



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

**CALIBRACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SET DE INDICADORES
DESARROLLADO POR EL CONSEJO DE CONSTRUCCIÓN
INDUSTRIALIZADA PARA MEDIR LA INDUSTRIALIZACIÓN EN OBRAS
DE CONSTRUCCIÓN EN CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MATÍAS AARON SEPÚLVEDA VERGARAY

PROFESORA GUÍA:
KATHERINE MARTÍNEZ ARRIAGADA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEONARDO CAAMAÑO JARA
JORGE PULGAR ALLENDES

SANTIAGO DE CHILE

2023

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: MATÍAS AARON SEPÚLVEDA VERGARAY
FECHA: 2023
PROF. GUÍA: KATHERINE MARTÍNEZ

**CALIBRACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SET DE INDICADORES
DESARROLLADO POR EL CONSEJO DE CONSTRUCCIÓN
INDUSTRIALIZADA PARA MEDIR LA INDUSTRIALIZACIÓN EN OBRAS
DE CONSTRUCCIÓN EN CHILE**

El presente trabajo de título consiste en la modificación de un set de indicadores diseñado por el Consejo de Construcción Industrializada, de manera de contar únicamente con indicadores que sean factibles de medir en obra y que permitan evidenciar las diferencias en diferentes ámbitos entre proyectos con construcción industrializada y tradicional.

Junto con lo anterior, se proponen dos nuevas herramientas de medición, destinadas a obtener el nivel de uso de metodología de construcción industrializada durante todo el ciclo de vida del proyecto y medir el nivel de industrialización del proyecto.

Para realizar esta labor, se estudia el estado del arte nacional e internacional acerca del uso de construcción industrializada, se analiza y modifica el set de indicadores ya existente, se realiza una propuesta con las dos nuevas herramientas y se presentan a expertos del área para obtener retroalimentación y poder mejorar las debilidades halladas. Luego, se realiza un levantamiento de datos para las herramientas propuestas y se analizan los resultados obtenidos. Finalmente, se presentan las conclusiones y posibles trabajos a futuro.

*Para ese niño
que un día se atrevió a soñar.*

Agradecimientos

A mi madre y mi padre, que gracias a su incondicional amor y apoyo, son los principales responsables de que hoy esté donde estoy.

A Mita y Cata, por ayudarme, aconsejarme y alegrarme durante todo mi proceso educativo, pero especialmente por ser mi principal pilar emocional.

A mi Quigon, fiel amigo que me acompañó en tantas noches de estudio.

A mis amigos del colegio, por su larga amistad, quienes a pesar del paso de los años y la distancia que impone la vida, siempre han estado alentándome y dispuestos para darme una mano.

A mis amigos de la U, muchos desde aquel lejano primer semestre, que me han acompañado hombro con hombro a lo largo de esta linda aventura.

A mis amigos civiles, con quienes hemos desarrollado rápidamente una profunda amistad y han demostrado preocupación constante por mi, especialmente durante este último proceso.

A mis compañeros de Ingeniería, con quienes compartimos la misma pasión y logramos no solo formar un buen equipo, sino también un buen grupo de amigos.

A Leonardo, por dedicar tantas horas en reuniones conmigo durante el desarrollo de este trabajo, y por apoyarme durante todo este proceso.

Finalmente, a todos quienes me han apoyado en las situaciones difíciles, han celebrado conmigo mis triunfos y me han dado felicidad durante este largo proceso. Todos esos momentos me han ayudado a llegar hasta acá.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Metodología	4
1.4. Marco Teórico	5
1.4.1. Glosario	5
1.4.2. Antecedentes de Estudio	6
1.4.2.1. Impacto de barreras presentes en la adopción de la construcción fuera de sitio en Chile	6
1.4.2.2. Acompañamiento Proyecto Construcción Industrializada	7
1.4.2.3. Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales	7
1.4.2.4. Estandarización de medidas de partes y piezas de componentes de la construcción	10
1.4.2.5. Metodología para la Construcción Industrializada	12
1.4.2.5.1 Análisis de potencial	13
1.4.2.5.2 Definición de objetivos	13
1.4.2.5.3 Definición de equipo	13
1.4.2.5.4 Planificación del diseño	14
1.4.2.5.5 Generación de ideas	14
1.4.2.5.6 Evaluación de ideas	14
1.4.2.5.7 Diseño	14
1.4.2.5.8 Evaluación de diseño	15
1.4.2.5.9 Evaluación KPI's	16
2. Desarrollo	17
2.1. Estudio del set de indicadores para medir la industrialización	17
2.1.1. Análisis de indicadores existentes	17
2.1.1.1. Del Proyecto	18
2.1.1.2. Medio Ambientales	21
2.1.1.3. Sociales	22
2.1.2. Sistema de asignación de puntajes	25
2.1.3. Conclusiones y problemas detectados	28
2.2. Nueva propuesta de medición, V1.	30
2.2.1. Datos generales solicitados	30

2.2.2.	Indicadores solicitados	30
2.2.3.	Detalle de soluciones de CI	31
2.2.4.	Conclusiones y problemas detectados	32
2.3.	Nueva propuesta de medición, V2.	34
2.3.1.	Primera fase	34
2.3.1.1.	Datos generales solicitados	34
2.3.1.2.	Metodología de industrialización	35
2.3.1.2.1	Detalle de indicadores solicitados	35
2.3.1.2.2	Sistema de asignación de puntajes	37
2.3.1.3.	Detalle de soluciones industrializadas	39
2.3.1.3.1	Detalle de indicadores solicitados	39
2.3.1.3.2	Sistema de asignación de puntajes	40
2.3.2.	Segunda fase: Impacto de CI	41
2.3.2.1.	Detalle de indicadores solicitados	41
2.3.2.2.	Sistema de asignación de puntajes	43
2.3.3.	Conclusiones y problemas detectados	45
2.4.	Propuesta de medición, V2.1.	46
2.4.1.	Metodología de Industrialización	46
2.4.2.	Detalle de soluciones de CI	46
2.4.2.1.	Indicadores solicitados	46
2.4.2.2.	Sistema de asignación de puntajes	47
2.4.2.2.1	Sistemas tridimensionales	48
2.4.2.2.2	Sistemas no tridimensionales y tecnologías constructivas	48
2.4.3.	Impacto de CI	50
2.5.	Resultados	51
2.6.	Análisis de Resultados	60
2.6.1.	Resultados finales de las herramientas	60
2.6.2.	Resultados de Metodología de Industrialización	61
2.6.3.	Resultados de Detalle de soluciones de CI	62
2.6.4.	Caso de estudio: Proyecto 13	63
3.	Conclusiones	65
	Bibliografía	66

Índice de Tablas

2.1.	Detalle de indicadores Ámbito Del Proyecto	26
2.2.	Detalle de indicadores Ámbito Medio Ambientales	27
2.3.	Detalle de indicadores Ámbito Sociales	28
2.4.	Relación entre etapas de la metodología de CI y los indicadores propuestos, Propuesta V2.	35
2.5.	Descripción de niveles de BIM	37
2.6.	Puntaje según proyectos previos con CI.	37
2.7.	Puntaje según integración de actores al proyecto.	38
2.8.	Soluciones de CI de obra gruesa, Propuesta V2	39
2.9.	Soluciones de CI de terminaciones, Propuesta V2	40
2.10.	Soluciones prefabricadas tridimensionales, Propuesta V2	40
2.11.	Puntaje por casilla de soluciones de CI, Propuesta V2	40
2.12.	Detalle de indicadores solicitados, Impacto de CI, Propuesta V2	45
2.13.	Porcentaje de SPT de obra gruesa, Propuesta V2.1.	46
2.14.	Nivel de terminación de SPT de obra gruesa, Propuesta V2.1.	46
2.15.	Sistemas prefabricados de obra gruesa, Propuesta V2.1.	47
2.16.	Sistemas prefabricados de terminaciones, Propuesta V2.1.	47
2.17.	Tecnologías constructivas, Propuesta V2.1.	47
2.18.	Puntaje según porcentaje de SPT, Propuesta V2.1.	48
2.19.	Ponderador según nivel de terminación de sistemas tridimensionales, Propuesta V2.1.	48
2.20.	Matriz de puntaje según porcentaje de sistemas tridimensionales y nivel de terminación, Propuesta V2.1.	48
2.21.	Ponderador de puntaje máximo por grupo, Propuesta V2.1.	49
2.22.	Ejemplo de asignación de puntajes máximos, Propuesta V2.1.	50
2.23.	Ponderador por casilla de soluciones industrializadas, Propuesta V2.1.	50
2.24.	Resultados Proyecto 1	51
2.25.	Resultados Proyecto 2	52
2.26.	Resultados Proyecto 3	52
2.27.	Resultados Proyecto 4	53
2.28.	Resultados Proyecto 5	54
2.29.	Resultados Proyecto 6	54
2.30.	Resultados Proyecto 7	55
2.31.	Resultados Proyecto 8	56
2.32.	Resultados Proyecto 9	56
2.33.	Resultados Proyecto 10	57
2.34.	Resultados Proyecto 11	58
2.35.	Resultados Proyecto 12	58

2.36. Resultados Proyecto 13	59
--	----

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

La baja productividad es un problema común en el sector de la construcción en todo el mundo. En Chile, este problema es mayor ya que presenta una productividad menor al promedio del resto de los países de la OCDE. Mientras que entre los años 2000 y 2018 la productividad laboral de la economía chilena aumentó en casi un 20 %, la de la industria de la construcción prácticamente no presentó variación (Matrix Consulting, 2020).

En el documento Estandarización de medidas de partes y piezas de componentes de la construcción, se define la CI de la siguiente forma: “La construcción industrializada se refiere a la utilización de componentes fabricados fuera del sitio de construcción, normalmente en una planta especializada, los cuales son ensamblados en sitio, disminuyendo así las actividades propias de la construcción habitual.” (idiem, 2018, p. 15).

La construcción industrializada es una solución que puede ayudar a mejorar la productividad del sector de la construcción, ya que utiliza procesos y tecnologías más eficientes y estandarizados. Al estandarizar los procesos se reduce la variabilidad y los errores, lo que puede aumentar la calidad y la eficiencia en la construcción. Además, la construcción industrializada también puede reducir los tiempos de construcción y los costos, lo que puede mejorar la rentabilidad de los proyectos y la competitividad del sector en general (Grupo Avintia, 2020).

En países referentes como Reino Unido y Estados Unidos, el uso de soluciones de construcción industrializada como elementos prefabricados y adopción de BIM se ha convertido en una práctica común en la construcción de viviendas, edificios de oficinas y otras estructuras. Estos países han logrado aumentar significativamente su productividad en el sector de la construcción gracias a la adopción de estas tecnologías (Matrix Consulting, 2020).

En Chile, aunque la construcción industrializada ha comenzado a ser implementada en algunos proyectos, aún hay un gran camino por recorrer para lograr una mayor adopción de estas tecnologías. La baja productividad en el sector de la construcción sigue siendo un problema importante que limita el crecimiento del sector y su capacidad para satisfacer las demandas del mercado.

Por lo tanto, la definición de indicadores de construcción industrializada para todo el ciclo de vida de un proyecto es una iniciativa importante para abordar este problema. Esta iniciativa puede ayudar a identificar los obstáculos y oportunidades para la adopción de tecnologías de construcción industrializada y establecer metas para mejorar la eficiencia en la construcción y la calidad de los proyectos. Con el tiempo, la implementación de estas tecnologías podría ayudar a mejorar significativamente la productividad del sector de la construcción en Chile y acercarla a los estándares internacionales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer una actualización de los indicadores de construcción industrializada ya existentes, que permita evaluar proyectos en todo el ciclo de vida y que sean factibles de medir.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte a nivel nacional e internacional acerca del uso de construcción industrializada.
- Diagnosticar brechas, fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas entre los indicadores identificados.
- Proponer un set de herramientas con indicadores de construcción industrializada en todo el ciclo de vida de un proyecto.
- Calibrar las herramientas e indicadores propuestos mediante casos de estudio y mesa de expertos.

1.3. Metodología

- Realizar un levantamiento de información acerca de la productividad y de los avances en el área de construcción industrializada en el mercado chileno e internacional.
- Analizar los indicadores desarrollados previamente por el CCI, tomando en cuenta la realidad nacional y experiencias de casos pilotos con empresas, recogidas por medio de reuniones.
- Modificar el set de indicadores diseñado por el CCI.
- Proponer nuevas herramientas que ayuden a medir el nivel de industrialización de un proyecto.
- Realizar un levantamiento de información de diferentes proyectos para las nuevas herramientas de medición propuestas.
- Realizar gráficos con los resultados obtenidos durante el levantamiento de información.
- Analizar los resultados obtenidos y los gráficos elaborados.
- Presentar el nuevo set de herramientas de medición a los grupos del CCI interesados, junto con las conclusiones obtenidas.

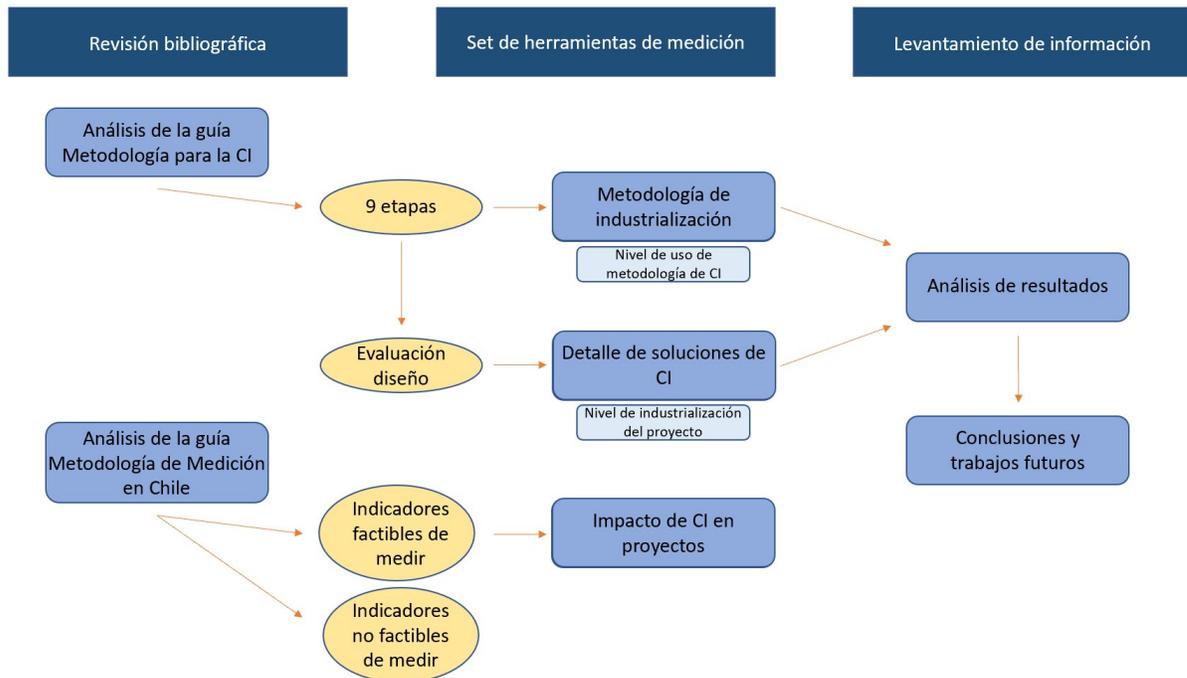


Figura 1.1: Esquema de metodología de trabajo. Elaboración propia.

1.4. Marco Teórico

1.4.1. Glosario

A continuación, se presentan los términos relacionados a Construcción Industrializada junto con las definiciones establecidas en el Anteproyecto de Norma NCh3744 Construcción industrializada - Términos y definiciones (INN, 2022), las cuáles serán consideradas durante el desarrollo de este informe.

- Industrialización de la construcción: Organización de las obras de construcción mediante procedimiento seriado, repetitivo, rítmico y estandarizado, que puede realizarse en sitio, en fábrica, automatizados o robotizados, entre otros y puede incluir o no prefabricados.
- Construcción Industrializada: Acto de construir en forma industrializada.
- Componente industrializado: Producto de construcción fabricado mediante un proceso industrializado.
- Componente prefabricado: Componente fabricado mediante sistema de prefabricación.
- Constructabilidad: Es la integración temprana y óptima del conocimiento desde el diseño y experiencia en construcción, en todo el ciclo de vida del proyecto, para alcanzar todos los objetivos.
- Elemento industrializado: Elemento de construcción en base a componentes o materiales, o combinaciones de ambos fabricados mediante un proceso industrializado.
- Elemento prefabricado: Elemento fabricado mediante sistema de prefabricación.
- Prefabricación: Proceso constructivo que incorpora a la construcción diferentes elementos y componentes, fabricados antes de su montaje en su posición definitiva en la obra.
- Proceso constructivo en sitio: Construcción o prefabricación de elementos y/o componente de una edificación a pie de obra.
- Proceso constructivo fuera de sitio: Construcción o prefabricación de elementos y/o componentes de una edificación fuera del emplazamiento de la obra.
- Sistemas constructivos: Proceso de construcción que -siguiendo una lógica y metodología preestablecida- integra en una obra de construcción distintos materiales, elementos y componentes para construir un todo.
- Tecnología de la construcción: Conjunto de conocimientos e instrumentos, recursos técnicos o procedimientos aplicados en la construcción.

1.4.2. Antecedentes de Estudio

1.4.2.1. Impacto de barreras presentes en la adopción de la construcción fuera de sitio en Chile

En este informe del impacto de barreras para la adopción de construcción fuera de sitio (Ortega, 2022), se analiza mediante el grupo de expertos consultados (113 profesionales en total) el nivel de impacto de las causas que han dificultado la adopción y masificación del uso de elementos prefabricados en la construcción.

El total de barreras estudiadas se dividen en diez ámbitos:

- Barreras culturales
- Barreras de calidad
- Barreras de mercado.
- Barreras de costos y finanzas.
- Barreras de diseño y desarrollo.
- Barreras de innovación y tecnología.
- Barreras asociadas a las habilidades y personas.
- Barreras de normativa y estado.
- Barreras de difusión
- Barreras de logística.

Dentro de las barreras estudiadas, destaca en el sexto lugar de mayor impacto el ítem *“Los beneficios económicos de la CFS no están bien documentados”* con un 78 % de los profesionales catalogando esta barrera como Alto o Muy alto Impacto. Otros indicadores que fueron calificados por un alto porcentaje de los profesionales como Alto o Muy alto son: *“Industria conservadora y/o resistente al cambio”* (78 %), *“Poca valoración del mercado asociado a los costos de calidad y sustentabilidad”* (72 %), *“Falta de reconocimiento del impacto de los costos indirectos de obra”* (72 %), *“Incapacidad para evaluar objetivamente los beneficios que ofrece la CFS”* (76 %).

Un análisis que se puede hacer con estos resultados obtenidos, es que la falta de estudios y metodologías que cuantifiquen cada uno de los beneficios (económicos, de calidad, ambientales y sociales) de la industrialización por medio de la construcción fuera del sitio, es una barrera importante que impide que las empresas del rubro, en su gran mayoría conservadoras, empiecen a emplear este tipo de construcción, por lo cual, evidenciar y cuantificar las ventajas de la construcción industrializada es un desafío pendiente dentro de la realidad de Chile.

1.4.2.2. Acompañamiento Proyecto Construcción Industrializada

En este estudio elaborado por idiem y publicado en 2018, se busca el objetivo de levantar indicadores que permitan evidenciar las ventajas en productividad de las obras con uso de CI en comparación con obras tradicionales, en los ámbitos de plazos, costos, calidad, entre otros y se obtienen las siguientes conclusiones en base a los casos estudiados:

- El costo directo de la obra gruesa en una construcción industrializada varía entre 86 y 113 % del de una construcción tradicional, dependiendo de la materialidad elegida.
- Tasa de accidentabilidad y siniestralidad es menor en obras industrializadas, por factores como especialización de la mano de obra, cantidad de personas trabajando en obra y tiempo de trabajos en altura.
- Las principal fuente de ahorro de tiempo de la construcción industrializada con respecto a la tradicional está asociada a los plazos de ajustes requeridos. Otra fuente importante es la menor cantidad de faenas húmedas, lo que disminuye considerablemente los tiempos de espera.
- Al igual que con los plazos, el principal ahorro en HH para una construcción industrializada con respecto a una tradicional está asociado a una cantidad considerablemente menor de ajustes requeridos.
- Los ajustes de calidad necesarios de una construcción industrializada requieren entre 8 y 27 % de las HH requeridas por una construcción tradicional para obtener un nivel de terminación homologable.
- Los residuos generados por la obra gruesa en una construcción tradicional son entre 3 y 3,5 veces más que los producidos por una construcción industrializada.
- La productividad obtenida con sistemas industrializados varía entre 148 y 227 % con respecto a la obtenida con sistemas tradicionales.
- Soluciones industrializadas, prefabricadas y modulares mejoran la calidad, productividad, y sustentabilidad en la edificación, incorporando mejores practicas, tecnología e innovación en toda su cadena de valor

1.4.2.3. Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales

En el año 2020, Matrix Consulting publicó un informe de productividad de la construcción en Chile. Algunas de las conclusiones presentadas en ese informe se detallan a continuación.

Mientras la productividad laboral de la economía chilena aumentó en un valor cercano al 20 %, la productividad en el rubro de la construcción prácticamente no varió. Se estima que si Chile aumentara su nivel de productividad en la construcción a niveles como los de Alemania, Reino Unido y Estados Unidos, podría aumentar su PIB en casi trece mil millones de dolares.

En Chile, el 70 % de las obras no terminan a tiempo, teniendo un desvío promedio aproximado del 16 % del plazo presupuestado, mientras que este desvío en países referentes es de

14 % aproximadamente. Además, en Chile, el 10 % de las partidas ejecutadas en obra gruesa requiere retrabajo, mientras que en terminaciones este valor asciende a 22 %. La necesidad de rehacer trabajos impacta directamente en los plazos y costos de las obras. Durante el estudio se registró en promedio una observación de calidad por cada 250 metros lineales, las cuales requerían de media dos semanas en ser resueltas.

La productividad final de una obra se puede aumentar a través de una serie de factores de la cadena de valor. Entre los factores que mejoran la productividad en diseño se encuentran la estandarización y simplicidad de los diseños, la habilitación de prefabricados, la integración temprana y el trabajo colaborativo. Por otra parte, la productividad en ejecución se puede mejorar mediante la medición y control de la productividad y la mejora en la calidad de la ejecución de las partidas, lo que reduce los retrabajos.

Con el objetivo de aprovechar las oportunidades existentes para mejorar la productividad, se proponen cuatro palancas para las empresas, las cuales son: excelencia en la cadena de valor; integración y colaboración; digitalización e industrialización.

Para la primera de estas palancas, se considera necesario utilizar metodologías de alto estándar en el diseño, planificación y ejecución de la obra. Entre estas metodologías se encuentra incorporar principios de diseño tales como estandarización, repetición, simplicidad y prefabricación, contar con planificación sistemática que incorpore actores claves y adoptar prácticas de sostenibilidad ambiental y social. Para “integración y colaboración” se debe integrar tempranamente al desarrollador, diseñadores, proveedores y constructora para maximizar el impacto de la colaboración, además de adoptar marcos contractuales que fomenten la colaboración y balanceen los riesgos. En “digitalización” se debe incorporar el uso de diversos software, entre los que destaca el BIM para las diferentes etapas. Para la última palanca, denominada industrialización, se deben adoptar metodologías constructivas como la prefabricación de elementos complejos y la construcción modular, además de aumentar el grado de especialización de la mano de obra y considerar la industrialización como un elemento clave en la estrategia operacional de la compañía.

El accionar estas palancas permitiría reducir costos en hasta un 7%. Particularmente, accionar la palanca “industrialización” podría generar un ahorro en costos de 1,5% en un escenario conservador y hasta en un 4,5% en uno optimista.

En Chile, el uso de BIM es muy bajo y se centra principalmente en la etapa de diseño. En una escala de 1 a 5, siendo 5 su aplicación máxima, las empresas califican con un promedio de 1,6 su integración del trabajo a través de BIM. El uso de BIM en países referentes es cercano a 90% mayor que en Chile, ya que sus porcentajes de uso aproximado son de 64% y 34% respectivamente. Además, obras que han implementado el uso de BIM han conseguido mejorar su productividad y ahorrar en costos aproximadamente 13% y 4% respectivamente.

En Chile, el modelo de contrato más utilizado no fomenta la colaboración entre los equipos de diseño y de construcción al realizarse los contratos de forma independiente entre ellos, lo que se refleja en un bajo nivel de participación de las constructoras en la etapa de diseño. Se determina que el 50% de las obras tuvo leve o nula participación en la etapa de diseño. Además, solo un 13% de las obras incluyeron agentes externos a la constructora, tales como

proveedores y concesionarios, en reuniones periódicas de planificación.

Tanto a nivel mundial como en Chile, la industria de la construcción es una de las que menos invierte en Investigación y Desarrollo. Sin embargo, Chile es el país de la OCDE que menos invierte en I+D en términos de su PIB.

En Chile, el uso de elementos prefabricados de poca complejidad se encuentra entre 33 y 36 %, mientras que para elementos de alta complejidad es solamente de un 2 %. Esto contrasta claramente con la realidad internacional de países referentes, en donde estos rangos de valores son de 5-6 % y 22-28 % para elementos de poca y alta complejidad respectivamente, ya que al utilizar elementos prefabricados de alta complejidad como losas y muros, tienen una menor necesidad de usar elementos prefabricados más básicos como enfierraduras.

En Chile, obras que han utilizado elementos prefabricados han conseguido un aumento en productividad cercano al 22 % tanto en obra gruesa como en terminaciones. Este impacto en productividad se refleja en tiempos y costos menores en la ejecución de proyectos, ya que el 66 % de los proyectos logró una disminución en tiempos de ejecución y un 65 % lo hizo en costos de ejecución. Por otra parte, 6 % de los proyectos presentó un aumento en plazos y un 8 % lo hizo en costos.

Se ha detectado la existencia de 5 barreras en la adopción del uso de prefabricados en Chile, entre las que destaca la dificultad de realizar una evaluación integral de los beneficios del uso de prefabricados por la poca información disponible al respecto. Para realizar este análisis se deben medir costos generales, costos ocultos y retrabajos. Se detecta que solo un 20 % de las obras cuenta con la información completa y estructurada en el área de costos.

Para impulsar desarrollo y adopción de tecnologías y metodologías constructivas, se proponen 5 líneas de acción con distintas iniciativas para cada una. Las 5 líneas de acción propuestas son: incorporar tecnologías y metodologías constructivas en proyectos públicos; desarrollar proveedores para la industria; definir estándares para acelerar adopción de tecnologías; apoyar la adopción y desarrollo de tecnologías en empresas; potenciar la colaboración academia-industria.

Dentro de las iniciativas propuestas en la línea de acción denominada “definir estándares para acelerar adopción de tecnologías” se encuentra definir indicadores claves de rendimiento (KPI’s por sus siglas en inglés) y metodologías de medición estándar, es decir, generar una herramienta en línea que permita evaluar el impacto de diversas soluciones constructivas y comparar resultados de KPI’s adoptados a nivel nacional.

Finalmente, una empresa constructora de Singapur llamada Dragages, implementó el uso de soluciones prefabricadas volumétricas y reconoció que el uso de este sistema le implicó un sobre costo en las primeras experiencias pero tras un periodo de aprendizaje comenzaron a capturar los beneficios económicos del sistema.

1.4.2.4. Estandarización de medidas de partes y piezas de componentes de la construcción

En este estudio elaborado por IDIEM y publicado el año 2018, se busca proponer una estrategia relacionada a la estandarización de medidas de partes y piezas de componentes de la construcción, para incentivar el uso de prefabricados en la construcción. Dentro de este estudio se estudia el contexto general del uso de prefabricados, las motivaciones existentes para su uso a nivel internacional y se presenta un levantamiento de los impactos del uso de prefabricados en la productividad, particularmente en los ámbitos costos, plazos y calidad. A continuación se presentan algunos de los aspectos más relevantes para la realización de este trabajo de título.

Existen diversos motivos por los cuales los diferentes países comenzaron a implementar fuertemente los sistemas industrializados de construcción. En Inglaterra fue la necesidad de una rápida reconstrucción tras las guerras mundiales, en Estados Unidos de América por la necesidad de instalaciones militares para quienes participan en la guerra mundial y por la reinstalación dentro del territorio del país norteamericano de los participantes en la guerra. En Australia comenzó a impulsarse el uso de construcción industrializada para generar tecnologías y una industria con posibilidad de crecimiento mediante la exportación. En Japón ha sido para resolver los problemas de demanda de viviendas . En Suecia, al igual que en otros países, ha sido debido a que en algunas épocas del año existen condiciones climáticas que impiden efectuar la ejecución de proyectos mediante construcción tradicional. En Singapur y Malasia se busca aumentar la productividad en la construcción.

En países considerados desarrollados no existen normativas que exijan la utilización de sistemas especiales de construcción pero en algunos casos si existen incentivos para desarrollar una industria mas avanzada y tecnificada. Por otra parte, en países en vías de desarrollo como los casos de Malasia y Singapur existen planes gubernamentales que contienen incentivos y algún grado de obligatoriedad en algunos proyectos para el uso de sistemas industrializados. El objetivo de estos planes gubernamentales es aumentar la productividad en la producción y mejorar la industria de la construcción consolidándola como un eje principal de la economía del país. Las motivaciones para generar estos planes estratégicos son similares a las planteadas actualmente en Chile, y es por este motivo que se presta especial atención a estos dos países.

En Malasia, se empezaron a implementar los denominados Sistemas Industrializados de Construcción para mejorar la productividad, reducir los riesgos de seguridad y los problemas asociados al uso de mano de obra poco calificada. Desde el año 2008 se estableció que todos los proyectos públicos deben estar contruidos con un porcentaje mínimo de componentes industrializados de un 70 %. Actualmente la construcción industrializada es ampliamente utilizada, sin embargo, se espera que siga aumentando su porcentaje de uso.

En Singapur, en 1999 se creó un organismo encargado de desarrollar regulaciones para la construcción con el objetivo de mejorar la productividad, denominado Building and Construction Authority (BCA). Desde el año 2011, las edificaciones deben cumplir con una calificación de diseño y construcción en el cual se miden parámetros que apuntan a la mejora en productividad. El objetivo actual es seguir aumentando la productividad por medio de métodos más sofisticados y productivos, por lo cual se ha aumentado la exigencia de los índices exigidos en dos ocasiones (2013 y 2014).

Una vez revisado el contexto internacional del uso de soluciones prefabricadas, se estudian los diferentes sistemas de construcción. Las obras pueden presentar distinto nivel de uso de prefabricados, el cual puede ir desde el uso de componentes secundarios prefabricados hasta el de sistemas prefabricados completos.

Los sistemas prefabricados completos se clasifican en tridimensionales o de módulos, planos o de panel, lineales e híbridos. Los sistemas tridimensionales generalmente son los de instalación más rápida, y usan como elemento de construcción principal unidades tipo módulos que contienen muros y piso. Los sistemas planos tienen forma de panel, y corresponden a losas, muros, tabiques y soportes verticales. Los sistemas lineales tienen como característica principal la capacidad de transferir cargas en grandes extensiones. Columnas, vigas y marcos corresponden a sistemas lineales. Finalmente, los sistemas híbridos combinan los sistemas anteriormente mencionados.

Además, los sistemas prefabricados se pueden clasificar en cerrados y abiertos. En los sistemas cerrados, los elementos y componentes son fabricados según las especificaciones del propio fabricante o sistema, por lo cual responden a reglas de compatibilidad interna. Por otra parte, en los sistemas abiertos, los elementos y componentes son de distinta procedencia y son fabricados de acuerdo a reglas de estandarización con el fin de ser compatibles con diversos proyectos.

Para el éxito de los sistemas abiertos, debe existir una estandarización general para lograr multicompatibilidad de componentes. Para lograr una intercambiabilidad de componentes generalizada se requiere estandarización tanto de componentes como de sistemas de conexiones. A nivel internacional, la tendencia apunta al uso de elementos prefabricados personalizados adoptando reglas generales de coordinación modular y a integrar componentes secundarios con medidas preferentes, es decir, compatibles con las medidas disponibles en el mercado. Los tres pilares principales de las normativas internacionales respecto a la estandarización de medidas de componentes de la construcción son la coordinación modular, medidas preferentes y tolerancias constructivas.

Finalmente, se presentan los impactos en la productividad del uso de componentes prefabricados/modulares, obtenidos a través de revisión bibliográfica. En esta revisión se observó que los proyectos que utilizan componentes prefabricados o modulares poseen ventaja en productividad en comparación con proyectos ejecutados mediante construcción tradicional.

En tiempos de ejecución, mayoritariamente se registraron disminuciones entre un 30 % a un 50 %. Para proyectos modulares, en la mayoría de casos se tienen reducciones de tiempo cercanos al 90 % en comparación con construcción tradicional. De acuerdo a un estudio publicado por McGraw Hill Construction en 2011, en un 66 % de los proyectos con componentes prefabricados y/o modulares se percibe una disminución en plazos mientras que en un 28 % no se perciben cambios y solamente en un 6 % se percibe aumento en los plazos. Además, en un 35 % de los proyectos se percibe una disminución en plazos de 4 semanas o superior. En proyectos con uso de componentes prefabricados y/o modulares se puede esperar reducciones en plazos respecto al uso de construcción tradicional entre un 50 % y un 70 % si se trata de una construcción pequeña y entre 10 % y 20 % para construcciones de mediana altura y edificios altos. Al utilizar sistemas de construcción modulares se suelen reducir los costos

del proyecto, típicamente este ahorro se encuentra entre 5 % y 10 % pero en algunos casos se puede alcanzar hasta un 20 % de ahorro. Según el estudio antes mencionado de McGraw Hill Construction, en el 65 % de los proyectos se ha conseguido ahorrar al utilizar componentes prefabricados y/o modulares, en un 27 % no ha existido cambios y en un 8 % se han aumentado los costos del proyecto. La calidad de los proyectos puede aumentar al incorporar componentes prefabricados y/o modulares debido a una mayor experiencia de la mano de obra que trabaja en las plantas proveedoras de estas soluciones y también por una mayor facilidad en la inspección de calidad de estas partidas a medida que se van ensamblando. En el estudio de McGraw Hill Construction se presenta una encuesta realizada a agentes de proyectos que no usan componentes prefabricados y/o modulares, en la cual el 15 % de los encuestados considera que incorporar este tipo de soluciones puede significar un impacto alto o muy alto en la calidad del proyecto, mientras que un 50 % considera que significaría un impacto medio y un 35 % considera que este impacto sería bajo o nulo.

1.4.2.5. Metodología para la Construcción Industrializada

En este documento publicado por el CCI el año 2023, se presenta una propuesta de metodología paso a paso para incorporar el uso de construcción industrializada en un proyecto, obra o empresa. Esta metodología consta de nueve pasos, los cuales son: análisis de potencial; definición de objetivos de industrialización; definición de equipo; planificación del diseño industrializado; generación de ideas; evaluación de ideas; diseño; evaluación diseño y evaluación KPI's.

Los primeros tres pasos se ubican en la fase de definición del proyecto, del cuarto al octavo corresponden a la fase de diseño, y el último paso se ubica en la fase de construcción. A continuación, se presenta un esquema de los nueve pasos extraído del documento y se realiza un repaso de cada uno de ellos.

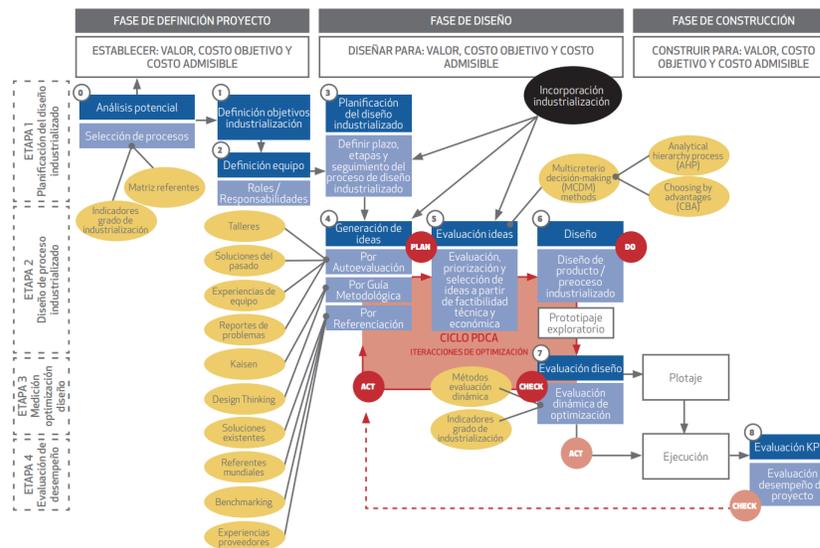


Figura 1.2: Pasos de la metodología para la construcción industrializada.

Fuente: CCI (2023).

1.4.2.5.1. Análisis de potencial

En este paso se deben identificar las partidas que al usar soluciones industrializadas pueden aportar al desempeño del proyecto e identificar en qué ámbito se ve reflejado este impacto, de esta forma, se pueden dirigir los esfuerzos hacia las partidas que generen un mayor beneficio en los ámbitos deseados. Este análisis se basa en dos ejes, los cuales son experiencias pasadas y condiciones presentes. En esta etapa las empresas deben comprender los beneficios que pueden obtener al utilizar construcción industrializada.

1.4.2.5.2. Definición de objetivos

En este paso se tienen dos objetivos. El primero de ellos es definir metas asociadas a industrialización en la etapa de diseño, estas metas pueden ser obtener un porcentaje objetivo de modulación, estandarización o prefabricación. El segundo objetivo de esta etapa es definir el costo meta del proyecto, en donde el uso de soluciones industrializadas tendrá un gran impacto para el logro de este objetivo.

1.4.2.5.3. Definición de equipo

El objetivo de este paso es identificar y determinar los actores relevantes que estarán involucrados en los pasos siguientes. Además, estos actores deberán liderar el proceso de integración temprana. La integración temprana entre diferentes actores permitirá la eliminación de desperdicios, minimizar riesgos y mejorar la productividad. Se definen los cinco roles principales de los actores relevantes en los proyectos con construcción industrializada. Estos roles junto con la definición de cada uno, se presentan a continuación:

- **Dirección:** liderar y fomentar estrategias de implementación de CI en una organización, de acuerdo a las necesidades, beneficios y recursos destinados al desarrollo de proyectos e inversiones en el tiempo.
- **Gestión:** liderar la implementación de la estrategia de CI, en relación a los RRHH, procesos y tecnologías. Gestionar la planificación, diseño, comunicación, programación y/o producción on site y off site con los distintos actores. Definir los procesos y partidas a industrializar.
- **Coordinación:** implementar y coordinar el proceso de integración, comunicación y flujo de información entre las diferentes especialidades de un proyecto, Prever conflictos y consensuar soluciones con la cadena de suministro, considerando la secuencialidad y repetitividad de las soluciones industrializadas, ya sea en la etapa de diseño, modelación, producción on site y off site, logística y/o montaje.
- **Ejecución:** desarrollar los procesos de CI de proyectos según especialidad en las etapas de planificación, diseño, construcción, operación y deconstrucción, utilizando diferentes tecnologías y metodologías de prefabricación e industrialización.
- **Revisión:** examinar y verificar el cumplimiento detallado de la calidad de la información, procesos, elementos y/o componentes industrializados según especialidad y etapa del ciclo de vida del proyecto.

1.4.2.5.4. Planificación del diseño

En este paso se deben definir las fechas e hitos importantes y los plazos necesarios para lograr el diseño industrializado. Se propone considerar un plazo de diseño mayor que para una obra con construcción tradicional debido a que al tratarse de construcción industrializada se necesitan más iteraciones y una mayor coordinación entre arquitectura, cálculo y especialidades, mandante, constructora y proveedores para lograr los objetivos planteados en las etapas anteriores.

1.4.2.5.5. Generación de ideas

El objetivo de este paso es generar ideas para industrializar el diseño, enfocado en las partidas, procesos y actividades que tienen un mayor potencial para ser industrializados según el análisis de potencial. Los tres ejes principales para generar ideas son generación de ideas por autoevaluación, por referenciación y por guía metodológica.

1.4.2.5.6. Evaluación de ideas

Se deben evaluar las ideas generadas en el paso anterior, mediante algún método de toma de decisión multicriterio. Se propone utilizar el método Choosing by Advantages (CBA), el cual consta de los siguientes pasos:

- Identificar las alternativas a evaluar.
- Definir los factores sobre los cuales se evaluarán las alternativas.
- Definir los criterios deseados y exigidos por factor
- Definir la escala de importancia de los factores.
- Resumir los atributos de cada alternativa.
- Realice la evaluación comparativa de las alternativas, en función de los atributos y factores definidos (importancia técnica).
- Determine el costo inicial y de operación de sus alternativas.
- Graficar comparativamente: Costos vs Importancia.

1.4.2.5.7. Diseño

En este paso se debe realizar el diseño del proyecto industrializado. El uso de la tecnología BIM en etapa de diseño permite tener una mirada holística de la futura ejecución del proyecto, facilitando la búsqueda de soluciones o de nuevas ideas para la ejecución de partidas en un nivel de construcción y montaje de la obra. Una vez modelado el proyecto, se deben considerar los siguientes puntos:

- Apuntar a la producción seriada.
- Definir los procesos constructivos.
- Estandarizar el producto o zona.
- Definir los tiempos de desarrollo.

- Establecer un orden de producción.
- Disminuir los reprocesos.
- Realizar una revisión preventiva.
- Garantizar la condición de satisfacción.

1.4.2.5.8. Evaluación de diseño

El objetivo de este paso es evaluar los niveles de modulación y estandarización, además de la tecnología constructiva utilizada en la ejecución del proyecto, y compararlos con los objetivos de industrialización propuestos al principio de esta metodología. En caso de que los resultados de esta evaluación no alcancen las metas propuestas, se debe iterar hasta alcanzar los niveles deseados.

Los indicadores propuestos en esta metodología son: componente modular, estandarización de los componentes, modulación del recinto, estandarización recintos, edificabilidad o diseño edificable, módulo de transporte, nivel de innovación tecnológica en la construcción y constructabilidad.

Para los 4 primeros indicadores (componente modular, estandarización de los componentes, modulación del recinto y estandarización recinto), en la guía se indica la fórmula que se debe utilizar para obtener el valor de cada uno de ellos.

Para el indicador de edificabilidad o diseño edificable, se debe realizar un análisis comparativo principalmente en los ámbitos plazos, costos y mano de obra in-situ entre las soluciones tipo tradicional y la propuesta industrializada del proyecto, a partir de los 3 pilares principales definidos por la BCA de Singapur en el sistema de evaluación “Diseño Edificable”, los cuales son: sistemas estructurales, sistemas de muros y tecnologías de diseño para fabricación y ensamblaje.

En el indicador de módulo de transporte se indica que se debe analizar la configuración vial existente alrededor del sitio para maniobrar y sujetar los módulos, para poder generar una planificación de entregas que eviten las congestiones fuera del sitio.

Para definir el nivel de innovación, es necesario basarse en la propuesta de Virgilio Ghio del año 1997, en la cual categoriza los niveles de innovación en 6. Estos 6 niveles, junto con sus características, se presentan a continuación.

- Nivel 1 - Construcción in-situ tradicional: se caracteriza por la utilización de técnicas tradicionales de construcción y depende en gran parte de la destreza de la mano de obra.
- Nivel 2 - Construcción in-situ optimizada: se caracteriza por presentar una evolución en la optimización del diseño, planificación y control de procesos.
- Nivel 3 - Construcción in-situ tecnificada: se caracteriza por incorporar mano de obra tecnificada, uso de maquinarias y herramientas livianas y de BIM en forma básica.
- Nivel 4 - Construcción parcialmente prefabricada in-situ: se caracteriza por la utilización de algunos elementos prefabricados en el lugar de la obra y por la utilización de BIM como herramienta de gestión.

- Nivel 5 - Construcción parcialmente prefabricada en fábrica: se caracteriza por la utilización de elementos prefabricados en plantas y por contar con seguimiento y control de residuos.
- Nivel 6 - Construcción ampliamente industrializada: se caracteriza por utilizar una gran cantidad de elementos de alta complejidad prefabricados en planta y reducir la mano de obra al mínimo necesario para el montaje de estos elementos. Además, cuenta con uso de BIM totalmente integrado a la gestión de la construcción.

Para el indicador de constructabilidad se debe realizar una evaluación acerca de la reducción de plazos y costos al utilizar la propuesta industrializada del proyecto, basándose en los 3 pilares principales definidos por la BCA de Singapur en su sistema de evaluación “Constructabilidad”, los cuales son: sistemas estructurales; sistemas arquitectónicos, mecánicos, eléctricos y de plomería y buenas prácticas de la industria.

1.4.2.5.9. Evaluación KPI's

El último de los 9 pasos corresponde a la medición de los KPI's de los proyectos industrializados, lo cual se realiza utilizando el set de indicadores que será analizado en el presente trabajo de título.

Capítulo 2

Desarrollo

2.1. Estudio del set de indicadores para medir la industrialización

La guía Metodología de Medición (CCI, 2021) fue elaborada con el objetivo principal de evidenciar las ventajas en productividad y sustentabilidad mediante indicadores, del uso de construcción industrializada en comparación a la construcción tradicional. Esta propuesta de medición puede ser aplicada tanto en obras terminadas como en obras en ejecución, con la condición de que su avance real del programa sea mayor o igual al 30 %. Los indicadores diseñados para cumplir este objetivo, son 42, los cuales se dividen en tres ámbitos, los cuales a su vez se dividen en sub-ámbitos. La guía metodológica especifica los datos que se necesitan para obtener los valores de los 42 indicadores, así como también se detalla el sistema para calcular el puntaje de cada indicador, sub-ámbito y ámbito.

En esta sección se presentan, estudian y analizan los indicadores y su sistema de puntuación, con el objetivo de determinar e identificar sus problemas, errores y puntos a mejorar, además de sus fortalezas y aciertos.

Tras las conclusiones obtenidas al final de esta sección se decidirán los pasos a seguir a continuación, los cuales pueden ir desde realizar pequeños ajustes hasta la generación de una propuesta completamente nueva.

2.1.1. Análisis de indicadores existentes

A continuación, se presentan las definiciones de los indicadores expuestas en la guía y se analiza cada uno de ellos, con el objetivo de determinar cuáles de estos indicadores pueden ser útiles y deben ser considerados en una potencial nueva propuesta del set de indicadores. Este análisis fue realizado basándose en las experiencias de los casos piloto del set y en reuniones con mesa de expertos del CCI, y fue presentado a los Socios CCI en una reunión efectuada el día 2 de junio del 2022. Se debe tener en cuenta que los indicadores se deben poder obtener tanto en construcciones tradicionales como industrializadas, para poder comparar los valores obtenidos para ambos tipos de construcciones.

2.1.1.1. Del Proyecto

- Costos de Diseño: “Corresponde al costo inicial del diseño del proyecto el cual está determinado por el valor cobrado por las empresas de diseño arquitectónico, cálculo y especialidades, incluyendo los costos de coordinación de proyecto o BIM si procede. Se cuantifica en costos normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[UF/m^2]$.”
Análisis: este valor resulta útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea mayor para un proyecto con CI, ya que se requiere un mayor esfuerzo en esta etapa para disminuir los errores en las etapas siguientes.
- Costos de Construcción: “Corresponde al costo que el cliente paga a los contratistas por la construcción del proyecto. Para definir las fronteras de lo que se debe considerar, se excluyen los costos preliminares definidos en el indicador con ese nombre, con el fin de reducir el impacto de partidas específicas dentro del estudio. Se cuantifica en costos normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[UF/m^2]$.”
Análisis: este indicador es útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor para proyectos que utilizan CI.
- Costos de Modificaciones de diseño: “Corresponde a los costos asociados a adaptar y cambiar los diseños debido a problemas que surjan fuera de la etapa de diseño, estos costos vienen determinados por el tiempo que se requiere para corregir un diseño y para que el proveedor produzca los nuevos elementos off site de acuerdo al nuevo diseño si procede. Se cuantifica en costos normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[UF/m^2]$.”
Análisis: este dato no suele ser cuantificado por las empresas ya que generalmente son por problemas de integración temprana, y al no estar bien definidas las culpas y responsabilidades, las empresas simplemente asumen el costo.
- Costos Preliminares: “Corresponde a los costos asociados a la ejecución de las partidas contempladas en la etapa de obras previas, referidas a la facilitación de las obras de etapas posteriores. Se incluyen trabajos de demolición y remoción de escombros, trabajos externos y modificaciones. Se cuantifica en costos normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[UF/m^2]$.”
Análisis: este valor no resulta útil al comparar construcción industrializada con tradicional ya que no depende del tipo de construcción utilizada.
- Costos de Transporte y Logística: “Corresponde a los costos producidos en el proceso de suministro y administración de recursos necesarios para la ejecución de las actividades on site y off site, como materiales, equipos, componentes, estructuras, entre otros. Se cuantifica en costos normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[UF/m^2]$.”
Análisis: obtener este valor de forma precisa resulta muy complejo para las empresas, ya que en la mayoría de las ocasiones los valores asociados a transporte vienen incluidos en los contratos de compra de materiales. Es por esto, que las respuestas obtenidas presentarían gran variabilidad en la metodología usada para medir el dato lo que no serviría para un buen análisis.

- **Costos de Almacenaje:** “Corresponde a los costos producidos al mantener existencias en la bodega o lugar de almacenamiento en el sitio de construcción y por producir las condiciones de almacenamiento necesarias. Se cuantifica como costos normalizado por los metros cuadrados de proyecto, en unidades de $[UF/m^2]$.”
Análisis: las empresas generalmente no llevan el registro del costo asociado a almacenar existencias en el sitio de construcción.
- **Duración del Diseño:** “Corresponde al tiempo de confección del diseño del proyecto. El trabajo de diseño puede ser realizado por las empresas de diseño arquitectónico, cálculo y especialidades, incluyendo los plazos de coordinación de proyecto o BIM si procede. El tiempo empleado por cada entidad involucrada debe medirse por separado. Se cuantifica en cantidad de tiempo efectivo de elaboración normalizado por la envergadura del proyecto, en unidades de $[días/m^2]$.”
Análisis: útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Al igual que en los costos, se espera que la duración del diseño sea mayor para un proyecto que utilice CI.
- **Duración Construcción off site:** “Corresponde al tiempo empleado en la manufactura de los elementos, componentes o estructuras prefabricadas que se utilizarán en el proyecto. Se cuantifica en cantidad de tiempo de elaboración normalizado por la envergadura del proyecto, en unidades de $[días/m^2]$.”
Análisis: este valor no afecta directamente al desarrollo de la obra ya que no ocurre en el lugar en que esta se ejecuta y depende de las empresas proveedoras de soluciones industrializadas, por lo que en la mayoría de los casos las constructoras no tienen este dato. Además, este indicador no existe en construcciones tradicionales por lo que no se puede comparar.
- **Duración Construcción on site:** “Corresponde al tiempo durante el cual la comunidad local experimenta interrupciones de las actividades comunes. Comienza en el inicio de las obras del contratista principal en el sitio, en la etapa de obras previas, hasta su entrega. Se cuantifica en cantidad de tiempo efectivo normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[días/m^2]$.”
Análisis: este indicador resulta útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor para proyectos con CI ya que usan soluciones de CI que deberían mejorar la velocidad de construcción.
- **Retrasos Totales:** “Corresponde al tiempo de desfase en la entrega del proyecto final por sobre el estimado en su diseño y planificación. Se cuantifica como el tiempo luego de la fecha de entrega original del proyecto normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[días/m^2]$.”
Análisis: en lugar de solicitar los días de retraso, resulta mejor comparar el avance programado con el avance real de la obra.
- **Transporte y Logística:** “Corresponde a la suma del tiempo empleado en el suministro de materiales, elementos, componentes u otros recursos al lugar de construcción del proyecto. Se cuantifica como cantidad de tiempo empleado en el transporte normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[días/m^2]$.”
Análisis: este valor no resulta útil para este estudio ya que generalmente este tiempo empleado en transporte está ligado a empresas proveedoras y no a la empresa encargada del proyecto.

- Costos de trabajo rehecho: “Corresponde a los costos que conlleva la repetición y corrección de partidas debido a no aprobar los índices de calidad requeridos a causa de trabajos mal ejecutados. Se cuantifica en costos normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[UF/m^2]$.”
Análisis: este valor es útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor para un proyecto con CI, ya que al usar soluciones de CI se deberían tener muchos menos fallos en la etapa constructiva.
- Satisfacción del usuario: “Corresponde al proceso de evaluación de la satisfacción del usuario, determinado en cómo el producto final difiere de las expectativas iniciales, en ejes como rendimiento técnico, uso de energía o rendimiento acústico. Se calcula a partir del registro de reclamos de usuarios en la etapa de post venta. Se cuantifica como $[n^\circ \text{ de reclamos}/n^\circ \text{ de unidades habitacionales}]$.”
Análisis: este indicador es útil para realizar una comparación en calidad entre construcción industrializada u tradicional. Se espera que este valor sea menor para un proyecto con CI, ya que si se usan partidas prefabricadas, estas son sometidas a un mayor número de controles de calidad durante su fabricación en planta.
- Mantenimiento: “Corresponde a los trabajos que deben realizarse en forma sistemática, para proteger la edificación de la acción del tiempo y del desgaste por su uso y operación, asegurando el máximo rendimiento de las funciones para las cuales éstas han sido construidas. Se cuantifica en costos normalizado por los metros cuadrados y los años de vida útil del proyecto, en unidades de $[UF/m^2_año]$.”
Análisis: este valor no resulta útil al comparar construcción industrializada con tradicional ya que en ambos casos debería ser similar.
- Consumo Energético Diseñado: “Corresponde al desempeño energético de cada vivienda, referido a la demanda energética para alcanzar el confort térmico en la vida útil del proyecto. Se cuantifica en base a lo establecido en el Certificación de Vivienda Sustentable, en unidades de $[kWh/m^2_año]$.”
Análisis: este valor no resulta útil al comparar construcción industrializada con tradicional ya que no depende del tipo de construcción utilizada.
- Observaciones de calidad: “Corresponde a la cantidad de observaciones del cliente, servicio post venta, que tuvieron lugar hasta un año después de la entrega del producto. Se cuantifica como la cantidad de observaciones y reclamos registrados por postventa.”
Análisis: útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor para obras con CI. Para obras con soluciones de CI, se deben diferenciar las observaciones de calidad asociadas al trabajo realizado por la constructora con el realizado por las empresas proveedoras de estas soluciones.
- MO en el sitio: “Corresponde a la cantidad de mano de obra durante el proceso de construcción, diferenciada en directa, indirecta y subcontrata. Se cuantifica en horas de trabajo normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[HH/m^2]$.”
Análisis: indicador útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que la mano de obra sea menor para los proyectos con CI.
- MO fuera del sitio: “Corresponde a las horas que están específicamente relacionadas con la construcción y montaje de elementos externos para el proyecto, y no necesariamente

horas para la fabricación de materiales (por ejemplo, ladrillos). Se cuantifica en horas de trabajo normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[HH/m^2]$.”
Análisis: al igual que en el indicador de duración de construcción off site, este dato no lo tienen las empresas constructoras ya que depende de las empresas proveedoras de soluciones de CI.

- **Oficios e Interfaces (MO Peak):** “Corresponde a la medición de las interferencias, en etapa constructiva, que se producen cuando diferentes equipos de trabajo concurren a un mismo punto. Se cuantifica como la cantidad peak de mano de obra dentro de los metros cuadrados del lugar de trabajo, obtenidos desde una muestra confiable, en día y hora de trabajo, en unidades de $[n^{\circ} \text{ de trabajadores}/m^2]$.”
Análisis: indicador útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor para obras con CI, ya que al usar soluciones de CI deberían necesitarse menos trabajadores por partida.
- **Accidentes Laborales:** “Corresponde a la cantidad de accidentes registrados durante el curso de la obra, se cuantifica de acuerdo a la tasa de accidentabilidad, en unidades porcentuales.”
Análisis: este valor es útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor para obras con CI.
- **Certificación Trabajadores:** “Corresponde a la cantidad de trabajadores certificados en temas de producción, planificación y gestión dentro del proyecto, se cuantifica de acuerdo al porcentaje de trabajadores certificados sobre el total de trabajadores del proyecto, en unidades porcentuales.”
Análisis: este indicador no nos entrega ninguna información relacionada con la construcción industrializada ni su proceso.

2.1.1.2. Medio Ambientales

- **Generación de residuos:** “Corresponde a la cantidad de residuos generados por las actividades de construcción, incluidas las estructuras temporales. Se cuantifica en base a lo establecido en el Certificación de Vivienda Sustentable, como el volumen de residuos totales normalizado según la dimensión del proyecto, en unidades de $[m^3/m^2]$.”
Análisis: indicador útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor para obras con CI.
- **Contaminación de material particulado:** “Corresponde a la concentración de material particulado y dióxido de nitrógeno alrededor del sitio de construcción medido durante el período constructivo. Se cuantifica según el Certificado de Vivienda Sustentable, en unidades de $[\mu g/m^2]$.”
Análisis: este valor resulta extremadamente complicado de medir debido a que se requiere equipo especial para hacerlo.
- **Uso de energía en la construcción:** “Corresponde a la cantidad de energía utilizada durante el proceso de construcción, incluidos electricidad, combustible y gas. Se cuantifica como el gasto energético por cada cien metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[kWh/m^2]$.”
Análisis: indicador útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor en proyectos con CI.

- Uso de agua en la construcción: “Corresponde al uso de los servicios de agua para labores vinculadas a los procesos constructivos, sin considerar la producción de materiales. Se cuantifica como el volumen de agua utilizado por cada cien metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[m^3/m^2]$.”
Análisis: indicador útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor en proyectos con CI.
- CO2 incorporado: “Corresponde a la emisión de CO2 de materiales y métodos de construcción según la equivalencia establecida para su producción, transporte y uso. Se cuantifica en base a lo establecido en el Certificación de Vivienda Sustentable, como toneladas de CO2 emitidas por cada cien metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[ton/m^2]$.”
Análisis: obtener este valor requiere un mayor esfuerzo por parte de la empresa ya que se debe calcular en base a cada elemento utilizado durante el proceso constructivo. Es por esto que es mejor no considerarlo ya que las empresas no dedicarían tanto tiempo a calcular solamente un indicador.
- Durabilidad: “Corresponde a la vida útil de la edificación y los servicios y componentes de la construcción, Se cuantifica como la vida útil proyectada del proyecto normalizado en los metros cuadrados del mismo, en unidades de $[años/m^2]$.”
Análisis: este indicador no nos entrega ninguna información relacionada a la construcción industrializada ni su proceso.
- Adaptabilidad futura: “Corresponde a la flexibilidad de la construcción para permitir futuros cambios de uso durante su vida útil, según las necesidades del cliente. Se cuantifica según puntajes relativos al grado de modularidad del proyecto, donde un proyecto con mayor grado de adaptabilidad consigue un mayor puntaje.”
Análisis: para este indicador se consulta por el tipo de construcción, pero de una manera muy básica en donde solo se puede elegir un tipo entre tradicional, modular y semi-modular. En este punto se debe ser mucho más específico ya que las obras con CI no usan solo un tipo de construcción necesariamente. Se debe consultar que tipo de construcción utilizan, pudiendo marcar más de una opción, y su porcentaje de uso.
- Reciclabilidad al final del ciclo: “Corresponde al nivel de reciclabilidad de los materiales, luego de finalizado el período de vida útil del proyecto. Se cuantifica según la jerarquía de residuos en una escala de evaluación donde el mayor puntaje se otorga a la reutilización de los materiales, por sobre el reciclaje y disposición a relleno sanitario, en una escala de puntajes discreta.”
Análisis: este valor no resulta útil al comparar construcción industrializada con tradicional ya que no depende del tipo de construcción utilizada.

2.1.1.3. Sociales

- Rotación Laboral: “Corresponde al nivel confiabilidad de los trabajadores debido a la estabilidad laboral. Se cuantifica a través de la tasa de rotación laboral dada por porcentaje del número de personas que abandonan en un periodo determinado sobre promedio de empleados en el mismo periodo, en unidades porcentuales, en unidades porcentuales.”
Análisis: para este indicador se consulta por los contratos de los trabajadores, sin embargo, este indicador no nos aporta información relacionada a la construcción indus-

trializada ni su proceso ya que la rotación de trabajadores se puede deber a diversos factores.

- Ambiente de trabajo confortable: “Corresponde a los beneficios de salud y condiciones laborales de los trabajadores brindadas por programas o estrategias de bienestar de la empresa participantes del proyecto. Se cuantifica en un sistema binario según la existencia de dichos programas.”

Análisis: este indicador no nos entrega ninguna información relacionada a la construcción industrializada ni su proceso.

- Cantidad de trabajo manual: “Corresponde a la cantidad de trabajos manuales duros, con impacto en la salud física y mental de los trabajadores. Se cuantifica a través de la cantidad de renunciadas aceptadas más la cantidad de licencias emitidas, normalizados en los metros cuadrados del proyecto, en unidades por sobre metros cuadrados.”

Análisis: la cantidad de renunciadas aceptadas y licencias emitidas no entrega un fiel indicador de cantidad de trabajo manual debido a que son muchos y muy diversos los motivos que pueden generar renunciadas y generación de licencias, por lo cual no se puede realizar un buen análisis a partir de este indicador.

- Estabilidad para familia y comunidad: “Corresponde a la cantidad de beneficios familiares otorgados a los trabajadores a través de planes de mejora laboral de las empresas participantes del proyecto. Se cuantifica en un sistema binario según la existencia de dichos programas.”

Análisis: este indicador no nos entrega ninguna información relacionada a la construcción industrializada ni su proceso.

- Diversidad en mano de obra: “Corresponde al nivel de diversificación de la fuerza de trabajo generada por la atracción de personas empleadas en otras industrias, como beneficio por los cambios en las condiciones laborales. Se cuantifica a través de indicadores demográficos de la fuerza laboral, como registros de edad, género, nacionalidad, entre otros, en escala de puntajes según más alta sea la diversidad.”

Análisis: este indicador no nos entrega ninguna información relacionada a la construcción industrializada ni su proceso.

- Emisión de ruido: “Corresponde al sonido continuo, en un período extraordinario, dentro del período constructivo. Sé cómo el impacto acústico que producen los trabajos en el entorno cercano, medido a través de pruebas de ruido, a través de un sonómetro, en unidades de decibeles.”

Análisis: este indicador resulta útil para hacer la comparación entre construcción industrializada y tradicional. Se espera que este valor sea menor para obras con CI. Se debe consultar específicamente el valor de la medición máxima y promedio.

- Movimiento de vehículos: “Corresponde al aumento de movimiento de vehículos comerciales en el sector de construcción, incluyendo el suministro de materiales. Se cuantifica como el número de vehículos pesados que arriban a la obra por día de construcción normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[n^\circ \text{ de vehículos}/m^2 \text{ _día}]$.”

Análisis: este dato podría ser útil pero su impacto es muy variable dependiendo de su contexto, es decir, si la obra se encuentra en un lugar poco o muy concurrido, o si la obra está en un sector rural o urbano.

- Estandarización y repetición: “Corresponde a la incorporación de componentes con alta capacidad repetitiva. Se cuantifica a través de la cantidad de partidas estandarizadas sobre el total de éstas, en unidades porcentuales.”
Análisis: importante para obtener el nivel de industrialización de la obra. Al tratarse de una forma de CI, este indicador no resulta útil para realizar comparación entre construcción industrializada y tradicional.
- Escalabilidad: “Corresponde a los ahorros financieros logrados a través del aprendizaje en la mejora en los procesos de diseños y construcción de los proyectos ejecutados que hayan incorporado construcción industrializada. Se cuantifica como el porcentaje, en costos, de las partidas industrializadas frente al resto de la construcción, en unidades porcentuales.”
Análisis: este indicador es importante para evaluar como se han disminuido los costos debido a la experiencia utilizando CI, sin embargo, al ser un valor propio de construcción industrializada no resulta útil para realizar una comparación con un proyecto que utiliza construcción tradicional.
- Integración temprana: “Corresponde al nivel de alianza entre la cadena de suministros y el proyecto. Se cuantifica como el tiempo que demora, desde el inicio del diseño, la cadena de suministros en tomar conocimiento del proyecto, normalizado por los metros cuadrados del proyecto, en unidades de $[días/m^2]$.”
Análisis: la integración temprana es un aspecto importante para obtener el nivel de industrialización de la obra, sin embargo, al ser la integración temprana una característica de la CI, no resulta útil para realizar comparación entre construcción industrializada y tradicional.
- Inversión en comunidad local: “Corresponde al beneficio social a largo plazo obtenido debido a la creación de escuelas locales, empresas sociales u organizaciones benéficas, en la localidad donde se emplaza el proyecto o las industrias manufactureras que forman parte de él. Se cuantifica como el número de instancias sociales creadas a partir del inicio del proyecto.”
Análisis: la medición de este dato es de altísima complejidad, por lo cual, no es factible que las empresas obtengan este valor.
- Licencia Social: “Corresponde a las creencias, percepciones y opiniones de la población local y otros grupos de interés acerca del proyecto. Se cuantifica como el porcentaje de aceptación de la comunidad sobre el proyecto, en unidades porcentuales.”
Análisis: la obtención de este dato resulta compleja debido a que se requiere una gran inversión de tiempo y gestiones para realizar las consultas necesarias a la población local y a los grupos de interés, por lo cual, no es factible que las empresas puedan obtenerlo.
- Crecimiento económico regional: “Corresponde al beneficio económico regional de activación y expansión generado por la ubicación del proyecto o las industrias manufactureras que forman parte de él. Se cuantifica como la variación del PIB sectorial desde el inicio del proyecto.”
Análisis: el valor de la variación del PIB sectorial resulta difícil de obtener, además esta variación podría deberse a muchos factores externos a la realización del proyecto.

2.1.2. Sistema de asignación de puntajes

La guía metodológica diseñada por el CCI cuenta con un sistema para calcular el puntaje total de industrialización obtenido por cada proyecto evaluado.

Como se ha explicado anteriormente, los indicadores están divididos en tres ámbitos (del proyecto, medio ambientales y sociales). Cada uno de los ámbitos cuenta con un puntaje máximo obtenible de 100 puntos, dando un total general de 300 puntos.

A su vez, cada ámbito está dividido en sub-ámbitos. La cantidad de sub-ámbitos no es igual para todos los ámbitos, ya que existen 4 para el ámbito Del Proyecto (costos, plazos, calidad y mano de obra), 2 para Medio Ambientales (consideraciones ambientales y ciclo de vida) y 4 para Sociales (calidad de vida de los trabajadores, disrupción local, beneficios de la industria y beneficios de la comunidad). El puntaje máximo de cada ámbito se divide en partes iguales para cada uno de sus sub-ámbitos, es decir, cada sub-ámbito de Del Proyecto y de Sociales tienen un máximo de 25 puntos y de Medio Ambientales de 50 puntos.

El puntaje máximo específico de cada indicador fue determinado mediante un comité de expertos, el cual estableció los puntajes máximos basados en la importancia de cada indicador dentro de su respectivo sub-ámbito, respetando las reglas de asignación de puntajes presentadas en los dos párrafos anteriores.

Aparte del puntaje máximo, para cada indicador también se determinó su valor meta, por medio de calibraciones realizadas a través de mediciones de obras piloto. Este valor meta representa el valor objetivo que debería alcanzar dicho indicador en un proyecto que alcance el nivel ideal de construcción industrializada.

Para la asignación de puntajes, se determina que los indicadores pueden ser de dos tipos diferentes: directos o inversos. Mientras más alto sea el valor del indicador, mayor es el puntaje obtenido si el indicador es de tipo directo, mientras que sería menor el puntaje si el indicador es de tipo inverso.

Con el puntaje máximo de cada indicador, su valor meta y su tipo, se puede calcular su puntaje obtenido con las fórmulas que se muestran a continuación (utilizar la fórmula correspondiente dependiendo el tipo de indicador)

- Indicador tipo directo:

$$Puntaje\ Obtenido = \frac{Valor\ del\ indicador}{Valor\ meta} \cdot Puntaje\ máximo$$

- Indicador tipo inverso:

$$Puntaje\ Obtenido = \frac{Valor\ meta}{Valor\ del\ indicador} \cdot Puntaje\ máximo$$

Finalmente, se puede obtener el puntaje final del proyecto simplemente sumando el puntaje obtenido de cada indicador. Esta suma también se debe realizar por cada ámbito o sub-ámbito

para un análisis más detallado.

A continuación, se presenta el detalle de cada ámbito, con sus sub-ámbitos e indicadores, además del puntaje máximo, valor meta y tipo para cada uno de sus indicadores.

Ámbito Del Proyecto

Sub-ámbito	Indicador	Tipo	Valor Meta	Puntaje máximo
Costos	Costos de Diseño	Directo	4	5
	Costos de Construcción	Inverso	14	8,75
	Costos de Modificaciones	Inverso	0,15	3,75
	Costos Preliminares	Inverso	0,4	2,5
	Costos de Transporte y Logística	Inverso	0,4	2,5
	Costos de Almacenaje	Inverso	0,5	2,5
Plazos	Duración del Diseño	Directo	0,02	3,75
	Duración Construcción off site	Directo	0,03	3,75
	Duración Construcción on site	Inverso	0,07	10
	Retrasos Totales	Inverso	0	5
	Transporte y Logística	Inverso	0	2,5
Calidad	Costos de trabajo rehecho	Inverso	0,92	10
	Satisfacción del usuario	Directo	1	3,75
	Mantenimiento	Inverso	0,92	3,75
	Consumo Energético Diseñado	Inverso	30	3,75
	Observaciones de calidad	Inverso	0	3,75
Mano de Obra	En el sitio	Inverso	120	10
	Fuera del sitio	Directo	5	6,25
	MO Peak	Inverso	0,02	2,5
	Accidentes Laborales	Inverso	0	3,75
	Certificación Trabajadores	Directo	100	2,5

Tabla 2.1: Detalle de indicadores Ámbito Del Proyecto

Ámbito Medio Ambientales

Sub-ámbito	Indicador	Tipo	Valor Meta	Puntaje máximo
Consideraciones Ambientales	Generación de residuos	Inverso	0	17,5
	Contaminación de material particulado	Inverso	0	12,5
	Uso de energía en la construcción	Inverso	0	10
	Uso de agua en la construcción	Inverso	0	5
	CO2 incorporado	Inverso	0	5
Ciclo de Vida	Durabilidad	Directo	100	22,5
	Adaptibilidad futura	Directo	10	12,5
	Reciclabilidad al final del ciclo	Directo	15	15

Tabla 2.2: Detalle de indicadores Ámbito Medio Ambientales

Ámbito Sociales

Sub-ámbito	Indicador	Tipo	Valor Meta	Puntaje máximo
Calidad de vida de los trabajadores	Rotación Laboral	Inverso	0	5
	Ambiente de trabajo confortable	Directo	1	5
	Cantidad de trabajo manual	Inverso	0	5
	Estabilidad para familia y comunidad	Directo	1	5
	Diversidad en mano de obra	Directo	100	5
Disrupción local	Emisión de ruido	Inverso	55	12,5
	Movimiento de vehiculos	Inverso	20	12,5
Beneficios de la industria	Estandarización y repetición	Directo	100	10
	Escalabilidad	Directo	100	7,5
	Integración temprana	Directo	1	7,5
Beneficios de la comunidad	Inversión en comunidad local	Directo	3	6,25
	Licencia Social	Directo	100	6,25
	Crecimiento económico regional	Directo	50	12,5

Tabla 2.3: Detalle de indicadores Ámbito Sociales

2.1.3. Conclusiones y problemas detectados

Tras la revisión de la guía metodológica de medición, el análisis realizado de cada uno de los indicadores, la aplicación de dicha metodología a dos obras y las diversas reuniones con expertos en el área de construcción industrializada y con empresas que han completado el formulario, se obtienen las siguientes conclusiones acerca del formulario y su sistema de medición de puntajes.

- Índice final de industrialización: tras aplicar la metodología en un proyecto, el índice final obtenido no refleja el nivel de industrialización de la obra ya que no se considera que la CI consiste en una serie de etapas que se deben cumplir desde el comienzo del proyecto, las cuales son especificadas en el documento Metodología para la Construcción Industrializada (CCI, 2023).
- Indicadores útiles: muchos de los indicadores expuestos en esta guía resultan útiles para comparar resultados y evidenciar ventajas y/o desventajas entre la construcción industrializada y la tradicional

- Cantidad de datos: la cantidad de indicadores que se solicitaban en el formulario se consideraba excesivo por parte de las empresas ya que para conseguir todos los datos se debían utilizar muchas HH. Esto puede afectar profundamente en la motivación de las empresas en responder el formulario.
- Dificultad para obtener los datos: como se vió en el análisis individual de cada indicador, existían indicadores que resultaban muy difíciles de conseguir debido a que las empresas no miden directamente dicho indicador por lo que debían obtenerse de diversas fuentes, o se necesitaba equipo especial para obtenerlo o era necesario consultarle a empresas externas por el dato.
- Concordancia entre indicadores: dentro del manual existen un par de inconsistencias entre ciertos indicadores. El primer caso es que en el indicador “costos de construcción” se explicita que no se deben considerar los costos preliminares mientras que en “duración de construcción on-site” si se debe considerar el plazo asociado a la etapa preliminar. Esta variación puede generar confusión en las empresas al momento de entregar la información lo que genera mayor variabilidad, por lo tanto, lo recomendable es considerar las mismas etapas constructivas tanto para costos como para plazos asociados a la construcción on-site. El segundo caso es que en el indicador “MO en el sitio” se hace la distinción entre mano de obra directa, la cual está asociada a los trabajadores contratados directamente por la empresa constructora, y mano de obra sub-contratada, pero en el indicador “escalabilidad” se define mano de obra directa considerando tanto a los trabajadores contratados por la empresa como los asociados a sub-contratos. En ambos indicadores se debería seguir la misma definición de mano de obra directa.
- Valores meta: 11 de los indicadores de tipo inverso tienen un valor meta igual a 0, lo que implica que, por la fórmula para calcular el puntaje del indicador, el puntaje obtenido siempre sea igual a 0. Para estos indicadores, debe modificarse la forma de asignarles puntaje o modificar su valor meta a uno mayor a 0. Además, para algunos de estos indicadores, no es realista considerar valores igual a 0.
- Fórmulas directo e inverso: en la guía metodológica, en la sección en que se indican las fórmulas para calcular el puntaje de cada indicador dependiendo de si es tipo directo o inverso, las fórmulas se encuentran intercambiadas entre ellas, es decir, la de tipo directo aparece en el lugar de tipo inverso y viceversa.
- Nueva propuesta de medición: considerando la gran cantidad de dificultades y problemas presentes en esta metodología para determinar el índice de industrialización, se concluye que la mejor opción es desarrollar una nueva propuesta de medición del índice de industrialización de un proyecto.

2.2. Nueva propuesta de medición, V1.

En consecuencia con las conclusiones de la sección anterior, se decide proponer un nuevo set de indicadores destinados a evidenciar y cuantificar las diferencias en diversos ámbitos entre construcción tradicional e industrializada, manteniendo los indicadores ya existentes que son considerados útiles. Para esto, se elabora un formulario que solicite los datos necesarios para la obtención de dichos indicadores. Además, se determina que se debe proponer también un nuevo sistema para determinar el índice de industrialización de una obra, el cual refleje el nivel de industrialización a lo largo de todo el proceso, pero esto será abordado más adelante.

El fin de este nuevo formulario no es consagrarse como el definitivo que será utilizado para levantar datos y evaluar obras, sino que es filtrar los indicadores solicitados, es decir, generar un nuevo formulario que no considere los indicadores determinados como no útiles para el objetivo propuesto ni los muy difíciles de obtener, de forma que no resulte tan extenso. Además, se añade una sección en donde se debe detallar las partidas y soluciones de CI utilizadas.

En consecuencia con lo anterior, no se establece un sistema de puntuación, pero se presenta al directorio del CCI para ser analizado y obtener retroalimentación con miras a una nueva versión del formulario.

2.2.1. Datos generales solicitados

El formulario debe comenzar solicitando datos generales del proyecto, con el fin de identificar el proyecto y comprender sus características. Los datos generales solicitados son los siguientes:

- Nombre del proyecto
- Nombre de la empresa
- Tipo de proyecto
- Fecha de inicio
- Avance real del proyecto
- Avance programado del proyecto
- Etapa en que se encuentra la obra
- Metros cuadrados del proyecto
- Metros cuadrados construidos al momento de contestar la encuesta

2.2.2. Indicadores solicitados

A continuación se presentan los indicadores que decidieron mantenerse desde el formulario original elaborado por el CCI, manteniendo sus unidades de medida. Cabe destacar que se realizó una pequeña modificación en el indicador de observaciones de calidad, ya que ahora se divide en observaciones por trabajos realizados por la empresa constructora y por las empresas proveedoras de soluciones de CI.

- Costos de diseño
- Costos de construcción
- Costos de gastos generales
- Costos de mano de obra directa
- Costos por transporte de residuos
- Duración del diseño
- Duración de construcción On Site
- Costos de trabajo rehecho
- Satisfacción del usuario
- Cantidad de observaciones de calidad por trabajos realizados por la empresa constructora
- Cantidad de observaciones de calidad por trabajos realizados por los proveedores de soluciones industrializadas.
- Mano de obra total acumulada On Site
- Mano de obra peak en labores simultáneas
- Cantidad de accidentes laborales
- Volumen de residuos totales generados
- Energía usada en el proceso constructivo
- Agua usada en el proceso constructivo
- Medición de ruido, valor máximo y promedio

2.2.3. Detalle de soluciones de CI

Por otra parte, las empresas deben marcar las partidas y soluciones de CI utilizadas, y posteriormente indicar su porcentaje con respecto al total de partidas de ese ítem. El detalle de las soluciones de CI se divide en obra gruesa, terminaciones y soluciones modulares. La lista de partidas y soluciones de CI presentadas para cada etapa se definió tras reuniones con expertos, y es la presentada a continuación.

Obra gruesa

- Hormigón fluido
- Moldajes monolíticos
- Muros prefabricados
- Losas prefabricadas

- Vigas prefabricadas
- Escaleras prefabricadas
- Otro: ...

Terminaciones

- Tabiques prefabricados
- Paneles prefabricados
- Revestimientos prefabricados
- Fachadas prefabricadas
- Techumbres prefabricadas
- Puertas prefabricadas
- Mobiliario prefabricado
- Otro: ...

Soluciones prefabricadas tridimensionales

- Vivienda
- Salas multiuso
- Oficinas
- Bodegas
- Baños
- Quinchos
- Otro: ...

2.2.4. Conclusiones y problemas detectados

Tras presentar el formulario al directorio del CCI, se obtuvieron las siguientes observaciones.

- Propuesta de división de formulario: se propone realizar el levantamiento de información en dos etapas. La primera enfocada en identificar proyectos con uso de soluciones de CI y su nivel de industrialización, por medio de preguntas básicas que perfilan un proyecto industrializado. La segunda etapa considera el levantamiento de los KPI's. De esta forma no se solicita el llenado de todo el formulario de una sola vez.
- Entregar retroalimentación de las respuestas obtenidas en la etapa 1: tras generar una base de datos con las respuestas de la primera etapa, se podría generar un resumen y gráficos con ellas. Por ejemplo, generar un gráfico que presente el porcentaje de empresas que usan escaleras prefabricadas, oficinas modulares, etc. Esto podría generar un mayor interés de parte de las empresas en participar en la siguiente etapa.

- Mayor claridad en algunos indicadores solicitados: al momento de solicitar los indicadores, explicitar que el dato solicitado corresponde al acumulado a la fecha y no al proyectado. Además en los indicadores de plazos, indicar si los días solicitados corresponden a días calendario o días hábiles.
- KPI's escogidos en comparación al formulario original: los indicadores seleccionados para esta versión son mucho más acertados en comparación a la original, la cual era muy ambiciosa al solicitar tantos datos.

2.3. Nueva propuesta de medición, V2.

Siguiendo lo propuesto por el directorio del CCI tras presentar el formulario anterior, esta nueva versión se divide en dos etapas. La primera etapa consta de dos secciones, denominadas “Metodología de industrialización” y “Detalle de soluciones de CI”, mientras que la segunda etapa consta de una única sección denominada “Impacto de CI”. El objetivo de cada sección se detalla a continuación.

- Metodología de industrialización: determinar el nivel de cumplimiento de una metodología de construcción industrializada desde la fase de prediseño del proyecto, basándose en las condiciones actuales del proyecto y en la preparación de la empresa.
- Detalle de soluciones de CI: determinar el nivel de industrialización del proyecto a partir del uso de soluciones de CI según el diseño.
- Impacto de CI: evidenciar a partir de la medición de KPI’s el impacto que genera el uso de soluciones de CI en comparación con la construcción tradicional.

2.3.1. Primera fase

Para levantar la información que permita cumplir con los objetivos de esta primera etapa, se genera un formulario breve, el cual está pensado para poder ser completado en menos de media hora.

Este formulario parte con la solicitud de los datos generales del proyecto, posteriormente se consulta por los indicadores que se eligieron para determinar el nivel de cumplimiento de metodología de industrialización del proyecto, y el formulario cierra con el detalle de las soluciones de CI utilizadas y su porcentaje.

2.3.1.1. Datos generales solicitados

A continuación se presenta el detalle de las modificaciones efectuadas en los datos solicitados con respecto a la versión anterior del formulario.

Se eliminan:

- Avance real del proyecto: este dato será consultado dentro de los indicadores de la segunda etapa, con el fin de calcular el indicador SPI.
- Avance programado del proyecto: misma situación que el avance real.
- Metros cuadrados construidos al momento de contestar la encuesta: este dato será consultado en la segunda etapa para el cálculo de los indicadores que van normalizados en este valor.

Se añaden:

- ¿La empresa es socia CCI?
- Nombre y correo de quien responde la encuesta
- Región en que se encuentra la obra

2.3.1.2. Metodología de industrialización

Para determinar el nivel de cumplimiento de metodología de industrialización de un proyecto, se consulta por una serie de indicadores, los cuales fueron diseñados basándose en la guía Metodología para la Construcción Industrializada (CCI, 2023). Estos indicadores pretenden medir el nivel de industrialización a lo largo de todo el proceso constructivo (9 etapas según la metodología recién mencionada) y no solamente su resultado final (KPI's), entendiendo que industrializar es justamente un proceso.

Los indicadores elegidos para esta sección serán divididos en 4 ámbitos, los cuales son: experiencia previa; integración temprana; innovación y digitalización. Además, se presenta a continuación una tabla que indica a que etapa de la guía antes mencionada representa cada uno de los indicadores elegidos, junto con su respectivo ámbito designado.

Etapa	Indicador	Ámbito
Análisis de potencial	Proyectos previos con CI	Experiencia previa
	Existencia de área de innovación	Innovación
Definición objetivos industrialización	Motivo para usar CI	-
Definición equipo	Experiencia de los roles claves en CI	Experiencia previa
	Capacitación de trabajadores en CI	Experiencia previa
Planificación del diseño industrializado	Integración de actores al proyecto	Integración temprana
	Uso de matriz de responsabilidades	Integración temprana
	Proveedores de soluciones industrializadas	-
Generación de ideas	Uso de guías metodológicas	Innovación
Evaluación de ideas	Uso de técnicas de evaluación de ideas	Innovación
Diseño	Uso de BIM	Digitalización
	Uso de metodología Lean	Innovación
Evaluación diseño	Detalle de soluciones de CI	-
Evaluación kpis	Uso de metodología de registro de KPI's	Innovación

Tabla 2.4: Relación entre etapas de la metodología de CI y los indicadores propuestos, Propuesta V2.

Se debe destacar que el indicador “Detalle de soluciones de CI” no se incluirá dentro del análisis de esta sección ya que será desarrollado en profundidad en la sección siguiente. Además, los indicadores “Motivo para el uso de CI” y “Proveedores de soluciones de CI” solo se solicitarán con el fin de obtener mayor información acerca de los proyectos con vistas a trabajos futuros, pero no participarán en la asignación de puntaje, motivo por el cual no se incluyen en ninguno de los 4 ámbitos antes mencionados.

2.3.1.2.1. Detalle de indicadores solicitados

Experiencia previa

- **Proyectos previos con CI:** se debe indicar si la empresa que ejecuta el proyecto previamente ha realizado proyectos utilizando sistemas prefabricados tridimensionales (SPT), sistemas prefabricados bidimensionales (SPB) o lineales (SPL) en obra gruesa, o soluciones prefabricadas de terminaciones. Deben indicar cuáles de las soluciones de CI anteriores han utilizado.
- **Experiencia previa de los trabajadores que cumplen roles importantes en la industrialización de la obra:** los roles claves dentro de una obra que usa construcción industrializada

son dirección, gestión, coordinación, ejecución y revisión. Se debe indicar si las personas que cumplen estos roles cuentan con experiencia previa en obras con CI.

- Capacitación de trabajadores en CI: se debe indicar si la empresa que ejecuta el proyecto posee instancias en que capaciten a sus trabajadores en el uso de construcción industrializada.

Integración temprana

- Integración de actores al proyecto: se debe indicar en que etapa del proyecto (prediseño, diseño o construcción) se integró el equipo de arquitectos, calculistas, proveedores de soluciones industrializadas y constructora.
- Uso de matriz de responsabilidades: se debe indicar si durante las reuniones colaborativas realizadas se definió una matriz de responsabilidades en donde se detallaran las responsabilidades de cada uno de los actores principales del proyecto.

Innovación

- Existencia de área de innovación: se debe indicar si existe dicha área dentro de la empresa que ejecuta el proyecto.
- Uso de guías metodológicas asociadas a construcción industrializada: se debe indicar si en el proyecto se usaron guías metodológicas como referencia. Estas guías pueden ser las desarrolladas por el propio CCI o por alguna otra fuente. Se pide especificar cuales se han utilizado.
- Uso de métodos de evaluación de ideas: se debe indicar si en el proyecto se usaron métodos existentes de evaluación de ideas como por ejemplo CBA. Se debe especificar cuales se utilizaron.
- Uso de metodología Lean: se debe indicar si en el proyecto se utilizó metodología Lean.
- Uso de metodología de registro de KPI's: se debe indicar si la empresa que ejecuta el proyecto posee un sistema de monitoreo y registro de KPI's, los cuales sirven para identificar oportunidades de mejora.

Digitalización

- Uso de BIM: siguiendo los niveles de uso de BIM propuestos en el documento Cálculo del nivel de industrialización en la construcción (Sánchez, 2021) se debe indicar cuál de las siguientes descripciones representa mejor la adopción de BIM en el proyecto.

Nivel	Descripción
0	Ningún involucrado utiliza BIM.
1	Algunos involucrados utilizan BIM 2D o 3D en la fase de diseño, y cada uno utiliza un sistema propio de información.
2	Algunos involucrados utilizan BIM 3D o 4D durante las fases de diseño y construcción. Se utiliza más de un sistema de información.
3	Algunos involucrados utilizan BIM 3D o 4D durante las fases de diseño y construcción. Se utiliza un solo sistema de información.
4	Todos los involucrados utilizan BIM 4D o superior de forma integrada únicamente en las fases de diseño y construcción.
5	Todos los involucrados utilizan BIM 4D o superior de forma integrada durante el diseño, fabricación, instalación y operación.

Tabla 2.5: Descripción de niveles de BIM

Otros

- Principales motivo para industrializar: se deben marcar los dos principales motivos por los que se utiliza construcción industrializada en el proyecto entre reducción de costos, reducción de plazos, reducción de mano de obra, aumento en seguridad, innovación y sustentabilidad.
- Cantidad de proveedores de soluciones de CI con los que trabajan: se debe indicar el número de proveedores de soluciones de CI relacionados con el proyecto.

2.3.1.2.2. Sistema de asignación de puntajes

Para esta sección se propone que el puntaje máximo obtenible sea de 20 puntos, divididos de forma equitativa entre cada uno de los 4 ámbitos, por lo que el puntaje máximo de cada ámbito es de 5 puntos. A continuación se presenta el puntaje máximo obtenible de cada indicador y se explica como se calcula el puntaje obtenido.

Experiencia previa

- Proyectos previos con CI (3 puntos): para este indicador, a mayor nivel de complejidad de los sistemas prefabricados utilizados previamente por la empresa, se obtiene un mayor puntaje. Para esto se consideran los SPT como los de mayor complejidad, seguidos por los SPB y SPL de obra gruesa y finalmente los prefabricados de terminaciones. Por lo tanto, la asignación de puntaje según experiencia previa se presenta a continuación,

Sistema de mayor complejidad utilizado previamente	Puntaje
SPT	3
SPB o SPL de obra gruesa	2
Prefabricados de terminaciones	1
Ninguno de los anteriores	0

Tabla 2.6: Puntaje según proyectos previos con CI.

- Trabajadores con experiencia previa en CI (1 punto): para la obtención de este punto, las 5 personas que ocupan roles claves en el proyecto (dirección, gestión, coordinación, ejecución y revisión) deben tener experiencia previa en proyectos que hayan utilizado CI.
- Capacitación de trabajadores en CI (1 punto): para la obtención de este punto, la empresa debe contar con instancias de capacitación de sus trabajadores enfocadas en CI.

Integración temprana

- Integración de actores al proyecto (4 puntos): en este indicador se obtiene un punto por cada actor clave que se integre de forma temprana al proyecto, es decir, si 3 actores se integraron de forma temprana y 1 de forma tardía, el puntaje obtenido sería de 3 puntos. En la tabla siguiente, se presentan las etapas en que se debe integrar cada uno de los actores para ser considerada integración temprana y obtener puntaje.

Actores claves	Prediseño	Diseño	Construcción
Arquitectura	x		
Calculistas	x		
Proveedores de soluciones de CI	x		
Constructora	x (ideal)	x	

Tabla 2.7: Puntaje según integración de actores al proyecto.

- Uso de matriz de responsabilidades (1 punto): para la obtención de este punto, durante las reuniones colaborativas se debe haber definido una matriz de responsabilidades.

Innovación

- Existencia de área de innovación (1 punto): para la obtención de este punto, la empresa que ejecuta el proyecto debe contar con un área de innovación.
- Uso de guías metodológicas (1 punto): para la obtención de este punto, en el proyecto se debió haber utilizado como referencia al menos una guía metodológica de construcción industrializada.
- Uso de técnicas para evaluación de ideas (1 punto): para la obtención de este punto, en el proyecto se debió haber utilizado al menos un método existente de evaluación de ideas.
- Uso de metodología Lean (1 punto): para la obtención de este punto, en el proyecto se debió haber utilizado metodología Lean.
- Uso de metodología de registro de KPI's (1 punto): para la obtención de este punto, la empresa que ejecuta el proyecto debe contar con un sistema que permita registrar KPI's de las obras.

Digitalización

- Uso de BIM (5 puntos): para este indicador, el puntaje obtenido será directamente el nivel de adopción de BIM en el proyecto, es decir, un proyecto con uso de BIM nivel 5 obtendrá 5 puntos en este indicador, un nivel 4 obtendrá 4 puntos, y así hasta el nivel 0.

Finalmente, se puede calcular el porcentaje obtenido para cada ámbito y también el porcentaje final, es decir, el porcentaje de uso de metodología de industrialización. Las fórmulas para calcular estos porcentajes, respectivamente, se presentan a continuación.

$$\text{Porcentaje del ambito} = \frac{\sum \text{Puntajes obtenidos del ambito}}{5} * 100$$

$$\text{Porcentaje de uso de metodología de industrialización} = \frac{\sum \text{Puntajes obtenidos}}{20} \cdot 100$$

2.3.1.3. Detalle de soluciones industrializadas

En esta sección se mantiene lo propuesto en la versión anterior de la propuesta, sin embargo, se modifica la forma en que se presenta en el formulario y se determina un sistema de asignación de puntaje.

2.3.1.3.1. Detalle de indicadores solicitados

Tal como se mencionó previamente, se mantiene lo propuesto en el formulario anterior, incluido el listado de partidas que se presentan, para que las empresas indiquen el detalle de las soluciones de CI que utilizan, pero se realizó una modificación en la manera de presentarlo, ya que en el formulario correspondiente a la versión anterior las empresas debían indicar el porcentaje correspondiente a cada partida en un párrafo aparte y ahora lo pueden realizar de forma más sencilla utilizando un sistema de pregunta con respuestas en tipo casillas. Adicionalmente, tras las tres tablas se agrega una pregunta extra de tipo párrafo para que, en caso de ser necesario, agreguen alguna solución de CI (junto con su porcentaje) que no aparezca en el listado ya definido. En caso de recibir respuestas en este ítem, se evaluará el agregar dicha partida al listado existente. A continuación, se presenta el nuevo formato propuesto en el formulario, en donde cada empresa debe marcar una casilla por cada una de las filas.

OBRA GRUESA					
Solución de CI	% de la solución de CI c/r al total de este ítem				
	0 %	(1 %-25 %]	(25 %-50 %]	(50 %-75 %]	(75 %-100 %]
Hormigón fluido					
Moldajes monolíticos					
Muros prefabricados					
Losas prefabricadas					
Vigas prefabricadas					
Escaleras prefabricadas					

Tabla 2.8: Soluciones de CI de obra gruesa, Propuesta V2

TERMINACIONES					
Solución de CI	% de la solución de CI c/r al total de este ítem				
	0 %	(1 %-25 %]	(25 %-50 %]	(50 %-75 %]	(75 %-100 %]
Tabiques prefabricados					
Paneles prefabricados					
Revestimientos prefabricados					
Fachadas prefabricadas					
Techumbres prefabricadas					
Puertas prefabricadas					
Mobiliario prefabricado					

Tabla 2.9: Soluciones de CI de terminaciones, Propuesta V2

SISTEMAS PREFABRICADOS TRIDIMENSIONALES					
Solución tridimensional	% de la solución de CI c/r al total de este ítem				
	0 %	(1 %-25 %]	(25 %-50 %]	(50 %-75 %]	(75 %-100 %]
Vivienda					
Salas multiuso					
Oficinas					
Bodegas					
Baños					
Quinchos					

Tabla 2.10: Soluciones prefabricadas tridimensionales, Propuesta V2

2.3.1.3.2. Sistema de asignación de puntajes

Para esta sección se propone que el puntaje máximo para cada tabla (obra gruesa, terminaciones y SPT) sea de 4 puntos. Con esto, se obtiene un puntaje máximo de 12 puntos para esta sección. El método con el que se determina el puntaje para cada una de las tablas se explica a continuación.

A cada una de las filas de la tabla (6 en el caso de obra gruesa y SPT y 7 en el caso de terminaciones), se le asigna un puntaje dependiendo de la casilla marcada por la empresa. Cada rango de porcentaje tiene un puntaje definido, siendo el máximo de 4 puntos para el rango (75 %-100 %]. El detalle del puntaje para cada fila se muestra a continuación.

Casilla	Puntaje
0 %	0
(1 %-25 %]	1
(25 %-50 %]	2
(50 %-75 %]	3
(75 %-100 %]	4

Tabla 2.11: Puntaje por casilla de soluciones de CI, Propuesta V2

Una vez obtenido el puntaje para cada una de las filas, estos valores se promedian y se obtiene el puntaje final de la tabla. Finalmente, el puntaje de esta sección es la suma del puntaje obtenido por cada una de las tres tablas, y su porcentaje de industrialización se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje de industrialización} = \frac{\text{Puntaje obtenido}}{12} \cdot 100$$

2.3.2. Segunda fase: Impacto de CI

El objetivo de esta segunda fase es medir ciertos indicadores en obras y posteriormente comparar los resultados entre obras con construcción tradicional y con construcción industrializada, para así poder evidenciar el impacto al utilizar este tipo de construcción. Además, a medida que se vayan recibiendo respuestas al formulario, se podrá ir generando una base de datos con los resultados con el objetivo de que las empresas que midan sus proyectos puedan comparar sus resultados con el general de las obras.

Es importante aclarar que dentro del alcance de este trabajo, solo se incluye la propuesta del set de indicadores modificado y se genera el formulario para que las empresas puedan responderlo, pero no se incluye el levantamiento de data ni el análisis de estos posibles resultados.

En esta propuesta se incluyen dos características de la metodología de medición original: los indicadores nuevamente son divididos en ámbitos, los cuales en este caso son costos, plazos, calidad, mano de obra, sustentabilidad y productividad, y se utiliza el mismo sistema para asignarle puntaje a cada indicador basado en su puntaje máximo, valor meta y tipo de indicador.

Antes de solicitar las respuestas a los indicadores, se consulta por el nombre del proyecto y por la cantidad de metros cuadrados construidos a la fecha, valor utilizado para normalizar la mayoría de datos.

2.3.2.1. Detalle de indicadores solicitados

A continuación se presentan y se explican los indicadores solicitados en la segunda etapa, además de indicar su unidad de medida, los datos que deben entregar las empresas y la forma de calcular el valor del indicador. Se considera el comentario recibido en el formulario anterior acerca de la claridad en los indicadores solicitados.

Ámbito: Costos

- Costos de diseño [UF/m^2]: se consideran los costos asociados al desarrollo del diseño arquitectónico, cálculo estructural, coordinación del proyecto y uso de BIM. Las empresas deben indicar en UF, el valor de este ítem. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados.
- Costos de construcción [UF/m^2]: se consideran los gastos asociados a la ejecución del proyecto en fases de obra gruesa y terminaciones, incluyendo los costos correspondientes a partidas prefabricadas. No se deben considerar los costos asociados a obras preliminares. Las empresas deben indicar en UF, el valor de este ítem acumulado hasta la fecha. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.

- Costos por transporte de residuos [UF/m^2]: costos asociados al transporte de los residuos generados al interior de la obra hasta su destino final. Las empresas deben indicar en UF, el valor de este ítem acumulado hasta la fecha. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.
- Costos de trabajo rehecho [UF/m^2]: costos asociados a la ejecución de partidas que debieron rehacerse por problemas de calidad. Las empresas deben indicar en UF, el valor de este ítem acumulado hasta la fecha. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.

Ámbito: Plazos

- Duración del diseño [$días/m^2$]: tiempo asociado a la producción del modelo arquitectónico, estructural y de especialidades del proyecto, incluyendo el tiempo dedicado al uso de BIM en esta etapa. Las empresas deben indicar en días hábiles, el valor de este ítem. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados diseñados.
- Duración construcción on site [$días/m^2$]: tiempo asociado a la ejecución en el sitio de construcción del proyecto en fases de obra gruesa y terminaciones. No se deben considerar los tiempos asociados a obras preliminares. Las empresas deben indicar en días hábiles, el valor de este ítem acumulado hasta la fecha. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.

Ámbito: Calidad

- Satisfacción del usuario [n° reclamos/ n° unidades habitacionales]: se consideran todos los reclamos presentados por los usuarios finales del proyecto en la etapa de post-venta. Las empresas deben indicar el número de reclamos junto con la cantidad de unidades habitacionales del proyecto. El valor del indicador es el cociente entre estos dos datos.
- Cantidad de observaciones de calidad (constructora+proveedores) [n° observaciones/ m^2]: cantidad de observaciones realizadas debido a productos que cuentan con fallas de calidad que requieran reparaciones o rehacer un trabajo. Las empresas deben indicar en números enteros la cantidad acumulada de observaciones que han efectuado hasta la fecha tanto acerca de trabajos realizados por la misma empresa como también por trabajos realizados por las empresas proveedoras de soluciones industrializadas. Posteriormente, para obtener el valor del indicador, estos valores se suman y se dividen en los metros cuadrados construidos.

Ámbito: Mano de obra

- Mano de obra on site [HH/m^2]: en el recuento de las HH on site se debe considerar el esfuerzo humano directo (asociado a la ejecución en el sitio de las partidas de construcción del proyecto por parte de los trabajadores contratados por la empresa), el esfuerzo humano indirecto (asociado a las labores de supervisión de labores por parte de los trabajadores contratados por la empresa) y el esfuerzo humano subcontratado (asociado a la ejecución en el sitio de las partidas de construcción del proyecto por parte de los trabajadores subcontratados). Las empresas deben indicar en HH, el valor de este ítem acumulado hasta la fecha. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.

- Mano de obra peak [n° trabajadores/ m^2]: se considera la cantidad máxima de trabajadores que se encuentran trabajando en simultáneo en actividades relacionadas a la ejecución del proyecto. Las empresas deben indicar este valor en números enteros. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.
- Accidentes laborales [%]: las empresas deben indicar la cantidad de accidentes graves o fatales junto con la tasa de accidentabilidad, que corresponde al cociente entre cantidad de accidentes y promedio de trabajadores, multiplicado por 100. Este último valor será directamente el del indicador.

Ámbito: Sustentabilidad

- Volumen de residuos generados [m^3/m^2]: se consideran todos los residuos generados durante la ejecución de partidas en la etapa de construcción del proyecto. Las empresas deben indicar en m^3 el valor de este ítem acumulado hasta la fecha. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.
- Energía usada [kWh/m^2]: corresponde a la cantidad de energía medible en kWh usada en la ejecución de partidas en el proceso constructivo de la obra. Este valor se puede obtener de las cuentas de energía eléctrica y del combustible utilizado en los generadores. Las empresas deben indicar en kWh el valor de este ítem acumulado hasta la fecha. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.
- Agua usada [m^3/m^2]: corresponde al volumen de agua utilizado durante la ejecución de partidas en el proceso constructivo de la obra. Este valor se puede obtener de las cuentas del suministro de agua. Las empresas deben indicar en m^3 el valor de este ítem acumulado hasta la fecha. Posteriormente, este valor se divide en los metros cuadrados construidos.
- Emisión de ruido [dB]: en caso de haber realizado mediciones de ruido durante la ejecución de faenas consideradas ruidosas, las empresas deben indicar en dB el valor promedio obtenido y el valor máximo. El valor del indicador corresponderá a la medición de ruido promedio.

Ámbito: Productividad

- Índice de rendimiento de programa (SPI) [%]: relaciona el avance real con el programado del proyecto para obtener la eficiencia con la que se trabaja. Las empresas deben indicar, en porcentaje, el avance real y el planificado a la fecha en que se responde el formulario. El valor del indicador se calcula como: $Valor\ indicador = \frac{Avance\ real}{Avance\ programado} \cdot 100$

2.3.2.2. Sistema de asignación de puntajes

Para esta sección se propone que el puntaje máximo sea de 100 puntos, con el objetivo de hacer más sencilla la comprensión del puntaje obtenido ya que coincidirá con el porcentaje obtenido.

En esta ocasión, a diferencia de lo definido en la versión original, no se dividirá el puntaje máximo de forma equitativa entre cada uno de los ámbitos debido a que existen ámbitos que contienen muchos más indicadores que otros y una repartición equitativa entre ámbitos significaría indicadores con mucho mayor peso que otros.

En su lugar, el puntaje máximo se dividirá de forma equitativa entre cada uno de los indicadores, por lo cual, al ser 16 indicadores y considerar un puntaje máximo total de 100 puntos, cada indicador tendrá un puntaje máximo de 6,5 puntos.

Como se mencionó previamente, el sistema con el que se determina el puntaje obtenido por cada indicador es el mismo que el usado en la metodología de medición original, es decir, se calcula usando el valor del indicador, puntaje máximo, tipo de indicador y valor meta. Por lo tanto, las fórmulas para calcular los puntajes de cada indicador son las siguientes.

- Indicador tipo directo:

$$Puntaje\ Obtenido = \frac{Valor\ del\ indicador}{Valor\ meta} \cdot 6,5$$

- Indicador tipo inverso:

$$Puntaje\ Obtenido = \frac{Valor\ meta}{Valor\ del\ indicador} \cdot 6,5$$

Además, se debe destacar que para los siguientes indicadores, su puntaje obtenido será igual a 0 si cumplen las condiciones especificadas a continuación.

- Accidentes laborales: la cantidad de accidentes graves o fatales es mayor a 0.
- Emisión de ruido: la medición máxima es superior al máximo permitido por norma.

Finalmente, los porcentajes obtenidos para cada ámbito y el porcentaje final de la fase 2 se calculan, respectivamente, de la siguiente forma:

$$Porcentaje\ obtenido\ del\ ambito = \frac{\sum Puntajes\ del\ ambito}{Puntaje\ maximo\ del\ ambito} \cdot 100$$

$$Porcentaje\ final\ impacto\ de\ CI = \sum Puntajes\ de\ los\ indicadores$$

Para esta propuesta, se mantienen los valores meta para los indicadores presentes en el set original, a excepción de los con valor meta igual a 0. Para estos indicadores, a futuro deberá realizarse una calibración del valor meta basándose en literatura y en los resultados obtenidos para cada uno en el levantamiento. Misma situación para los indicadores agregados para esta propuesta, es decir, costos de transporte de residuos y SPI. Sin embargo, para el indicador SPI se sugiere un valor meta igual a 100% ya que esto significa que la obra está cumpliendo en términos de plazos y productividad planificada. A continuación, se detalla para cada indicador, su valor meta y su tipo.

Ámbito	Indicador	Tipo	Valor meta
Costos	Costos de diseño	Directo	4
	Costos de construccion	Inverso	14
	Costos por transporte de residuos	Inverso	
	Costos de trabajo rehecho	Inverso	0,92
Plazos	Duracion del diseño	Directo	0,02
	Duracion construccion on site	Inverso	0,07
Calidad	Satisfacción del usuario	Inverso	1
	Cantidad de observaciones de calidad (constructora+proveedores)	Inverso	-
MO	Mano de obra on site	Inverso	120
	Mano de obra peak	Inverso	0,02
	Accidentes laborales	Inverso	-
Sustentabilidad	Volumen de residuos generados	Inverso	-
	Energia usada	Inverso	-
	Agua usada	Inverso	-
	Emision de ruido	Inverso	55
Productividad	SPI	Directo	100

Tabla 2.12: Detalle de indicadores solicitados, Impacto de CI, Propuesta V2

2.3.3. Conclusiones y problemas detectados

Tras reuniones con empresas y con expertos en el área de construcción industrializada en que se revisó la primera etapa de la propuesta, se identificó un problema en la asignación de puntajes para la sección “Detalle de soluciones de CI”, debido a que bajo este sistema una empresa que realiza todo el proyecto en base a sistemas prefabricados tridimensionales no obtendrá gran parte del puntaje al no utilizar elementos prefabricados de menor complejidad, lo cual carece de sentido ya que este sería el escenario ideal dentro de la construcción industrializada. Es por este motivo que se debe reestructurar esta sección y su forma de asignar puntajes.

2.4. Propuesta de medición, V2.1.

Tras concluir que se debía modificar la forma en que se determina el nivel de industrialización a partir del detalle de soluciones de CI, se decide reestructurar completamente esta sección, incluido su sistema de asignación de puntaje. Los cambios aplicados a cada sección en esta nueva versión de la propuesta se detallan a continuación.

2.4.1. Metodología de Industrialización

No se realizaron modificaciones en esta sección.

2.4.2. Detalle de soluciones de CI

2.4.2.1. Indicadores solicitados

Se determina que se debe empezar consultando por el uso de SPT y su nivel de terminación, ya que son los sistemas prefabricados más complejos. Dicho porcentaje corresponde a la cantidad de m^2 construidos con SPT con respecto a los m^2 construidos en todo el proyecto. El nivel de terminación de dichas soluciones se clasifica en: obra gruesa; semi-terminado (obra gruesa e instalaciones); y terminado (obra gruesa, instalaciones y terminaciones).

Posteriormente se consulta por el porcentaje de los SPB y SPL utilizados en obra gruesa y de las soluciones prefabricadas en terminaciones, y finalmente por las tecnologías constructivas utilizadas que mejoran la productividad.

Por lo tanto, la solicitud de datos queda de la siguiente forma:

Porcentaje de SPT c/r al total de la obra	
0 %	
(1 %-25 %]	
(25 %-50 %]	
(50 %-75 %]	
(75 %-100 %]	

Tabla 2.13: Porcentaje de SPT de obra gruesa, Propuesta V2.1.

Nivel de terminación promedio de los SPT de obra gruesa	
Solo obra gruesa	
Semi-terminado	
Terminado	

Tabla 2.14: Nivel de terminación de SPT de obra gruesa, Propuesta V2.1.

SPB y SPL de obra gruesa					
Solución de CI	% de la solución de CI c/r al total de este ítem				
	0 %	(1 %-25 %]	(25 %-50 %]	(50 %-75 %]	(75 %-100 %]
Muros prefabricados					
Losas prefabricadas					
Escaleras prefabricadas					
Columnas prefabricadas					
Vigas prefabricadas					

Tabla 2.15: Sistemas prefabricados de obra gruesa, Propuesta V2.1.

Soluciones prefabricadas en terminaciones					
Solución de CI	% de la solución de CI c/r al total de este ítem				
	0 %	(1 %-25 %]	(25 %-50 %]	(50 %-75 %]	(75 %-100 %]
Ventanas prefabricadas					
Puertas precolgadas					
Revestimientos prefabricados					
Tabiques prefabricados					
Muebles prefabricados					
Techumbre prefabricada					

Tabla 2.16: Sistemas prefabricados de terminaciones, Propuesta V2.1.

Tecnologías constructivas que mejoran productividad	
Hormigón con fibra	
Hormigón fluido	
Hormigón autocompactante	
Moldajes monolíticos	
Fierros predoblados	
Andamio autosoportante	
Mallas electrosoldadas	

Tabla 2.17: Tecnologías constructivas, Propuesta V2.1.

2.4.2.2. Sistema de asignación de puntajes

Para esta sección se determinó que el puntaje máximo a obtener es de 100 puntos, de manera que el puntaje obtenido coincida con el porcentaje obtenido. Este sistema de asignación de puntajes se basa en que al ser los sistemas prefabricados tridimensionales los más complejos, son los que permiten obtener un mayor puntaje. Es por esto que la única forma de que un proyecto obtenga el puntaje máximo de 100 puntos es que su porcentaje de utilización de sistemas prefabricados tridimensionales se encuentre entre 75 % y 100 % y estos sistemas vengan en su mayoría completamente terminados. El detalle de la asignación de puntaje de esta sección se dividirá en dos subsecciones: Sistemas tridimensionales y Sistemas no tridimensionales y tecnologías constructivas.

2.4.2.2.1. Sistemas tridimensionales

En primer lugar se obtiene puntaje de acuerdo con el porcentaje de uso de sistemas prefabricados tridimensionales del proyecto y luego se multiplica por un ponderador cuyo valor depende del nivel de terminación del proyecto. Los puntajes y los ponderadores correspondientes al porcentaje de uso de sistemas prefabricados tridimensionales y al nivel de terminación respectivamente se detallan a continuación.

Porcentaje de uso de SPT	Puntaje
0 %	0
(1 % - 25 %]	25
(25 % - 50 %]	50
(50 % - 75 %]	75
(75 % - 100 %]	100

Tabla 2.18: Puntaje según porcentaje de SPT, Propuesta V2.1.

Nivel de terminación	Ponderador, k_1
Obra gruesa	0,7
Semi-terminado	0,85
Terminado	1

Tabla 2.19: Ponderador según nivel de terminación de sistemas tridimensionales, Propuesta V2.1.

Con estos puntajes y ponderadores, se puede armar una matriz que indica directamente el puntaje obtenido en esta subsección, dependiendo del porcentaje de uso de sistemas prefabricados tridimensionales y del nivel de terminación. Esta matriz se presenta a continuación.

	Porcentaje de uso de SPT				
	0 %	(1 %-25 %]	(25 %-50 %]	(50 %-75 %]	(75 %-100 %]
Obra gruesa	0	17,5	35	52,5	70
Semi-terminado	0	21,3	42,5	63,8	85
Completo	0	25	50	75	100

Tabla 2.20: Matriz de puntaje según porcentaje de sistemas tridimensionales y nivel de terminación, Propuesta V2.1.

2.4.2.2.2. Sistemas no tridimensionales y tecnologías constructivas

El puntaje máximo obtenible de esta subsección va a depender del obtenido en la subsección anterior, con el objetivo de que a mayor uso de sistemas tridimensionales, tenga un menor peso en el puntaje final el uso de sistemas bidimensionales y lineales, y viceversa. Concretamente, el puntaje máximo obtenible será el 80 % del puntaje no obtenido en la subsección de sistemas tridimensionales, debido a que como se planteó anteriormente, para un máximo aumento de la productividad los proyectos con CI deben apuntar a usar los sistemas indus-

trializados más complejos posibles, por lo cual el puntaje de sistemas no tridimensionales se sanciona con esta pérdida del 20% del puntaje restante.

Dentro de los sistemas no tridimensionales y tecnologías constructivas se tienen 4 grupos, los cuales se detallan a continuación junto con sus respectivos ítems.

- Sistemas prefabricados bidimensionales de obra gruesa: muros prefabricados y losas prefabricadas.
- Sistemas prefabricados lineales de obra gruesa: escaleras prefabricadas, columnas prefabricadas y vigas prefabricadas.
- Componentes prefabricados de terminaciones: ventanas prefabricadas, puertas precolgadas, revestimientos prefabricados, tabiques prefabricados, muebles prefabricados y techumbre prefabricada.
- Tecnologías constructivas: hormigón con fibra, hormigón fluido, hormigón autocompactante, moldajes monolíticos, fierros predoblados, andamio autosoportante y mallas electrosoldadas.

El puntaje máximo de la subsección se reparte entre cada grupo siguiendo los siguientes ponderadores del puntaje no obtenido de sistemas tridimensionales:

Ponderadores de puntaje máximo, k_2	
SPB de obra gruesa	0,35
SPL de obra gruesa	0,25
Prefabricados de terminaciones	0,1
Tecnologías constructivas	0,1
Suma	0,8

Tabla 2.21: Ponderador de puntaje máximo por grupo, Propuesta V2.1.

Por lo tanto, el puntaje máximo de cada grupo se calcula de la siguiente forma:

$$Puntaje\ máximo\ grupo = (100 - Puntaje\ subseccion\ 1) \cdot k_2$$

A modo de ejemplo, se calculan los puntajes máximos para un proyecto que obtuvo 20 puntos en sistemas tridimensionales:

SPT	
Puntaje obtenido	20
Puntaje no obtenido	80
Sistemas no tridimensionales y tecnologías constructivas	
Grupo	Puntaje máximo obtenible
SPB de obra gruesa	28
SPL de obra gruesa	20
Prefabricados de terminaciones	8
Tecnologías constructivas	8
Total de la subsección	64

Tabla 2.22: Ejemplo de asignación de puntajes máximos, Propuesta V2.1.

Una vez definidos los puntajes máximos de cada grupo, se deben calcular los puntajes obtenidos. Para cada uno de los grupos, el puntaje máximo se reparte de forma equitativa entre cada ítem. Además, para los grupos de obra gruesa y terminaciones, cada casilla tiene un ponderador, los cuales se detallan a continuación:

Casilla	Ponderador, k_3
0 %	0
(1 % - 25 %]	0,25
(25 % - 50 %]	0,5
(50 % - 75 %]	0,75
(75 % - 100 %]	1

Tabla 2.23: Ponderador por casilla de soluciones industrializadas, Propuesta V2.1.

Por otra parte, para el grupo de tecnologías constructivas el ponderador k_3 tiene un valor de 1 para los ítems que se utilizan y 0 para los que no se utilizan.

Por lo tanto, las fórmulas para obtener el puntaje de cada ítem, grupo, subsección y final de la sección se presentan a continuación:

$$Puntaje\ item = \frac{Puntaje\ maximo\ grupo \cdot k_3}{n^\circ\ de\ items\ del\ grupo}$$

$$Puntaje\ grupo = \sum Puntajes\ items\ del\ grupo$$

$$Puntaje\ subseccion\ 2 = \sum Puntajes\ grupos$$

$$Porcentaje\ de\ industrialización = Puntaje\ seccion = \sum Puntajes\ subsecciones$$

2.4.3. Impacto de CI

No se realizan modificaciones en esta sección.

2.5. Resultados

Durante el levantamiento de información para las primeras dos herramientas (Metodología de Industrialización y Detalle de soluciones de CI), se obtuvieron respuestas para 13 proyectos diferentes. Por motivos de confidencialidad, no se expondrán los nombres de los proyectos ni de las empresas a cargo, por lo que los proyectos serán denominados como Proyecto 1, Proyecto 2, y así hasta el Proyecto 13.

Los porcentajes obtenidos para cada ámbito y para cada herramienta de los 13 proyectos se presentan a continuación.

Nombre		Proyecto 1	
Tipo de proyecto		En extensión	
Socios CCI		No	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	60	SPT	35
Digitalización	40	SPB obra gruesa	50
Integración temprana	80	SPL obra gruesa	33
Innovación	40	Terminaciones prefabricadas	54
TOTAL	55	Tecnologías de CI	43
		TOTAL	58

Tabla 2.24: Resultados Proyecto 1



Figura 2.1: Resultados Proyecto 1

Nombre		Proyecto 2	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		No	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	20	SPT	0
Digitalización	20	SPB obra gruesa	0
Integración temprana	0	SPL obra gruesa	33
Innovación	20	Terminaciones prefabricadas	13
TOTAL	15	Tecnologías de CI	43
		TOTAL	14

Tabla 2.25: Resultados Proyecto 2



Figura 2.2: Resultados Proyecto 2

3

Nombre		Proyecto 3	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		No	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	20	SPT	21
Digitalización	20	SPB obra gruesa	50
Integración temprana	0	SPL obra gruesa	50
Innovación	20	Terminaciones prefabricadas	0
TOTAL	15	Tecnologías de CI	14
		TOTAL	46

Tabla 2.26: Resultados Proyecto 3



Figura 2.3: Resultados Proyecto 3

Nombre		Proyecto 4	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	60	SPT	0
Digitalización	20	SPB obra gruesa	13
Integración temprana	80	SPL obra gruesa	33
Innovación	20	Terminaciones prefabricadas	0
TOTAL	45	Tecnologías de CI	43
		TOTAL	46

Tabla 2.27: Resultados Proyecto 4



Figura 2.4: Resultados Proyecto 4

Nombre		Proyecto 5	
Tipo de proyecto		En extensión	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	40	SPT	21
Digitalización	40	SPB obra gruesa	100
Integración temprana	100	SPL obra gruesa	67
Innovación	80	Terminaciones prefabricadas	100
TOTAL	65	Tecnologías de CI	57
		TOTAL	74

Tabla 2.28: Resultados Proyecto 5



Figura 2.5: Resultados Proyecto 5

Nombre		Proyecto 6	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	40	SPT	21
Digitalización	40	SPB obra gruesa	0
Integración temprana	100	SPL obra gruesa	33
Innovación	80	Terminaciones prefabricadas	33
TOTAL	65	Tecnologías de CI	57
		TOTAL	35

Tabla 2.29: Resultados Proyecto 6



Figura 2.6: Resultados Proyecto 6

Nombre		Proyecto 7	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	40	SPT	0
Digitalización	40	SPB obra gruesa	0
Integración temprana	100	SPL obra gruesa	33
Innovación	80	Terminaciones prefabricadas	17
TOTAL	65	Tecnologías de CI	43
		TOTAL	14

Tabla 2.30: Resultados Proyecto 7

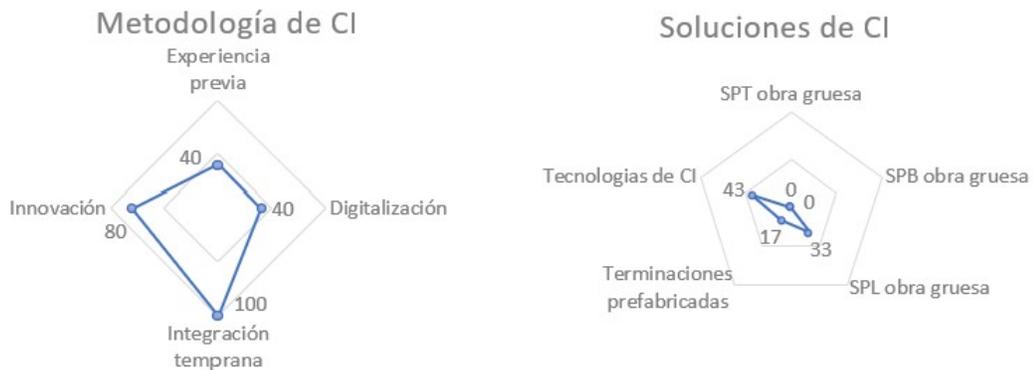


Figura 2.7: Resultados Proyecto 7

Nombre		Proyecto 8	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	40	SPT	0
Digitalización	40	SPB obra gruesa	0
Integración temprana	100	SPL obra gruesa	33
Innovación	80	Terminaciones prefabricadas	17
TOTAL	65	Tecnologías de CI	14
		TOTAL	11

Tabla 2.31: Resultados Proyecto 8



Figura 2.8: Resultados Proyecto 8

Nombre		Proyecto 9	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	0	SPT	21
Digitalización	60	SPB obra gruesa	0
Integración temprana	20	SPL obra gruesa	33
Innovación	40	Terminaciones prefabricadas	17
TOTAL	30	Tecnologías de CI	57
		TOTAL	34

Tabla 2.32: Resultados Proyecto 9



Figura 2.9: Resultados Proyecto 9

Nombre		Proyecto 10	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	40	SPT	21
Digitalización	60	SPB obra gruesa	0
Integración temprana	20	SPL obra gruesa	33
Innovación	40	Terminaciones prefabricadas	17
TOTAL	40	Tecnologías de CI	14
		TOTAL	30

Tabla 2.33: Resultados Proyecto 10



Figura 2.10: Resultados Proyecto 10

Nombre		Proyecto 11	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	40	SPT	21
Digitalización	60	SPB obra gruesa	0
Integración temprana	20	SPL obra gruesa	33
Innovación	40	Terminaciones prefabricadas	17
TOTAL	40	Tecnologías de CI	43
		TOTAL	33

Tabla 2.34: Resultados Proyecto 11



Figura 2.11: Resultados Proyecto 11

Nombre		Proyecto 12	
Tipo de proyecto		Edificación	
Socios CCI		No	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	0	SPT	0
Digitalización	40	SPB obra gruesa	50
Integración temprana	60	SPL obra gruesa	0
Innovación	40	Terminaciones prefabricadas	0
TOTAL	35	Tecnologías de CI	29
		TOTAL	20

Tabla 2.35: Resultados Proyecto 12



Figura 2.12: Resultados Proyecto 12

Nombre		Proyecto 13	
Tipo de proyecto		En extensión	
Socios CCI		Si	
Metodología de Industrialización		Detalle de soluciones de CI	
Ámbito	% obtenido	Grupo	% obtenido
Experiencia previa	40	SPT	85
Digitalización	40	SPB obra gruesa	0
Integración temprana	20	SPL obra gruesa	0
Innovación	80	Terminaciones prefabricadas	0
TOTAL	45	Tecnologías de CI	0
		TOTAL	85

Tabla 2.36: Resultados Proyecto 13



Figura 2.13: Resultados Proyecto 13

2.6. Análisis de Resultados

En base a los resultados obtenidos durante el levantamiento de datos, se elaboran tablas y gráficos con el fin de analizar las respuestas obtenidas. A continuación se presenta una tabla con los promedios de los 13 proyectos para cada ámbito y herramienta.

Metodología de Industrialización			Detalle de soluciones de CI		
Ámbito	% promedio	Desviación estandar	Grupo	% promedio	Desviación estandar
Experiencia previa	34	19	SPT	19	23
Digitalización	40	14	SPB obra gruesa	20	32
Integración temprana	54	41	SPL obra gruesa	32	17
Innovación	51	25	Terminaciones prefabricadas	22	28
TOTAL	45	18	Tecnologías de CI	35	19
			TOTAL	36	24

2.6.1. Resultados finales de las herramientas

Con el fin de obtener conclusiones que relacionen los resultados de ambas herramientas, se presenta un gráfico por herramienta que contiene el porcentaje final obtenido por cada proyecto junto con el promedio.



Figura 2.14: Porcentajes obtenidos en Metodología de Industrialización



Figura 2.15: Porcentajes obtenidos en Detalle de soluciones de CI

Se puede apreciar que para ambas herramientas el porcentaje promedio es cercano al 40 %. Esto se debe en gran parte a que en 7 de los 13 proyectos, la diferencia de porcentaje obtenido en cada herramienta es menor al 15 %. Este escenario es el ideal ya que indica que las empresas van aumentando el grado de industrialización en la construcción a medida que van mejorando su preparación. Por otra parte, en 4 proyectos se tiene un nivel de preparación alto en comparación con las soluciones de CI utilizadas (superior al 15 %). Estos casos ocurren porque las empresas se han preparado para incluir construcción industrializada en sus proyectos pero por diversas razones han decidido no utilizar soluciones de CI de alta complejidad en todos sus proyectos. Caso contrario ocurre con dos de los proyectos estudiados, los cuales cuentan con un alto grado de uso de soluciones de CI sin tener la preparación adecuada para esto. Este escenario no es el recomendable ya que debido a la falta de preparación se pueden presentar problemas y descoordinaciones durante la ejecución del proyecto.

2.6.2. Resultados de Metodología de Industrialización

A continuación, se presentan gráficos con los porcentajes obtenidos por los diferentes proyectos para cada ámbito, junto con sus respectivos promedios.

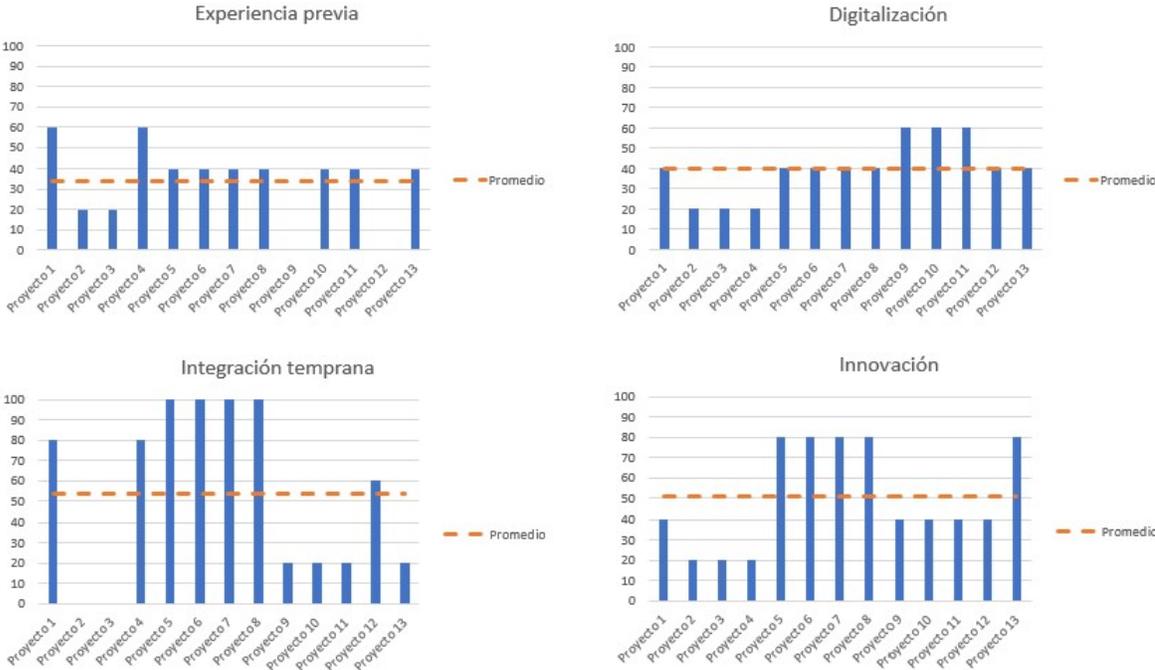


Figura 2.16: Porcentajes obtenidos por ámbito

Podemos observar que la mayoría de las empresas constructoras que participan en este estudio cuentan con experiencia previa en construcción industrializada. Sin embargo, ninguna supera el 60 % en este ámbito, debido principalmente a la falta de experiencia de las empresas al utilizar sistemas prefabricados tridimensionales. También se puede notar que las empresas que tienen mayor experiencia en proyectos con CI entienden la importancia de la integración temprana para la correcta ejecución del proyecto. Se debe destacar el caso del Proyecto 3, que cuenta con un alto uso de soluciones de CI pero sin integración temprana, lo cual implica potencialmente problemas de coordinación.

En el gráfico de digitalización, se aprecia que la utilización de BIM se encuentra en sus primeros niveles, es decir, se utiliza en los proyectos pero no de forma integrada. Esto supone una oportunidad clara de mejora, ya que al utilizar BIM de forma integrada podrían reducir los problemas generados por descoordinaciones. Para lograr esta mejora, se sugiere revisar y adoptar las recomendaciones presentadas en el documento Guía Estratégica de Adopción de BIM (CChC y CTeC, 2022)

Además, se puede apreciar que las empresas interesadas en utilizar construcción industrializada entienden la importancia del área y las técnicas de innovación.

2.6.3. Resultados de Detalle de soluciones de CI

A continuación se presentan gráficos con los porcentajes obtenidos por los proyectos por el uso de SPT junto con el promedio. Se divide en proyectos en extensión y de edificación.

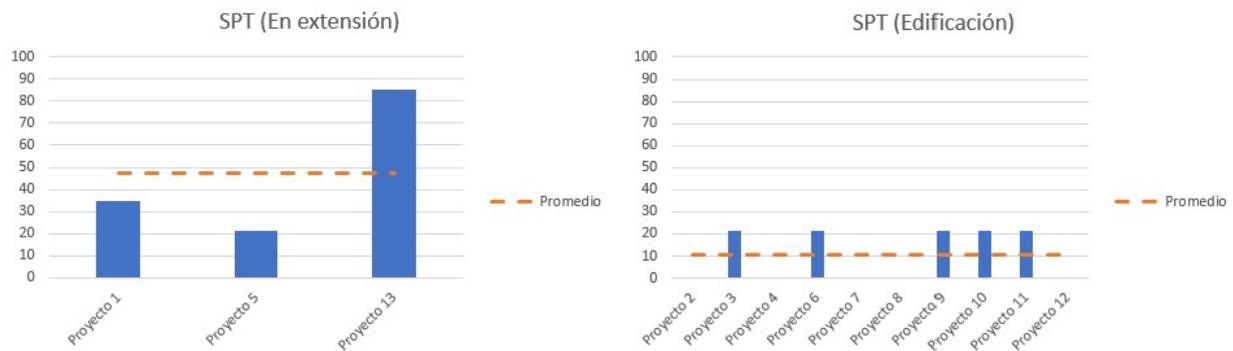


Figura 2.17: Porcentajes obtenidos por uso de SPT

Para el caso del uso de SPT, se dividieron los gráficos según tipo de proyecto debido a que la utilización de prefabricados tridimensionales en edificación resulta considerablemente más complejo que en proyectos en extensión. Esta diferencia se puede apreciar en los gráficos, que muestran un mayor uso de SPT en proyectos en extensión, mientras que en los proyectos de edificación su uso es bajo o nulo.

Además de lo anterior, se presentan gráficos con los resultados obtenidos para SPB y SPL de obra gruesa, soluciones prefabricadas de terminaciones y tecnologías constructivas que mejoran la productividad.

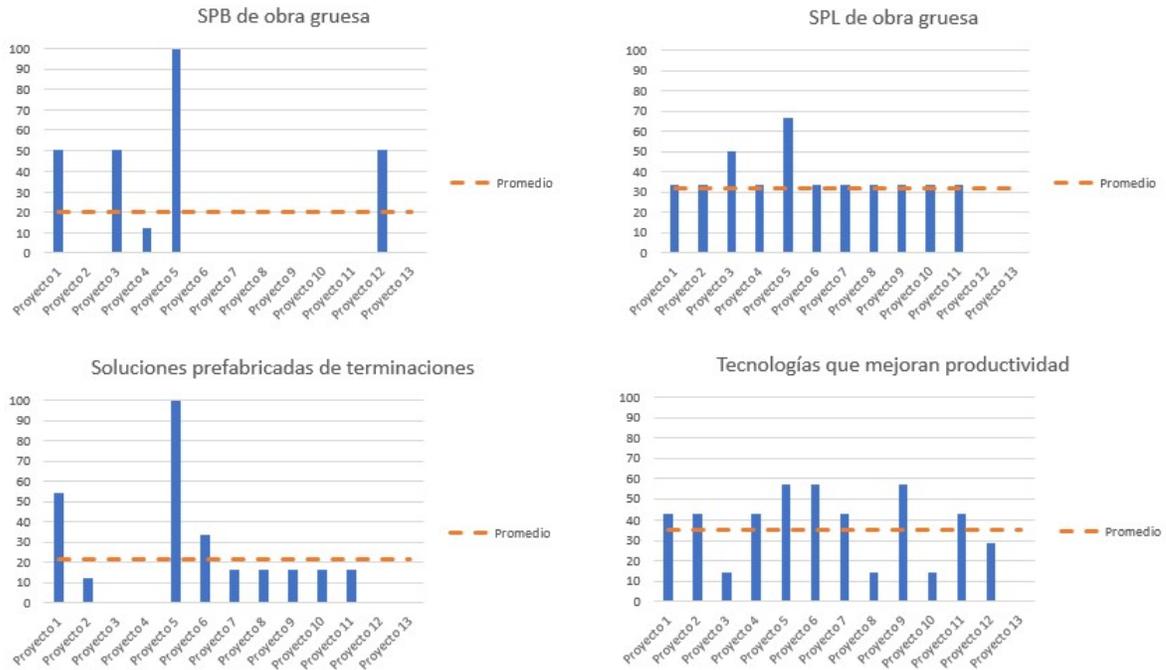


Figura 2.18: Porcentajes obtenidos por grupo

En los gráficos se puede apreciar que el uso de sistemas prefabricados lineales predomina por sobre los bidimensionales. Mientras el uso de SPL ya es una práctica habitual en los proyectos que utilizan CI, para la utilización de SPB se requiere un mayor nivel de conocimiento y preparación. También se puede concluir que las soluciones prefabricadas de terminaciones no son muy utilizadas debido a que se requiere un alto nivel de coordinación para obtener un producto que cumpla con las condiciones necesarias para ser instalado de forma correcta. Este nivel de coordinación se puede alcanzar al realizar integración temprana y utilizar BIM de forma integrada. Finalmente, se observa que el uso de tecnologías que mejoran productividad es común en proyectos que buscan utilizar construcción industrializada.

2.6.4. Caso de estudio: Proyecto 13

Dentro de los 13 proyectos que participaron en este estudio, el que registró un mayor nivel de industrialización en base a sus soluciones de CI es el Proyecto 13. Este proyecto es en extensión, está terminado y fue construido en un 100% por soluciones prefabricadas tridimensionales semi-terminadas.

Tras una reunión con un representante de la constructora, se obtuvo la información de que durante la ejecución del proyecto surgieron una gran cantidad de problemas debido a que no estaban preparados para ejecutar un proyecto con tantas soluciones de CI de una alta complejidad.

Esto coincide con el contraste presentado en los resultados de las dos herramientas. Mientras el nivel de industrialización del proyecto en base a las soluciones de CI es de un 85%, el nivel de uso de metodología es de apenas un 45%, es decir, un 40% menor.

En el ámbito innovación obtuvo un porcentaje de 80%, en experiencia previa y digitali-

zación un 40 % y en integración temprana solamente un 20 %. Por lo tanto, el análisis que se puede realizar es que la empresa tiene la intención de innovar pero tiene poca experiencia utilizando CI y su nivel de uso de BIM es bajo. Esto último, sumado a la falta de integración temprana en el proyecto genera problemas de coordinación durante la ejecución.

Sin embargo, tras la experiencia adquirida que supone el desarrollo de este proyecto, se puede suponer que el próximo proyecto ejecutado con soluciones complejas de CI por esta empresa presentará un menor número de inconvenientes debido principalmente a una mayor experiencia en este tipo de proyectos. También se puede esperar una mejoría en el próximo proyecto de la inmobiliaria debido al aprendizaje acerca de la importancia de integrar temprano a los diferentes actores claves.

Capítulo 3

Conclusiones

En Chile, el uso de construcción industrializada aún se encuentra en una etapa muy inicial por lo cual las empresas no tienen claridad de los beneficios que este tipo de construcción supone. Evidenciar las ventajas del uso de construcción industrializada eliminaría una de las brechas más importantes (Ortega, 2022) que impide la adopción de técnicas industrializadas en la construcción.

La herramienta “Impacto de CI” permitirá cuantificar las diferencias existentes mediante indicadores en costos, plazos, calidad, mano de obra, sustentabilidad y productividad entre diferentes proyectos. Sin embargo, si no se conoce el nivel de industrialización de los proyectos que se comparan, estas diferencias evidenciadas por los indicadores no permiten un análisis que refleje las ventajas al aumentar el grado de adopción de construcción industrializada.

La herramienta propuesta “Detalle de soluciones de CI” permite medir el nivel de industrialización de un proyecto en base a las soluciones de CI que utiliza y complementar el análisis mencionado anteriormente.

Además, se propone la herramienta “Metodología de Industrialización” que permite evaluar el nivel de uso de metodología en la incorporación de construcción industrializada. Esta herramienta está relacionada estrechamente con el nivel de industrialización de un proyecto, ya que aumentar el porcentaje obtenido por uso de metodología implica una mayor preparación para afrontar con mayor probabilidad de éxito un proyecto con soluciones de CI de alta complejidad.

Se plantea como trabajo futuro el establecer una guía que contenga recomendaciones acerca del nivel de industrialización al que se debe aspirar en un proyecto y que tipo de soluciones de CI utilizar en base al nivel de cumplimiento de metodología de industrialización. Estas recomendaciones se deberán elaborar basándose en los datos ya levantados, en nuevas mediciones, en reuniones con las empresas participantes del estudio y en los resultados obtenidos de la herramienta “Impacto de CI” para cada uno de los casos de estudio, ya que esto permitirá determinar los casos de éxito y de fracaso para diferentes combinaciones de resultados en las otras dos herramientas.

Bibliografía

- Camara Chilena de la Construcción, y Centro Tecnológico para la Innovación en Productividad y Sustentabilidad en la Construcción. (2022). *Guía estratégica de adopción BIM del consejo de productividad CChC*.
- Consejo de Construcción Industrializada. (2023). *Metodología para la construcción industrializada*.
- Consejo de Construcción Industrializada, y Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2021). *Metodología de medición. Set de indicadores para medir la industrialización*.
- Grupo Avintia. (2020). *Libro blanco sobre la industrialización de la construcción*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2022). *Anteproyecto de norma nch3744*.
- Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales. (2018). *Acompañamiento proyecto construcción industrializada*.
- Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales. (2018). *Estandarización de medidas de partes y piezas de componentes de la construcción*.
- Matrix Consulting. (2020). *Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la construcción en Chile a estándares mundiales*.
- Ortega, J. (2022). *Impacto de barreras presentes en la adopción de la construcción fuera de sitio en Chile*.
- Sánchez, D. (2021). *Cálculo del nivel de industrialización en la construcción* [Proyecto de Grado]. Universidad de los Andes, Colombia.