológicas entre Industrias. [Fuente: PMG Business Improvement (2021)].

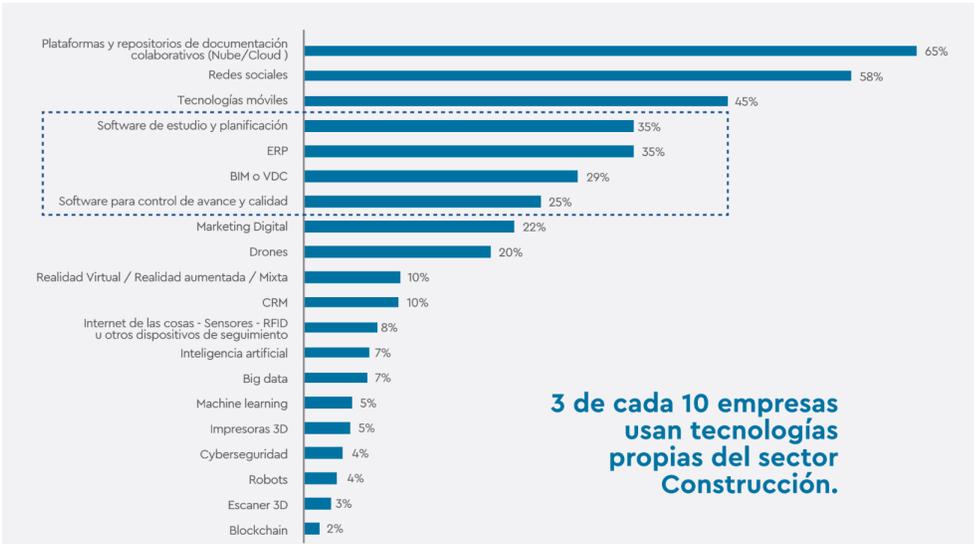


Figura 2.7: Frecuencia de uso de herramientas tecnológicas entre empresas constructoras. [Fuente: PMG Business Improvement (2021)].

2.2. Industria de la Construcción y Productividad

2.2.1. Antecedentes generales

Cuando se habla de productividad se hace referencia a toda la cadena de valor que se va conformando desde el diseño del proyecto hasta la ejecución y posventa. Determinar la productividad de un proyecto depende de una variedad de indicadores, dentro de estos se encuentra la productividad laboral de la industria, es decir, el valor agregado por hora trabajada; también los rendimientos de las partidas, los costos y plazos de las etapas del proyecto. En los últimos años la productividad ha aumentado en las diferentes industrias, sin embargo, la del rubro de la construcción se encuentra estancada, encontrándose bastante alejadas de las otras industrias. Entre los años 2000 y 2018, la productividad laboral de la economía nacional aumentó en un 20%, mientras que la de la construcción no presentó un porcentaje de variación.

La productividad en empresas constructoras de Chile alcanza un tercio de la productividad del resto de países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). La siguiente figura muestra la ubicación de Chile en comparación con el resto de países.

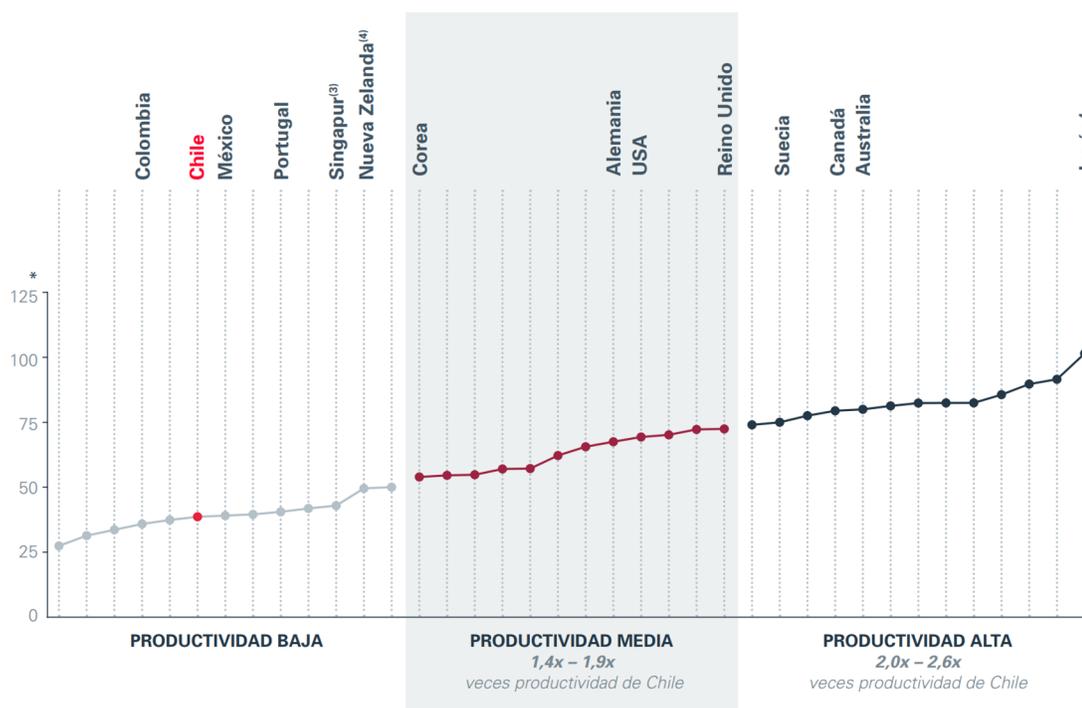


Figura 2.8: Gráfico de productividad. [Fuente: Matrix Consulting (2020)]

La industria de la Construcción es un pilar importante en la economía del país, debido a que constituye aproximadamente el 6,4% del Producto Interno Bruto (PIB) del país y concentra el 63% de la inversión nacional. Por lo que hoy en día, aumentar la productividad en la construcción se ha vuelto una necesidad. Si se quisiera igualar la productividad de la construcción nacional con la de países referentes, se debería multiplicar la productividad actual por 1,65 veces, lo que significaría, aumentar de 19.760 millones de USD a 32.6000 millones en el PIB de la industria de la construcción. Aumentar la productividad en la construcción, además de traer beneficios económicos, se lograrías beneficios sociales, dado que existiría un

mayor acceso a la vivienda. Estudios realizados por Matrix Consulting en 2020, afirman que si se reduce el horario laboral a 40 hr semanales y aumenta el costo de mano de obra, a la misma velocidad que los últimos 10 años, la productividad aumentaría en un 17%. Si existiera un incremento de dicha magnitud se utilizaran los mismos recursos que la construcción utiliza en la actualidad, se podrían construir 52.000 viviendas para 155.000 persona y 1.500 km de rutas pavimentadas, lo cual se traduce en un significativo aumento en la calidad de vida de los chilenos.

Por último, en el mismo estudio de Matrix Consulting (2020), se realiza un diagnóstico de la industria de la construcción chilena en cuanto a dimensiones claves del rubro y se compara su desarrollo con países referentes. Esto se puede ver en la siguiente figura.

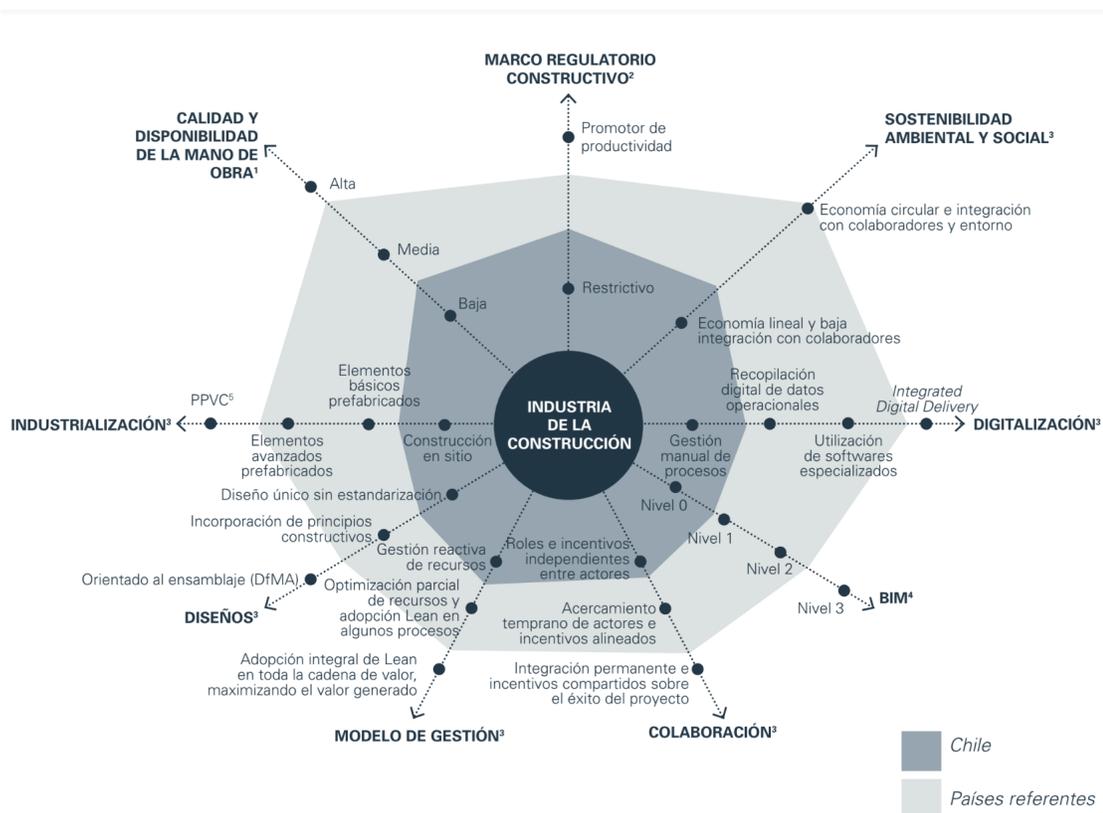


Figura 2.9: Dimensiones claves y diagnóstico de la industria. [Fuente: Matrix Consulting (2020)].

2.2.2. Productividad

La baja productividad que presenta Chile en comparación con otros países queda demostrada por los siguientes antecedentes:

- Chile utiliza los mismos recursos y tiempo para la construcción de un edificio de 13 pisos que el resto de los países utiliza para uno de 21 pisos.
- El tiempo de construcción de un edificio promedio en Chile es de 22 meses y su atraso es de 4 meses, para el resto de los países el atraso es solo de 75 días.

- Al medir la productividad como valor agregado, las obras nacionales promedian 99 USD por persona-días, en comparación a 317 USD por persona-día de la productividad internacional.
- En Chile, se tiene en promedio un indicador de 0,24 m² persona-día, por el contrario, en el resto de los países de la OCDE, equivale a un 0,37 m² persona-día, es decir, un 53 % mayor. Esto tiene como consecuencias que Chile usa la misma cantidad de trabajadores y recursos para construir un edificio de 12 pisos, que otros países de la OCDE utilizan para construir uno de 18 pisos.
- La productividad en países referentes a Chile es un 53 % mayor en edificación y 220 % mayor en infraestructuras viales

Esta gran brecha existente en la productividad se debe a múltiples causas. Una de ellas es el bajo porcentaje de tiempo efectivo que se tiene en las obras de construcción. Un claro ejemplo de esto ocurre en las construcciones mineras, donde solo un 49 % del tiempo total corresponde a tiempo efectivo. Dentro de este tiempo se encuentran las actividades que agregan valor y soporte, las cuales corresponden a respectivamente a un 37 % y 12 % del total de las actividades. Se entiende por actividades que agregan valor a todas aquellas relacionadas con la ejecución de la actividad, preparación de materiales y movimientos de materiales en el puesto de trabajo. Por otro lado, las actividades de soporte son aquellas que hacen referencia a la distribución de materiales, actividades previas/posteriores, instrucciones durante la jornada laboral Housekeeping, es decir, orden y aseo. La siguiente figura ilustra gráficamente lo mencionado anteriormente.

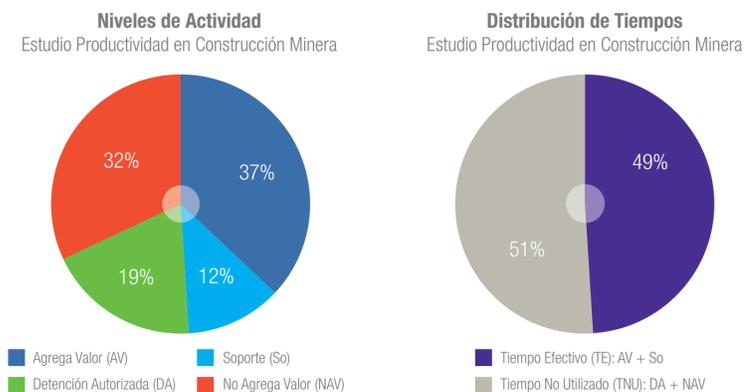


Figura 2.10: Gráfico de distribución de tiempos en la minería. [Fuente: CDT (2015)].

Bajo este contexto, un estudio realizado por el CDT (2021), entrega 9 palancas que ayudarían a lograr lo mencionado anteriormente, es decir, contrarrestar la baja productividad que existe en la actualidad. Dentro de estas 9, existe una a la que denominaron por Palanca Digitalización, la cual hace referencia a la implementación de tecnologías en las construcciones y es esta la de mayor interés para el presente estudio, dado la aplicación de los avances tecnológicos en la construcción podría aumentar la productividad en la industria entre 5 a 10 veces.

2.3. Transformación Digital y Construcción 4.0

En 2018 se realizó el seminario internacional: Innovando la Construcción, organizado por el centro tecnológico para la innovación en la construcción (CTeC), donde se juntaron 600 representantes de la industria de la construcción. Los cuales llegaron al consenso que dicho rubro, está enfrentando un paradigma en la forma de construir, lo que obligará a la industria a incorporar un nuevo enfoque, el cual ya no será el trabajo de fuerza; sino que digital, coordinado y que apunte a la cadena de valor completa de la construcción y generando nuevas oportunidades. Para lograr esto, tecnologías de la información y metodologías como el BIM, son indispensables (Construye 2025, 2018).

Lo mencionado anteriormente, hace referencia la implementación de la construcción 4.0, la cual nace como consecuencia de la implementación de la transformación digital en la industria de la construcción. Como se mencionó en capítulos anteriores, en las últimas décadas, este rubro se considera lento en términos de digitalización en comparación al resto de las industrias. Sin embargo, actualmente se está acelerando la transformación digital en el sector de Ingeniería y construcción. La pandemia dejó un gran impacto en la productividad y economía de la industria; es por esto que ha aumentado el interés de las empresas en buscar innovaciones de digitalización que impacten en la productividad. Además, cada vez están lanzando más iniciativas estratégicas para mejorar su posición actual en el mercado, generar una ventaja competitiva y prepararse para la siguiente ola de transformación digital.

En la siguiente tabla se resumen los principales preceptos de la construcción 4.0.

Tabla 2.2: Los preceptos de la construcción 4.

Preceptos construcción 4.0	
Interoperabilidad	La interoperabilidad de los medios humanos y materiales mediante el uso de IoT, computación en la nube y la robótica.
Virtualización	La virtualización de los procesos constructivos para la mejora de los mismos.
Descentralización de la toma de decisiones	La descentralización de la toma de decisiones mediante el uso de la información en tiempo real.
Orientación al cliente	Una clara orientación para el servicio al cliente, dándole el protagonismo en todas las fases de una obra.
Modularidad	La modularidad para flexibilizar al máximo la respuesta en la obra.

La corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la construcción (2022), menciona que existen 6 ejes que definen las soluciones tecnológicas que marcan el camino a la Construcción 4.0, las cuales son:

1. **Sistemas aéreos no tripulados (Drones):** la principal función de los drones es capturar la realidad a través de imágenes; su aplicación es el levantamiento topográfico y levantamiento de construcciones existentes, seguimiento del avance de obra, monitoreo de puntos críticos y realización de vídeos corporativos o publicitarios.

2. **Robots inteligentes:** principalmente son utilizados para complementar y automatizar el trabajo humano.
3. **Realidad Mixta:** conformado por la realidad virtual (RV) y aumentada (RA), su uso en el sector de la construcción está orientada al uso de datos para generar alternativas de visualización avanzada y simulación. La RV está enfocada principalmente en la etapa de diseño del proyecto, por el contrario, la RA es más utilizada en la etapa de construcción del proyecto.
4. **Inteligencia artificial (IA):** este término hace referencia al conjunto de técnicas y tecnologías aplicadas al análisis de datos. Es importante mencionar que es uno de los principales componentes del machine learning.
5. **Modelo inteligente de un edificio (BIM):** hace referencia a las soluciones tecnológicas que permiten una gestión integrada de los datos, basada en la nube y estructurada en torno a procedimientos de colaboración avanzada.
6. **Construcción aditiva:** o más conocida como construcción de impresión 3D. Esta tecnología es utilizada en construcción principalmente en la fabricación de viviendas, elementos estructurales e infraestructuras.

Es importante mencionar el **internet de las cosas (IoT)**, **Big Data** y **almacenamiento en la nube**, son indispensables para el funcionamiento de estas tecnologías.

Tampoco se debe dejar atrás la importancia del uso de cadenas de bloques o **Blockchain**, el cual está compuesto por un conjunto de tecnologías que permiten llevar un registro seguro, descentralizado, sincronizado y distribuido de las operaciones digitales. En el sector de la construcción, el mayor beneficio de estas herramientas se encuentra en la tecnología denominada **“Smart Contract”**. Estos son programas informáticos que se ejecutan de forma automática sobre una red Blockchain, de tal forma que transparentan cada uno de los movimientos que se ejecutan en torno a un proyecto, dado que quedan al alcance de todos los que intervienen en él (EDITECA, s.f). Sin embargo, el uso del Blockchain en la construcción trae consigo muchos beneficios, dentro de estos se encuentran:

- Mayor confianza en los proyectos de edificación y construcción.
- Mejor gestión de la información
- Es el aliado perfecto de BIM
- Smart Contrats
- Calidad y trazabilidad de recursos
- Seguridad y reducción de riesgos
- Construcción Sostenible

En la siguiente figura se entrega un esquema que resume las principales aplicaciones de dichas tecnologías en la construcción.

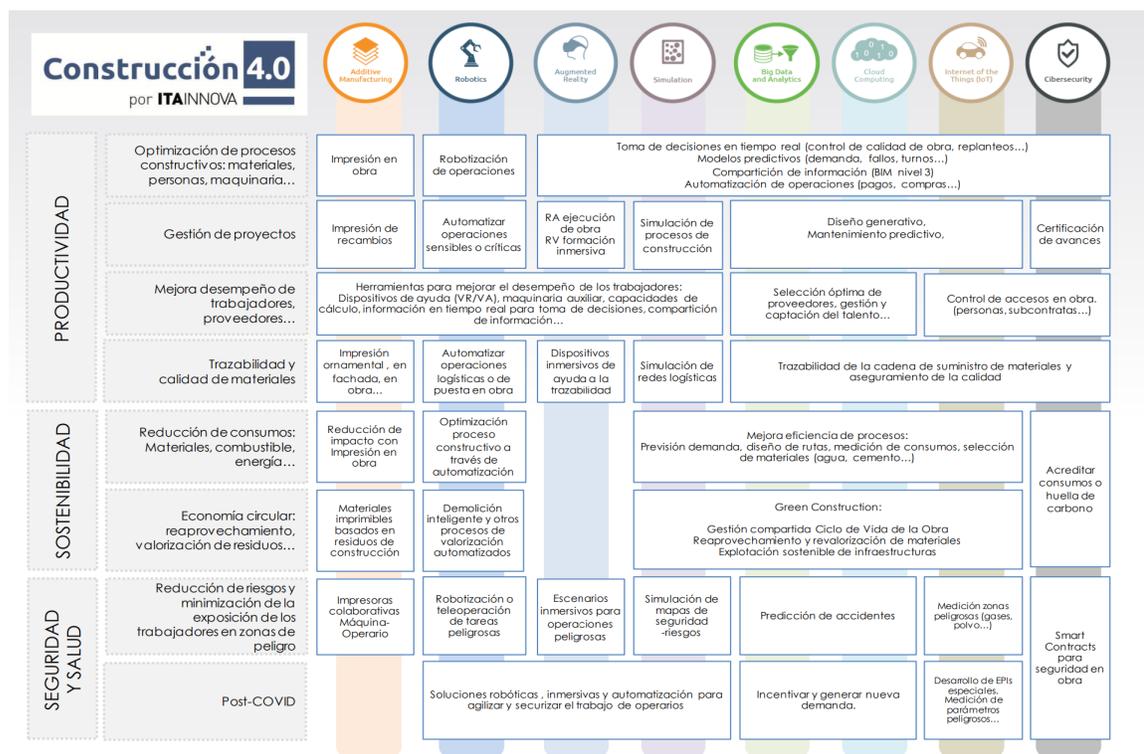


Figura 2.11: Aplicación de tecnologías en la construcción. Fuente: Construcción 4.0, Instituto Tecnológico de Aragón (s.f)

La empresa española REBUILD en 2019, evaluó los principales beneficios que trae implementar la construcción 4.0. Los cuales se entregan en la siguiente tabla.

Tabla 2.3: Beneficios de la Construcción 4.0

Beneficios de la Implementación de la Construcción 4.0	
1	Mayor cantidad de puestos de trabajo.
2	Aumento de la productividad.
3	Prevención y corrección de errores, gracias a la información de los equipos de trabajo.
4	Aparición de nuevos modelos de negocio enfocados en el cliente.
5	Maquinarias más precisas e inteligentes para una mejor coordinación de medios.
6	Optimización de los procesos a través de nuevas tecnologías aplicadas.

En el último tiempo, ha tomado tanta importancia el fomentar la Transformación Digital en la industria de la Construcción, que existen diplomados, de prestigiosas universidades chilenas, que se enfocan en este tema. Algunos ejemplos de estos son:

- “Diplomado Internet of Things y la industria 4.0”, dictado por la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- “Diplomado en Tecnologías de Construcción 4.0”, dictado por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

Por último, la figura 2.12 entrega una representación gráfica del ambiente tecnológico de la construcción 4.0. Entregando la clasificación y agrupando los diferentes avances tecnológicos que forman parte de esta transformación digital.

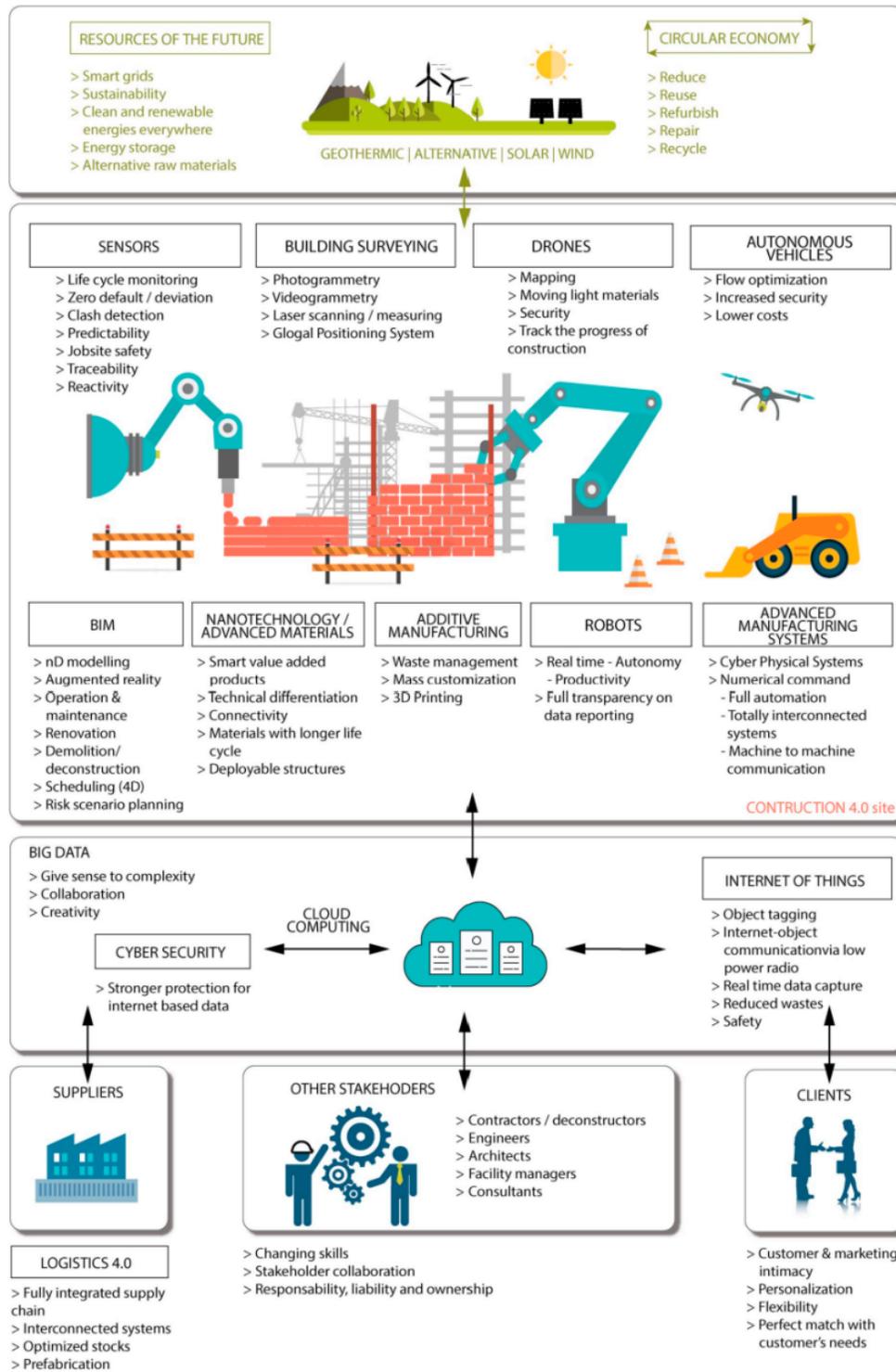


Figura 2.12: Ambiente tecnológico de la Construcción 4.0. [Fuente: Craveiro. F, Duarte. J.P, Bartolo. H, Bartolo. P. (2019)].

Capítulo 3

Metodología

3.1. Metodología y Objetivos

Para cumplir con los objetivos mencionados anteriormente en este documento, se debe realizar diferentes metodologías. Dentro de estas se encuentra la revisión bibliográfica, análisis cualitativo a través de la generación de una matriz de priorización y por último un análisis cuantitativo de casos de estudio. Además, para cumplir con esto se hará uso de procedimientos como la revisión bibliográfica, encuestas y entrevistas. La siguiente figura relaciona cada objetivo específico con la metodología o herramienta a utilizar para cumplir con él.

Objetivo Especifico	Metodología
Realizar catastro y caracterización de los avances tecnológicos disponibles actualmente en la industria de la construcción.	Recopilación de antecedentes
Realizar un análisis cualitativo de los impactos en la productividad que tiene la utilización de avances tecnológicos en la construcción. Para así identificar los que generan el mayor impacto.	Matriz de priorización Encuestas Entrevistas
Efectuar un análisis cuantitativo del impacto que trae el uso de los avances tecnológicos más relevante de acuerdo a su contribución en la reducción de plazos y costos, y con ello en la mejora de la productividad de la construcción.	Recopilación de antecedentes y entrega de datos de empresas constructoras

Figura 3.1: Objetivos con su respectiva metodología. Fuente: elaboración propia (2022)

Una vez realizada la recopilación de antecedentes se generará con esta información una recopilación y caracterización de la mayor cantidad de avances tecnológicos encontrados. Con estos se entregará una propuesta de clasificación de dichas tecnologías, según sus características y uso. Además se realizarán encuestas a profesionales del sector de la construcción y entrevistas a empresas constructoras que se caracterizan por utilizar tecnologías e innovaciones en sus proyectos. Esto se hará con el fin de generar un análisis cualitativo. El resultado de este análisis es identificar aquellos avances tecnológicos que generan un mayor impacto en la

productividad de las empresas constructoras. Una vez obtenido los avances tecnológicos más relevantes, se realiza un análisis cuantitativo de estas. Finalmente, a través de un análisis de información y resultados se llega a las conclusiones del impacto de los avances tecnológicos en la productividad de la construcción. La siguiente figura resume a través de un diagrama la metodología completa del objetivo de este informe.

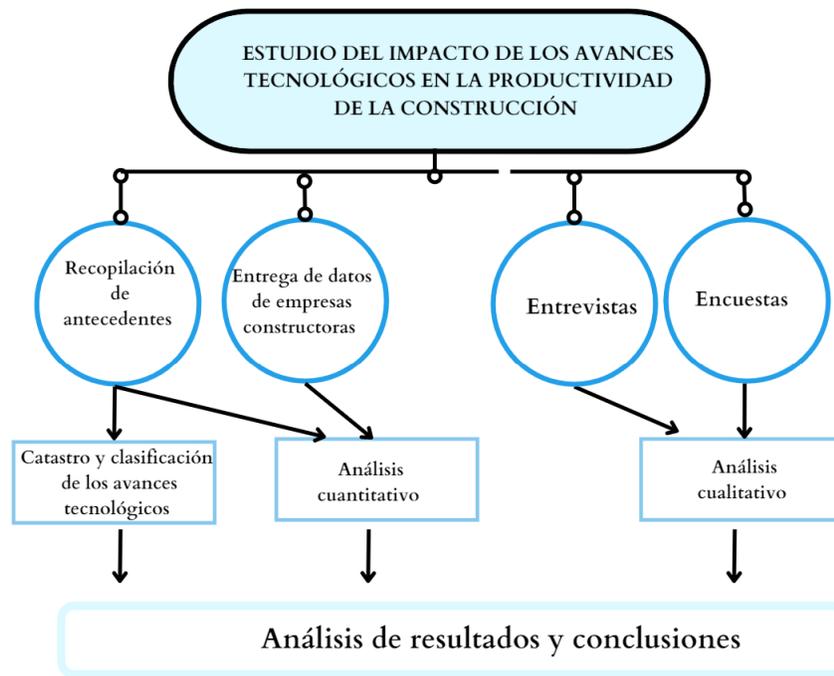


Figura 3.2: Resumen de metodología para cumplir con el objetivo general
Fuente: Elaboración propia (2022)

3.2. Recopilación de avances tecnológicos en la construcción

La recopilación de antecedentes se hace a través de una exhaustiva revisión bibliográfica que contengan información de los diferentes avances tecnológicos disponibles en la construcción. Las palabras claves para la búsqueda de información son: Avances tecnológicos, Transformación Digital, Industria de la construcción, Industria 4.0, Construcción 4.0 y Productividad. De estos antecedentes, se dará énfasis en la recopilación de las características de las tecnologías y en el impacto que generan en la productividad de las empresas constructoras. La bibliografía por revisar es del tipo:

- Paper
- Tesis
- Noticias
- Artículos de revistas

- Informes técnicos

Una vez obtenida la información suficiente, se realizará un catastro de todos los avances tecnológicos encontrados, donde se entrega con mayor detalle sus principales características, fecha de creación, cómo y cuanto ayuda en la productividad, los tipos de aplicación, si su estado se encuentra en uso o en creación, las empresas que lo utilizan y cuáles son sus beneficios o mejoramiento en la industria de la construcción. Además, se clasificarán según su función y objetivo en la construcción. Esta propuesta de clasificación fue realizada por análisis propio.

- Plataformas de Gestión y Control
- Maquinarias inteligentes
- Innovaciones en materiales sustentables
- Metodología de fabricación

3.3. Encuesta a profesionales del sector de la construcción

La encuesta tiene por objetivo conocer el estado de conocimiento sobre los diferentes avances tecnológicos presentes en la industria de la construcción. También se espera conocer la opinión de los profesionales del rubro sobre los principales problemas de productividad en la construcción. La figura 3.3 detalla los principales directrices de la encuesta, la cual será realizada a profesionales tales como, ingenieros civiles, arquitectos, constructores civiles, ingenieros en construcción, entre otros.



Figura 3.3: Principales directrices de la encuesta. [Fuente: Elaboración propia (2022)].

En algunas de las preguntas se utilizará escala de Likert, la cual tiene como objetivo conocer el nivel de desacuerdo o acuerdo sobre una idea. El nivel de medición a utilizar será una escala de 5 puntos, los cuales se detallan a continuación:

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

Con el fin de obtener la mayor cantidad de respuestas, la encuesta se llevará a cabo de forma online, a través de Google Forms y será difundida mediante redes sociales. El detalle de las preguntas se encuentra en el Anexo A.

3.4. Entrevistas a empresas constructoras tecnológizadas

Para llevar a cabo el análisis cualitativo se realizarán entrevistas a empresas constructoras nacionales, con el fin de obtener datos e información sobre la experiencia del uso de diferentes tipos de avances tecnológicos en sus proyectos. Se espera obtener información relacionada con y sin el uso de las tecnologías, para así tener una comparación en la productividad con los métodos tradicionales.



Figura 3.4: Principales enfoques de las entrevistas. [Fuente: Elaboración propia (2022)].

3.5. Indicadores de impacto para evaluar iniciativas innovadoras en general

A continuación se presenta una serie de indicadores de impacto que fueron creadas por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) en 2021, como parte de una metodología de medición de índice de industrialización de las empresas constructoras. Este estudio es parte de la “Consultoría para el desarrollo de indicadores clave para obras de construcción industrializadas” a cargo del programa Construye2025.

Es importante mencionar que existen un set de indicadores, que permiten demostrar y evidenciar las ventajas, en cuanto a productividad y sustentabilidad, de trabajar con sistemas industrializados. Sin embargo, en las próximas secciones se explicará el uso que se le dará a estos indicadores de impacto dentro de este estudio.

Los indicadores evalúan tres ámbitos: Proyecto, Medio Ambiente y Sociales. Los cuales se detallan a continuación.

• Proyecto



Figura 3.5: Indicadores de Impacto de Proyecto. [Fuente: Elaboración propia, adaptado de CDT (2022).

• Medio Ambientales



Figura 3.6: Indicadores de Impacto de Medio Ambiente. [Fuente: Elaboración propia, adaptado de CDT (2022).

- Sociales



Figura 3.7: Indicadores de Impacto Social. [Fuente: Elaboración propia, adaptado de CDT (2022)].

3.6. Indicadores de impacto para evaluar avances tecnológicos en la construcción

En la sección 3.5 se entregaron un set de indicadores de impacto de industrialización, sin embargo, para fines de este estudio, solo se utilizaran algunos de los indicadores mencionados anteriormente, dado que la mayoría no están dentro del alcance de los avances tecnológicos estudiados. Algunos de estos se implementarán para generar el análisis cualitativos y cuantitativo. Los indicadores a utilizar para evaluar el impacto de los avances tecnológicos en la productividad de la construcción son los siguientes:

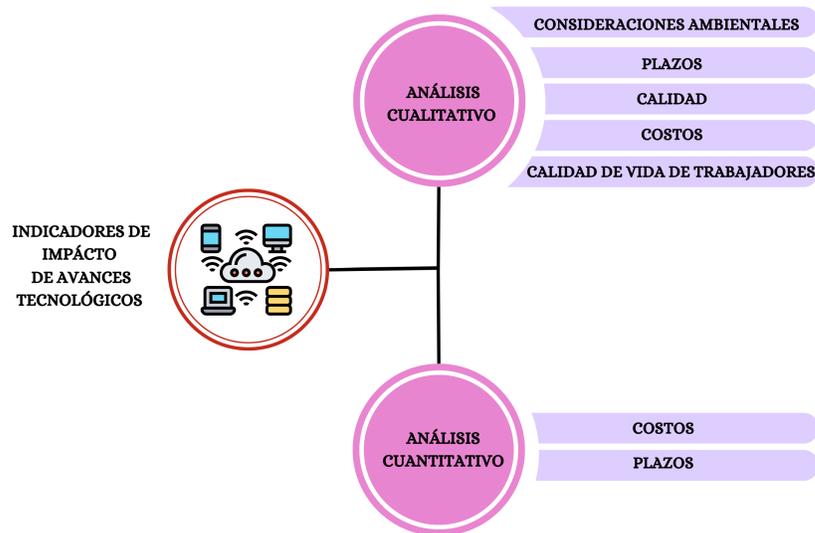


Figura 3.8: Indicadores para evaluar impacto de avances tecnológicos. [Fuente: Elaboración propia (2022)]

3.7. Análisis cualitativo del impacto de los avances tecnológicos en la productividad

El análisis cualitativo se realiza con el fin de filtrar los avances tecnológicos más relevantes a la hora de aumentar la productividad en obra. Este se llevará a cabo con la información obtenida a través de la revisión bibliográfica, la encuesta respondida por profesionales del rubro de la construcción y las entrevistas realizadas a las empresas constructoras que son reconocidas por sus innovaciones en el rubro. De todas estas herramientas se obtendrá la información necesaria para analizar los indicadores entregados en la figura 3.8. Una vez caracterizados los avances tecnológicos según los indicadores correspondientes, se hará uso de una matriz de priorización con el fin de filtrar y obtener los avances tecnológicos más relevantes en la productividad de las empresas constructoras.

Dicha matriz de priorización, sirve para evaluar y seleccionar diferentes alternativas en base a la aplicación de criterios que tendrán diferentes ponderaciones. Los criterios de evaluación son principalmente la reducción de costos, plazos y errores constructivos. La matriz de priorización seguirá el siguiente patrón:

Tabla 3.1: Patrón para desarrollar matriz de priorización

1	Objetivos	Encontrar los avances tecnológicos más relevantes en aumentar la producción
2	Opciones	Diferentes avances tecnológicos en la construcción
3	Criterios	Reducción de costos Reducción de plazos Reducción de errores
4	Indicadores de evaluación	Muy alto: 5 Alto: 4 Medio: 3 Bajo: 2 Insuficiente: 1
5	Ponderación de criterios	Reducción de costos: 35 % Reducción de plazos: 35 % Reducción de errores: 30 %

3.8. Análisis cuantitativo del impacto de los avances tecnológicos en la productividad

Para realizar el análisis cuantitativo, se utilizará información obtenida a través de la experiencias de empresas constructoras tecnologizadas. Esta información se adquirirá de la revisión bibliográfica y principalmente a través de casos de estudio con reconocidas empresas innovadoras del sector de construcción. Los casos de estudios serán de los avances tecnológicos más relevantes obtenidos en el análisis cualitativo. La principal directriz del análisis cuantitativo es comparar los procesos constructivos con los métodos tradicionales y con la aplicación del avance tecnológico en estudio. Para esto se observarán los cambios que se producen en costos totales del proyecto, reducción de horas hombres (hh) y reducción de tiempos. Con el fin de generar un análisis económico para el impacto que genera la implementación de los avances tecnológicos más relevantes en los proyectos de construcción. La figura 3.9 entrega un resumen de cómo se llevará a cabo el análisis cualitativo.

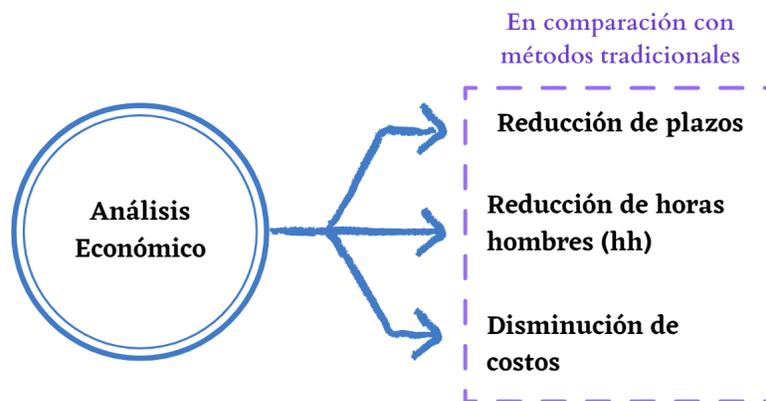


Figura 3.9: Principales directrices para desarrollar el análisis cuantitativo. [Fuente: Elaboración propia (2022)]

Capítulo 4

Desarrollo de avances tecnológicos y resultados de encuestas y entrevistas

4.1. Resultado de revisión bibliográfica

4.1.1. Recopilación de principales avances tecnológicos a nivel global

Como se ha citado anteriormente, la industria de la construcción posee un bajo nivel de productividad en comparación con otras industrias. Según The Boston Consulting Group 3, citado en World Economic Forum, 2018, la digitalización de la construcción tiene el potencial de revertir dicha situación. En la actualidad existen equipos de construcción inteligentes y Software que podrían aumentar la productividad en obra, a través de la reducción de retrasos, sobrecostos y aumento de la seguridad y calidad. La figura 4.1 señala los 10 avances tecnológicos con mayor potencial a aumentar la productividad en la construcción según Boston Consulting Group.

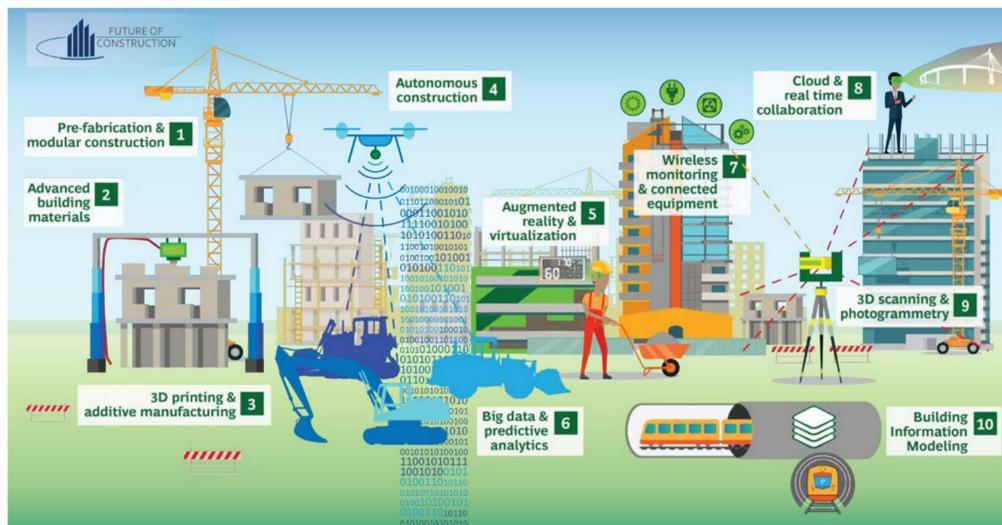


Figura 4.1: 10 tecnologías que pueden mejorar la productividad de la industria. [Fuente: Foro Económico Mundial, The Boston Consulting Group (2018)]

La lamina anterior muestra los avances tecnológicos más conocidos en la construcción, sin embargo, existen numerosas tecnologías que pueden ayudar a solucionar el problema de la productividad en la industria. En las siguientes secciones se desarrolla uno de los objetivos del presente estudio, el cual corresponde a entregar una recopilación de los principales avances tecnológicos en la industria de la construcción. Es importante mencionar que esta recopilación de antecedentes se realizó a través de una exhaustiva revisión bibliográfica.

4.1.1.1. Propuesta de clasificación de Avances Tecnológicos en la Construcción

Luego de una exhaustiva revisión bibliográfica, se recopilaron 34 avances tecnológicos aplicados en las construcciones. Cada uno de estos con diferentes objetivos, aplicaciones y alcances. En las siguientes secciones se entregará las aplicaciones, beneficios y empresas que utilizan los diferentes avances tecnológicos en estudio.

Luego de analizar los antecedentes recopilados en la revisión bibliográfica, se crea y propone la siguiente clasificación de los avances tecnológicos, según su aplicación en la construcción.

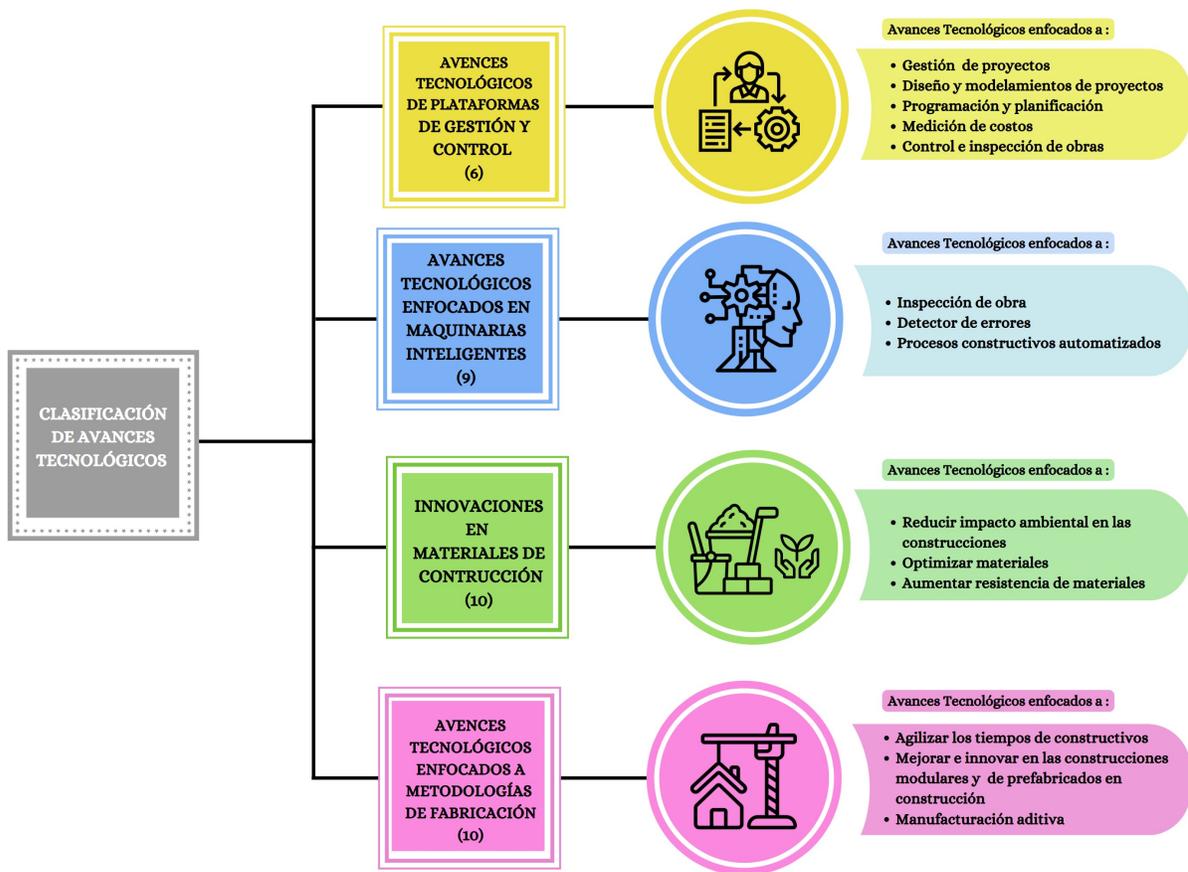


Figura 4.2: Esquema de clasificación de principales avances tecnológicos en la construcción. [Fuente: Elaboración propia (2022)]

Tabla 4.1: Avances tecnológicos de plataformas de gestión y control. [Elaboración propia (2022)]

AVANCES TECNOLÓGICOS DE PLATAFORMAS DE GESTIÓN Y CONTROL					
Nº	Avance tecnológico	Tipos de aplicación	Estado	Empresas que lo utilizan	Beneficios
1	BIG DATA	Decisiones de diseño y ubicación Estimación de presupuestos Seguridad Gestión de equipos Sustentabilidad	En uso	Precon Codeco Echeverría Izquierdo DLP entre otras	Aumentar la productividad en obra Mayor control de información Seguridad en el almacenamiento de datos
2	BLOCKCHAIN Y CONTRATOS INTELIGENTES	Smart Contracts Automatización de procesos Control de presencia de maunarias y personal en obra Aseguramiento de la calidad	En uso	BIMTRAZER	Mayor confianza Aumento de la gestión de la información Desintermediación para mejorar la eficiencia de los procesos Transparencia en la información y toma de decisiones
3	EL INTERNET DE LAS COSAS (IoT)	Información actualizada en tiempo real Gestión y control de actividades de una estructura o construcción en general	En uso	Precon Siena Echeverría Izquierdo Montec Entre otras	Mayor productividad Ahorro de costos económicos y de tiempo
4	REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA	Gafas de realidad RA y RV Casco de seguridad con implementación de RA	En uso	DAQRI Smart Helmet Microsoft Hololens Volcan Deloitte CORFO	Aumento de la productividad Mayor gestión de los proyectos Visualización del proyecto en tiempo real Mitigación de riesgos
5	BIM	Gestión de proyectos Modelamiento 3D Identificar y prevenir riesgos Planificación de proyectos Estimación de costos	En uso	Echeverría Inzquierdo AXIS Siena Entre otras	Mayor colaboración y comunicación en los proyectos Mitiga los riesgos y reduce los costos de los proyectos. Aumento en la seguridad. Aumento de productividad Mejor gestión y control de los proyectos. Mejor coordinación y detección de conflictos.
6	INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)	Gestión de proyectos Diseño generativo Topografía Maquinarias autónomas	En uso	Colpatria Constructora Besalco Contilio CVV Entre otras	Aumento de seguridad Mejora de eficiencia de los procesos de ingeniería

Tabla 4.2: Avances tecnológicos enfocados a maquinarias inteligentes. [Elaboración propia (2022)]

MAQUINARIAS INTELIGENTES					
Nº	Tipo de avance tecnológico	Aplicación	Estado	Empresas que lo utilizan	Beneficios
1	ROBOT PULIDOR	Utilizados para determinar la dureza y desnivel de las losas de hormigón	En uso	JTC Corporation	Reducción de mano de obra Ahorro en costos de operación de 30 %
2	EXOESQUELETOS	Carga de elementos pesados	En uso	Telice Vía Agora	Menor esfuerzo físicos de los trabajadores Disminución de accidentes laborales
3	ROBOT DE INSPECCIÓN DE OBRA Y DETECTOR DE ERRORES	Robots para tareas de inspección y mantenimiento Recopilación de información ambiental interior y exterior en las obras Seguimiento y control de obras Detectar errores en tiempo real	En uso	Robotnik Doxel	Aumenta la interacción hombre máquina Facilita la toma de decisiones Aumenta la productividad
4	Bulldozer autónomo	Excavación y movimiento de tierra	En uso	Build Robotics	Disminución de mano de obra Aumento de seguridad Aumento de la productividad
5	Bomba robot de proyección de hormigón	Hormigonado de muros y losas	En uso	SEBHSA	
6	Robot de demolición	Demoliciones	En uso	Anzeve	Disminución de accidentes
7	Robot para pintar fachadas		En uso	Grupo inmobiliario Habitat	Mayor rendimiento
8	Robot de colocación de prefabricados	Ladrillos Prefabricados de hormigón Encofrados	En uso	FBR SOMMER PRECAST TECHNOLOGY	Reemplazo de manos de obra Disminución de tiempos Aumento de productividad Reducción de errores Reducción de costos de personal
5	DRONES	Fotografías promocionales Escaneo Láser Monitoreo de la obra Topografía Mediciones de longitud, área y volumen	En uso	CODELCO Mega Echeverría Izquierdo Moller & Pérez	Disminución de costos Reducción de riesgos laborales Acceso total de la obra Mayor monitoreo de procesos

Tabla 4.3: Innovaciones en materiales de construcción. [Elaboración propia (2022)]

INNOVACIONES EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN					
Nº	Tipo de avance tecnológico	Aplicación	Estado	Empresas que lo utilizan	Beneficios
1	HORMIGÓN CON ARIDOS RECICLADOS	Subbases de concreto Barreras de contención Agregado en nuevos hormigones	En uso	Río claro Flesan	Ahorro en costos Disminución en la huella ambiental
2	HORMIGÓN REFORZADO CON GRAFENO	Elementos estructurales Aerogel de grafeno	En uso	Graphenano Smart Materials Universidad de Manchester	30 % más resistente Más dureza Reducción en emisión de CO2 Mayor vida útil
3	HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	elementos que serán revestidos de viviendas y edificios	En uso	CBB	Ahorro en tiempos de compactación Reduce la necesidad de reparación Ahorro en costos de personal y equipos
4	MORTEROS DE DENSIDAD CONTROLADA	En rellenos confinados donde no se requiere compactación	En uso	CBB	Facilidad de excavación Autonivelante Elimina peligro de roturas de tuberías por compactación
5	MICROALEACIÓN	Armaduras de pilas y losas.	En uso	Empresa Siderúrgica Huachipato	Mayor resistencia y ductilidad Reduce la congestión en elementos constructivos Se puede construir lo mismo con una menor cantidad de acero Menos pilas y excavaciones Disminución mano de obra Disminución de la huella de carbono en obra
6	HORMIGÓN AUTORREPARABLE	Misma aplicación que el hormigón tradicional	En uso	SIENA	Construcción sostenible
7	HORMIGÓN PERMEABLE	Zonas de aparcamiento Vados Aceras / senderos Zonas de tráfico ligero	En uso	Master Builders solutions MBCC group	Aumento del tiempo productivo mayor resistencia a la compresión Inhibición de la compactación de la pasta
8	AEROGEL	Aislante térmico	En uso	Atekux	Mejora la eficiencia energética Sustentabilidad
9	MAGPANEL	Sustitución del hormigón y tabiques	En uso	IBuilTec	Aceleración de trabajo hasta en un 80 %
10	HORMIGÓN FLEXIBLE	Construcciones de vías públicas Vigas de acople Conexiones viga-pilar Muros de contención	En uso	Universidad Tecnológica de Nanyang	Ahorro de trabajos in situ Reducir tiempos de construcción Mayor seguridad Mantenimiento simplificado

Tabla 4.4: Avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación [Elaboración propia (2022)]

Avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación					
Nº	Tipo de avance tecnológico	Aplicación	Estado	Empresas que lo utilizan	Beneficios
1	CASAS IMPRESAS EN 3D	Elementos estructurales de una casa	En uso	Lenmar BeMore3D ICON	Reducción de tiempo de construcción Reducción de mano de obra Menores costos Disminución de residuos de construcción y emisión de CO2
2	PUNTES IMPRESOS EN 3D	Puentes de hormigón Puentes de acero Pasarela peatonales	En uso	MX3D Acciona Universidad de Shanghai Universidad Tecnológica de Eindhoven (TUE) BAM Infra	Reducción emisión de CO2 Aumento de productividad Reducción de materiales
3	EDIFICIOS IMPRESOS EN 3D	Edificios de baja altura	En uso	Apis COR	Reducción de plazos Aumento de productividad
4	ELEMENTOS ESTRUCTURALES	Columnas Losas	En uso	ETH Zurich	Reducción de mano de obra Disminución de tiempos de construcción
5	MOLDAJES IMPRESOS EN 3D	Encofrados para elementos prefabricados de hormigón	En uso	Gate precast Digital Building Technology	Se pueden integrar de mejor forma elementos como barras de postensado, ductos de agua y entradas de luz
6	FUNDACIONES MASIVAS EN 3D	Para edificaciones de baja altura	En uso	GE Renewable Energy	Disminución de costos de construcción Reducción de tiempo de construcción Disminución de impacto ambiental
7	REPRESAS DE HORMIGÓN 3D	Represa de hormigón	En ejecución	Journal of Tsinghua University	Disminución de mano de obra al automatizar la mayor parte del proceso constructivo.
8	ELEMENTOS PREFABRICADOS	Columnas Vigas Losas Casas Edificios de baja altura Fachadas Baños Pavimentos Escaleras de hormigón	En uso	Tensocret Desarrollos Constructivos AXIS Siena Prefast Echeverría Izquierdo	Disminuye considerablemente los plazos de construcción Reducción de impacto ambiental durante la etapa de construcción (disminución de residuos, consumos energéticos y emisión de CO2)
9	CONSTRUCCIÓN MODULAR	Construcciones temporales Casas Edificios	En uso	Arcom Quattromos Intermodal	Menor tiempo de construcción Menor desperdicio y aumento de eficiencia en el proceso de construcción Se pueden mover, reubicar y quitar módulos

4.1.1.2. Avances tecnológicos de plataformas de gestión y control

En esta sección se entrega en detalle las características y uso de las tecnologías aplicadas a plataformas de gestión y control. Esto es resultado de la recopilación de antecedentes de la revisión bibliográfica.

4.1.1.2.1. BIM

BIM Forum Chile (2017) indica que el acrónimo BIM está asociado a dos conceptos:

1. Building Information Model: se define como la representación digital paramétrica del producto de construcción (losas, muros, pilares, equipamiento, puertas, ventanas, etc.) que incluye su geometría e información.
2. Building Information Modeling: es una metodología/proceso para desarrollar y utilizar modelos BIM para apoyar decisiones de diseño, construcción y operación durante todo el ciclo de vida de un proyecto, lo que implica una integración y gestión de información provista y usada por diferentes actores del proyecto.

Sin embargo, BIM Forum Chile (2017) aclarara que en la práctica no deben desarrollarse de forma independiente estos dos conceptos, sino que el concepto “Building Information Model” entendido como “Modelo” se encuentra implícito en el concepto de “Building Information Modeling” entendido como “Metodología”. Es decir, la generación del modelo implica desarrollarlo bajo una metodología y procesos formalmente establecidos.

Bim ha logrado un gran alcance a nivel global, siendo usada en países como Reino Unido, Estados Unidos, China, Australia, entre otros. Los países europeos son los líderes mundiales en la utilización de esta innovación, siendo principalmente en Reino Unido donde se ha alcanzado su mayor auge y nivel de proliferación. Incluso, en dicha nación, desde el 2011 que es obligación usar esta plataforma para el estudio de proyectos públicos, logrando así que aproximadamente el 80 % de las empresas nacionales de arquitectura hagan uso de esta tecnología. A nivel Sudamericano, Chila, Perú y Colombia, son los principales países que han impulsado la metodología BIM, incluso generando planes normativos que se exigen en los proyectos. Por otro lado, Argentina y Brasil, también son usuarios de esta plataforma, sin embargo, su nivel de adopción es más baja y menos exigente.

A nivel global, BIM es una herramienta utilizada por ingenieros civiles, arquitectos, eléctricos, hidráulicos y entre otros. Esta herramienta mejora el rendimiento de los proyectos, además proporciona eficiencia en los procesos de fabricación, dando una mayor apertura para más información, seguridad y agilidad de los procesos (Garcia, A. 2020). Además, facilita la comunicación entre los diferentes tipos de especialidades que se requieren para desarrollar un proyecto de construcción en todas sus etapas. Esta tecnología advierte y previene problemas de forma temprana, lo que genera un aumento en la eficiencia y productividad de una obra. En un principio el diseño se lleva a cabo dentro de maquetas tridimensionales que son actualizadas en procesos as-built, lo que permite tener visualizaciones virtuales a lo largo de todo el proyecto, agilizando así la toma de decisiones. Bim también permite generar enfoques sustentables, desde el punto de vista de recursos físicos como energéticos. (Kaschel, 2021). BIM puede abarcar diferentes dimensiones y objetivos dentro de un proyecto. En la actualidad se encuentran 10 dimensiones BIM, las cuales se resumen en la siguiente figura.



Figura 4.3: Las 10 principales dimensiones BIM. [Fuente: Elaboración propia (2022)].

La utilización de BIM puede generar significantes ahorros económicos en un proyecto de construcción. Otra ventaja de esta plataforma es la centralización de datos, dado que todos los documentos del modelo se relacionan entre sí, es decir, si una parte del proyecto es modificado, automáticamente se actualizan todos los datos. El modelamiento BIM acompaña al proyecto incluso después de terminada la construcción, de modo que registra las mantenciones e indica cuando se deben actualizar. La siguiente figura resume los principales beneficios que trae la utilización de BIM en las construcciones.

Tabla 4.5: Beneficios de aplicar BIM en la construcción

Beneficios de implementar BIM en la Construcción	
1	Mejora la colaboración y comunicación de los equipos de trabajos y entre los agentes involucrados en el proyecto.
2	Estimación de costes en una fase temprana del proyecto a través de los costes basados en modelos.
3	Visualización de los proyectos antes de la etapa de construcción, por lo tanto permite detectar errores de forma temprana, ahorrando el tiempo por contratiempos.
4	Mejora la programación de los proyectos.
5	Genera una mayor seguridad en las obras, dado que permite detectar peligros antes de que se conviertan en problemas reales.
6	Permite a los usuarios generar cambios de modelos facilmente, sin provocar costos por errores.
7	Aumenta la productividad y competitividad.
8	Creación del Green Bim: proporcionar datos de BIM para la evaluación del rendimiento energético y sostenibilidad, minimizando el impacro en el medio ambiente en las construcciones y a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

4.1.1.2.2. Big Data

Hace referencia al procesamiento de datos masivo y se puede entender como la recolección de datos tanto de fuentes tradicionales como de fuentes digitales. El Big Data se puede definir a través de tres términos: Volumen, Velocidad y Variedad, donde la primera se refiere a la cantidad de datos que se generaran en un espacio de tiempo determinado; el segundo representa la rapidez de entrada y salida con la que fluyen los datos a través de diferentes canales, y el último término representa los diferentes formatos y fuentes que se pueden encontrar. (Escobar y Mercado, 2017).

El concepto de Big Data o análisis de datos a gran escala no es algo nuevo, sin embargo, es en el último tiempo donde han sido un gran aporte dentro de las tecnologías aplicadas a la construcción. Las posibilidades de esta herramienta son muy amplias, dado que se utilizan software que analizan todo tipo de variables presentes y futuras de un proyecto, tales como; caracterización de un terreno, diseño, costos, insumos, recursos, entre otros. El Big Data en sí mismo no va a aportar nada al sector, sin embargo, si este se digitaliza, necesitará de esta herramienta para cerrar el círculo de conectividad. Es por esto que el Big Data es tan indispensable para un buen funcionamiento de la metodología BIM, dado que esta genera una ingente cantidad de información (MásterBIM, 2022).

4.1.1.2.3. Blockchain y Contratos Inteligentes

El Blockchain es una tecnología que subyace de las transacciones de criptoactivos, además provee un récord cronológico y permanente, públicamente visible, de todas las transacciones. Es una tecnología que permite registros descentralizados, que operan a través de una cadena de bloques y puede servir sistemas de pagos, asientos contables, contratos inteligentes, entre otros. En otras palabras, el Blockchain sirve como libro de registro de las transacciones de bitc oin.

El verdadero potencial de esta tecnología en la construcción, recae en los Smart Contracts o Contratos Inteligentes. Estos son programas informáticos que se ejecutan de forma automática sobre una red blockchain en el momento que se cumplen una serie de condiciones que se encuentran previamente pactadas entre las partes involucradas. Con esto se logra la automatización de acciones y dotando a dicha transacción de transparencia, trazabilidad e inmutabilidad (Díez, David, 2020).

La siguiente tabla entrega las principales aplicaciones del Blockchain en la construcción. De modo que las ventajas que trae el uso de estas son las siguientes:

- Desintermediación de los procesos.
- Trazabilidad y transparencia en la toma de decisiones.
- Visión  nica y Dato sincronizado para toda la cadena de valor
- Confiabilidad de la información.

Tabla 4.6: Principales aplicaciones del Blockchain en las construcciones.
[Fuente: Díez, David (2020)]

Nº	Aplicación	Justificación
1	Aseguramiento de BIM	Genera confianza y asegura toda la información de un modelo BIM, dado que consigue una traza inmutable de los cambios realizados a lo largo de un proyecto.
2	Automatización de procesos	Bajo el contexto de la utilización de Smart Contracts, se puede automatizar la certificación de los avances del proyecto y poder generar pagos o cobros automáticamente.
3	Control de presencia de maquinarias y personas en obra.	Securiza y hace confiable la información de entrada y salida de personal, maquinarias y subcontratos en general, en zonas que requieren permiso.
4	Aseguramiento de la calidad y trazabilidad de los materiales en obra	El registro completo del ciclo de vida de un material, es muy útil a la hora de desarrollar Smart Contracts que generan alertas en el caso de existir conformidades.
5	Seguridad en obra y reducción de accidentes	El registros en una red Blockchain de toda la información relativa al cumplimiento de las directrices de Seguridad y Salud para los operarios, generará un sistema de alertas mediante Smart Contracts en el caso de existir una mala praxis por parte de un operario.
6	Gestión de compras transparentes	Registra en una red blockchain toda la información relativa a los parámetros medioambientales durante un proyecto.

4.1.1.2.4. El internet de las cosas (IoT)

Este término hace referencia a una red de interconexión, que permite el intercambio de datos entre dispositivos digitales, personas y la internet. Esto facilita la obtención de información sobre el uso y rendimientos de los dispositivos.

4.1.1.2.5. Realidad Virtual y Aumentada

La realidad Aumentada (RA) es una tecnología que permite superponer información virtual adicional al visualizar el mundo real, generando un visión compuesta, es decir, una combinación entre lo real y lo virtual. Sin embargo, la RA, se caracteriza por complementar y enriquecer el entorno físico, pero no lo reemplaza (Galeote, E. 2020). Por el contrario, la Realidad Virtual (RV), es un entorno de escenas u objetos de apariencia real que crea la sensación de estar inmerso en él, generando un entorno artificial (Luque, J. 2020).

La realidad aumentada facilita la planificación del proyecto, dado que permite comparar la realidad de la obra con lo planificado a través de modelos 3D. También son de gran ayuda en hacer simulaciones y mejorar el control de la calidad. Por otro lado, la realidad virtual genera una interacción entre el usuario y su entorno, son muy útiles a la hora detectar fallas en la etapa de construcción, dado que con gafas de realidad virtual se pueden visualizar los planos en tamaño real e incluso desplazarse dentro de ellos.

En la siguiente tabla se resumen los principales beneficios de implementar la Realidad Aumentada y Virtual en la Industria de la construcción.

Tabla 4.7: Principales beneficios de la RA y RV en la construcción. [Fuente: CDT (2022)][14]

Beneficios de la implementación de RA y RV en la construcción	
1	Detección temprano de errores en el proyecto.
2	Optimización de costes y horarios
3	Mejora la colaboración. Ayuda a la comunicación y comprensión entre todas las partes involucradas en el proyecto.
4	Mejora la calidad y evita los costos por retrabajo.
5	Ayuda a que el proyecto sea más accesible para los clientes

En la siguiente tabla se entregan algunas herramientas de Realidad Aumentada en la construcción. Dentro de estas se encuentran aplicaciones, software y objetos que permiten combinar la realidad de una obra con el mundo virtual. En la actualidad existen diferentes versiones de estas tecnologías pero que tienen el mismo alcance y objetivo dentro del rubro de la construcción.

Tabla 4.8: Tecnologías de Realidad Aumentada aplicadas en la construcción. [Fuente:Souza, E. (2019)].

Tecnología	Descripción	Figura
Morpholio AR Sketchwalk	Permite posicionar el diseño (planos) sobre un terreno, logrando recorrer el espacio diseñado a través del uso de un tablet.	
DAQRI Smart Helmet	Es un casco que permite visualizar proyectos y modelos, experimentandolos como un entorno 3D de gran escala. Con esto se puede comparar el trabajo en obra con el diseño original.	
Augment	Es una aplicación que permite ver modelos 3D en tiempo real y a escala a través de smartphones y tablets.	
GAMMA AR	Es otra aplicación de RA que se utiliza para el monitoreo de obras. Sobrepone construcciones 3D BIM a través de smartphones o tablets. Compara el trabajo real en obra con lo planificado, generando una disminución de errores.	

Por otro lado, la Realidad Virtual (RV) trabaja en conjunto a BIM para revolucionar los proyectos de construcción, al proporcionar una forma inmersiva y realista de visualizar proyectos. A su vez, con esto se agrega precisión, seguridad, productividad, flexibilidad y eficiencia. Una innovación que combina las tecnologías de BIM y RV es Mindesk. La cual es una herramienta 3D de Vection Technologies que es utilizado para construir proyectos CAD y BIM en entornos de realidad virtual multiusuario (CDT, 2022), tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.4: Ejemplo de herramienta que combina BIM con RV. [Fuente: Mindesk (2022)].

4.1.1.3. Avances tecnológicos en maquinarias inteligentes

En esta sección se entrega en detalle las características y uso de las tecnologías aplicadas a maquinarias inteligentes. Esto es resultado de la recopilación de antecedentes de la revisión bibliográfica.

4.1.1.3.1. Exoesqueletos

Es una estructura metálica que se usa sobre el cuerpo humano como un traje de vestir. Son principalmente usados para reducir el trabajo físico de los trabajadores, dado que ayuda al levantamiento de cargas pesadas. Según el estudio de la agencia Europea para la seguridad y la salud en la trabajo, basado en los resultados de la sexta oleada del European Working Conditions Survey (EWCS), los trabajadores de la construcción declaran sufrir trastornos musculoesqueléticos, específicamente dolor de espalda y en las extremidades superiores e inferiores. Es por esto, que los exoesqueletos llegan a mejorar la calidad de vida los trabajadores, puesto que reducen la carga de trabajo físico. Esta herramienta son parte de las tecnologías de apoyo personal, sin embargo la legislación europea no tiene una norma de diseño técnico o procedimientos de certificación que permita la comercialización de estos como equipos de protección individual (EPI). A pesar de ello, pueden definirse con la regulación internacional de robots y dispositivos robóticos (ISO 10218-1:2011). En la siguiente figura, se presenta un ejemplo de utilización de exoesqueletos en la construcción.



Figura 4.5: Ejemplo de utilización de exoesqueletos en construcción. [Fuente: CDT (2022)[13]]

4.1.1.3.2. Drones

Los drones en la industria de la construcción son utilizados principalmente para monitorear la obra, ya sea para obtener fotografías y así facilitar la inspección en obra; también son usados para la fotogrametría, ya que permiten escanear el terreno, lo que favorece el levantamiento topográfico de un proyecto, junto a la creación de mapas y planos más exactos. Además, son de gran ayuda a la logística de la obra, dado que permiten una inspección de las actividades en tiempo real. Además, los Drones son útiles en el sector inmobiliario, dado que permite a los clientes realizar visitas virtuales. Marcio Arbex, director de Preventas de TIBCO en América Latina, citado en Conexipon Expocihac (s.f), afirma que en el 2018, se experimentó un aumento de 239 % en la adopción de drones en la construcción. Además, menciona que el impacto de la utilización de esta tecnología, trae beneficios tales como la reducción de costos de planificación, aumenta la eficiencia y precisión.



Figura 4.6: Ejemplo de utilización de drones en obra. [Fuente: Control Dron (s.f)]

Es importante mencionar que se debe tener un certificado para pilotar drones. En Chile desde el 2015, utilizar esta tecnología está regulado por ley, bajo las normas aeronáuticas

DAN 151, dictada por la dirección general de Aeronáutica Civil - DGAC. Sin embargo, esta normativa excluye cuyos drones no superen los 750 gr. Además, el equipo debe contar con seguro de responsabilidad civil por daños a terceros.

Finalmente, en la siguiente figura se resume las principales aplicaciones de los Drones en la industria de la construcción.



Figura 4.7: Aplicación Drones en Construcción. [Fuente:Elaboración propia (2022)].

4.1.1.3.3. Detector de errores en obra

La empresa Doxel, financiada y amparada por el Massachusetts Institute of Technology (MIT), crearon un robot que tiene la función de escanear la obra en 3D de forma autónoma y rastrear lo que se instala, verificando a la vez si está en el momento, lugar y modo adecuado. Esta tecnología viene a solucionar la pérdida de recursos técnicos y humanos verificando el seguimiento de la obra, también mitiga los errores y malas instalaciones que no son detectadas a tiempo en obra (CDT, 2022). Esta tecnología promete aumentar la productividad laboral en un 38 %, dado que detecto los errores en tiempo real dentro de una obra, es que donde ocurre la gran mayoría de los errores. Es importante mencionar que esta tecnología necesita de la inteligencia artificial, ya que es esta la encargada de marcar cualquier elemento que no sea correcto según lo especificado en los planos. Además, hace uso de un Software que se conecta a BIM; con el fin de analizar toda la planimetría, instalaciones y distribución indicado en los planos de AutoCad. Las siguientes imágenes entregan un ejemplo del funcionamiento del robot detector de errores de Doxel.

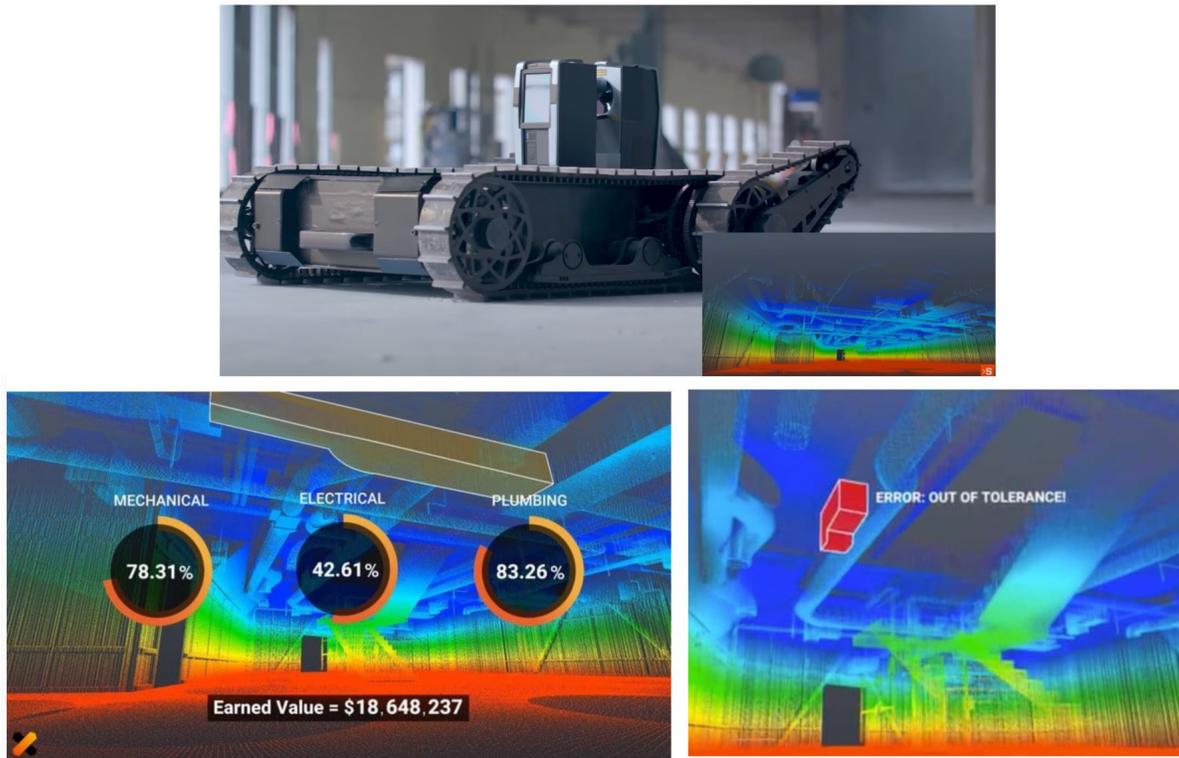


Figura 4.8: Ejemplo de funcionamiento de robot detector de errores Doxel. [Fuente: CDT (2022)].

Otro ejemplo de robot detector de errores, es el denominado Spot, creado por Boston Dynamics, el cual se presenta en la figura 4.9. Esta tecnología permite una visibilidad completa del sitio de construcción, lo que hace posible mantener una supervisión del progreso en tiempo real. También genera comparaciones con los modelos BIM y crea de forma eficiente modelos precisos as-built con datos de activos 4D que se pueden utilizar para operaciones de construcción. Por último, aumenta la seguridad de los trabajadores, dado que inspecciona espacios confinados y peligrosos, evitando que los trabajadores hagan este labor.

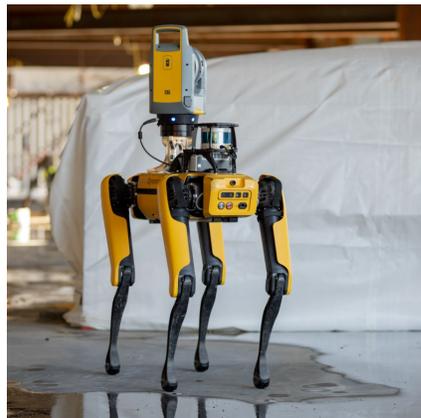


Figura 4.9: Robot de inspección: Spot por Boston Dynamics. [Fuente: Boston Dynamics (s.f)]

4.1.1.3.4. Bulldozer autónomo

Es una maquinaria autónoma que se encarga de las excavaciones y movimiento de tierras. No requiere de un operador en la cabina del bulldozer, sino que requiere de un operador que programe las coordenadas de la excavación desde la oficina y controle la maquina desde un tablet. La empresa Built Robotics fue la primera en crear un bulldozer autónomo que puede funcionar 24 horas sin detenerse de forma precisa en un entorno controlado y visualizado por un operador (Ovacen, s.f). Esto ayuda a la calidad de vida de los operarios, disminución de mano de obra y aumento en la productividad del proyecto.



Figura 4.10: Bulldozer autónomo. [Fuente: Ovacen (s.f)]

4.1.1.3.5. Robot de demolición

Consiste en una maquina de demolición autónoma que no necesita de un operador en cabina, pero si de uno que controle sus movimientos. Cuenta con un martillo hidráulico diseñado para trabajos pesados de hormigón de cimentación o túneles. Dentro del mercado, las empresas Brokk y Husqvarna ofrecen este tipo de tecnología. La utilización de esta maquinaria permite aumentar la precisión, optimizar el tiempo de ejecución, reducción de mano de obra y aumentar la seguridad de los trabajadores en terreno.



Figura 4.11: Robot de demolición. [Fuente:Hormigón al día (2022)]

4.1.1.4. Innovaciones en materiales de construcción

En esta sección se entrega en detalle las características y uso de las innovaciones que existe en los materiales de construcción. Esto es resultado de la recopilación de antecedentes de la revisión bibliográfica.

4.1.1.4.1. Morteros de densidad controlada (Fillcret)

Este mortero permite hacer rellenos confinados donde no se requiere compactación. Tiene una baja densidad y resistencia, aproximadamente menor a 1 MPa. Puede ser utilizado en excavaciones de tuberías, relleno de zanjas para alcantarillas, relleno de ductos sin uso, relleno de suelos de subrasantes de baja capacidad de soporte, relleno y puentes (CBB, 2022).

4.1.1.4.2. Hormigón autocompactante (Producret y Fluicret)

Son hormigones de gran fluidez, por lo cual solo se necesita la energía de la gravedad para que el aire evacue del hormigón y se autocompacte. Además, poseen una gran resistencia temprana, lo que permite ser desmoldado rápidamente (CBB, 2022).

4.1.1.4.3. Microaleación

Son adiciones de baja cantidad de elementos que con un proceso controlado de laminación se logra un afinamiento de las estructuras metalográficas de las barras acero. Esto permite tener mayor resistencia y ductilidad, lo que es una gran solución a la congestión de acero en elementos constructivos, es decir, con esto se puede requerir una menor cuantía (Siderúrgica Huachipato, 2022).

4.1.1.4.4. Hormigón con áridos reciclados

Corresponde al hormigón fabricado con áridos reciclado, los cuales provienen de residuos de construcción y demolición (RCD), (CDT 2021).

4.1.1.4.5. Hormigón reforzado con grafeno

Corresponde a un tipo de hormigón que en su fabricación utiliza el grafeno como aditivo. El cual se agrega en pequeñas cantidades al agua y al cemento, actuando como un soporte mecánico y ofreciendo una superficie de catalizador adicional para las reacciones químicas de la mezcla. Con esto se obtiene un hormigón 30 % más resistente (CDT, 2021).

4.1.1.4.6. Hormigón autorreparable

En la mezcla del hormigón se agrega una bacteria como aditivo. Dicha bacteria corresponde a la *Bacillus cohnii*, la cual le otorga al hormigón la capacidad de sellar sus grietas con carbonato de calcio (CDT, 2021).

4.1.1.4.7. Hormigón permeable

Se caracteriza por permitir el pasaje del agua, como consecuencia al porcentaje de poros interconectados que posee este tipo de hormigón. (A.Spalvier et al., 2021).

4.1.1.4.8. Aerogel

Corresponde a un elemento extremadamente liviano, compuesto por 2 coloides. Es sólido y su densidad es baja, lo que otorga la característica de ser un gran aislante térmico y/o acústico.

4.1.1.4.9. MagPanel

Este material está conformado por poliestireno expandido colocado entre dos paneles de concreto. Brinda una gran resistencia estructural a las edificaciones y a la vez reduce notablemente el tiempo de construcción.

4.1.1.5. Avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación

En esta sección se entrega en detalle las características y uso de las tecnologías enfocadas en metodologías de fabricación. Esto es resultado de la recopilación de antecedentes de la revisión bibliográfica.

4.1.1.5.1. Manufacturación aditiva

Se conoce como manufacturación aditiva a todo elemento o estructura impresa en 3D. Estos se definen como el proceso de unir materiales capa a capa a partir de datos de modelos en 3D. Esta tecnología reemplazaría los métodos fabricación sustractiva como el mecanizado tradicional. Existen diferentes clases de tecnologías de impresión 3D, tales como la Extrusión, Deposición por energía directa, Solidificación de polvos, Fotopolimerización y Laminación. La siguiente figura 4.12 entrega un resumen de los tipos de impresión 3D y materiales que existen.

Los principales elementos fabricados con esta tecnología en la construcción son: hormigón, cerámica y materiales a base de polímeros. Para el funcionamiento de esta tecnología se necesita de un programa de ingeniería civil que pueda crear modelos 3D precisos y complejos, como a su vez, intercambiar datos de forma fiable y en un formato utilizable. Un ejemplo de estos programas es Allpan Engineering, el cual diseña modelos BIM 3D.

Archivo de Diseño



Tecnologías de impresión 3D

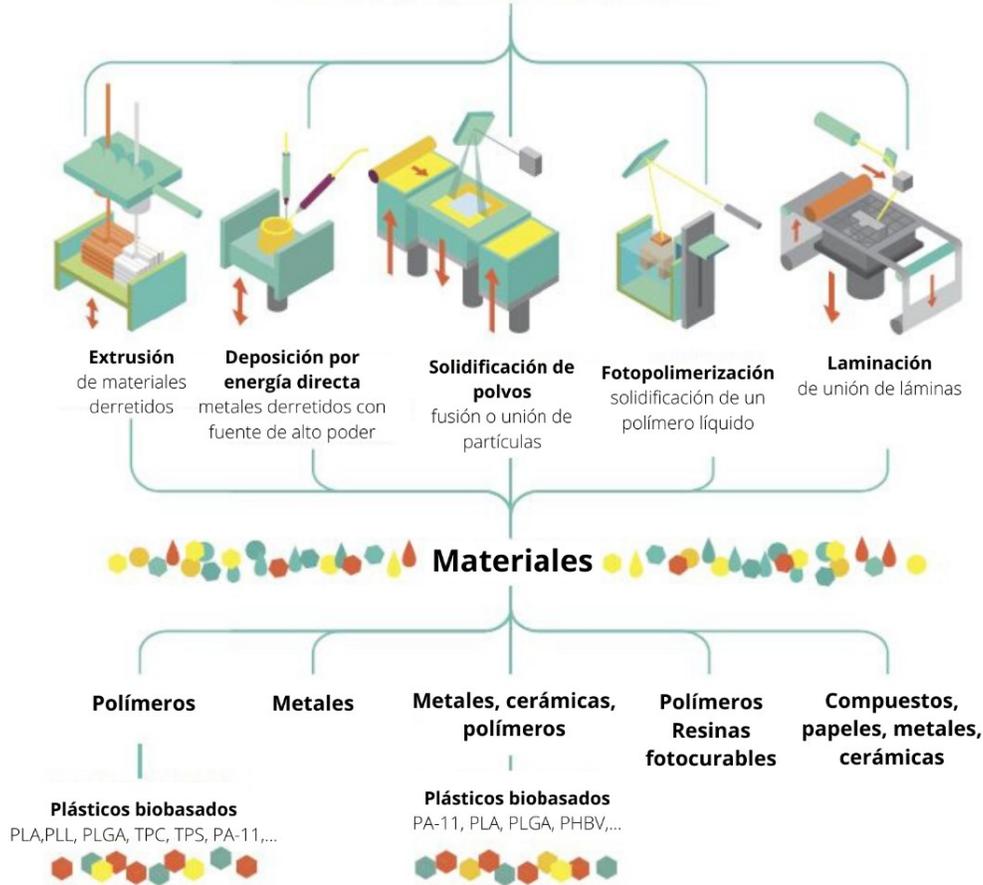


Figura 4.12: Tipos de clases y materiales de Impresión 3D. [Fuente: Fablab (s.f)]

En Chile existen laboratorios dedicados a la impresión 3D, tal es el caso de FABLAB de la Universidad de Chile. Incluso existen Seminarios que abordan este tema. Tal es el caso del seminario “Desarrollo Tecnológico en Construcción Impresa UBB” de la Universidad del Bío-Bío.

Algunos proyectos de manufacturación aditiva que se han llevado a cabo en la construcción son los siguientes:

Tabla 4.9: Proyectos de construcción llevados a cabo con impresión aditiva.

Proyecto	Descripción	Figura
Casas impresas en 3D	<p>La fabricación aditiva de casas no es algo nuevo para la construcción, este tipo de proyecto se ha llevado a cabo en varios países europeos y algunos de América. Incluso se han construido comunidades de casas de hormigón impresas en 3D, como es el caso de el proyecto Milestone en Países Bajos.</p>	
Edificios Impresos en 3D	<p>La empresa Dar Al Arkan es la responsable de construir el edificio impreso en 3D más alto del mundo en Arabia Saudí, el cuenta con 3 plantas y una altura de 9,9 m. Se tardaron solo 8 días en construir la primera planta de 130 m².</p>	
Puentes peatonales/pasarelas en 3D	<p>La fabricación de este tipo de estructuras se ha llevado a cabo en países como China, Países Bajos, España, Suiza. Se han diseñado puentes retráctil de fabricación aditiva, hormigón y acero. El primer puente de acero en el mundo es un proyecto de la empresa holandesa MX3D, mide aproximadamente 12m de largo y se encuentra en el Barrio Rojo de Ámsterdam.</p>	
Represa de hormigón impresa en 3D	<p>En China se planea la construcción de represa de hormigón masivo utilizando impresión 3D. La represa contaría con 180 metros de alto y tendría un plazo de construcción de 2 años.</p>	

4.1.1.5.2. Prefabricados

Con la ayuda de los avances tecnológicos del último tiempo, sobretodo en la industria del hormigón, tanto en métodos constructivos como en la tecnología misma del material, el hormigón se ha vuelto una alternativa más viable para todo proyecto de construcción en general, incluyendo edificaciones y minería. Es por esto que en los último años ha aumentado la adopción de tecnologías en prefabricados de hormigón. Si bien los prefabricados en construcción no son un tema nuevo en la actualidad, existe una variedad de elementos prefabricados que se utilizan en las obras: tales como columnas, escaleras de hormigón, fachadas, baños, cocinas, entre otros. También, la construcción de viviendas prefabricadas es bastante común, existiendo incluso variedades tales como edificios prefabricados de hormigón y madera. La siguiente tabla resume los principales prefabricados utilizados en construcción.

Tabla 4.10: Principales tipos de prefabricados

N°	Tipo de prefabricado	Figura
1	Baños prefabricados	
2	Escaleras de hormigón prefabricados	
3	Fachadas prefabricadas	

4	Losas de hormigón prefabricado	
5	Muros de hormigón prefabricado	
6	Casas de hormigón y madera prefabricadas	
7	Columnas de hormigón prefabricados	
8	Muros de contención	

9	Fundaciones		
10	Cámaras eléctricas		

Gracias a los múltiples beneficios que trae consigo la utilización de prefabricados, es que en ingeniería se está apuntando a disminuir los hormigones in situ (Cid Perley, s.f). El uso de prefabricados genera un importante ahorro en costos de mano de obra, dado que la dotación necesaria para la ejecución del proyecto será menor. También existe una disminución en el riesgo de accidentes. Además, al fabricar el hormigón en un lugar de ambiente controlado, se obtiene un material de mayor confiabilidad, mejores resistencias y tolerancias de fabricación, lo cual es más difícil de lograr en terreno. Por último, la siguiente tabla resume los principales beneficios de utilizar prefabricados en construcción.

Tabla 4.11: Beneficios de usar prefabricados en obra

BENEFICIOS DE UTILIZAR PREFABRICADOS EN CONSTRUCCIÓN		
1	Precisión y seguridad	Existe una exactitud y cuidado en el proceso de fabricación. Poseen una alta calidad.
2	Eficiencia y fácil instalación	Poseen una alta eficiencia energética y la instalación y montaje de los elementos prefabricados es relativamente sencilla.
3	Sostenibilidad y rentabilidad	La sostenibilidad del hormigón prefabricado es superior a otros materiales, dado que se utilizan componentes naturales como grava y arena. Además se necesitan menos materiales para su construcción y se generan menos residuos.
4	Ahorro económico	La reducción de tiempos de construcción puede ahorrar significativamente los costos de financiamiento de la construcción.
5	Flexibilidad	Se puede desmontar fácilmente y reubicar en diferentes sitios.
6	Menor tiempo de construcción	En la mayoría de casos, la prefabricación lleva menos de la mitad del tiempo en comparación con la construcción tradicional. A causa de la eliminación de factores climáticos in situ, mejor planificación y mejor programación con trabajadores y subcontratistas.

4.1.2. Recopilación de principales avances tecnológicos usados a nivel nacional

4.1.2.1. Grado de adopción de avances tecnológicos en Chile

Como se mencionó en el segundo capítulo, el nivel de adopción de transformación digital en la industria de la construcción, ha sido lento en comparación a otras industrias, siendo categorizado como “*Principiante Digital*” según su índice de transformación digital diseñado por la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) junto a PMG en 2018. Sin embargo, con el fin de aumentar la productividad, en los últimos años ha aumentado significativamente el grado de implementación de ciertas tecnologías en las construcciones chilenas.

Uno de los casos que demuestra el incremento del nivel de adopción de Transformación Digital, en las construcciones chilenas, es el aumento del uso de BIM. Si bien la idea de esta herramienta es del siglo pasado, es en el 2015 cuando se formaliza la implementación de este en Chile. La Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, de la Cámara Chilena de la Construcción, conformó BIM Forum Chile, una instancia técnica y permanente que convoca a los principales profesionales e instituciones relacionadas a Building Information Modeling (BIM) en nuestro país. Bajo este contexto, este año se realizó una encuesta nacional BIM, cuyos resultados indican que en comparación a años anteriores, la utilización de BIM en obra ha aumentado considerablemente. Además menciona que un 80 % de los encuestados son usuarios de BIM, con un 41 % del total indicando que son usuarios regulares de este, y el resto siendo usuarios ocasionales o indirectos de la tecnología. La encuesta también 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. La figura resume los principales usos que le dan a esta tecnología los ingenieros civiles.



Figura 4.13: Nivel de adopción de BIM en Chile en los últimos años. Fuente: Encuesta nacional BIM 2022 (2022).



Figura 4.14: principales usos que le dan a BIM los ingenieros civiles

No obstante, BIM no es la única herramienta de Transformación Digital que se utiliza a nivel nacional, sino que también existe una adopción en plataformas de gestión y control tales como: Drones, RA, RV, almacenamiento en la nube, Blockchain y entre otros. Bajo este contexto, PMG y la Cámara Chilena de la construcción, realizaron un estudio en 2021, donde analizaron el nivel de uso de las principales tecnologías y softwares, enfocados en construcción, existe en las obras de Chile. Las figuras 4.15 y 4.16 detallan lo mencionado anteriormente.

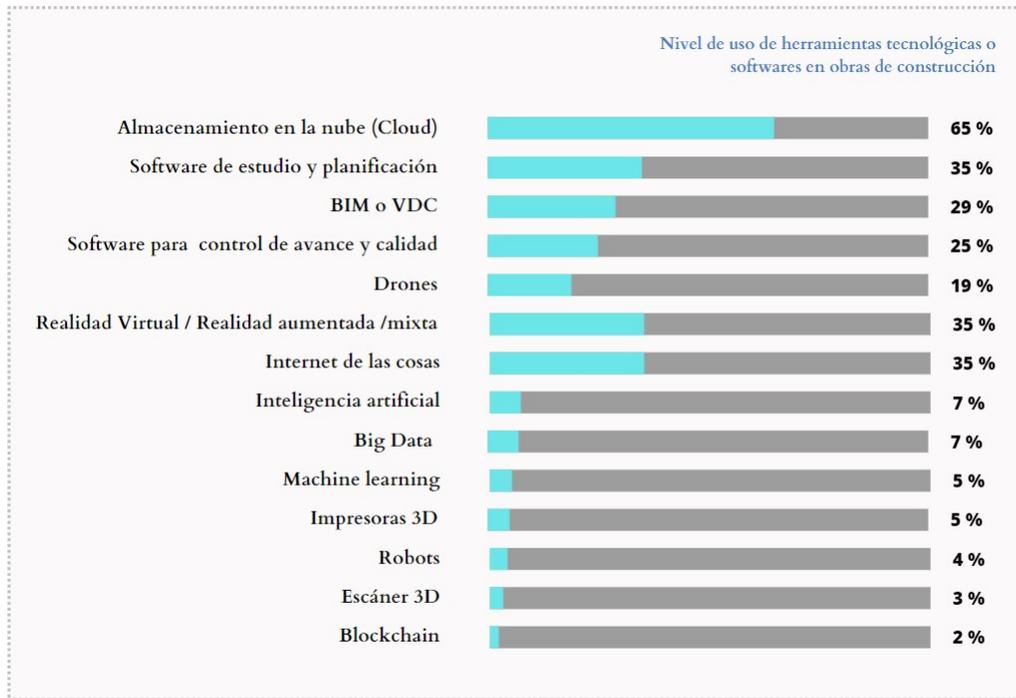


Figura 4.15: Porcentaje de uso de herramientas tecnológicas y Software en construcción. [Fuente: Elaboración propia adaptado (2022) de PMG Business Improvement (2021)]

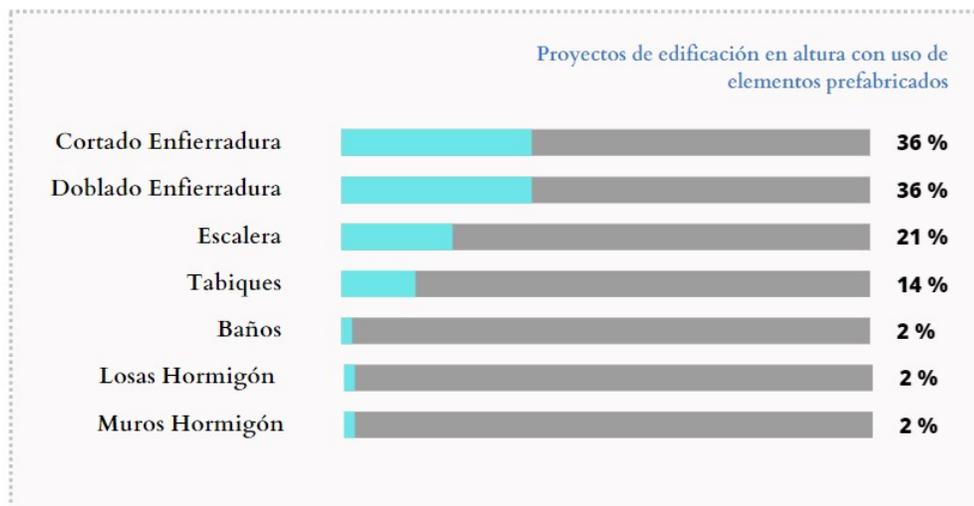


Figura 4.16: Porcentaje de uso de innovaciones en prefabricados en edificación en altura. [Fuente: Elaboración propia (2022) adaptado de Matrix Consulting (2020)].

De los gráficos anteriores, se puede inferir que el grado de implementación en algunas tecnologías sigue siendo sumamente bajo. Se deduce que solo 3 de cada 10 empresas usan tecnologías propias del sector Construcción (PMG Business Improvement, 2021).

4.1.2.2. Experiencia de empresas nacionales con uso de avances tecnológicos

Existen empresas constructoras tecnologizadas que son reconocidas nacionalmente por ser innovadoras, tal es el caso de las empresas Echeverría Izquierdo, AXIS, Siena y Codelco.

- **Echeverría Izquierdo** - *Proyecto Humana Fernández Albano y Vanguardia Vicente Huidobro* : Sus elementos de industrialización consistieron en baños prefabricados, moldajes monolíticos más hormigón autocompactante, escaleras prefabricadas y muebles modulares con dimensiones estándar.
- **Desarrollos Constructivos AXIS** - *Proyecto Altavista en Puerto Montt* : Su método constructivo contó con diversos elementos prefabricado, nuevas tecnologías digitales, productos, herramientas y equipos. También, se utilizó moldaje de aluminio manuable junto con hormigón autocompactante. Además, se utilizó una metodología BIM junto con análisis operacionales de las partidas a desarrollar para así, obtener la mejora continua y la optimización de los recursos para el aumento de la productividad. En cuanto a prefabricados se usaron ventanas instaladas, paneles de losa de metacón, cerchas prefabricadas y paneles de cubierta.
- **Siena** - *Proyecto José Ureta en La Cisterna*: Con el fin de aumentar la eficiencia, calidad y productividad de la empresa, Siena se encuentra construyendo un proyecto habitacional de 15 pisos con una solución industrializada. Utiliza baños prefabricados y un sistema de fachadas prefabricadas, las cuales se anclan mecánicamente a la estructura de hormigón existente (Ver figura 4.17 . También se utilizaron innovaciones como moldajes monolíticos (PERI UNO) y hormigón autocompactante. Por último, para controlar el avance de la obra hicieron uso de Drones.



Figura 4.17: Instalación de fachadas prefabricadas. [Fuente: CDT (2022)]

- **Codelco** - *Minera El Teniente*: La construcción minera no se queda atrás en innovaciones, este es el caso de la minería El Teniente, que para el montaje de 186 piezas prefabricadas de hormigón utilizaron un equipo robotizado que opera de forma totalmente remota, como se muestra en la figura 4.18. Esta tecnología disminuye significativamente el tiempo de construcción, puesto que el método tradicional consiste en realizar primero una perforación, luego módulos completos de enfierradura y después moldajes para instalar el hormigón. Este proceso conlleva riesgos, por lo tanto robotizar el proceso aumenta la seguridad de los trabajadores.



Figura 4.18: Montaje robotizado de muros de hormigón prefabricados en minería el Teniente. [Fuente: CDT (2022)]

En cuanto a innovaciones en materiales de construcción, Chile no se queda atrás a la hora de invertir e implementar el uso de hormigón con áridos reciclados, microaleación, aerogel, hormigón autocompactate y permeable. Además, en cuanto a carbono neutralidad, la industria chilena del cemento (ICH) y la Federación Interamericana del Cemento (FICEM) se suscribieron al programa acelerador global “Roadmap Cement and Concrete Industry for Net Zero Concrete 2050”, el cual fue impulsado por Global Cement and Concrete Association (GCCA) en 2021. Junto a esta incitativa están participando socios fundadores Cbb (Cementos Bío Bío), Melón y Polpaico BSA. Este programa tiene el compromiso de reducir los gases de efecto invernadero (GEI) y reforzar el rol del sector de la construcción para hacer frente a los efectos del cambio climático (ICH, 2022). Bajo esta misma línea, cada vez son más las empresas constructoras que implementan la transformación digital junto a la sustentabilidad, principalmente a través de un sistema de economía circular.

Por otro lado, en cuanto a maquinarias inteligentes, Echeverría Izquierdo utiliza exoesqueletos en algunas de sus obras y Socomaq es proveedor de maquinarias autónomas de demolición. También, la inmobiliaria Habita desarrolló un robot que pinta fachadas con un rendimiento de 20 m² por hora con dos pasadas.

Por otro lado, en cuanto a innovaciones de inteligencia artificial enfocado a la construcción, el Departamento de Ingeniería Civil (DIC) de la Universidad de Chile está desarrollando una red neuronal que utilizará datos e información con el fin de sugerir y predecir el diseño de muros de un edificio. Para alimentar la red debieron realizar un match entre datos de los planos de arquitectura e ingeniería, donde recopilaban datos de 165 edificios, luego introdujeron a la red neuronal (Regression Engineering Neural Estimator - RENE) la información recolectada con más de 30 variables, logrando así la predicción de espesor y largo requerido para los muros de ciertos edificios (Apablaza R, 2021).

En cuanto a metodologías de fabricación, en 2021, como parte del programa Construye 2025, la CORFO anunció que se construirían casas impresas en 3D de 120 m², que tardarían 24 horas en su procesos constructivo. Este proyecto se llevaría a cabo en 2023. Siguiendo esta misma clasificación de avances tecnológicos, existen varias empresas que están incursionando en el desarrollo de prefabricados en construcciones de minería. Por ejemplo, este es el caso de

Hormigones Grau, el cual participó en la canalización de aguas y relaves en los Pelambres, con la instalación de más de 4000 canaletas de hormigón prefabricado, siguiendo un ritmo de montaje de 30 unidades por día, lo cual es casi imposible con instalación de hormigón in situ. Además, Grau participó en la instalación de una serie de muros de contención prefabricados para Sewell. Junto a esto, para la minera los Tórtolas, está trabajando en la ingeniería de fundaciones y otros elementos prefabricados.

Por otro lado, Tensacon S.A prefabricó el sistema de túneles de stock pile para la Minera los Pelambres (Hormigón al día, 2022). Bajo esta misma línea, se está incorporando el uso de prefabricados para la extensión de la línea 3 de Metro. En este proyecto se utilizó la tecnología de Baumx del “muro doble” o “moldaje de hormigón”, para revestimientos arquitectónicos y muros de tabiques para las obras de estaciones Lo Cruzat y Plaza de Quilicura. Los tabiques utilizados contaban con un grosor de 20 centímetros y llevaban enfierradura, es por esto se prefirieron optar por un proceso industrializado en vez del método tradicional in situ. Estos muros tabiques, fueron utilizados para dividir salas de oficinas, baños u otro espacios, por lo que todos estos tenían un diseño diferente. Sin embargo, esto no fue un problema largo dado que, con la metodología BIM, se generaron de forma muy rápida los planos para todos los muros tabiques. Otra característica de estos elementos prefabricados, es que ya venían desde fábrica con las ubicaciones determinadas para las instalaciones eléctricas y sanitarias. El administrador de contratos destacó que en términos de economía de plazos, la utilización de estas innovaciones generó un ahorro entre 20 % y 25 %, en comparación con los tiempos de obra in situ. Además, se obtuvieron beneficios como disminución de residuos y ahorro en recursos adicionales, dado que para el montaje solo necesitaron hacer uso de la grúa que tenían en obra. La siguiente figura muestra la instalación de los tabiques en obra.



Figura 4.19: Muros tabiques de estaciones de metro de línea 3. [Fuente: Baumax, (s.f)]

El prefabricado de pasarelas no es algo nuevo en Chile, sin embargo, se está avanzando en prefabricar las fundaciones de hormigón y la estructura metálica de la baranda y la cúpula. Incluso, la empresa Pretam, afirma que la oportunidad de prefabricar la totalidad de la pasarelas es totalmente viable, de tal forma que solo bastaría con que estuviera lista la excavación con emplantillado para montar la pasarela completamente.

Por otro lado, existe en Chile, empresas que se dedican a crear plataformas de monitoreo de obra, como es el caso de ObraLink. Esta es una empresa de tecnología cuyo propósito es enriquecer y transformar el trabajo del constructor a través de tecnologías que automatizan la recolección y procesamiento de datos en proyectos de construcción. ObraLink ayuda a automatizar y completamente el control de avance de obra, a través de la entrega de las resistencias de hormigón en miles de puntos, con el fin de reducir plazos de obra y costos. Para eso ha desarrollado ciBot, dispositivo capaz de detectar hormigones, armaduras y encofrados a causa del uso de termografía infrarroja. Gracias a esto, ObraLink, entrega la resistencia del hormigón sin necesidad de termocuplas.



Figura 4.20: Monitoreo de obra gruesa con ObraLink. [Fuente: ObraLink (2022)]

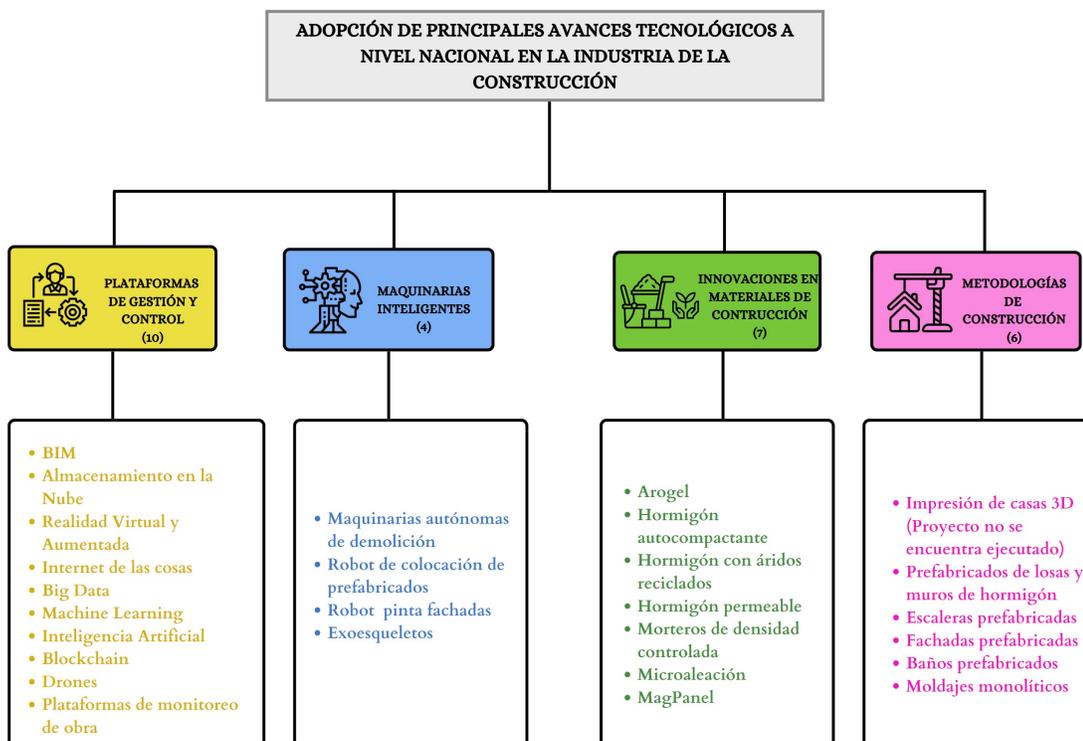


Figura 4.21: Resumen de adopción de avances tecnológicos en Chile. [Fuente: Elaboración propia (2022)]

4.2. Resultados de la Encuesta realizada a profesionales del rubro de la construcción

La encuesta se divide en 2 secciones, la primera corresponde a los datos generales del encuestado, tales como su profesión, cargo en la empresa y años de experiencia. La segunda sección compete al nivel de conocimiento que tienen los encuestado sobre los avances tecnológicos en la construcción y los principales problemas de productividad en el rubro. Como se mencionó anteriormente, la encuesta fue desarrollada por Google Form y fue difundida a través de redes sociales, tales como LinkedIn, WhatsApp, Gmail, entre otros. En el Anexo A se encuentran los detalles de cada pregunta.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al encuestar a 43 personas.

- **Pregunta 1:** ¿A cuál área industrial pertenece?

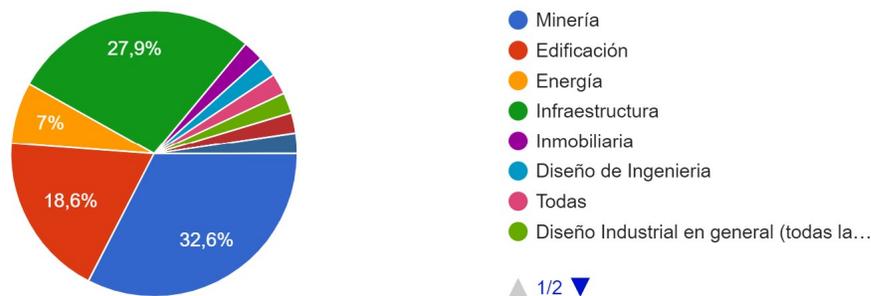


Figura 4.22: Resultado de pregunta 1. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

De la figura se puede deducir que el mayor porcentaje de los encuestados pertenecen al sector de minería, infraestructura y edificación.

- **Pregunta 2:** ¿Cuál es su profesión?

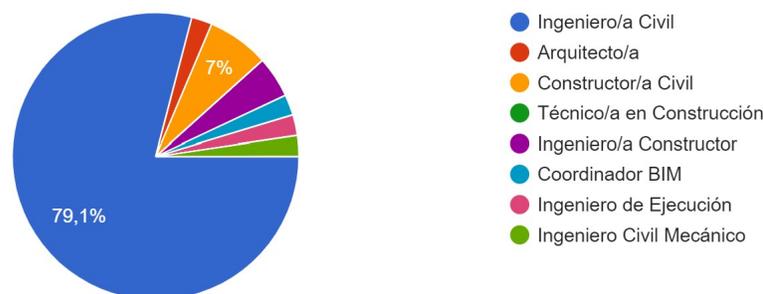


Figura 4.23: Resultado de pregunta 2. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

La gran mayoría de los encuestados son Ingenieros/as Civiles, siendo aproximadamente el 80% del universo total.

• **Pregunta 3:** ¿Cuál es su responsabilidad en la empresa?



Figura 4.24: Resultado de pregunta 3. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Los mayoría de los encuestados se dedican a estudios de proyectos, diseño y oficina técnica.

• **Pregunta 4:** ¿Cuáles son sus años de experiencia laboral?

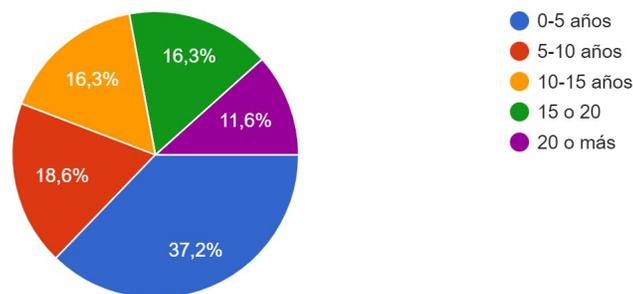


Figura 4.25: Resultado de pregunta 4. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Aproximadamente el 55% se encuentra en un rango de 0 a 10 años de experiencia profesional.

• **Pregunta 5:** ¿Cuál de estos avances tecnológicos en materiales de construcción conoce?

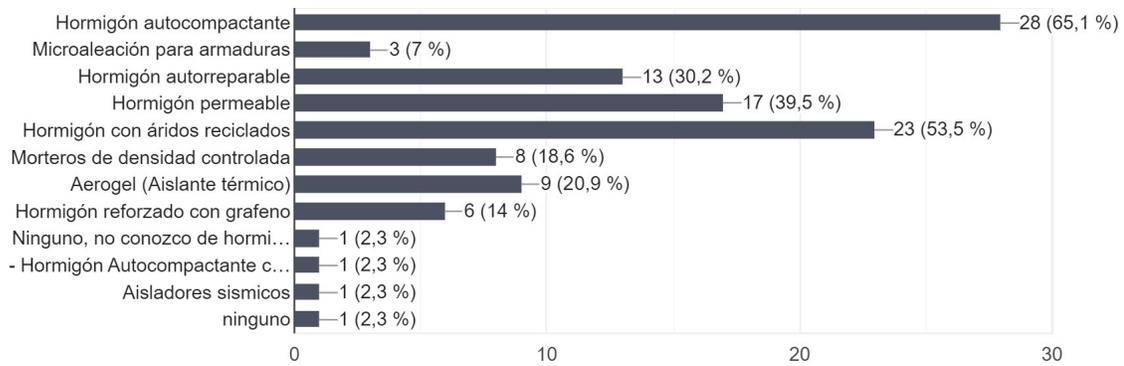


Figura 4.26: Resultado de pregunta 5. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Del gráfico anterior se puede deducir que las innovaciones enfocadas a materiales de construcción más conocidas son el hormigón autocompactante, permeable y con áridos reciclados.

• **Pregunta 6:** ¿Cuál de estos avances tecnológicos en gestión de la construcción conoce?

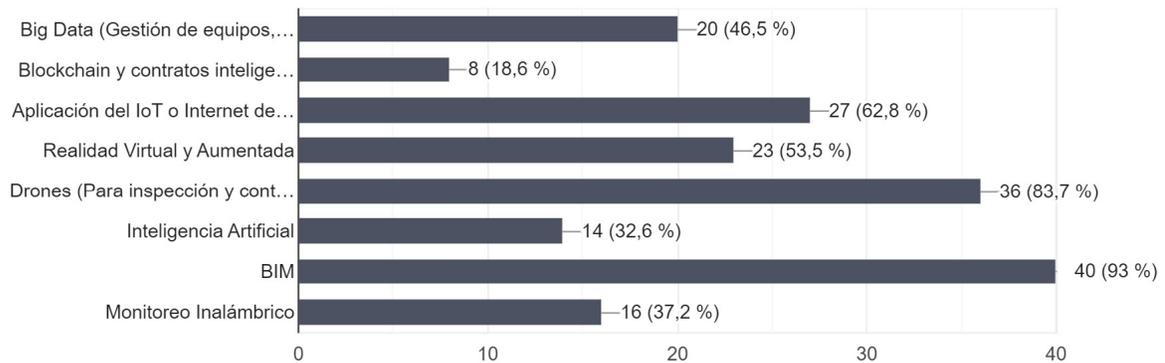


Figura 4.27: Resultado de pregunta 6. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Las tecnologías enfocadas a gestión y control más conocidas por los profesionales de la construcción son: BIM, Drones, Internet de las cosas y Realidad aumentada y virtual.

- **Pregunta 7:** ¿Cuál de estos avances tecnológicos de robótica aplicada a la construcción autónoma conoce?

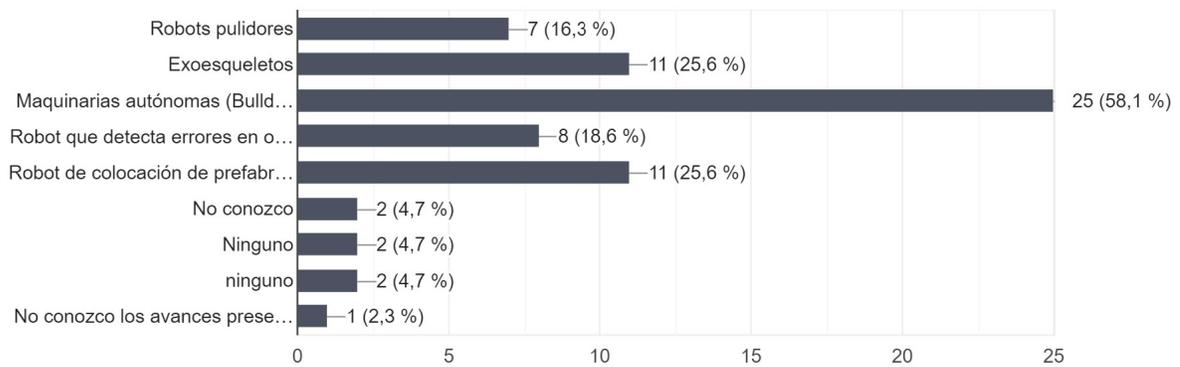


Figura 4.28: Resultado de pregunta 7. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Los avances tecnológicos de maquinarias inteligentes más conocidos son las maquinarias autónomas, como bulldozer y de demolición.

- **Pregunta 8:** ¿Cuál de estos otros avances tecnológicos en la construcción conoce?

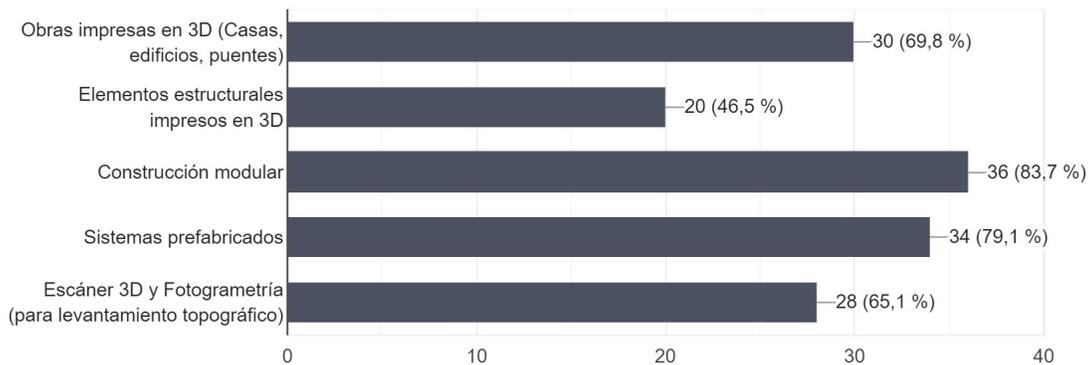


Figura 4.29: Resultado de pregunta 8. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Se puede inferir que de los avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación son en su mayoría conocidos por los profesionales, dado que, todas las opciones tienen un porcentaje cercano.

- **Pregunta 9:** ¿Cuál cree usted que son los 4 avances tecnológicos más importantes para reducir plazos?

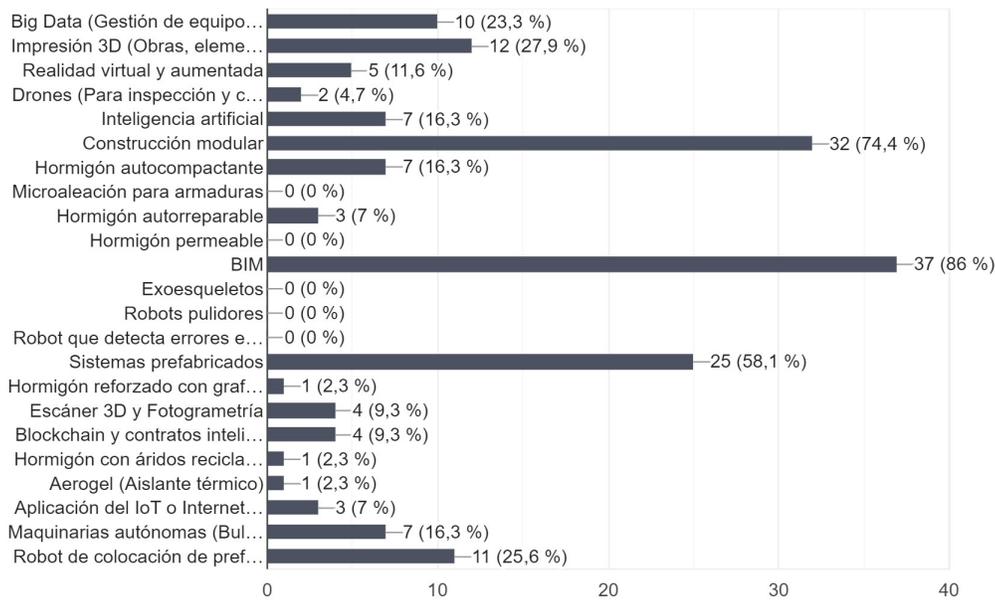


Figura 4.30: Resultado de pregunta 9. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Según los encuestados, los avances tecnológicos más relevantes a resolver problemas de plazos son BIM, construcción modular y prefabricados.

- **Pregunta 10:** ¿Cuál cree usted que son los 4 avances tecnológicos más importantes para reducir costos?

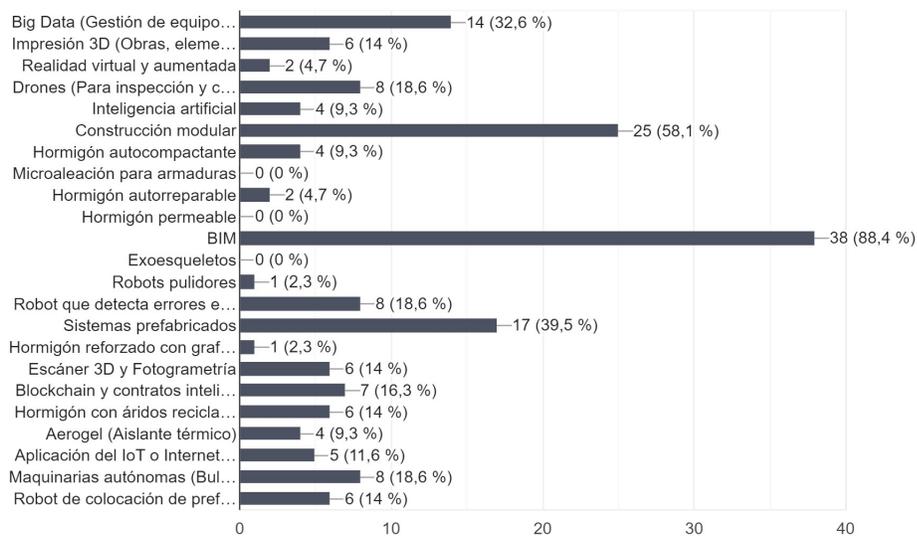


Figura 4.31: Resultado de pregunta 10. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Existe un consenso entre los profesionales de la construcción, al escoger BIM como el avance tecnológico más relevantes para reducir costos.

- **Pregunta 11:** ¿Cuál cree usted que son los 4 avances tecnológicos más importantes para reducir errores?

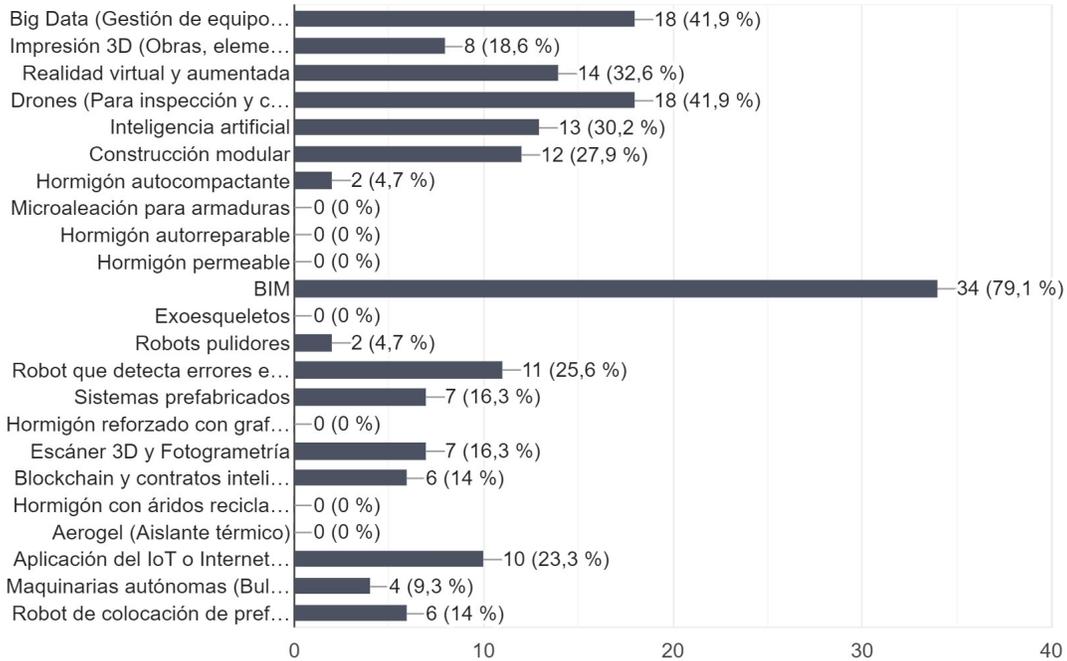


Figura 4.32: Resultado de pregunta 11. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Para reducir errores, los avances tecnológicos más relevantes son BIM, drones, Big Data y robot de inspección de obra.

- **Pregunta 12:** ¿Cuál cree usted que es el problema más relevante en la industria de la construcción?



Figura 4.33: Resultado de pregunta 12. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Los problemas más relevantes en la industria de la construcción, según los profesionales del rubor, son a causa de exceso de plazo y errores y costos, obteniendo un 39.5 %, 30.2 % y 18.6 % respectivamente.

- **Pregunta 13:** En su opinión, los avances tecnológicos en la industria de la construcción deberían desarrollarse y enfocarse principalmente a la:

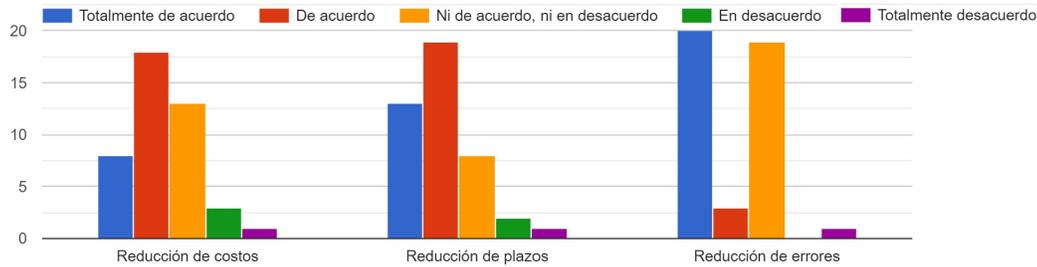


Figura 4.34: Resultado de pregunta 13. [Fuente: Elaboración propia, a través de Google Forms (2022)].

Existe un desacuerdo entre los encuestados sobre cuál debería ser el objetivo de los avances tecnológicos en la construcción. Es por esto, que para llegar a un consenso, para analizar esta pregunta se aplicará la escala de Likert. La cual se mostrará en el siguiente capítulo.

4.3. Resultados de las Entrevistas a empresas tecnologizadas

Se seleccionaron empresas líderes en innovaciones con el fin de realizar entrevistas a diferentes profesionales del área de la construcción. Par así, obtener información suficiente para realizar los análisis correspondientes. Particularmente se escogieron 3 innovaciones para ser estudiadas a través de entrevistas. Se eligió empresas constructoras que hicieran uso de drones, maquinarias inteligentes e innovaciones para el monitoreo y control de las obras. Además, se entrevistó a reconocida empresa por su alto nivel de tecnologización, con el fin de conocer su metodología de industrialización e innovaciones.

4.3.1. Experiencia de empresa Echeverria Izquierdo con utilización de Drones y plataformas de gestión y monitoreo de obra.

Echverria Izquierdo es una empresa inaugurada en 1978. Esta seorienta a ofrecer servicios de excelencia en el ámbito de la ingeniería y construcción. Su esfuerzo está enfocado en ofrecer soluciones integrales e innovadoras que agreguen valor a sus proyectos. Hasta la fecha, Echeverria Izquierdo cuenta con diferentes enfoques de trabajo, dado que se dedican a montajes industriales, edificaciones, proyectos de remediación de suelos y fundaciones especiales, inmobiliaria, soluciones industriales, ejecución de obras subterráneas y civiles para la minería. Esta empresa es catalogada nacionalmente como una de las más grandes dentro del rubro de la construcción y está constantemente siendo reconocida por sus metodologías de innovaciones.

Para estudiar el uso de Drones en obra se entrevistó a un profesional con el cargo de Ingeniero de procesos en la empresa Echeverria Izquierdo. A continuación se presenta un resumen de la entrevista realizada.

Tabla 4.12: Entrevista Drones, empresa Echeverria Izquierdo

1	Razón de uso	A cuasa de la necesidad de contar con un sistema de visualización de la obra que permita realizar distintas acciones sin tener que ir a terreno.
2	Uso/funciones	<p>Avance de obra: Se pretende poder visualizar, medir y verificar el avance de obra, permitiendo comparar el avance registrado del modelo con lo reportado. Además, dejar un registro histórico del avance de la obra disponible en una plataforma en línea.</p> <p>Inspección: Con los modelos disponibles en la plataforma, cualquier interesado de oficina técnica podrá revisar el estado de la obra y su condición en el momento del levantamiento fotogramétrico. Permitiendo liberar recursos de traslado, antes comprometidos para el traslado a terreno.</p> <p>Izajes: El departamento de izajes utilizará el modelo fotogramétrico para superponer el montaje sobre la superficie generada tras el proceso fotogramétrico, de esta forma identificar posibles conflictos o interferencias entre el montaje y el terreno.</p>
3	Beneficios	<p>Permite realizar el trabajo en un ambiente más seguro y controlado.</p> <p>Registro histórico de la construcción a través de imágenes, ortomosaicos y modelos 3D.</p> <p>Es posible anteponerse a distintas situaciones en terreno.</p> <p>Ahorro en horas hombres.</p> <p>Ahorro en transporte.</p>
4	Ahorros asociados	<p>En avance de obra se ahorra 20hh por turno.</p> <p>En inspección de obra se ahorran 18hh por turno.</p> <p>En izaje se ahorran 15hh por turno.</p> <p>Existen ahorros en costos asociados a la disminución de las hh, los recursos requeridos para el transporte de material y trabajadores.</p>

También, se entrevistó a otro profesional de la empresa para conocer su experiencia utilizando plataformas de monitoreo de obra como ObraLink. La siguiente tabla resume los principales temas tratados.

Tabla 4.13: Entrevista a empresa Echeverría Izquierdo, plataformas de monitoreo de obra. [Elaboración propia (2022)]

1	Razón de uso	Dentro del rubro de la construcción no se tiene un registro continuo del tiempo real de madurez del hormigón, dado que los ensayos se realizan, por parte de la hormigera, bajo condiciones ambientales controladas. Sin embargo, es muy común que dependiendo de las condiciones climáticas, el hormigón alcanza su madurez en un tiempo diferente al entregado por la hormigonera. Esta situación trae consigo, pérdida de días productivos y posibles deformaciones en losas si es que se desmolda el hormigón tempranamente, lo que implica un costo de aproximadamente 140 UF. Solucionar este problema fue la principal razón de comenzar a utilizar ObraLink en las obras.
2	Uso/funciones	En un inicio se partió desde una idea muy conceptual. Con una cámara infrarroja, denominada CiBot, lograban medir el avance de la obra gruesa por medio de imágenes con sensores led. A su vez, median la madurez del hormigón por medio de la cámara térmica en vez de instalar termocuplas cada cierta distancia.
3	Beneficios	Tener información en tiempo real de la madurez del hormigón. Disminución de la probabilidad de deformación de losas. Ahorro de personal al no necesitar termocuplas. Ahorro de tiempo al no tener la necesidad de cubicar al avance diario de la obra.
4	Ahorros asociados	Existen ahorros de hh al no necesitar trabajadores cubicando y no utilizar termocuplas. El ahorro de hh, involucra ahorro en tiempo y costo económico. Además, disminuye la probabilidad de errores por lo tanto también existe un ahorro económico por arreglo de errores.

4.3.2. Experiencia de empresa Socomaq con uso de Maquinarias inteligentes (Robot de demolición)

Socomaq es una empresa que nace bajo la necesidad de mejorar la productividad en el rubro de la construcción, como proveedor especialista de equipos y maquinaria para la construcción en hormigón, demolición tecnificada y recuperación de estructuras y superficies dañadas. Son proveedores de varias marcas de maquinarias, pero en particular, son proveedores de maquinarias de demolición robotizada Brokk. Estos robot son vendidos o arrendados a empresas de construcción y en un mayor porcentaje a la industria de construcción minera.

En esta oportunidad se entrevistó a un profesional de la empresa con el fin de obtener información sobre los rendimientos, beneficios y comparación de la maquinaria con los métodos tradicionales.

Tabla 4.14: Entrevista a empresa Socomaq por maquinaria de demolición Brokk. [Elaboración propia (2022)]

1	Razón de uso	Motivar a las empresas a aumentar la transformación digital y revertir el rechazo que tiene la construcción chilena al cambio.
2	Uso/funciones	Principalmente se usa para la demolición. Trabajan con un rendimiento super alto y con una potencia que se concentra en un solo punto. Pueden demoler hormigón, madera y arboles, extraer material. Estas maquinarias pueden golpear y triturar en 270 grados verticalmente y puede mover el martillo/trituradora 180 grados horizontalmente. Sus mayores usos son en la industria de la minería.
3	Comparación con método tradicional	Las maquinarias de demolición sacan de 2 a 4 cubos por hora, mientras que en con le método tradicional se alcanza aproximadamente 0,5 cubo por día con 7 trabajadores. Es hasta 4-5 veces más potente que una excavadora equivalente. Es 10 veces más rápido que un martillo neumático. Tiene 3 veces más la precisión que una excavadora / minicargadora. Vida útil excepcionalmente larga en ra con la excavadora /minicargadora. 0,5 del costo de una excavadora en términos de costos de transporte, funcionamiento y configuración debido al tamaño más pequeño. Sin humos de diésel (en nuestras versiones eléctricas). Opción de demolición silenciosa. Clara visibilidad del punto de impacto.

4	Beneficios	<p>Aumenta la seguridad en obra, puesto que reduce el porcentaje de accidentabilidad en un 90 %, el margen de ese 10 % solo sería en el caso de que se contara con un operador no adecuado. Además, poseen una mejor visibilidad y evita los impactos de paradas y tiempos de inactividad relacionados con accidentes.</p> <p>Reduce de forma significativa la reducción de mano de obra, dado que con la maquinaria de demolición solo se necesitan 4 trabajadores al mes, mientras que con el método tradicional se necesitan 20 trabajadores para igual el trabajo de la maquina.</p> <p>Reduce los plazos a causa de la disminución de errores.</p> <p>Aumenta la calidad, ya que son maquinarias muy precisas que solo trabajan en el punto donde se han programado.</p> <p>Es amigable con el medio ambiente, dado que utiliza Cizalla de Hormigón para demoliciones silenciosas mientras mantiene un alto rendimiento</p>
5	Ahorro asociados	<p>la máquina Brokk no solo es más económica para realizar los trabajos estándar, sino que también puede asumir los trabajos más duros que la excavadora no puede realizar. Estos trabajos le permitirán ganar aún más dinero porque hay una competencia de precios significativamente menor para ellos.</p> <p>Cuesta hasta 12 veces menos demoler 1 m3.</p> <p>La maquinaria no se fatiga ni descansa por lo tanto existe un ahorro en costos en disminución de trabajadores. Una máquina Brokk normalmente puede reemplazar a 10 trabajadores cuando se trata de fuerza de demolición. La máquina Brokk puede demoler horizontalmente y también en lugares altos, donde sería casi imposible que la mano de obra hiciera el trabajo.</p>

4.3.3. Metodología de Industrialización y experiencia con innovaciones de empresa Desarrollos Constructivos Axis

La empresa Desarrollos Constructivos AXIS es una empresa constructora reconocida por desarrollar una serie de iniciativas que están en el camino de la Gestión de la Innovación. Logrando en el 2020 obtener el 1er lugar en el Ranking de las Empresas más Innovadoras de la industria en el sector de la Ingeniería y Construcción. Tiene como objetivo lograr un flujo continuo y rítmico en los procesos, incorporando diversos elementos prefabricados, nuevas tecnologías digitales, metodología BIM, nuevos productos, herramientas y equipos, junto con análisis operacionales de las partidas a desarrollar para obtener la mejora continua y la optimización de los recursos para el aumento de la productividad.

En esta ocasión fue entrevistado el encargado de innovaciones de la empresa, con el fin de conocer su metodología de industrialización y el tipo de innovaciones que utilizan en sus obras, las cuales se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4.15: Entrevista a empresa Desarrollos Constructivos AXIS. [Elaboración propia (2022)]

1	Datos generales de la empresa	AXIS es una empresa constructora inaugurada en 1989 y como dice el nombre, se destaca en desarrollar métodos constructivos innovadores. Vemos el concepto de industrialización no solo incorporando elementos prefabricados, sino que tratamos de utilizar sistemas como Last Planner, BIM, Lean y trabajo colaborativo.
2	Metodología de Industrialización	Nuestra metodología fue creada en conjunto entre el equipo de innovación y de obra. Ha sido utilizada en el diseño y desde que llega el proyecto. Fue desarrollada en pandemia con la motivación de los grandes atrasos que se tenía en los proyectos. Está basada en Design Thinking, la cual es una herramienta de innovación que tiene 5 procesos: Empatizar, Definir, Idear, Prototipar y Testear. Nuestra metodología de Industrialización cuenta con 12 pasos que van desde la Revisión de procesos del proyecto hasta la evaluación de resultados. En conjunto estos 12 pasos logran una evaluación y análisis de procesos, diseño de procesos de industrialización y puesta en marcha y análisis de resultados (Ver figura 4.35).
3	Proceso de selección de procesos a industrializar	Para encontrar los procesos con mayor potencial a industrializar contamos con una metodología de análisis de 5 pasos. Donde se evalúa que tan repetitiva es una actividad, el nivel de artesanía, qué tan riesgoso es llevar a cabo la actividad de manera tradicional, cantidad de mano de obra y hh que requiere y la precisión en la ejecución. Luego de analizar esto se obtiene in % de procesos industrializable, que mientras más alto sea el porcentaje es porque más urgente se necesita industrializar dicho procesos (Ver figura 4.36).
4	Innovaciones utilizadas	Utilizamos una serie innovaciones en prefabricados y construcción modular. También hacemos uso de hormigón autocompactante, reforzado con fibras y pintura con poliestireno circular (Polistirec). Además, trabajamos con la transformación digital, por ejemplo BIM 360, tecnologías para el control de personas y para calidad utilizamos Calidad Cloud.

5	Innovaciones en prefabricados	Baños prefabricados	Desde el 2012 que utilizamos baños prefabricados en las obras y hasta la fecha hemos instalado aproximadamente 1200 baños. Instalar un baño con el método tradicional in situ, con lleva un total de 60 pasos, tardando hasta 1 mes en total. En comparación aproximadamente 1 día de trabajo con los prefabricados.
		Cerchas prefabricadas	Estas son construidas en un taller centralizado de prefabricados (TCP) el cual es una fabrica propia de AXIS.
		Enfierradura prearmada de losa	Prearmamos la malla de enfierradura de losa, la cual ya viene con la instalaciones eléctricas hechas, por lo tanto el tiempo de montaje es de aproximadamente 15 minutos. Otra ventaja de esto es que se prearma en lugar controlado, lo que genera un gran ventaja sobre las variables climáticas. 
		Escaleras de hormigón prefabricadas	El montaje de una escalera prefabricada tarda solo 30 minutos, por el contrario al método tradicional (incluyendo montaje, enfierradura y hormigón) el lleva mínimo 2 días de instalación. Luego, el tiempo que tarda el hormigonado para completar el monolítico del sistema tarda aproximadamente 1 horas, por lo tanto la instalación completa de una escalera de hormigón prefabricada es de 1,5 hora. 
		Muros de contención prefabricados en situ	La mayor ventaja de esto es que no se debe esperar los tiempos de fraguado y que el hormigón obtenga su resistencia, por lo tanto al otro día de instalación ya se puede comenzar a rellenar. 
		Muro y losas prefabricadas	La losa y muros de una casa puede estar instalada en 1 día cada una. 

6	Beneficios de la industrialización	<p>La innovación trae consigo muchas ventajas, algunas de ellas son:</p> <p>Reducción de plazos</p> <p>Aumento en la seguridad, ya que reduce la incertidumbre de los procesos.</p> <p>Reducción de errores, por ejemplo la instalación de un baño in situ requiere de varias especialidades y si llega a fallar 1 de ellos, se atrasa todo el proyecto.</p> <p>Aumento de la calidad, dado que se realiza todo en ambiente controlado.</p> <p>Reducción de residuos</p> <p>Reducción de costos y menor pérdida de materiales</p> <p>Reducción de mano de obra, lo cual es muy beneficioso dado que la escasez de trabajadores es un gran problema que está sufriendo la construcción chilena en los últimos años.</p>
7	Mayor impacto de la industrialización	<p>El beneficio que tiene un mayor impacto es en la significativa reducción de plazos del proyecto, lo que genera consigo un aumento en la productividad de las obras.</p>
8	Otra iniciativa de la empresa	<p>La reducción de residuos es muy importante para la empresa, dado que AXIS complementa la innovación con economía circular en la construcción. Estamos realizando y estudiando varias iniciativas que forman parte de la economía circular.</p>

METODOLOGÍA INDUSTRIALIZACIÓN AXIS

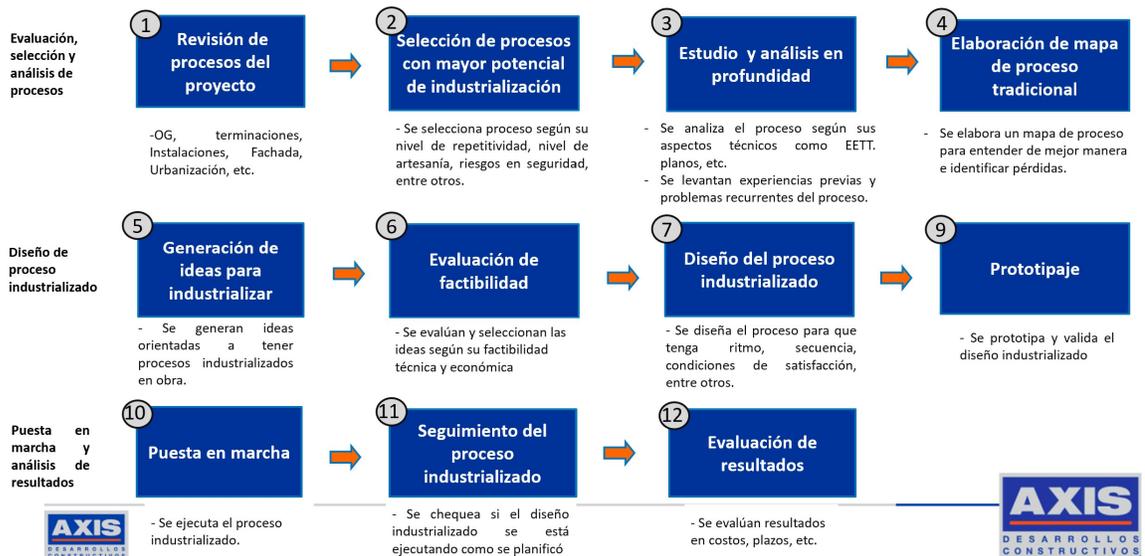


Figura 4.35: Esquema de metodología de Industrialización de AXIS. [Fuente: Gentileza de Desarrollos constructivos AXIS]

Selección de procesos con mayor potencial de industrialización



Luego de analizar estos 5 aspectos, se obtiene un % de proceso industrializable:

Indicador de proceso industrializable	88%
Puntaje obtenido	44
Puntaje máximo	50

Figura 4.36: Procesos Industrializable de AXIS. [Fuente: Gentileza de Desarrollos constructivos AXIS]

Capítulo 5

Análisis cualitativo del impacto de los avances tecnológicos en la construcción

5.1. Análisis e interpretación de datos cualitativos: Revisión bibliográfica y entrevistas

Para analizar de forma cualitativa los avances tecnológicos se utilizarán los indicadores de impacto entregados en el capítulo 3. Es importante mencionar que para generar este análisis de beneficios cualitativos se utilizará la información obtenida en la revisión bibliográfica y entrevistas, dado que el análisis de las encuestas se hará en la próxima sección. Los indicadores de impacto se evaluarán utilizando una escala de grado de valoración de los beneficios encontrados. La escala a utilizar es la siguiente:

- “**Alto**”: Si los beneficios generan un impacto significativo en el **resultado final** del proyecto o si involucran a más de un área del proyecto o también si existen varios beneficios en un solo indicador. Por ejemplo, si genera un porcentaje de reducción alto de mano de obra y a su vez esto disminuye los costos y plazos total del proyecto.
- “**Medio**”: Se evaluará con este grado cuando el beneficio genera un gran impacto en un área del proyecto. Sin embargo, no alcanza a generar un alto cambio en el resultado total del proyecto.
- “**Bajo**”: El impacto será bajo cuando se generen pocas ventajas al utilizar dicha tecnología y además se produce en una etapa puntual del proyecto.

La siguiente figura resume la metodología y herramientas utilizadas para generar el análisis cualitativos de los beneficios de los avances tecnológicos.

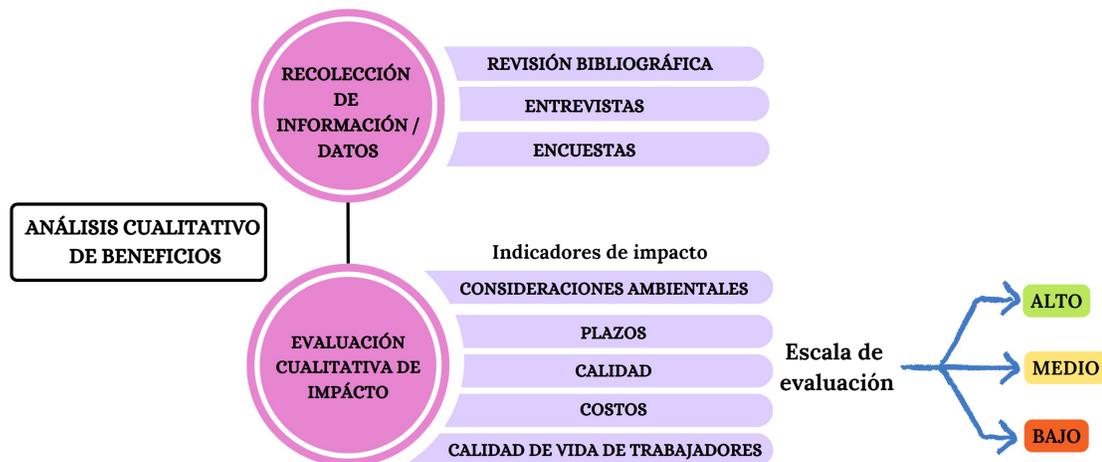


Figura 5.1: Herramientas utilizadas para el análisis cualitativo. [Fuente: elaboración propia (2022)]

5.1.1. Beneficios cualitativos de avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación

Como se mencionó anteriormente, se evaluarán de forma cualitativa los indicadores de impacto según sus beneficios encontrados. A continuación se presenta la siguiente tabla donde se analizan de forma cualitativa los avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación.

Tabla 5.1: Beneficios cualitativos de avances tecnológicos enfocados a metodologías de fabricación. [Elaboración propia (2022)]

Nº	Avance Tecnológico	Costo	Plazo	Calidad	Consideraciones ambientales	Calidad de vida de los trabajadores
		Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
1	Elementos estructurales / Casas / Edificios / Puentes / Fundaciones masivas / represas de hormigón impresos en 3D	Reducción en costos de materiales de construcción. Disminución de gastos en mano de obra. Ahorro económico del proyecto en total al disminuir el tiempo de construcción de este.	El mayor impacto de esta tecnología se produce en la gran reducción de tiempos de construcción. Reemplaza una gran cantidad de variables, especialidades y trabajo humano por una maquinaria de fabricación aditiva. Se puede llegar a reducir los tiempos de fabricación en más de un 50 %.	Existe una significativa reducción de errores, al reemplazar el trabajo humano por maquinarias inteligentes que producen un trabajo preciso y exactamente igual a lo programado.	Fabricación de estructuras más ligeras, lo que permite una reducción de materiales y residuos de construcción.	Reemplaza la construcción en terreno por programación e inspección en oficinas con ambientes controlados.
		Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
4	Elementos prefabricados	Ahorros económicos producidos por la reducción de tiempos de construcción y mano de obra.	Requieren un menor tiempos de fabricación. Mayor velocidad de ejecución. Mejor planificación y programación del proyecto.	Exactitud y cuidado en el procesos de fabricación. Disminución de errores al evitar la construcción in situ y reemplazarla por lugares de ambiente controlado.	Reducción de materiales de construcción por lo que se genera una menor cantidad de residuos.	La flexibilidad de montaje de los elementos prefabricados, facilita y alivia el trabajo.

5.1.2. Beneficios cualitativos de avances tecnológicos de plataformas de gestión y control

De igual forma que en la sección anterior, la siguiente tabla entrega el análisis cualitativo de los avance tecnológicos de plataforma de gestión y control.

Tabla 5.2: Beneficios cualitativos de avances tecnológicos de plataformas de gestión y control. [Elaboración propia (2022)]

Nº	Avance Tecnológico	Costo	Plazo	Calidad	Consideraciones ambientales	Calidad de vida de los trabajadores
		Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
1	Big Data	Existe una mejora en la eficiencia de los proyectos, por lo cual disminuyen los costos al reducir los plazos del proyecto.	Velocidad en la toma de decisiones. Permite generar planes estratégicos inteligentes Marketing. Acelera la velocidad con la que se desarrolla un proyecto, disminuyendo el tiempo de este.	Vinculación con los clientes: permite obtener datos de nivel de satisfacción de los clientes y sus necesidades, con lo que se puede establecer un sistema enfocado en el cliente.	Al ser una herramienta de análisis de datos a gran escala, permite democratizar el acceso a la información en temas ambientales.	Mejora en la toma de decisiones del equipo de trabajo
		Alto	Alto	Medio	Bajo	Medio
2	Blockchain y contratos inteligentes	Reduce los costes administrativos.	Agiliza la cadena de suministros. Aumenta la velocidad en el proceso de toma de decisiones.	Mayor gestión de la información.	Disminución de residuos al eliminar papeleo voluminoso.	Al implicar un vínculo entre las empresas y agentes, se genera una mayor confianza y certidumbre entre ambas partes. Simplifica el trabajo de pagos.
		Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
3	Realidad Virtual y Aumentada	Se evitan los costos de transporte para planificar actividades en tiempo real Disminución de costos por trabajos rehechos	Disminuyen notablemente los plazos al permitir detectar errores de forma temprana. Mejora la gestión del proyecto y el trabajo en equipo, lo que permite optimizar las distintas partes involucradas. La planificación logística de un proyecto es más eficiente lo que reduce los plazos de este.	Disminución de errores en el proyecto Detección temprana de errores Evita la producción de productos o proyectos no conformes	Disminución de la huella de carbono y recursos utilizados al tener la necesidad de viajar a planificar actividades del mundo real	Permite un mejor trabajo en equipo, más efectivo y altamente colaborativo. Permite a los trabajadores estar en un ambiente de trabajo más óptimo, dado que no es necesario que todos los miembros de un proyecto estén físicamente presente.
		Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
4	BIM	Permite estimar costes basados en modelos. Mitiga los costos de errores.	Mejora en la programación del proyecto, lo que elimina los contratiempos del cronograma, disminuyendo los plazos totales.	Detección temprana de errores y peligros en etapa de preconstrucción.	Creación del Green Bim: proporcionar datos de BIM para la evaluación del rendimiento energético y sostenibilidad, minimizando el impacto en el medio ambiente en las construcciones y a lo largo del ciclo de vida del proyecto.	Mayor colaboración y comunicación entre los trabajadores.
		Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
5	Inteligencia Artificial (IA)	Previene los sobrecostos. Disminución de costos por trabajo rehecho.	Al mitigar los errores, se genera una disminución en el plazo del proyecto total.	Mejora el diseño de proyectos a través de un diseño generativo. Existe una mitigación en los riesgos y errores del proyecto.	Facilita el análisis medioambiental. Permite incorporar la sostenibilidad en los diseños de los proyectos, gracias a la variedad de elementos y sistemas inteligentes que se pueden aplicar a las construcciones, como por ejemplo; sistemas inteligentes de iluminación y agua.	Permite reemplazar tareas en terreno por oficina, lo que genera un ambiente de trabajo más controlado. Aumenta la seguridad de los trabajadores al reemplazar tareas y mitigar los riesgos de accidentes.

5.1.3. Beneficios cualitativos de avances tecnológicos en maquinarias inteligentes

De forma análoga a las otras clasificaciones de avances tecnológicos, la siguiente tabla entrega el análisis cualitativo de los avances tecnológicos en maquinarias inteligentes en construcción.

Tabla 5.3: Beneficios cualitativos de avances tecnológicos en maquinarias inteligentes. [Elaboración propia (2022)]

Nº	Avance Tecnológico	Costo	Plazo	Calidad	Consideraciones ambientales	Calidad de vida de los trabajadores
		Medio	Medio	Alto	Bajo	Medio
1	Robot pulidores	Disminuye un porcentaje significativo los costos de construcción: Reduce la mano de obra y errores.	Disminuyen los tiempos de construcción, al reemplazar una gran cantidad de horas hombre.	Determina el nivel de dureza y desnivel del hormigón de forma prolija, aumentando la calidad de estos.	Reducción de energía y recursos utilizados con los métodos tradicionales.	Reemplaza el trabajo en terreno, por inspección en oficinas.
		Medio	Alto	Alto	-	Alto
2	Exoesqueletos	Mitigación de costes en accidentes y enfermedades laborales. Reducción de costos en mano de obra. Reducción de costos en el proyecto final, debido a la reducción del tiempo de este.	Al facilitar el trabajo físico, aumenta la productividad de las tareas, a través de la reducción de plazos.	Aumenta la calidad del trabajo, al reducir el esfuerzo físico y se reducen los errores y riesgos laborales.	No hay información	Reduce notablemente la carga de trabajo físico de los trabajadores, disminuyendo accidentes y enfermedades laborales.
		Alto	Alto	Alto	-	Medio
3	Robot de inspección de obra y detector de errores	Se reducen los costos de trabajos rehechos y mano de obra.	Reducción de tiempos del proyecto debido a la detección temprana de errores en obra y elimina los contratiempos.	Aumenta de forma significativa la calidad de las tareas, debido a la detección en tiempo real de los errores.	No hay información	Reemplaza el trabajo en terreno, por inspección en oficinas, permitiendo al trabajador estar en un ambiente de trabajo más controlado.
		Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto
4	Robot autónomos de demolición, bulldozer y colocación de prefabricados	Reducción de costos por trabajo no conformes. Disminución de costes de mano de obra. Reducción de costos al disminuir el tiempo del proyecto.	Se reducen los tiempos de las tareas al ser maquinarias que realizan largas horas de trabajo continuo. Disminuyen los plazos a causa de la eliminación de errores y contratiempos.	Aumenta la calidad de las tareas, dado que las maquinarias realizan un trabajo preciso y prolijo. Disminuyen los errores humanos al ser reemplazadas por maquinarias inteligentes.	Disminución del ruido de construcción.	Aumenta la seguridad de los trabajadores, dado que les ahorra realizar tareas en lugares peligrosos. Permite estar en un ambiente más controlado inspeccionando las actividades del robot.
		Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto
6	Drones	Ahorro en costos de mano de obra. Disminución de costes de errores en obra. Reducción de costos en estudios de terreno y topografía.	Disminuyen los plazos a causa de la mitigación de contratiempos.	Aumenta la calidad de las tareas e inspección de obra, dado que pueden alcanzar puntos difíciles o a grandes alturas que son inalcanzables para el humano. Se pueden detectar errores y problemas en tiempo real.	El seguimiento en tiempo real muestra la trazabilidad entera de la obra y el estudio del impacto ambiental.	Reemplaza las tareas en terreno por inspección en oficina, mejorando el ambiente laboral de los trabajadores. Evita poner en riesgo a los operarios al acceder a zonas peligrosas o difíciles de inspeccionar.

5.1.4. Beneficios cualitativos de innovaciones en materiales de construcción

Por último, la siguiente tabla representa el análisis cualitativo de innovaciones en materiales de construcción.

Tabla 5.4: Análisis cualitativo de innovaciones en materiales de construcción.
[Elaboración propia (2022)]

Nº	Avance Tecnológico	Costo	Plazo	Calidad	Consideraciones ambientales	Calidad de vida de los trabajadores
		Medio	-	Medio	Alto	-
1	Hormigón con áridos reciclados	Ahorro en los costos de transporte. Más económico que el hormigón tradicional	No hay información	La calidad aumenta solo en las fracciones gruesas. Alcanzan niveles de compactación más eficientes.	Disminución de la explotación de recursos naturales. Reducción significativa de residuos sólidos. Reducción de CO2 y revalorización energética de residuos.	No hay información
		Alto	Alto	Medio	Bajo	Medio
2	Hormigón auto-compactante	Ahorro en costos de personal y equipos.	Ahorro en tiempo de hormigonado y compactación de este. Acelera los horarios de los proyectos.	Poseen una fluidez mayor a la del hormigón tradicional. Alta resistencia temprana. Minimiza necesidades de reparación de elementos revestidos.	Reducción de ruido.	Les facilita el trabajo de hormigonado y les ahorra el de compactación.
		Medio	Bajo	Medio	Medio	Bajo
3	Microaleación	Ahorro en gastos de material. Disminución de costos en mano de obra.	Disminución en tiempos de usos de grúas.	Mayor resistencia y ductilidad.	Reducción de material utilizado en obra. Disminución de la huella de carbono en la obra.	Ahorro en tareas.
		Medio	Medio	Alto	Medio	-
4	Hormigón auto-reparable	Ahorro en costos de transporte.	Disminución en tiempos de reparación	Aumento en la vida útil del material. Mayor resistencia a ambientes climatológicos adversos. Mayor resistencia al fuego.	Hormigón completamente reciclable. Disminución de huella de carbono	No hay información
		Medio	-	Alto	Alto	-
5	Hormigón permeable	Disminución de costos de obra, dado que no se deben construir canaletas o galerías pluviales. Reducción en costos de mantenimiento.	No hay información	Mitigación de inundaciones. Alta resistencia	Reducción de contaminación. Restauración del ciclo natural del agua.	No hay información
		Medio	Medio	Medio	Medio	-
5	Hormigón flexible	Reducción en costos de material al reducir significativa del espesor de losa.	Ahorro en tiempos de trabajo in situ.	Proporciona una superficie antideslizante, no necesita recubrimiento.	Disminución de residuos al necesitar una menor cantidad de material en obra.	No hay información

5.2. Análisis Cualitativo de la encuesta

De la encuesta principalmente se puede analizar que existe un gran desconocimiento de los diferentes tipos de innovaciones que existen en la actualidad en las construcciones. Esto se puede ver claramente en las preguntas 5, 6, 7 y 8 (Ver figuras 4.26, 4.27, 4.28 y 4.29 respectivamente). Lo cual se debe principalmente a la desinformación y poco interés por la implementación de innovaciones en las construcciones chilenas. Los profesionales de la construcción están conscientes del problema de productividad que vive hace años la industria de la construcción en Chile. Incluso, existe un consenso entre los encuestados sobre que los problemas más relevantes en el rubro son los problemas de plazos y a causa de excesos de errores. En un menor porcentaje, pero no despreciable, los problemas en la construcción son también debido a un exceso de costos en los proyectos. Esto se puede comprobar con la pregunta 12 de la encuesta (Ver figura 4.33).

Por otro lado, analizando las preguntas 9, 10 y 11 (Ver figuras 4.30, 4.31 y 4.33), no es sorpresa que los avances tecnológicos más relevantes para solucionar los problemas de errores, costos y plazos, sean los más conocidos o aplicados en las construcciones nacionales, debido a la desinformación mencionada anteriormente. Sin embargo, tomando en cuenta la opinión de los encuestados, los avances tecnológicos e innovaciones que tienen un mayor impacto en la productividad son los entregados en la siguiente tabla.

Tabla 5.5: Avances tecnológicos con mayor impacto en costos, plazos y errores.

Solución a problemas de	Avances Tecnológicos
Reducción de plazos	1 BIM
	2 Construcción modular y prefabricados
	3 Impresión 3D
	4 Inteligencia Artificial
	5 Hormigón autocompactante
	6 Maquinarias inteligentes (robots)
Reducción de costos	1 BIM
	2 Construcción modular y prefabricados
	3 Big Data
	4 Drones
	5 Maquinarias Autónomas
Reducción de errores	1 BIM
	2 Big Data
	3 Drones
	4 Realidad Virtual y Aumentada
	5 Maquinarias inteligentes (robots)
	6 Inteligencia Artificial

Por último, en la pregunta 13 existe un desacuerdo entre los encuestados, dado que no se llega a un consenso notorio sobre cuál problema se deberían enfocar a solucionar los avances tecnológicos en la industria de la construcción. Por lo tanto, para analizar esta pregunta se utilizará la escala de Likert, para así obtener un porcentaje de prioridad del problema a solucionar.

Tabla 5.6: Puntuación para evaluar criterios de Likert

Criterio	Puntuación
Totalmente de acuerdo	5
De acuerdo	4
Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	3
En desacuerdo	2
Totalmente en desacuerdo	1

Tabla 5.7: Utilización de escala de Likert para analizar pregunta 13. [Elaboración propia (2022)]

Criterio	Votos de Reducción de costos	Votos de Reducción de plazos	Votos de Reducción de errores
Totalmente de acuerdo	8	13	20
De acuerdo	18	19	3
Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	13	8	19
En desacuerdo	3	2	0
Totalmente en desacuerdo	1	1	1
PUNTAJE TOTAL	158	170	170

Finalmente, esto termina de comprobar que no existe una preferencia en el problema a solucionar en la construcción. Por lo tanto, se deduce que según los encuestados, los avances tecnológicos se deberían enfocar a resolver tanto los problemas de costos, plazos y errores, inclinándose levemente a priorizar la reducción de errores y plazos.

5.2.1. Matriz de priorización

Para generar la matriz de priorización, se utilizaron solo los avances tecnológicos con más impacto según los encuestados (Ver tabla 5.6). Sin embargo, se excluyeron las tecnologías BIM y Big Data. Para evaluar los criterios se utilizó la metodología descrita en la tabla 3.1 del capítulo 3. Los indicadores de evaluación se obtuvieron a través de los porcentajes de votación de las preguntas 9, 10 y 11 (Ver figuras 4.30, 4.31 y 4.33), para esto se utilizó la siguiente evaluación:

- Porcentaje de votación entre 100 %-80 % = Mul alto.
- Porcentaje de votación entre 80 %-60 % = Alto.
- Porcentaje de votación entre 60 %-40 % = Medio.
- Porcentaje de votación entre 40 %-20 % = Bajo.
- Porcentaje de votación entre 20 %-0 % = Muy bajo.

Con esta metodología se obtuvo la siguiente tabla de priorización.

Tabla 5.8: Matriz de priorización para analizar de forma cualitativa los resultados de la encuesta. [Elaboración propia (2022)]

Nº	Avances tecnológicos	Criterio			
		Reducción de costos	Reducción de plazos	Reducción de errores	Total
1	Prefabricados y construcción modular	58 %	74 %	28 %	53 %
2	Impresión 3D	14 %	28 %	19 %	20 %
3	Hormigón autocompactante	9 %	16 %	5 %	10 %
4	Drones	19 %	5 %	42 %	22 %
5	Maquinarias inteligentes (robots)	19 %	26 %	14 %	19 %
6	Inteligencia artificial	9 %	16 %	30 %	19 %
7	Realidad Virtual y Aumentada	5 %	12 %	33 %	17 %

5.3. Avances tecnológicos más relevantes

Al analizar de forma cualitativa la información y/o datos recolectados a través de la revisión bibliográfica, entrevistas y encuestas, se generaron las matrices de priorización, las cuales entregan como resultado que los avances tecnológicos más relevantes en la productividad de la construcción son los entregados en la figura 5.2

Son estos los avances tecnológicos que se estudiarán de forma cuantitativa, analizando su impacto en reducción de horas hombre de trabajo, plazos y evaluación económica. Esto se llevará a cabo a través de casos de estudios con reconocidas empresas tecnolizadas. Debido al gran impacto mencionado por dichas empresas y por ser utilizado por la mayoría de ellas, se incluirá dentro del análisis la plataforma de monitoreo de obra de la empresa ObraLink.

Por último, es importante mencionar que para poder llegar a esta filtración de avances tecnológicos, no se consideró para el análisis BIM, Inteligencia Artificial, Realidad virtual y Aumentada. Esto es a causa de que existen muchas bibliografías disponibles donde se estudian estos temas. Además, necesitan una mención aparte dado la gran escala de beneficios que trae y son utilizados en conjunto a otros avances tecnológicos.

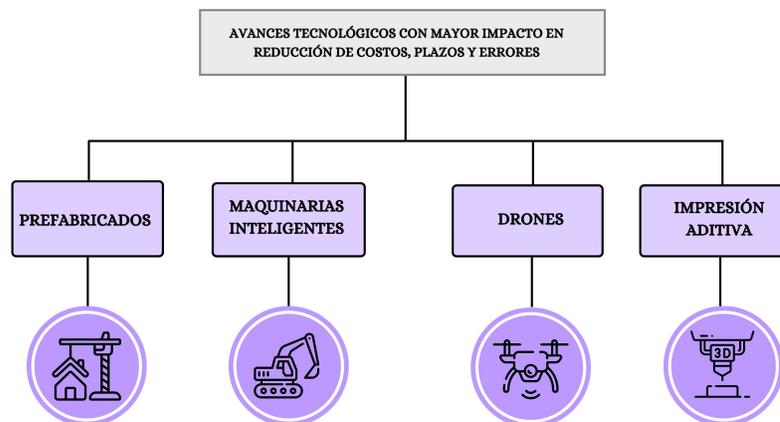


Figura 5.2: Avances tecnológicos más relevantes. [Fuente: Elaboración propia (2022)]

Capítulo 6

Análisis Cuantitativo

6.1. Casos de estudio con empresas tecnologizadas

En esta sección se analizarán de forma cuantitativa diferentes casos de estudios realizados con empresas reconocidas por su alto nivel de industrialización y tecnologización. Dentro de estos casos de estudios se encuentran los avances tecnológicos más relevantes encontrados en el capítulo de análisis cualitativo.

Para el caso de utilización de Drones se contó con la ayuda y apoyo de la empresa Echeverría Izquierdo. Para analizar el rendimiento de las maquinarias inteligentes se analizó el caso de un robot de demolición, gracias a la colaboración de la empresa Socomaq, quienes son los distribuidores de los robot Brokk. Para el caso de prefabricados se estudió el impacto que tiene la utilización de baños y fachadas prefabricadas por la empresa Siena Inmobiliaria. Dependiendo del caso de estudio y de la información disponible, se analizó principalmente el ahorro en horas hombres, plazos y ahorros económicos.

6.1.1. Utilización de Drones

Para analizar de forma cuantitativa la utilización de Drones en obra, se realizó un caso de estudio con la reconocida empresa tecnologizada Echeverría Izquierdo. Como se mencionó anteriormente, dicha empresa hace uso de esta tecnología para Izajes, inspección y avance de obra. Por lo tanto, el análisis de beneficios cuantitativos se hará para cada uso.

Los drones en Izaje es utilizado para realizar fotogrametría. Este modelo superpone el montaje sobre superficies generadas tras el proceso fotogramétrico, con el fin de identificar posibles conflictos entre el terreno y el montaje. Para cuantificar los beneficios que genera esta tecnología, se debe considerar toda la planificación que conlleva una maniobra de izaje, hasta la planificación del movimiento de grúa y camiones por el terreno. En el avance de obra se visualiza, mide y verifica el avance. En la inspección, los encargados de oficina técnica pueden revisar el estado de la obra en el momento del levantamiento fotogramétrico. Los principales ahorros se encuentran en la disminución de horas hombre y recursos. La siguiente tabla entrega la cuantificación de estos ahorros.

Tabla 6.1: Disminución de hh y recursos al utilizar drones.

Tipo de Uso	Disminución de horas (hh)	Disminución de recursos
Izaje	Con un modelo fotogramétrico se pueden determinar las propiedades geométricas de la superficie del terreno. Por lo tanto, no es necesario estar en terreno para realizar todas las tareas de topografía, las cuales con el método tradicional, suman aproximadamente 30 horas por turno de visitas a terreno. Con el uso de drones se reduce este tiempo a 15 horas por turno.	Además de las 15 horas ahorradas en visitas a terreno, se les debe sumar 3 horas de ahorro por turno de uso de choferes. También, se ahorran 120 km recorridos por turno relacionados al traslado a terreno.
Inspección	Para la inspección de obra se usa un total de 54 horas por turno en visitas a terreno. Con la implementación de esta tecnología se reduce a 36 horas por turno.	Al remplazar las visitas a terreno con inspección desde la oficina, se reducen hh de chofer y petróleo utilizados en el traslado a terreno. Existe un ahorro de 4 horas por turno de uso de chofer y 160 km de recorrido.
Avance de obra	Se puede generar entregables que permiten medir avances de obra desde la oficina, sin la necesidad de ir a terreno. En casa turno de 14 días se invierten 60 horas en visitas a terreno, las cuales se pueden reducir aproximadamente a 40 horas por turno con el uso de fotogrametría.	Al reducir las visitas a terreno, se reducen 4 horas por turno del uso de chofer. Lo que se traduce en una disminución de 160 km de recorrido .

Tabla 6.2: Ahorro en hh y km en turnos de 14 días con el uso de drones.

Uso de Drones	Horas con método tradicional	Horas con uso de Drones	Porcentaje de horas reducidas	Reducción de Km de recorrido
Avance de obra	64	40	38 %	160
Inspección	58	36	38 %	160
Izajes	33	15	55 %	120
Total	155	91	41 %	440

La siguiente figura resume de forma gráfica la comparación de horas hombres entre el método tradicional y el uso de Drones.

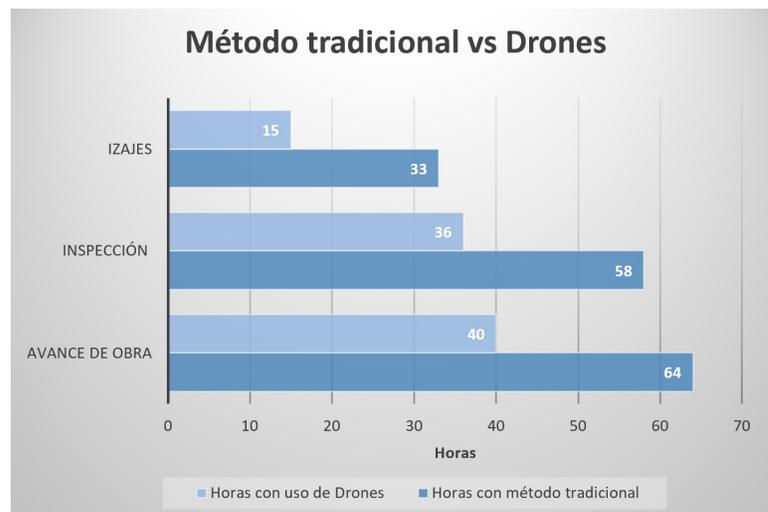


Figura 6.1: Horas hombres entre el uso de drones vs el método tradicional. [Fuente: Elaboración propia adaptado de Echeverría Izquierdo (2022)].

Para calcular los ahorros económicos se consideraron los siguientes supuestos:

- Se consumen aproximadamente 35 Litro de Diesel por cada 100 Km recorridos.
- El valor del litro de Diesel en Chile es de \$1.200 pesos.
- La hora de trabajo de oficina técnica vale \$7.500 pesos.
- Dos turnos al mes, de 14 días cada uno.

Tabla 6.3: Ahorro económico al usar drones en obra

Tipo de ahorro	Cantidad	Ahorro económico por turno	Ahorro económico al mes
Disminución de horas [hh]	64	\$ 480.000	\$ 960.000
Disminución de km [km]	440	\$ 184.800	\$ 369.600
Total		\$ 664.800	\$ 1.329.600

Las siguientes figuras entregan un ejemplo de las imágenes obtenidas a través de fotogrametría de drones, ya sea para el uso de llevar el avance o inspección de obra, como también generar un modelo 3D de la superficie del terreno para realizar la topografía del lugar.



Figura 6.2: Imagen tomada con fotogrametría para llevar al evance de obra. [Fuente: Gentileza de Echeverria Izquiero (2022)].

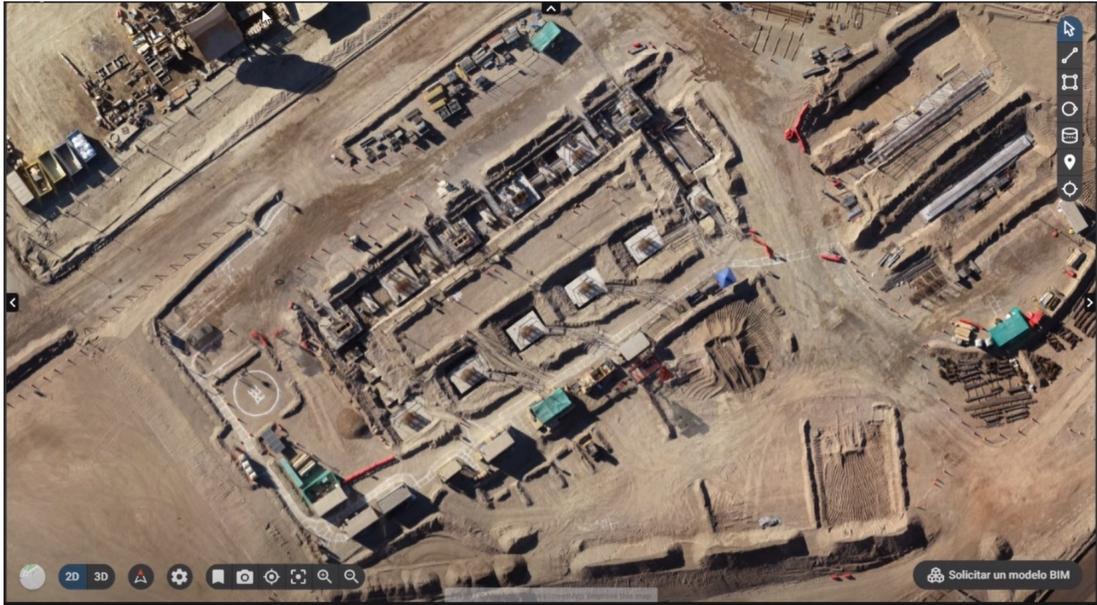


Figura 6.3: Imagen tomada con fotogrametría topografía del terreno. [Fuente: Gentileza de Echeverria Izquiero (2022)].

6.1.2. Plataformas de monitoreo de obra (ObraLink)

La empresa ObraLink entrega a las obras una plataforma de monitoreo de obra. Esta tecnología permite llevar un control de avance automático, entrega resistencia de hormigones, Dashboard de KPI y Benchmarking de productividad. A través de la cámara y comparación con modelo 3D se logra calcular avance de obra gruesa haciendo uso de algoritmo de ML. Se ahorra tiempo y recursos en en el control de avance. Además, se elimina la subjetividad de la toma del dato y calculo de kpi de avance. Por otro lado, a través de cámara térmicas y modelo de ML estima madures de hormigón y por tanto tensión. Con esto se entrega alarmas de % de tensión de hormigón entre otros datos. También se tiene una disponibilidad en indicadores historias de datos que se obtiene del avance y otros comparativos. Así como también, se puede acceder a comparativos con la industria.

ObraLink también permite realizar cubicaciones de obra con una gran exactitud en comparación al método tradicional. La siguiente tabla entrega la comparación de lo mencionado:

Tabla 6.4: Cubicaciones de avance de obra con ObraLink

Cubicaciones de avance de obra	Método tradicional	ObraLink [m2]	Diferencia
Hormigón m2	2345	2355	0,4 %
Moldaje m2	13500	13670	1,3 %
Enfierradura kg	300000	308000	2,7 %

Con esto se puede obtener ahorros económicos en cuanto a control de avance, programación PAC, desalzaprimado temprano y arreglo involucrado a deformaciones de losas. Las siguientes tablas entregan la reducción de horas hombre al utilizar ObraLink en obra y sus respectivos ahorros económicos. Para esto se utilizaron los siguientes supuestos:

- Costo HH de Ayudante de oficina técnica (AOT) = \$ 12.500.
- Costo HH de Jefe de Terreno (JT)= \$21.591.
- En obra se necesitan 1 AOT y 3 JT.

Tabla 6.5: Ahorros económicos involucrados a avance de obra y programación PAC

Uso de ObraLink	Reducción de hh al mes	Ahorros económicos al mes	Ahorros económicos anual
Control de avance de H.A, moldajes y armadura en forma automática	40	\$ 500.000	\$ 6.000.000
Programa PAC Control de de Obra Gruesa	12	\$ 259.091	\$ 9.327.273
Total	52	\$ 759.091	\$ 15.327.273

Tabla 6.6: Ahorros en desalzaprimado temprano

Beneficio	Cantidad	PU	Costo UF	Costo Pesos \$
Desalzaprimado temprano [mes]	0,23	3500	795	\$ 27.958.067
Desalzaprimado temprano (arriendo alzaprimas) [gl]	1	196	180	\$ 6.330.128
Eliminación de ensayos [Unidad]	36	2,5	90	\$ 3.165.064
Total			1065	\$ 37.453.260

La siguiente figura resume de forma gráfica la comparación de costos de deformidades de losas con el método tradicional en comparación a la propuesta de ObraLink. Donde se puede apreciar el notable ahorro económico que se genera al utilizar la metodología propuesta por ObraLink.

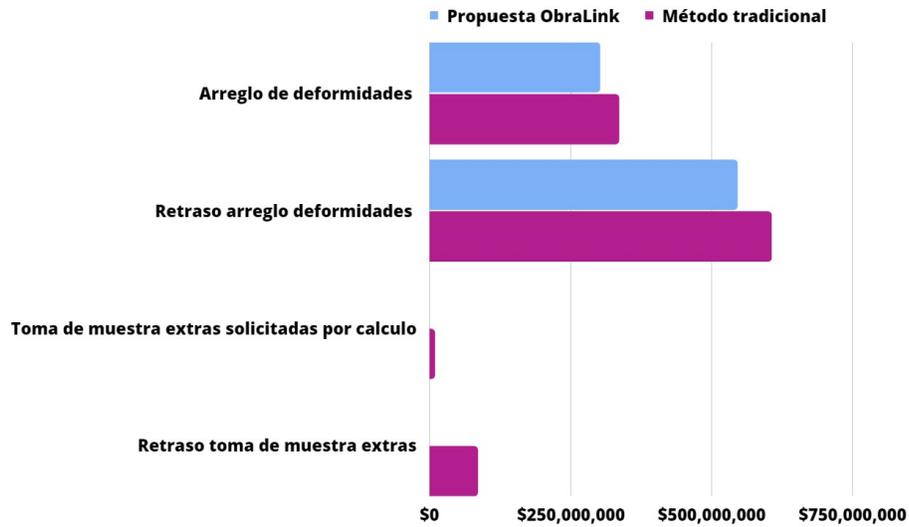


Figura 6.4: Comparación de costos de deformaciones de losas. [Fuente: Elaboración propia, adaptado de Echeverria Izquierdo (2022)]

La siguiente figura entrega imágenes de como el dispositivo CiBot, el cual se pone en la mayor altura de la obra, adquiere y procesa datos del hormigón, encofrados y armaduras de las losas y muros del proyecto.

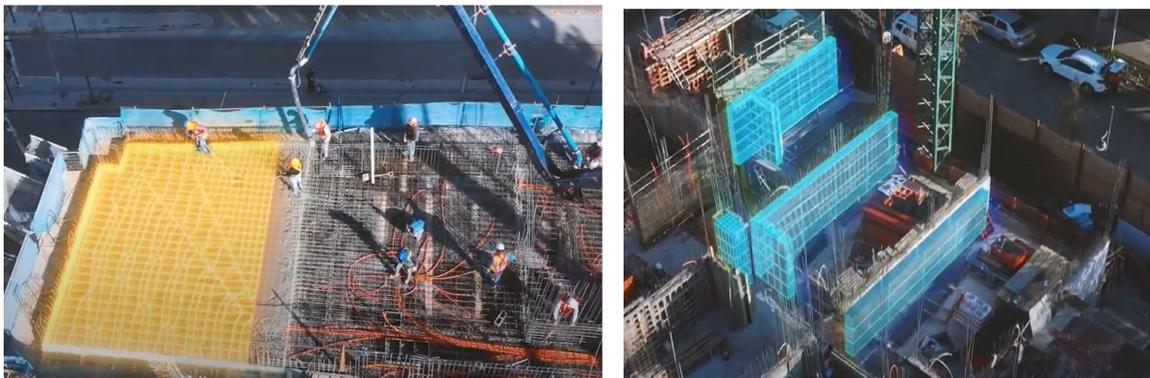


Figura 6.5: Toma de datos por cámara Cibot de ObraLink. [Fuente: ObraLink (2021).]

6.1.3. Utilización de prefabricados

Con la empresa Siena, se estudió el caso de utilización de innovaciones en prefabricados como baños y fachadas. Estos tipos de prefabricados están llamando la atención de las empresas constructoras por los buenos resultados que han entregado en cuanto a productividad. Siendo incluso usado por empresas tecnologizadas como Echeverría Izquierdo y Desarrollos Constructivos AXIS.

La Constructora e Inmobiliaria Siena, está desarrollando un proyecto de edificación en la comuna de la cisterna. En esta obra se usaron baños y fachadas prefabricadas.

En cuanto a los baños, esto fueron instalados en todos los pisos con un total de 64 baños prefabricados. Para llevar a cabo esta iniciativa con los proveedores Cintac, la empresa tuvo que realizar la siguiente inversión.

Tabla 6.7: Inversión de la empresa Siena en baños prefabricados

Costos	Baños Tradicional (UF)	Baños tradicional (\$)	Baños prefabricado (UF)	Baños prefabricado (\$)	Variación (\$)
Costo Directo					
Baños (Costo Directo)	10.853,28	\$ 381.681.422	15.996,39	\$ 562.551.126	\$ -180.869.704
Sanitario	16.610,00	\$ 584.130.182	14.875	\$ 523.114.778	\$ 61.015.404
Eléctrico	21.569,40	\$ 758.539.286	21063,8	\$ 740.758.659	\$ 17.780.627
Ventilación (Max Service)	3.463,00	\$ 121.784.637	3.381	\$ 118.900.912	\$ 2.883.725
Gasto generales					
M.O. Logística	2.389,16	\$ 84.020.498	2.133,96	\$ 75.045.782	\$ 8.974.715
Total	54.884,84	1.930.156.024,52	57.450,15	2.020.371.256,11	-90.215.231,59

Con esto se deduce que existe una diferencia de 3,3 UF/m³ más por baño prefabricado. Sin embargo, la utilización de esta innovación trae consigo múltiples beneficios, sobre todo en la reducción del montaje in situ. A continuación se presentan los beneficios cuantificables de usar esta tecnología.

Tabla 6.8: Ahorros con baños prefabricados

Ahorro en partidas en comparación con baños in situ				
Items	Baño in situ [UF/m ²]	Baño prefabricado [UF/m ²]	Ahorro en UF	Ahorro \$
Escombros	0,18	0,13	106,5	\$ 3.745.326
Aseo	0,06	0,25	193,9	\$ 6.818.955
Reprocesos de calidad	0,38	0,5	415,6	\$ 14.615.563
Entrega RF	0,5		415,6	\$ 14.615.563
Perdidas sobre el presupuesto	-	-	100	\$ 3.516.738
Perdidas no controladas	0,08	0,13	100	\$ 3.516.738
Plazos	-	0,85	650	\$ 22.858.797
Total			1981,6	\$ 69.687.680

Con esto se puede deducir que existe un ahorro aproximado a 1081,6 UF en algunas partidas comparación a construir baños in situ. No se puede cuantificar el ahorro total que se produce en el proyecto, dado que aún no se encuentra finalizado. Sin embargo, el principal beneficio es en el tiempo de instalación de los baños, dado que con el método tradicional se puede tardar hasta 1 mes, mientras que con un baño prefabricado el montaje tarde como máximo un día.

A continuación se presentan imágenes del diseño de interior de los baños prefabricados utilizados en el proyecto. Como también, se muestra una fotografía tomada en el proceso de montaje de los baños prefabricados en uno de los pisos del edificio.



Figura 6.6: Diseño de baño prefabricado. [Fuente: Gentileza de Siena (2022)].



Figura 6.7: Montaje de baños prefabricados. [Fuente: Gentileza de Siena (2022)].

Como se mencionó anteriormente, en el mismo proyecto se utilizaron fachadas prefabricadas para un sector del edificio. Se instalaron en total 14 fachas, específicamente desde el segundo al décimo quinto piso. La fabricación y montaje de dos fachada prefabricada lleva un tiempo aproximado de 3 semanas, donde el mayor tiempo corresponde a la fabricación, dado que le montaje puede tardar hasta 1 día. A continuación se entrega una carta gantt del proceso de rectificación, fabricación y montaje de las fachadas prefabricadas por casa piso.

Item	S-24-May	S-31-May	S-07-Jun	S-14-Jun	S-21-Jun	S-28-Jun	S-05-Jul	S-12-Jul	S-19-Jul	S-26-Jul	S-02-Ago
Panel P2-3	Rectificación										
	Fabricación/montaje										
Panel P4-5	Rectificación										
	Fabricación/montaje										
Panel P6-7	Rectificación										
	Fabricación/montaje										
Panel P8-9	Rectificación										
	Fabricación/montaje										
Panel P10-11	Rectificación										
	Fabricación/montaje										
Panel P12-13	Rectificación										
	Fabricación/montaje										
Panel P14-15	Rectificación										
	Fabricación/montaje										

Figura 6.8: Carta gantt de fachadas prefabricadas.[Fuente: Elaboración propia adaptado de Siena (2023)]

A continuación se entrega el ahorro que se consiguió en la obra al utilizar las fachadas prefabricadas. El ahorro en plazos cuenta para el proceso de montaje de una fachada y los demás ahorros son calculados por m².

Tabla 6.9: Ahorro obtenidos con la utilización de fachadas prefabricadas

Ahorros	
Plazos	14 días
Mano de obra	0,37 UF/m2
Impacto ambiental	0,12 UF/m2
Costos indirectos	0,65 UF/m2

Los principales impacto recaen en la reducción del tiempo de construcción de las fachadas, dado que el montaje de una puede tardar hasta 1 día. Además, con esto se ahorra un gran porcentaje de mano de obra, dado que la facilidad de instalación permite que pocos trabajadores participen del proceso de montaje. Esto ayuda a la celeridad del proyecto, dado que el ahorro de hh en montaje se pueden utilizar en otras tareas, logrando un ahorro en el tiempo total del proyecto. Las siguientes figuras presentan el proceso de montaje de una de las fachadas.



Figura 6.9: Montaje de fachadas prefabricadas. [Fuente: Gentileza de Siena (2022)].

En la siguiente figura se puede apreciar como el resultado final de la instalación de la fachada prefabricada es imperceptible el hecho de que no se haya construido in situ.



Figura 6.10: Resultado de instalación de fachada prefabricada en proyecto terminado. [Fuente: Fotografiada en terreno personalmente (2022)].

6.1.4. Utilización de maquinarias inteligentes: Maquinaria de demolición Brokk

Para estudiar el impacto de las maquinarias inteligentes, se realizó un caso de estudio con la empresa Socomaq, la cual es proveedora de los robot de demolición Brokk.

En este análisis se estudiará el funcionamiento del equipo “*Robot de Domolición Brokk 110*”. El cual posee un martillo BHB 155 y entrega una potencia de golpe de 254 Joule a una frecuencia de 850 a 1900 golpes por minuto. La empresa Socomaq vende y arrienda los robots.

Las principales ventajas de utilizar dicha tecnología, se enfoca en la reducción de plazos y manos de obra. La maquina necesita solo de un operador que controla el equipo a través de un control remoto denominado “Smartremote” y puede reemplazar el trabajo que realizan aproximadamente 6 o 7 personas con el método tradicional.

El rendimiento del robot de demolición depende netamente de la potencia del martillo del robot y del tipo de proyecto. Por ejemplo, si se quiere demoler un puente de una losa de 35 cm, el rendimiento del equipo es de 36m³/día. Por otro lado, si se quiere demoler una losa de 20 cm de espesor de un edificio, el rendimiento aumenta a 300m³/día. El costo del arriendo del equipo también va a depender del tipo de proyecto. Dependiendo de la dificultad de la tarea el proveedor cobra por m³ de demolición o por día de trabajo. Cuando el proyecto es de alta dificultad, el cubo tiene un costo de \$160.000 CLP, por el contrario el equipo se cobra por día de arriendo.

En las siguientes tablas se analiza un proyecto de demolición de la losa de un puente, la cual tiene un espesor de 35 cm.

Tabla 6.10: Comparación entre utilización de robot Brokk y el método tradicional en un proyecto de puente de losa de 35 cm de espesor.

Comparación entre métodos en un puente de 35 cm de espesor				
Método	Rendimiento al día (9 hr laborales)	Mano de obra requerida	Tiempo requerido para demoler 100 m3	Gasto económico en mano de obra al día
Método tradicional	1 m3 al día	6 a 7 trabajadores	100 días	\$ 189.000
Robot Brokk	36 m3 / día	1 operador	3 días	\$ 27.000
Ahorro al día en mano de obra			\$ 162.000	

Tabla 6.11: Ahorro económico al utilizar robot Brokk en un proyecto de puente de losa de 35 cm de espesor.

Proyecto de 100 m ³ de losa de espesor 35 cm			
Método	Tiempo requerido [días]	Gasto en mano de obra	Gasto total
Método tradicional	100	\$ 18.900.000	\$ 18.900.000
Robot Brokk	3	\$ 27.000	\$ 16.027.000

En la siguiente figura se compara de forma gráfica el rendimiento de demolición de una losa de 35 cm de espesor con el uso del robot Brokk y el método tradicional.

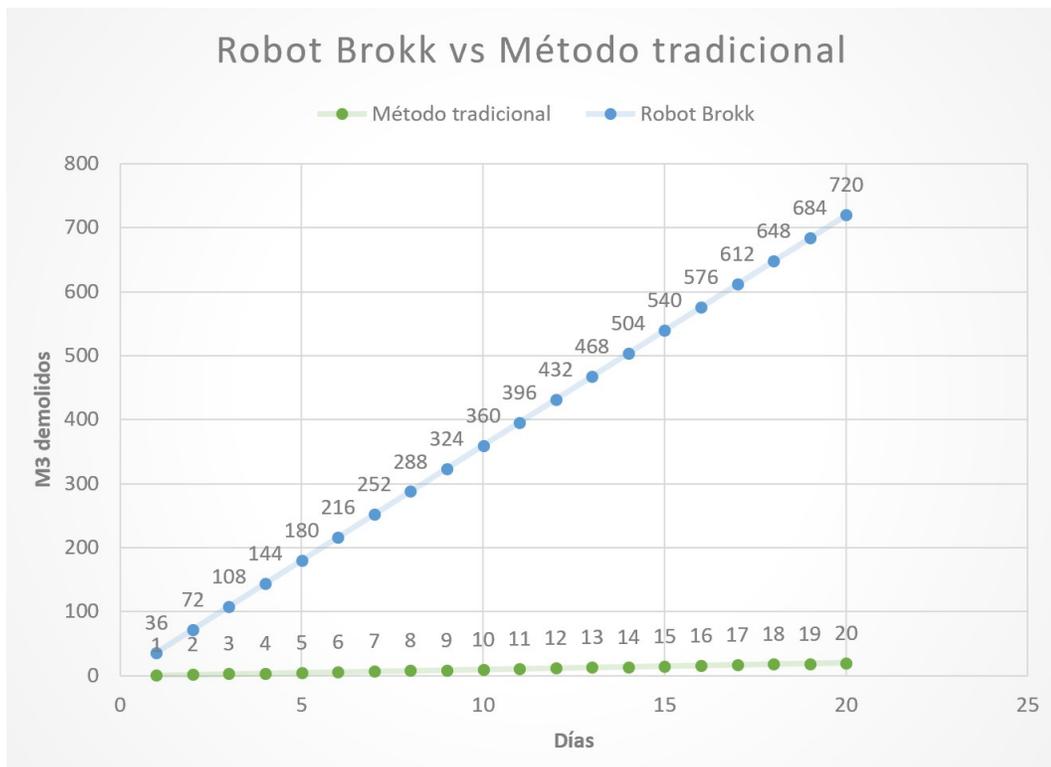


Figura 6.11: Comparación de método tradicional vs Brokk. [Fuente: Elaboración propia adaptado de Socomaq (2023)].

En la siguiente tabla se resume el análisis del caso de un proyecto de demolición de una losa de 20 cm de espesor, el cual corresponde a uno de baja dificultad, por lo tanto, se cobra por cantidad de días de arriendo.

Tabla 6.12: Resultados de utilizar robot Brokk en la demolición de una losa de 20 cm de espesor.

Proyecto de losa de 20 cm utilizando robot Brokk	
M3 demolidos	1500
Trabajador requerido	1
Rendimiento [m3/día]	300
Tiempo total	5
Costo de arriendo de robot por día	\$ 1.290.000

La siguiente figura representa a una fotografía tomada en terreno del proyecto analizado en la tabla anterior.



Figura 6.12: Robot de demolición Brokk en terreno. [Fuente: Gentileza de Brokk (2022)].

6.2. Utilización de Impresión Aditiva en construcción

En esta sección se analizará otro tecnológico obtenido como más relevante en el capítulo 5, el cual corresponde a la impresión aditiva o también conocida como impresión 3D. La cual hace referencia a la fabricación por adición que crea un objeto físico, volumétrico y tridimensional desde un diseño digital. Esta tecnología está en pleno desarrollo y su impacto en la construcción ha aumentado significativamente.

Para analizar de forma cuantitativa esta tecnología no se realizó un caso de estudio con alguna empresa nacional, dado la escasez de empresas que utilizan dicho método en Chile. Sin embargo, se hará un estudio utilizando la metodología de revisión bibliográfica, para así visibilizar el gran impacto que tiene esta tecnología en la reducción de tiempos de construcción.

El principal uso de la construcción aditiva se desarrolla en la fabricación de hormigón impreso en 3D. Con esto se logran ventajas como no necesitar herramientas y moldes, mayor velocidad en la etapa constructiva y disminución de residuos. Sin embargo, la utilización de esta tecnología, en algunos casos, puede traer desventajas tales como mayor costo para largas producciones y resistencia limitada. El funcionamiento de esta maquina consta de 3 principales pasos: preparación de datos o archivo de diseño 3D, preparación del hormigón e introducir la mezcla al sistema de suministro y por último la impresión del objeto o estructura, en donde el hormigón fresco es extruido capa por capa para crear la estructura diseñada previamente.



Figura 6.13: Impresión 3D de en hormigón. [Fuente:]

La utilización de esta tecnología en la construcción trae consigo varios beneficios, sin embargo, sus ventajas más cuantificables son las siguientes:

- Construcciones de alta velocidad: Con la impresión 3D se pueden construir casas en 1 días, en comparación al método tradicional que puede tardar aproximadamente de 6 a 9 meses en construir una casa promedio.
- Se reduce casi en su totalidad la generación de residuos. Por el contrario, una casa familiar genera entre 3 a 7 toneladas de residuos en su construcción.
- Reducción de costos: principalmente se ahorran costos en materiales y mano de obra.

En la siguiente tabla se presentan proyectos de construcción que fueron desarrolladas con diferentes técnicas o impresoras de impresión 3D, donde se demuestra la gran reducción de tiempo de construcción que se genera al utilizar esta tecnologías.

Tabla 6.13: Tipos de tecnologías de construcción aditiva que han realizado proyectos utilizando hormigón impreso en 3D

Proyecto	Descripción	Figura
<p>Contour Crafting (CC)</p>	<p>Es una tecnología desarrollada por el Dr. Behrokh Khoshnevis de la Universidad del Sur de California. Este método utiliza sistemas robóticos diseñados para construir estructuras rápidamente utilizando diseños CAD en 3D. Esta tecnología permite construir viviendas plazos y costos mucho menores a los del método tradicional. Por ejemplo, una casa de 185 m² se construye en menos de 24 horas y reduce los costos aproximadamente en un 80 %. Esta tecnología es recomendada para construcciones de viviendas de bajo costos o reconstrucciones de emergencia.</p>	
<p>Total Kunstom</p>	<p>Es una empresa en Minesota capaz de imprimir estructuras comparables a la de CC, pero con una altura de capa menor. El estándar de este tipo de estructuras es de 0,1 m de altura por 0,3 m de ancho. En 2015 desarrollaron junto a Lewis Grand Hotel de Filipinas, el primer hotel impreso en 3D. Las habitaciones del hotel miden 10,5 m por 12,5 m y una altura de 4 m, donde cada una cuenta con 2 dormitorios, una sala de estar y una sala con jacuzzi también impreso en 3D. La impresión de esta habitación de hotel tardó 100 horas, sin incluir cableado y plomería.</p>	
<p>Yingchuang Building Technique (WinSun)</p>	<p>Es una empresa China también conocida como WinSun que utiliza una boquilla de pulverización y un sistema automático de movimiento de material. Las dimensiones son de 10 metro por ancho por 150 metros de largo con un alto 6.6 metros. Con esta tecnología de gran dimensión se logra aumentar la eficiencia de producción hasta 10 veces y reducir los materiales entre un 30 y 60 %. Incluso, permite reducir los costos de mano de obra hasta un 80 % y disminuir los plazos de construcción entre un 50 y 70 %. En 2014 la empresa construyó 10 casas impresas en 3D en Shangai, donde cada una tenía un precio aproximado de 4.800 USD.</p>	

	<p>Otro reconocido proyecto de la empresa es una mansión impresa en 3D, la cual consta de 2 pisos de 1.100 m² en la cual se tardó 1 día de impresión, 2 días de montaje y solo se necesitó de 3 trabajadores. La empresa Win-Sun también ha construido un edificio de 5 plantas con una superficie total de 1500 m² en un total de 30 días y un costo estimado de 108 \$/m².</p>	
<p>Apis Cor</p>	<p>A diferencia de las demás impresoras 3D, Apis Cor es reconocida por utilizar impresoras circular, la cual cuenta con una base giratoria y un brazo que puede girar en todas las direcciones, lo que permite construir estructuras completas de adentro hacia afuera. El uso de esta tecnología permite reducir los costos en comparación a los métodos tradicionales en hasta un 70 %. En 2016 la empresa construyó un edificio impreso en 3D en Moscú Stupino. Dicha estructura cuenta con 38 m² y se tardó aproximadamente 24 horas. La gran invención de dicha empresa es que logró demostrar la posibilidad de flexibilidad y variedades de formas que se pueden construir aditivamente.</p>	
<p>Bau Max</p>	<p>Es una empresa chilena que a diferencia de las demás empresas, esta tecnología está en desarrollo. Forma parte del programa Construye 2025 de la Corfo que busca mejorar y aumentar la productividad de la construcción en Chile. La meta de dicha iniciativa es aumentar en un 20 % las edificaciones sostenibles, disminuir en un 30 % las emisiones de CO₂ y reducir en un 20 % los costos de producción de las en Chile de aquí al 2030. Este programa permitiría construir casas de 120 m² en menos de 24 horas.</p>	<p>Proyecto aún no ejecutado.</p>

A continuación se presenta una gráfica que compara los rendimientos de construcción aditiva de los proyectos de casas mencionados en la tabla anterior.



Figura 6.14: Comparación de m^2 / hora de proyectos de casas impresos en 3D. [Fuente: Elaboración propia (2022)].

Con estos proyectos queda demostrado la eficiencia de producción que tienen las impresoras 3D. El mayor impacto recae en la reducción de los plazos, dado que se pueden construir casas de aproximadamente $180 m^2$ en sólo 24 horas. El poder construir estructuras en tan poco tiempo trae consigo una significativa reducción de mano de obra, como es el caso de la mansión construida por WinSun, para la cual se necesitaron solo 3 trabajadores para su construcción aditiva. Actualmente un trabajador (obrero) de construcción gana aproximadamente 550.000 mensuales, por lo tanto el ahorro en mano de obra es bastante considerable. Por otro lado, la impresión 3D necesita una menor cantidad de materiales de construcción en comparación al método tradicional, lo que implica un ahorro en costes de materiales y reducción de residuos.

Capítulo 7

Conclusiones

7.1. Desarrollo de principales avances tecnológicos

Actualmente las tecnologías están revolucionando las industrias a través de una reactivación económica, gracias a la denominada Transformación Digital o Industria 4.0. La cual ha dado paso a la combinación del mundo físico con el digital. La implementación de estas tecnologías en la industria de la construcción se denomina como Construcción 4.0, la cual nace para resolver los problemas de productividad que el rubro sufre tanto a nivel global como aún más a nivel nacional.

Al cumplir con uno de los objetivos de este estudio, se recopiló, caracterizó y clasificó una serie de avances tecnológicos que forman parte de la denominada Construcción 4.0. A nivel global se encontraron 35 tecnologías que fueron clasificadas según su función. Se puede deducir que en la actualidad, se encuentran disponibles en el mercado tecnologías enfocadas a resolver problemas de gestión y control, materiales de construcción y metodologías de fabricación, como también existe una variedad de maquinarias inteligentes que reemplazan y automatizan los labores de los humanos.

A través del análisis de cada tecnología, se comprobó que estas ayudan a aumentar la productividad del rubro, dado que generan beneficios tales como: la disminución de errores y aumento de la calidad al automatizar las actividades, optimización de los procesos, mejora de la calidad de vida de los trabajadores y su ambiente laboral, agilización y aumento de la celeridad de los procesos de diseño y construcción y aumento de la sustentabilidad de la industria, lo que es muy importante actualmente, dado que otro fenómeno que se está sumando a las innovaciones a la industria es la denominada economía circular, y muchas de las tecnologías estudiadas contribuyen al desarrollo de dicho sistema. Finalmente todos los beneficios mencionados, generan un considerable ahorro económico en el costo total del proyecto.

La siguiente figura entrega una tabla que resume todos los avances tecnológicos recopilados con sus respectivas clasificaciones.

DESARROLLO Y CLASIFICACIÓN DE AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN			
 PLATAFORMAS DE GESTIÓN Y CONTROL (7)	 MAQUINARIAS INTELIGENTES (9)	 INNOVACIONES EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (9)	 METODOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN (8)
BIM	DRONES	HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	CASAS Y EDIFICIOS IMPRESOS EN 3D
BIG DATA	ROBOT PULIDOR	HORMIGÓN ARIDOS RECICLADOS	PUEENTES IMPRESOS EN 3D
BLOCKCHAIN Y CONTRATOS INTELIGENTES	EXOESQUELETOS	HORMIGÓN AUTORREPARABLE	EDIFICIOS IMPRESOS EN 3D
INTERNET DE LAS COSAS	ROBOT DETECTOR DE ERRORES	HORMIGÓN PERMEABLE	ELEMENTOS ESTRUCTURALES IMPRESOS EN 3D
REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA	BULLDOZER AUTÓNOMO	AEROGEL	MOLDAJES IMPRESOS EN 3D
INTELIGENCIA ARTIFICIAL	ROBOT PROYECCIÓN DE HORMIGÓN	MAGPANEL	FUNDACIONES MASIVAS IMPRESAS EN 3D
ALMACENAMIENTO EN LA NUBE	ROBOT DE DEMOLICIÓN	HORMIGÓN FLEXIBLE	ELEMENTOS PREFABRICADOS Y CONSTRUCCIÓN MODULAR
	ROBOT PINTA FACHADAS	MICROALEACIÓN	REPRESAS DE HORMIGÓN IMPRESO 3D
	ROBOT COLOCACIÓN DE PREFABRICADOS	MORTERO DE DENSIDAD CONTROLADA	

Figura 7.1: Tabla resumen de clasificación de avances tecnológicos recopilados. [Fuente: Elaboración propia (2023)].

7.2. Adopción de principales avances tecnológicos

Como se mencionó en capítulos anteriores, el rubro de la construcción es una de las industrias más importantes para la economía del país, dado que constituye el 6,4 % del Producto Interno Bruto (PIB) y concentra el 63 % de la inversión de este. A pesar de esto, en Chile desde hace 15 años que la productividad de la construcción se encuentra estancada en comparación al resto de industrias nacionales. Además, la productividad de la industria de la construcción en países referentes a Chile, pertenecientes a la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), es un 53 % mayor en edificación y un 220 % mayor en infraestructuras viales. Esto se puede deber a la baja inversión en tecnologías por parte de la industria, lo cual se pudo comprobar en la figura 2.4, donde el rubro de la construcción, en un estudio realizado por PMG Business Improvement (2021), lo categorizó como “*Principiante Digital*”.

Por otro lado, en el capítulo 4.2, también se comprobó que el grado de adopción de avances tecnológicos en Chile sigue siendo bajo en comparación a nivel global, dado que a pesar de los grandes beneficios que generan tecnologías como la inteligencia artificial, impresión aditiva, maquinarias inteligentes, Blockchain, entre otros; siguen teniendo un porcentaje de uso en construcción menor a un 7 %. Esto se puede ver en la siguiente gráfica.

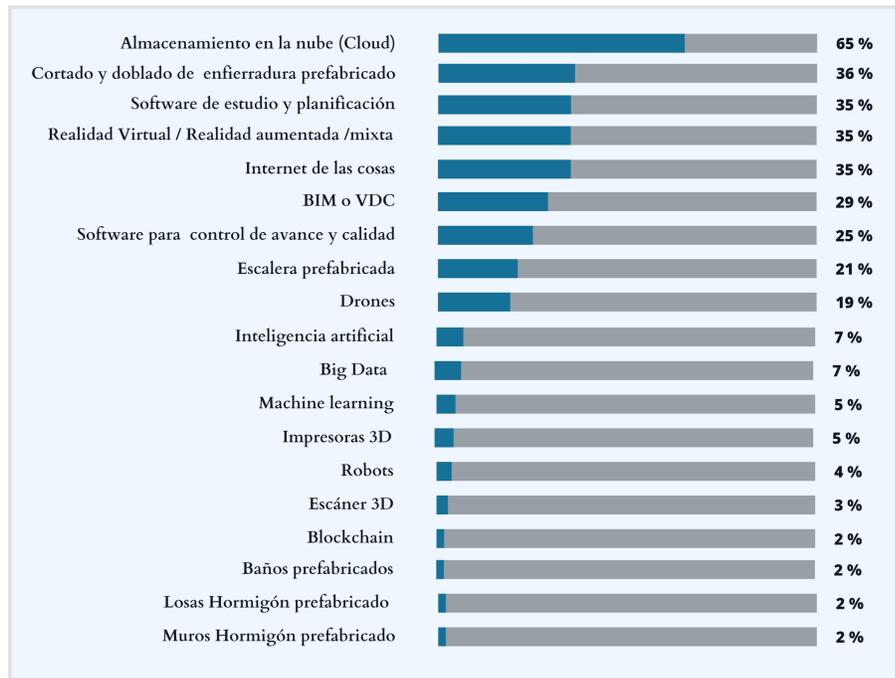


Figura 7.2: Nivel de adopción de algunas tecnologías por el rubro de la construcción. [Fuente: Elaboración propia adaptado de PMG Business Improvement (2021).]

7.3. Conocimiento de principales avances tecnológicos por profesionales de la construcción

De las entrevistas y principalmente de la encuesta realizadas a los profesionales del rubro de la construcción, se puede concluir que están conscientes del bajo índice de transformación digital y de los problemas de productividad que sufre la industria, dado que están de acuerdo en que se deben buscar alternativas que solucionen los problemas de excesos de errores y plazos en los proyectos. A pesar de que se cuenta con la iniciativa, por parte de los expertos del rubro, de querer implementar innovaciones, aún existe un bajo conocimiento de la variedad de avances tecnológicos que se encuentran disponibles en el mercado y más aún de los beneficios que trae cada una de ellas.

Se puede concluir que existe una determinación por parte de las empresas de salir a buscar innovaciones y tecnologías que solucionen los problemas de productividad. Sin embargo, la mayoría de las empresas se quedan sólo en la implementación de BIM y prefabricados clásicos, dado que estos son los que mayor porcentaje de implementación poseen las empresas. Esto se debe principalmente al desconocimiento de las significativas ventajas que generan otras innovaciones. También este problema se debe a la poca inversión que existe por parte de las empresa en tecnologías, ya sea por falta de capital o desinterés y rechazo al cambio de lo tradicional. Esto se puede comparar en cómo las grandes empresas tecnologizadas y reconocidas por su alto grado de industrialización está trabajando continuamente en implementar innovaciones que ayuden al mejoramiento continuo de sus procesos.

7.4. Uso de avances tecnológicos más relevantes por empresas tecnologizadas

A través de la información obtenida de la revisión bibliográfica y opinión de expertos del rubro de la construcción, por medio de encuesta y entrevistas, se realizó un análisis cualitativo, del cual se puede concluir que los avances tecnológicos que tienen un mayor impacto en costos, plazos, calidad, consideraciones ambientales y calidad de vida de los trabajadores son: los drones, impresión aditiva, prefabricados, maquinarias inteligentes y plataformas de monitoreo de obra.

De los casos de estudios realizados con empresas nacionales, se puede concluir que la implementación de los avances tecnológicos más relevantes, mencionado anteriormente, ayudan significativamente en la productividad de la empresa. Esto se comprueba con los beneficios que generan, tales como optimización de procesos, reducción de mano de obra, aumento de calidad de ambiente de trabajo del personal, detección temprana y mitigación de errores, reducción significativa de tiempos de construcción y un gran ahorro económico en el costo total del proyecto. La siguiente figura entrega un resumen de los beneficios obtenidos en el análisis cuantitativo.



Figura 7.3: Esquema resumen de los ahorros obtenidos en los casos de estudio. [Fuente: Elaboración propia (2023).]

La gran parte de las empresas están conformes con los resultados obtenidos de la adopción de ciertas tecnologías y están de acuerdo en que no volverían a utilizar los métodos tradicionales. Es por esto que todas las empresas constructoras deberían invertir en innovaciones y crear su propio método de industrialización y transformacional digital. Para esto podrían guiarse de la experiencia de aquellas grandes empresas que han obtenido un buen resultado con aquello.

7.5. Rol de los avances tecnológicos y educación en la mejora de la productividad

Como se ha mencionado anteriormente, existe una barrera de entrada de los avances tecnológicos en la industria de la construcción. Esto se debe a la resistencia al cambio y la falta de financiamiento en innovaciones por parte de las empresas. Con respecto a este último punto, existe un rechazo al cambio por parte de los profesionales del sector de la construcción que ha generado el estancamiento en la productividad de la industria. Esto se debe a que muchos prefieren seguir utilizando los métodos tradicionales, dado que son los únicos que conocen y están conformes con sus resultados. El motivo de esto es que existe una ignorancia en las nuevas alternativas que ayudan a aumentar la productividad.

Como alternativa de solución a estos problemas de entrada, se propone que se deberían formar profesionales que tengan un rol enfocado en generar cambios de paradigma en la industria, ya sea a corto o largo plazo. Desde de la mirada de la ingeniería, hay mucho por hacer aún en cuanto a la integración de las tecnologías e innovaciones. Partiendo desde la base, durante el proceso de formación profesional, se deberían integrar más cursos obligatorios de gestión en la construcción y sobre métodos de industrialización. Los cuales ayuden a generar técnicas, habilidades y herramientas que aumenten la productividad, es decir, que aumenten el conocimiento sobre el uso de tecnologías, gestión, sostenibilidad y nuevos modelos de producción y consumo, como por ejemplo la economía circular en la construcción. Por parte de las empresas, se deberían reforzar las habilidades de sus profesionales a través de capacitaciones o exigencia de cursos que aumenten su destreza en el mejoramiento de la productividad.

Por otro lado, la falta de inversión se podría solucionar a través de la creación de subsidios de financiamiento en innovaciones para empresas constructoras, dicho con otras palabras, que se generen instancias donde empresas puedan participar por un aporte fiscal que les permita financiar la integración de tecnologías en algunos proyectos.

Finalmente, se espera que los resultados de este trabajo de título sirva como motivación para terminar con la brecha existente en la industria de la construcción chilena con el resto de países, en cuanto a desarrollo de tecnologías y baja productividad. Como también, se espera que aumente el grado de conocimiento de avances tecnológicos en construcción.

Es importante mencionar que se está consciente de que los problemas de productividad en la construcción no son sólo debido a la baja inversión en tecnologías, sin embargo, a lo largo de este trabajo se demostró como estos juegan un rol fundamental a la hora de contrarrestar dicho problema.

Bibliografía

- [1] ASOCIACIÓN DE ASEGURADORES DE CHILE A.G (2021), *VIGAlab* Escuela de seguros Chile.
- [2] APABLAZA R, M. (2021), *Los primeros pasos para usar inteligencia artificial en la construcción en Chile* Beauchef Magazine, Universidad de Chile.
Recuperado en: [Link](#).
- [3] BIM FORUM CHILE (2017), *Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones* Corporación de desarrollo tecnológico (CDT).
Recuperado en: [Link](#).
- [4] BLANCO, J.L, MULLIN, A. PANDYA, K. SRIDHAR, M. (2017), *The new age of engineering and construction technology* McKinsey&Company.
- [5] BOSTON DYNAMICS (s.f), *Spot - The Agile Mobile Robot* Boston Dynamics.
[Link](#).
- [6] CID PERLEY. C. (s.f), *Prefabricados de hormigón en Minería: Soluciones resistentes y concretas* Hormigón al día.
Recuperado en: [Link](#).
- [7] CONTROL DRON. (s.f), *Drones para la construcción*. Control Dron.
Recuperado en: [Link](#).
- [8] CORPORACIÓN DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2015), *Buenas prácticas en la construcción minera* Consejo Minero-Cámara Chilena de la Construcción.
- [9] CORPORACIÓN DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2021), *Áridos reciclados disminuirían fuertemente los residuos en construcción* CDT.
Recuperado en: [Link](#).
- [10] CORPORACIÓN DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2021), *Desarrollan Primera losa de hormigón reforzada con grafeno del mundo* CDT.
Recuperado en: [Link](#).

- [11] CORPORACIÓN DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2021), *Desarrollan hormigón que se autorrepara gracias a bacterias* CDT.
Recuperado en: [Link](#).
- [12] CORPORACIÓN DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2021), *Cómo BIM y VR en la construcción están impulsando la industria* Camara Chilena de la Construcción.
Recuperado en: [Link](#).
- [13] CORPORACIÓN DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2022), *Trabajando con exoesqueletos en la Construcción: Riesgos y medidas de prevención en la seguridad y salud en el lugar de trabajo* Cámara Chilena de la construcción (CChc).
Recuperado en: [Link](#).
- [14] CORPORACIÓN DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2022), *El robot que detecta errores de obra en tiempo real* Cámara Chilena de la construcción (CChc).
Recuperado en: [Link](#).
- [15] CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2022), *El Teniente innova con montaje robotizado de muros de hormigón en la mina subterránea* Cámara Chilena de la construcción.
Recuperado en: [Link](#).
- [16] CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) (2022), *Fachadas prefabricadas: Innovación y productividad* Cámara Chilena de la construcción.
Recuperado en: [Link](#).
- [17] F. CRAVEIRO, ET AL. (2019), *Automation in Construction: Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0* ELSEVIER.
Recuperado en: [Link](#).
- [18] DÍEZ, DAVID. (2020), *10 aplicaciones de blockchain para la Construcción Obras Urbanas*.
Recuperado en: [Link](#).
- [19] EDITECA (s.f), *Avance de la tecnología Blockchain en a industria de la construcción*. Escuela online de Diseño, Arquitectura, Ingeniería y Nuevas Tecnologías (EDITECA).
Recuperado en: [Link](#).
- [20] EMPRESA CBB [Corporación del desarrollo tecnológico (CDT)] (2022), *EVENTO CDT "Productividad en el Sector Construcción"*[Video], YouTube.
Recuperado en: [Link](#).

- [21] ESCOBAR. M, MERCADO. M (2019), *Big Data: un análisis documental de su uso y aplicación en el contexto de la era digital* Revista la Propiedad inmaterial
Recuperado en: [Link](#).
- [22] FABLAB (s.f), *BioPrinter El mundo de la impresión 3D* Universidad de Chile
Recuperado en: [Link](#).
- [23] GALEOTE ESTHER (2020), *Realidad Aumentada vs Realidad Virtual Herramientas emergentes de comunicación arquitectónica* Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.
Recuperado en: [Link](#).
- [24] GARCIA. A. (2020), *Innovaciones tecnológicas en la construcción*. Revista científica multidisciplinar, Núcleo do Conhecimento.
Recuperado en: [Link](#).
- [25] GREGOLINSKA. E, KHANAM. R, LEFORT. F. Y PARTHASARATHY. P. (2022), *Cómo capturar el verdadero valor de la Industria 4.0* McKinsey & Company
Recuperado en: [Link](#).
- [26] I-SCOOP (2019), *Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained*. i-SCOOP.
Recuperado en: [Link](#).
- [27] KASCHEL, F. (2021), *EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN BIM EN LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS DE MEJORA O AMPLIACIÓN DE LA RED DE EFE* Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
Recuperado en: [Link](#).
- [28] LUQUE, JAVIER (2020), *Realidad Virtual y Realidad Aumentada* Revista Digital de ACTA.
Recuperado en: [Link](#).
- [29] MÁSTERBIM (2022), *Big Data o cómo conseguir el aliado perfecto para la construcción* MásterBim, Escuela online de Diseño, Arquitectura, Ingeniería y Nuevas Tecnologías (EDITECA).
Recuperado en: [Link](#).
- [30] MATRIX CONSULTING (2020), *Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a mundiales* Cámara Chilena de la Construcción (CChC).
Recuperado en: [Link](#).
- [31] MINDESK (2019), *Your real-time BIM and CAD platform* Vectio Technologies Group.
Recuperado en: [Link](#).

- [32] OBRA LINK (2022), *NUUESTRA SOLUCIÓN — CONSTRUCCION 4.0* ObraLink.
Recuperado en: [Link](#).
- [33] OVACEN (2019), *Mi bulldozer autónomo sin operario para excavar en obras* Ovacen
Recuperado en: [Link](#).
- [34] PMG BUSINESS IMPROVEMENT (2016), *Informe final fase 3, Hoja de ruta PyCS 2025* Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).
- [35] PMG BUSINESS IMPROVEMENT (2021), *Índice de transformación digital de la construcción*. Corporación de desarrollo tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC).
Recuperado en: [Link](#).
- [36] REBUILD (2019), *¿Qué es la Construcción 4.0?/ Beneficios que nos aporta* NEBEXT
Recuperado en: [Link](#).
- [37] SIDERÚRGICA HUACHIPATO [Corporación del desarrollo tecnológico (CDT)] (2022), *EVENTO CDT "Productividad en el Sector Construcción"*[Video], YouTube.
Recuperado en: [Link](#).
- [38] SOUZA. EDUARDO. (2019), *9 tecnologías de realidad aumentada para la arquitectura y la construcción* Arch Daily.
Recuperado en: [Link](#).
- [39] SPALVIER. A, DIAZ. A, MARRERO. I, BALIOSIAN. T, PIELARISI. R, SEGURA. L. (2021), *Recomendaciones sobre pavimentos de hormigón permeable* Facultad de ingeniería, Universidad de la República.
Recuperado en: [Link](#).
- [40] SOLEX (2021), *IBM Maximo Solex impulsan la Industria 4.0 y nos explican sobre las revoluciones industriales y sus tecnologías* Actualidad IBM Maximo, Noticial.
Recuperado en: [Link](#).
- [41] WOLD ECONOMIC FORUM. (2018), *An Action Plan to Accelerate Building Information Modeling (BIM)*, Adoption, World Economic Forum & The Boston Consulting Group.
Recuperado en: [Link](#).