



**INFORME DE INVESTIGACIÓN**  
**Catastro de Capacidades y Brechas**  
**de Industrialización de Prefabricadoras**  
**con Madera en Chile**



## CONVENIO DE COLABORACIÓN Y TRANSFERENCIA

Ministerio de Vivienda y Urbanismo  
y  
Pontificia Universidad Católica de Chile

### **Catastro de Capacidades y Brechas de Industrialización de Prefabricadoras en Madera de Mediana y Baja Tecnología**

Este proyecto se desarrolla en el marco de convenio de Colaboración y Transferencia entre la Pontificia Universidad Católica de Chile y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), durante el primer semestre del año 2023

#### **DATOS ENCARGADOS DEL PROYECTO**

Nombre: Sebastián Parada G.  
Cargo: Jefe de Proyectos CIM UC  
Email: siparada@uc.cl

Nombre: Victoria López Q.  
Cargo: Profesional de Transferencia CIM UC  
Email: victoria.lopez@uc.cl

Nombre: Harrison Mesa H.  
Cargo: Profesor UC - Construcción Civil  
Email: hmesa@uc.cl

Nombre: Alejandro Mac Cawley V.  
Cargo: Profesor UC - Ingeniería Civil Industrial  
Email: amac@uc.cl

#### **Agradecemos la colaboración de MINVU a través de los profesionales**

Susana Jara  
Guillermo Calderón

#### **Centro de Innovación en Madera UC (CIM UC)**

Dirección: Centro de Innovación UC Anacleto Angelini, Piso 7, Santiago, Chile.  
Email: contactocim@uc.cl  
www.madera.uc.cl

#### **Diseño y diagramación**

Vanessa Naranjo

# Índice

## Indice general

Glosario y acrónimos.....	12
Resumen ejecutivo .....	14
<b>01. Introducción .....</b>	<b>26</b>
Déficit habitacional .....	27
Beneficios construcción industrializada .....	27
Contexto internacional .....	28
Contexto nacional.....	28
Minvu e industrialización .....	29
<b>02. Preguntas y objetivos de investigación .....</b>	<b>30</b>
<b>03. Marco conceptual .....</b>	<b>32</b>
<b>04. Metodología .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1. Elaboración de base de datos .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2. Caracterización general de las empresas .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3. Medición del Nivel de Industrialización (NI).....</b>	<b>37</b>
<b>4.3.1. Desarrollo del instrumento de medición del NI .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3.2. Instrumento de medición del NI .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3.3. Validación del instrumento de medición del NI .....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.4. Finalización del instrumento de medición del NI .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.5. Aplicación del instrumento de medición del NI .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4. Análisis de resultados .....</b>	<b>48</b>
<b>4.5. Discusión.....</b>	<b>50</b>
<b>4.6. Hoja de ruta .....</b>	<b>50</b>

<b>05. Resultados .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1. Instrumento de caracterización general.....</b>	<b>54</b>
<b>5.1.1 Todas las empresas .....</b>	<b>54</b>
<b>5.1.2. Selección de empresas para medición del NI.....</b>	<b>58</b>
<b>5.2. Instrumento de medición del NI .....</b>	<b>63</b>
<b>5.2.1. Todas las empresas .....</b>	<b>63</b>
<b>5.2.2. Empresas agrupadas en <i>clusters</i>.....</b>	<b>69</b>
Cluster 1 – NI alto .....	72
Cluster 2 – NI medio.....	81
Cluster 3 – NI bajo .....	90
Cluster 4 – NI muy bajo.....	99
<b>06. Discusión.....</b>	<b>109</b>
<b>6.1. Comparación entre el C1 y el C2.....</b>	<b>110</b>
<b>6.1.1. Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción.....</b>	<b>111</b>
<b>6.1.2. Área 3. Construcción Off-site .....</b>	<b>112</b>
<b>6.1.3. Área 4. Relaciones entre Participantes .....</b>	<b>113</b>
<b>6.1.4. Área 1. Planificación y Control de Procesos.....</b>	<b>114</b>
<b>6.2. Comparación entre el C2 y el C3 .....</b>	<b>116</b>
<b>6.2.1. Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia.....</b>	<b>117</b>
<b>6.2.2. Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados.....</b>	<b>118</b>
<b>6.2.3. Área 6. Enfoque en el Consumidor .....</b>	<b>119</b>
<b>6.3. Comparación entre el C3 y el C4.....</b>	<b>120</b>

<b>6.3.1.</b> Área 1. Planificación y Control de Procesos.....	121
<b>6.3.2.</b> Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia.....	122
<b>6.3.3.</b> Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados.....	123
<b>6.4.</b> Caracterización de los Niveles de Industrialización.....	125
<b>6.4.1.</b> C1 - NI alto .....	126
<b>6.4.2.</b> C2 - NI medio .....	129
<b>6.4.3.</b> C3 - NI bajo.....	131
<b>6.4.4.</b> C4 - NI muy bajo .....	133
<b>07.</b> Hoja de ruta y recomendaciones .....	136
Hoja de ruta.....	137
Recomendaciones.....	140
<b>08.</b> Conclusiones, limitaciones y mejores futuras .....	143
Conclusiones.....	144
Limitaciones.....	146
Mejoras futuras .....	147
Bibliografía.....	148
Anexos .....	153
<b>Anexo A.</b> Encuesta General .....	154
<b>Anexo B.</b> Análisis de Machine Learning.....	159

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Etapas, procesos y participantes de un proyecto de vivienda industrializada .....	33
<b>Tabla 2.</b> Áreas y subáreas del instrumento de medición del NI .....	39
<b>Tabla 3.</b> Cantidad y porcentaje de preguntas por etapas de un proyecto .....	39
<b>Tabla 4.</b> Hojas del instrumento de medición del NI .....	40
<b>Tabla 6.</b> Criterios para la DE .....	46
<b>Tabla 7.</b> Criterios para la definición de los colores de las áreas y subáreas .....	46
<b>Tabla 8.</b> Criterios para las diferencias de puntaje .....	46
<b>Tabla 9.</b> Criterios para las prioridades de la hoja de ruta .....	48
<b>Tabla 10.</b> Empresas encuestadas y cumplimiento de criterios mínimos .....	55
<b>Tabla 11.</b> Empresas preseleccionadas para medir su NI .....	57
<b>Tabla 12.</b> Empresas preseleccionadas para medir su NI dadas de baja .....	58
<b>Tabla 13.</b> Empresas seleccionadas para medir su NI .....	58
<b>Tabla 14.</b> Resumen de los resultados del NI promedio por región ordenados de norte a sur.....	62
<b>Tabla 15.</b> Resumen de los resultados del NI por área.....	64
<b>Tabla 16.</b> NI por <i>cluster</i> .....	67
<b>Tabla 17.</b> Comparación entre el C1 y el C2 - NI por área .....	106
<b>Tabla 18.</b> Comparación entre el C1 y el C2 - Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción .....	107
<b>Tabla 19.</b> Comparación entre el C1 y el C2 - Área 3. Construcción Off-site.....	108

<b>Tabla 20.</b> Comparación entre el C1 y el C2 - Área 4. Relaciones entre Participantes .....	109
<b>Tabla 21.</b> Comparación entre el C1 y el C2 - Área 1. Planificación y Control de Procesos .....	110
<b>Tabla 22.</b> Comparación entre el C1 y el C2 - Clasificación de elementos prefabricados y etapas responsables.....	111
<b>Tabla 23.</b> Comparación entre el C2 y el C3 - NI por área.....	112
<b>Tabla 24.</b> Comparación entre el C2 y el C3 - Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia.....	113
<b>Tabla 25.</b> Comparación entre el C2 y el C3 - Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados .....	114
<b>Tabla 26.</b> Comparación entre el C2 y el C3 - Área 6. Enfoque en el Consumidor .....	115
<b>Tabla 27.</b> Comparación entre el C3 y el C4 - NI por área .....	116
<b>Tabla 28.</b> Comparación entre el C3 y el C4 - Área 1. Planificación y Control de Procesos .....	117
<b>Tabla 29.</b> Comparación entre el C3 y el C4 - Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia.....	118
<b>Tabla 30.</b> Comparación entre el C3 y el C4 - Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados.....	119
<b>Tabla 31.</b> Comparación entre el C3 y el C4 - Etapas y productos que ofrecen las empresas del C4.....	120
<b>Tabla 32.</b> Resumen de la comparación del NI por área de los cuatro <i>clusters</i> .....	121

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Marco conceptual de la construcción industrializada de viviendas basado en lo propuesto por Lessing (2006).....	37
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de asignación de puntaje simple.....	45
<b>Figura 3.</b> Ejemplo de asignación de puntaje con escala.....	46
<b>Figura 4.</b> Ejemplo del instrumento de medición del NI.....	47
<b>Figura 5.</b> Carta Gantt de visitas a terreno para medición del NI .....	48
<b>Figura 6.</b> Criterios para las prioridades según resultados propios del <i>cluster</i> .....	51
<b>Figura 7.</b> Criterios para las prioridades según comparación entre <i>clusters</i> .....	51
<b>Figura 8.</b> Cantidad de empresas encuestadas .....	54
<b>Figura 9.</b> Cantidad de empresas encuestadas ordenadas por región de norte a sur.....	55
<b>Figuras 10.</b> Resultados de la encuesta general – Parte 1 .....	56
<b>Figuras 11.</b> Resultados de la encuesta general – Parte 2 .....	57
<b>Figura 12.</b> Cantidad de empresas entrevistadas.....	63
<b>Figura 13.</b> Cantidad, NI y DE de las empresas entrevistadas ordenadas por región de norte a sur....	64
<b>Figura 14.</b> DE del NI ordenadas por región de norte a sur.....	65
<b>Figura 15.</b> Boxplot del NI por región ordenadas de norte a sur.....	65
<b>Figura 16.</b> NI por área y región.....	66
<b>Figura 17.</b> NI por área .....	67
<b>Figura 18.</b> DE del NI por área.....	67
<b>Figura 19.</b> Boxplot del NI por área .....	68
<b>Figura 20.</b> Cantidad de empresas por <i>cluster</i> .....	69

<b>Figura 21.</b> Dispersión por <i>cluster</i> del NI vs DAP.....	69
<b>Figura 22.</b> NI por área y <i>cluster</i> .....	70
<b>Figura 23.</b> DE del NI por área y <i>cluster</i> .....	71
<b>Figura 24.</b> C1 - NI por área.....	72
<b>Figura 25.</b> C1 - DE del NI por área .....	72
<b>Figura 26.</b> C1 – Estado de las áreas .....	73
<b>Figura 27.</b> C1 - NI por subárea ordenados de mayor a menor.....	74
<b>Figura 28.</b> C1 - DE del NI por subárea ordenadas de menor a mayor .....	75
<b>Figura 29.</b> C1 - Estado de las subáreas.....	76
<b>Figura 30.</b> C2 - NI por área.....	81
<b>Figura 31.</b> C2 - DE del NI por área .....	81
<b>Figura 32.</b> C2 – Estado de las áreas .....	82
<b>Figura 33.</b> C2 - NI por subárea ordenados de mayor a menor .....	83
<b>Figura 34.</b> C2 - DE del NI por subárea ordenadas de menor a mayor .....	84
<b>Figura 35.</b> C2 - Estado de las subáreas .....	85
<b>Figura 36.</b> C3 - NI por área.....	90
<b>Figura 37.</b> C3 - DE del NI por área .....	90
<b>Figura 38.</b> C3 – Estado de las áreas .....	91
<b>Figura 39.</b> C3 - NI por subárea ordenados de mayor a menor .....	92
<b>Figura 40.</b> C3 - DE del NI por subárea ordenadas de menor a mayor .....	93
<b>Figura 41.</b> C3 - Estado de las subáreas.....	94

<b>Figura 42.</b> C4 - NI por área.....	99
<b>Figura 43.</b> C4 - DE del NI por área .....	99
<b>Figura 44.</b> C4 – Estado de las áreas.....	100
<b>Figura 45.</b> C4 - NI por subárea ordenados de mayor a menor.....	101
<b>Figura 46.</b> C4 - DE del NI por subárea ordenadas de menor a mayor .....	102
<b>Figura 47.</b> C4 - Estado de las subáreas .....	103
<b>Figura 48.</b> Estado de las subáreas de los cuatro <i>clusters</i> .....	108
<b>Figura 49.</b> NI por área y <i>cluster</i> - Mayor diferencia entre <i>clusters</i> .....	125
<b>Figura 50.</b> NI por área y <i>cluster</i> - Mayores diferencias para llegar al NI alto (C1).....	126
<b>Figura 51.</b> Diagrama del NI por subárea - C1 - NI alto .....	128
<b>Figura 52.</b> Diagrama del NI por subárea - C2 - NI medio .....	130
<b>Figura 53.</b> Diagrama del NI por subárea - C3 - NI bajo .....	132
<b>Figura 54.</b> Diagrama del NI por subárea - C4 - NI muy bajo .....	134
<b>Figura 55.</b> Hoja de ruta de los cuatro <i>clusters</i> .....	138

# Glosario y acrónimos

## Glosario

**Clasificación de elementos prefabricados según terminación:** se refiere a la clasificación de un elemento prefabricado según su nivel de terminación, ya sea en obra gruesa, la incorporación de instalaciones y/o la incorporación de terminaciones (INN, 2023).

**Clasificación de elementos prefabricados según dimensión:** se refiere a la clasificación de un elemento prefabricado según su dimensión, ya sea lineal, bidimensional, tridimensional o un recinto (INN, 2023).

**Clustering:** técnica que encuentra patrones en datos no etiquetados y los agrupa en *clusters* (Lee, 2019).

**Cluster:** es un grupo de datos con rasgos o características similares (Lee, 2019).

**Elemento prefabricado:** parte de una construcción con base en componentes o materiales o combinaciones de ambos (INN, 2023).

**Etapas de proyectos:** se refiere a las etapas que implican el desarrollo completo de una vivienda industrializada. Para efectos de esta investigación, el proyecto se divide en las siguientes cinco etapas: diseño, prefabricación o producción, transporte, montaje y construcción.

**Nivel de Industrialización (NI):** se refiere al nivel de uso de atributos de la construcción industrializada. Basado en lo propuesto por

Lessing (2006), esta investigación considera ocho áreas de industrialización: Planificación y Control de Procesos, Sistemas Técnicos Desarrollados, Construcción Off-site, Relaciones entre Participantes, Logística Integrada en el Proceso de Construcción, Enfoque en el Consumidor, Tecnologías de la Información y Comunicación y Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia. La Norma Chilena NCh3744 considera como atributos de la construcción industrializada el nivel de estandarización y optimización del diseño, la prefabricación, la integración temprana de los actores del proyecto, la tecnología y la digitalización, equipamientos y materiales, entre otros (INN, 2023).

**Porcentaje de alcance:** porcentaje del precio total de la vivienda terminada por unidad. Este porcentaje varía dependiendo de las etapas que se cubren de un proyecto.

**Oferta de tipologías de viviendas:** se refiere a los tipos de modelos de viviendas industrializadas que la empresa tiene a disposición para la elección de sus clientes. Estas tipologías pueden variar, por ejemplo, según número de recintos, configuración o estilo de arquitectura, y puede ser o no sujeta a personalización.

**Oferta de desarrollo de proyectos:** se refiere a la oferta de desarrollar proyectos de construcción, ya sea residenciales o edificaciones, de forma industrializada.

**Sistema constructivo:** se refiere al tipo de sistema constructivo con el cual se fabrica un elemento prefabricado, ya sea paneles de entramado ligero, paneles SIP, CLT o elementos lineales (poste/viga).

**Tamaño de la empresa:** Clasificación de la empresa según su número de personas o empleados (División de Estudios, 2014).

- *Micro*: Empresa con entre 1 y 9 personas
- *Pequeña*: Empresa con entre 10 y 25 personas
- *Mediana*: Empresa con entre 26 y 200 personas
- *Grande*: Empresa con más de 201 personas

## Acrónimos

- **CASEN:** Caracterización Socioeconómica Nacional
- **CChC:** Cámara Chilena de la Construcción
- **CCI:** Consejo de Construcción Industrializada
- **CIM UC:** Centro de Innovación en Madera UC
- **CLT:** Cross Laminated Timber
- **CORVI:** Corporación de la Vivienda
- **C1:** Cluster 1
- **C2:** Cluster 2
- **C3:** Cluster 3
- **C4:** Cluster 4
- **CX:** Cluster X
- **CX+1:** Cluster X+1
- **DAP:** Desviación Absoluta Promedio
- **DE:** Desviación Estándar
- **DIPRES:** Dirección de Presupuestos de Chile
- **DITEC MINVU:** División Técnica de MINVU
- **EP:** Entidad Patrocinante
- **INN:** Instituto Nacional de Normalización
- **MINVU:** Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile
- **ML:** Machine Learning
- **NI:** Nivel de Industrialización
- **OGUC:** Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones
- **PEH:** Plan de Emergencia Habitacional
- **RAE:** Real Academia Española
- **SERVIU:** Servicio de Vivienda y Urbanización
- **SIP:** Structural Insulated Panel
- **TIC:** Tecnologías de la Información y Comunicación
- **VBA:** Visual Basics for Applications

# Resumen ejecutivo

## Introducción

La construcción industrializada ha cobrado relevancia en la última década a nivel global. Al traspasar partes del proceso de construcción a un entorno controlado o fábrica, se puede aumentar la eficiencia de los sistemas constructivos, reducir los tiempos y los costos de los proyectos. En Suecia se han aplicado estos conceptos desde principios del siglo XX y países como Japón y EE.UU. han logrado reducir costos y tiempos hasta en un 30%.

Esta tendencia global también está presente en Chile. En los últimos años, especialmente durante la pandemia de 2020 y 2021, la demanda de productos prefabricados experimentó un aumento significativo. Por otro lado, desde el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU) se busca impulsar la industrialización en programas habitacionales de carácter social a través del Plan de Emergencia Habitacional (PEH) lanzado en julio del año 2022. A través de la certificación de empresas prefabricadoras y la aprobación de proyectos de vivienda industrializada tipo (según la Resolución Exenta N°52 y N°59 respectivamente) se busca la aceleración de producción de viviendas asequibles y de alta calidad para mitigar el déficit habitacional actual.

Dada la creciente demanda de construcción industrializada en ámbitos públicos como privados es que se requiere de un mayor

conocimiento de la realidad actual de esta industria en Chile. La cantidad de empresas que existen, las tecnologías que se utilizan, los sistemas constructivos aplicados y el nivel de industrialización son algunas de las interrogantes latentes. La presente investigación presenta un catastro de industrialización de empresas prefabricadoras con madera en Chile con el fin de identificar las capacidades y brechas de la industria de la construcción industrializada.

## Preguntas de investigación y marco conceptual

“A la luz de la problemática planteada, surgen interrogantes como: ¿Es factible desarrollar un marco conceptual junto con un instrumento que permita medir el Nivel de Industrialización (NI) de las empresas prefabricadoras con madera en Chile? ¿Es posible caracterizar las empresas prefabricadoras con madera en Chile y determinar su potencial de transformarse en proveedoras del estado? A través del instrumento de medición del NI ¿Es viable determinar las brechas y capacidades de la industria de la construcción industrializada con madera en Chile?

Con base en el problema y las preguntas de investigación, el objetivo general de esta búsqueda fue realizar un levantamiento de las capacidades y brechas actuales de empresas prefabricadoras con madera en Chile, permitiendo proponer una hoja de ruta que guíe

los trabajos respecto a la actualización del sector construcción en materia de nuevas tecnologías de industrialización para toda su cadena de valor, y ayudando a viabilizar agendas como el Plan de Emergencia Habitacional (PEH).

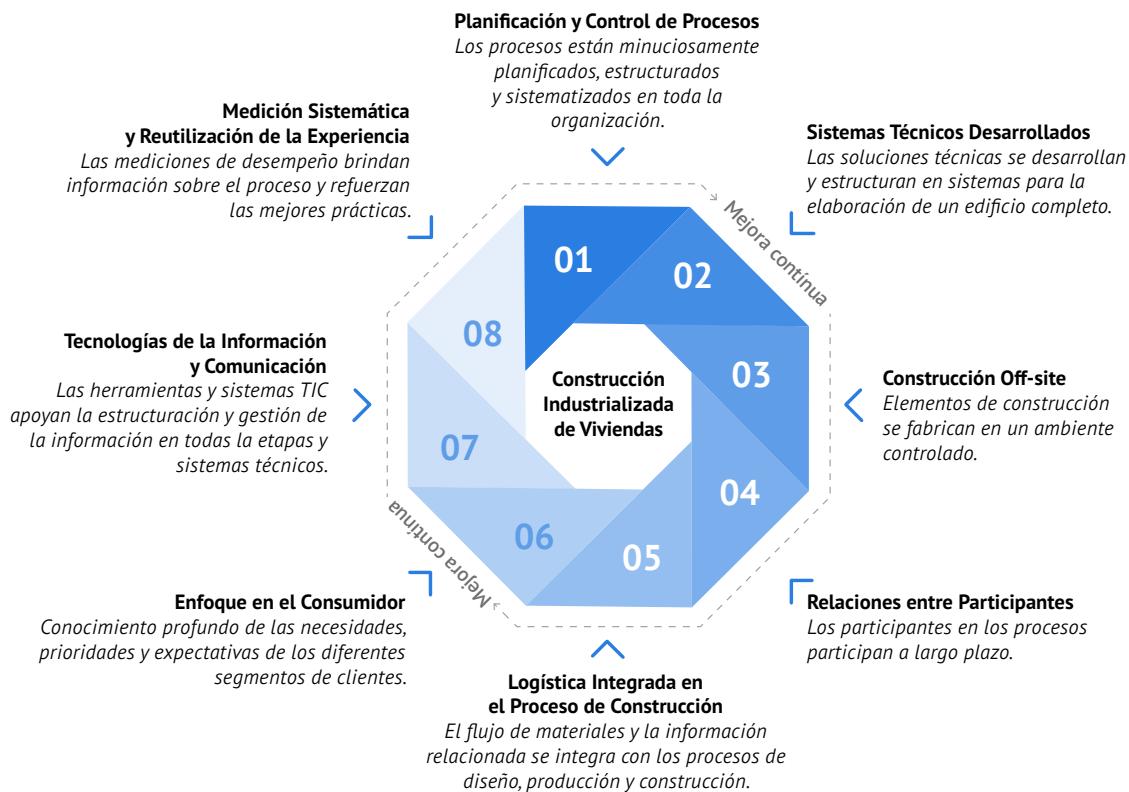
Para dar cumplimiento a este objetivo general se planteó: elaborar un marco conceptual contextualizado en la realidad de la industria de la construcción en Chile, basado en la propuesta teórica de Lessing (2006); elaborar una base de datos de empresas prefabricadoras con madera a lo largo del país; desarrollar un instrumento que permita caracterizar de forma general a las empresas prefabricadoras con madera en Chile; desarrollar un instrumento que permita medir el NI de las empresas prefabricadoras con madera en Chile; analizar la realidad actual de la industria de la construcción industrializada con madera en Chile e inferir empresas potenciales con capacidades de industrialización, determinando las brechas que existen; proponer una hoja de ruta que guíe los trabajos respecto a la actualización del sector construcción en materia de industrialización para toda su cadena de valor impulsando la industria, la producción de viviendas sociales industrializadas y ayudando a viabilizar agendas como el PEH.

## Metodología

El instrumento de caracterización (encuesta general), fue desarrollado a través de Survey Monkey, el cual comprendió, preguntas de selección múltiple y un tiempo de respuesta estimado de cinco minutos. Las preguntas se enfocaron en identificar características específicas

de las empresas tales como: años de experiencia, tamaño según personas y ventas anuales (División de Estudios - Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2014), tipo de personal presente en la empresa, infraestructura (si poseen fábrica o no y la superficie de esta en caso de aplicar), maquinarias, equipos y/o tecnologías, clasificación de los elementos prefabricados según terminación (INN, 2023), tipos de productos que ofrecen al mercado, cumplimiento de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), uso de sistema o mecanismo de control de calidad, además de preguntas para identificar su nivel experiencia en proyectos públicos y su interés y disposición en participar en un proceso de medición del NI de la empresa. La encuesta general se envió a través de correo electrónico a todas las empresas de la base de datos, donde de un total de 112 entidades contactadas, 56 respondieron la encuesta. Finalmente, se describió de forma general a las empresas y se generó, según criterios definidos, una selección de estas para la siguiente etapa de medición del NI.

Para medir el NI se tomó como base el marco conceptual propuesto por Lessing (2006). Dado lo anterior, se proponen ocho áreas para la construcción industrializada de viviendas. Para aterrizar estas ocho áreas a la realidad del país, se realizó una revisión bibliográfica de normativas, viviendas sociales, estudios e investigaciones sobre la industria de la construcción en Chile. Con esto se pudo determinar cómo subdividir las áreas en subáreas permitiendo evaluarlas. A continuación, se exponen los términos desarrollados:



## Marco conceptual de la construcción industrializada de viviendas basado en la propuesta de Lessing (2006)

Con el fin de evaluar la pertinencia y confiabilidad de las preguntas, la duración de la entrevista y la compatibilidad de la medición con la realidad de la industria de la construcción industrializada en Chile, se aplicó una versión piloto del instrumento de medición del NI.

Una vez validado el instrumento de medición, se desarrolló el sistema de puntaje a partir de la información levantada en cada una de las subáreas del documento. Los puntajes fueron entre valores de 0 a 4. Una vez validado el instrumento de medición del NI y desarrollado el sistema de puntajes, se programaron macros en Visual Basics for Applications (VBA), para automatizar distintas funciones.

Se contactaron las empresas seleccionadas vía correo electrónico para coordinar una visita a la fábrica. A medida que se fueron confirmando las visitas se fue desarrollando una Carta Gantt definitiva en la que se programaron los viajes por cercanía o región. Las visitas se realizaron entre abril y junio del 2023. Las visitas se programaron para una duración de 3 a 4 horas aproximadamente, las cuales incluyeron un recorrido por la fábrica con registro fotográfico y la aplicación del instrumento de medición del NI.

Una vez alcanzados los resultados del instrumento de caracterización general se obtuvieron resultados generales de todas las empresas por región y por característica

generando una descripción general de las empresas. De forma similar, para la medición del NI, los resultados por región y área se desarrollaron, en primer lugar, a partir de los datos de todas las empresas seleccionadas. Posteriormente, según un análisis de Machine Learning (ML), se agruparon las empresas por grupos o *clusters* obteniendo resultados cualitativos y cuantitativos (sección 5.2.2). Una vez obtenidos los *clusters*, se determinaron las áreas y subáreas con un NI mayor y menor al NI promedio del *cluster* para posteriormente identificar su consistencia o representatividad estadística (Minitab, s.f.) a través de su Desviación Estándar (DE). Para todo el análisis de resultados, debido a que la DE del NI representa cuanto, en promedio, se desvían los valores de la media (Minitab, s.f.), se consideró que una DE baja es para valores menores o iguales a 0,50 y una DE alta para mayores a 0,50. Para cada *cluster* se cruzaron los resultados del NI promedio por área y subárea con su DE.

Para discutir los resultados y observar de forma clara las diferencias entre los distintos *clusters* desarrollados, se realizó un análisis comparativo entre *clusters*. Inicialmente, se compararon los puntajes por área. Posteriormente, para profundizar se categorizaron las diferencias de puntajes en bajas (valores menores o iguales a 0,50), medias (valores entre 0,50 y 1,00) y altas (valores mayores o iguales a 1,00).

Finalmente, la hoja de ruta se elaboró mediante el cruce de los resultados específicos por *cluster* (sección 5) con la comparativa entre dichos grupos (sección 6), para determinar prioridades a nivel de áreas y subáreas. De este modo, se logró la creación de hojas de ruta individuales para cada *cluster*, con el fin de orientar su desarrollo.

## Resultados

Los resultados iniciales de la encuesta general dan indicios de las características generales de las empresas. De un total de 112 empresas identificadas en la base de datos, 56 respondieron la encuesta general, es decir, un 50%, en donde la gran mayoría:

- Son micro, pequeñas o medianas empresas según la cantidad de personas y ventas anuales
- Presentan personal variado, desde un nivel técnico hasta uno profesional
- Son empresas relativamente jóvenes al poseer entre 1 y 10 años de experiencia
- Poseen una fábrica menor a 2.500 m<sup>2</sup> junto con un sistema de control de calidad y baja cantidad maquinaria, equipos y/o tecnologías
- Ofrecen variados tipos de productos y/o servicios desde elementos prefabricados hasta viviendas totalmente finalizadas
- Los productos o servicios que comercializan cumplen con la OGUC
- No han postulado, diseñado y/o ejecutado proyectos de vivienda social acogidos a algún Decreto Supremo como el DS1, DS10, DS19, DS49, etc.
- Presentan un alto interés en trabajar con el sector público o con el Estado en el desarrollo de viviendas de carácter social
- Están dispuestas a participar en un proceso de medición de su NI bajo la metodología desarrollada

Las empresas que participaron en la etapa de medición del NI fueron seleccionadas bajo el cumplimiento mínimo de cuatro criterios: interés en proyectos públicos, disposición a evaluación CIM UC, presencia de fábrica y cantidad de maquinaria y/o tecnologías.

De acuerdo con los criterios de selección previamente presentados, un total de 23 de 56 empresas fueron entrevistadas para la medición de su NI. El promedio final del NI de todas las empresas entrevistadas fue 2,30 de 4,00, encontrándose en la mitad superior de la escala de puntaje. La DE del NI fue 0,54, lo cual indica una variabilidad alta entre el NI de las empresas.

Al ordenar las empresas por región, de norte a sur, más de la mitad (70%) de las empresas se

encuentran hacia el sur de la región Metropolitana, mientras que tan solo el 22% lo está hacia el norte del país. En la zona sur, la región de la Araucanía cuenta con siete de las 23 empresas entrevistadas (30%), seguida por la región del Biobío con cuatro empresas (17%). En la zona norte, la región de Valparaíso cuenta con tres empresas y la de Coquimbo con dos. Finalmente, la región Metropolitana cuenta con dos empresas.

De acuerdo con los resultados del NI y su DE por región, la mayor diferencia entre el NI máximo y mínimo (rango) presentes en una misma región se encuentra en la región del Biobío, seguida por la de Los Lagos. Es decir, en estas regiones existe una variabilidad alta entre el NI de las empresas entrevistadas. Un resumen de los resultados por región se muestra a continuación:

### **Resumen de los resultados del NI promedio por región ordenados de norte a sur**

Región	Cantidad de empresas	NI promedio	DE	Máximo	Mínimo	Rango
Coquimbo	2	2,44	0,28	2,64	2,25	0,40
Valparaíso	3	2,41	0,46	2,93	2,03	0,89
Metropolitana	2	3,17	0,35	3,42	2,92	0,50
Maule	1	2,15	-	2,15	2,15	0,00
Ñuble	1	2,38	-	2,38	2,38	0,00
Biobío	4	2,25	0,73	3,28	1,56	1,72
Araucanía	7	2,22	0,26	2,52	1,85	0,67
Los Ríos	1	1,10	-	1,10	1,10	0,00
Los Lagos	2	2,16	0,74	2,68	1,63	1,05

Al obtener el NI promedio por área, los valores de todas las empresas varían entre 2,00 y 3,00, con excepción del área de Tecnologías de la Información y Comunicación que es el área con menor NI promedio, seguida por la de Relaciones entre Participantes.

## Resumen de los resultados del NI promedio por área

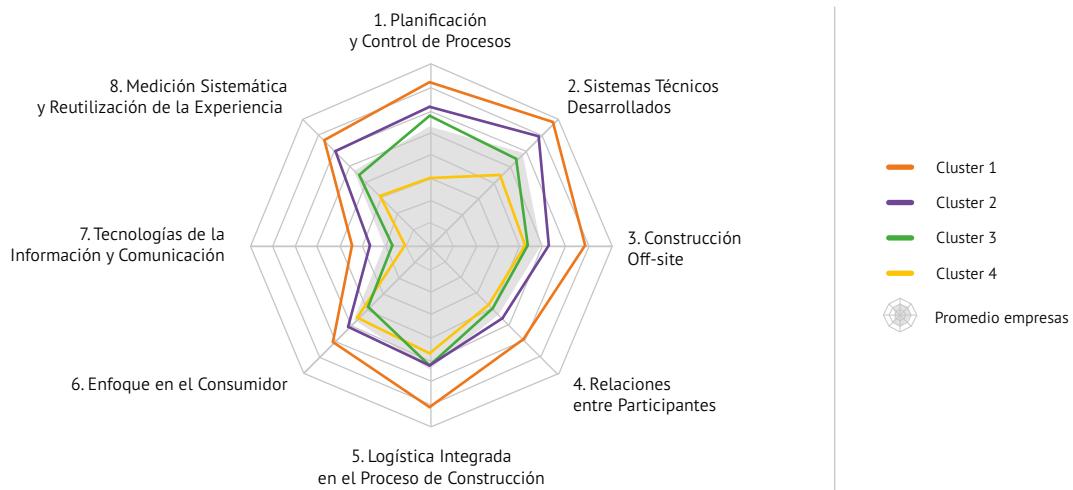
Área	NI promedio	DE	Máximo	Mínimo	Rango
1. Planificación y Control de Procesos	2,61	0,89	4,00	0,74	3,26
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	2,88	0,74	3,92	1,24	2,68
3. Construcción Off-site	2,44	0,58	3,65	1,28	2,37
4. Relaciones entre Participantes	2,14	0,57	3,25	1,28	1,97
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	2,72	0,44	3,72	1,88	1,84
6. Enfoque en el Consumidor	2,32	0,75	3,45	0,75	2,70
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	0,97	0,51	2,10	0,33	1,77
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	2,32	0,71	3,60	0,94	2,66
<b>Promedio</b>	<b>2,30</b>	<b>0,65</b>	<b>3,46</b>	<b>1,06</b>	<b>2,41</b>

Debido a la alta variabilidad del NI por área de todas las empresas, se desarrollan resultados específicos de datos agrupados (*clusters*).

Los *clusters* o grupos generados por ML (sección 5.2.2) son formas de distribuir los datos, en este caso los puntajes de cada subárea de cada empresa (42 datos por empresa), permitiendo aglomerarlas según características similares y obtener resultados con menor variabilidad y por ende más representativos (Lee, 2019). Dado lo

anterior, las 23 empresas entrevistadas fueron agrupadas en cuatro *clusters*.

De acuerdo con los resultados del análisis por *clusters*, el C1, obtuvo un NI mayor en todas las áreas respecto a los demás *clusters*. De igual manera sucedió al comparar el C2 con el C3, y el C3 con el C4, respectivamente. Con excepción de la sexta área, de Enfoque en el Consumidor, entre el C3 y el C4, donde éste último *cluster* obtiene un mayor puntaje.



	C1	C2	C3	C4
1. Planificación y Control de Procesos	3,64	3,09	2,89	1,50
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	3,89	3,44	2,73	2,22
3. Construcción Off-site	3,47	2,66	2,19	2,13
4. Relaciones entre Participantes	2,96	2,30	1,99	1,87
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	3,61	2,68	2,68	2,41
6. Enfoque en el Consumidor	3,05	2,57	1,94	2,28
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	1,73	1,33	0,83	0,55
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	3,32	2,97	2,22	1,56
NI promedio por cluster	3,21	2,63	2,18	1,81

### NI por área y cluster

## Discusión

Con los resultados de la aplicación de la metodología de evaluación se realizó un análisis comparativo entre *clusters* para determinar las diferencias más relevantes entre niveles de industrialización. Se identificaron las diferencias medias (entre 0,50 y 1,00) y altas de puntaje (mayores a 1,00) entre los promedios

de las áreas de industrialización de un par de *clusters* (Ej. C1 vs C2) para luego en aquellas diferencias aplicar los mismos criterios para las subáreas de industrialización.

Del análisis comparativo entre *clusters* se identificó que la mayor brecha entre el NI alto y el NI medio (C1 vs C2) está en el grado de completitud de los elementos prefabricados. Esto se muestra

en la incorporación de instalaciones (eléctricas y sanitarias), de terminaciones (revestimientos interiores o exteriores, aislación terma) y en la instalación de componentes estandarizados como puertas y ventanas *off-site*. Además, se identificó una brecha en el alcance de la Logística Integrada en los Procesos de Construcción. Esta se percibe en el nivel de integración de la cadena de suministro, el sistema de trazabilidad, requerimientos de almacenaje y acopio en obra y en la maquinaria post fábrica.

Al comparar el NI medio con el bajo (C2 vs C3) se identificaron brechas en la Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia. Esto se muestra en la cantidad de factores en los que la empresa mantiene un registro, la periodicidad de este y el uso de esta información para el aprendizaje y mejora de los procesos. De igual forma, se presenta una brecha en el área de Sistemas Técnicos Desarrollados. Específicamente en la definición del sistema constructivo y la ejecución de manuales o instructivos para etapas post fábrica.

La comparación entre el NI bajo y el NI muy bajo (C3 vs C4) reconoció una brecha en el área de Planificación y Control de Procesos, siendo ésta la mayor diferencia entre áreas de todos los niveles de industrialización. Esto se muestra

en el tamaño de la empresa, la conformación de equipos, la planificación de proyectos y en el alcance en la aplicación de normativa básica de construcción y control de calidad.

Al comprar el C1 vs C2, C2 vs C3 y el C3 vs C4 se determinan las principales brechas entre grupos lo que permitió la caracterización de cada NI.

## Hoja de ruta y recomendaciones

Con el fin de guiar y aumentar el NI de las empresas prefabricadoras con madera en Chile, se elaboró una hoja de ruta con una mirada sistemática en las ocho áreas planteadas. Como se especifica en la metodología (sección 4.6), para los cuatro *clusters* desarrollados, se cruzaron los resultados específicos por *cluster* (sección 5) con la comparativa entre dichos grupos (sección 6) obteniendo seis prioridades a nivel de áreas y subáreas. Cada empresa sometida a la medición del NI puede, a través de sus resultados particulares, reconocer la hoja de ruta del *cluster* al cual pertenece y acceder a las recomendaciones por nivel.

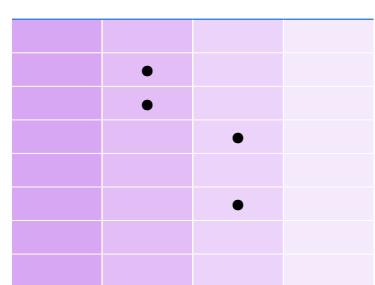
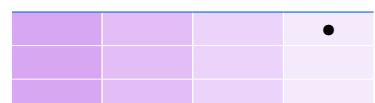
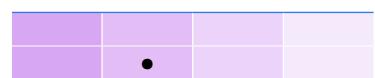
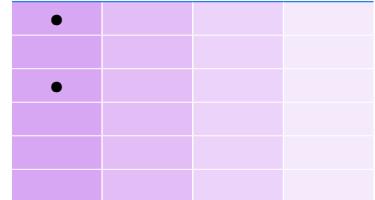
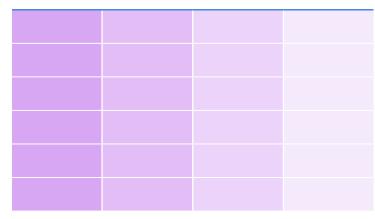
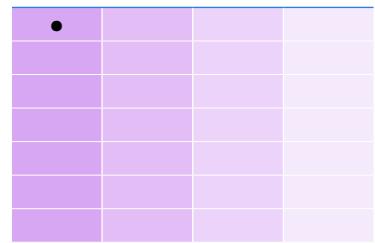
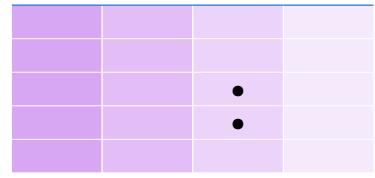
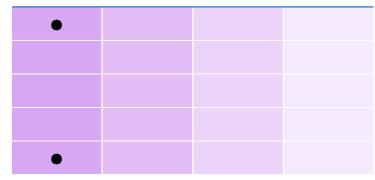
A continuación, se presenta la hoja de ruta desarrollada por *clusters* y recomendaciones para la industria de la construcción industrializada en madera.

	Cluster 1								
	1º prioridad	2º prioridad	3º prioridad	4º prioridad	5º prioridad	6º prioridad		1º prioridad	2º prioridad
1. Planificación y Control de Procesos									
1.1 Equipos de trabajo									●
1.2 Personal técnico y mano de obra									●
1.3 Proceso de planificación de proyectos									
1.4 Uso de normativas de control de calidad									
1.5 Uso de normativas de construcción									
2. Sistemas Técnicos Desarrollados									
2.1 Definición del sistema constructivo									
2.2 Documentación de los sistemas y el diseño									
2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción									
2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas									
2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte									
3. Construcción Off-site									
3.1 Definición o alcance del producto final									
3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión									●
3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación									●
3.4 Uso de componentes estandarizados									●
3.5 Secuencia de fabricación									
3.6 Nivel de infraestructura									
3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica									
4. Relaciones entre Participantes									
4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio									●
4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto									
4.3 Integración entre etapas del proyecto									●
4.4 Integración en tecnología e información									●
4.5 Integración de la información según etapas del proyecto									●
4.6 Grado de Madurez BIM									●
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción									
5.1 Cadena de suministro para producción									
5.2 Trazabilidad y almacenaje									
5.3 Logística de montaje y construcción									
5.4 Logística de transporte									
5.5 Recepciones									●
5.6 Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica									●
6. Enfoque en el Consumidor									
6.1 Objetivos y estudios de mercado									
6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU									
7. Tecnologías de la Información y Comunicación									
7.1 Uso de softwares									
7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas									
7.3 Usos BIM									
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia									
8.1 Producción									
8.2 Uso energético									
8.3 Desechos y 4R									
8.4 Calidad									
8.5 Plazos									
8.6 Personal									
8.7 Accidentes laborales									
8.8 Costos									

### Hoja de ruta de los cuatro clusters

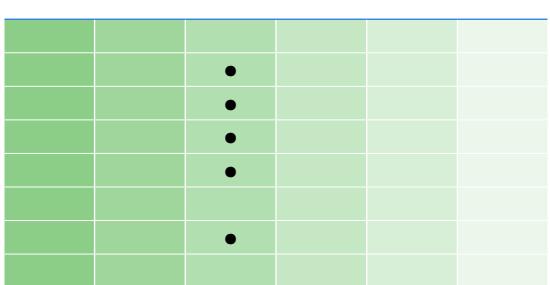
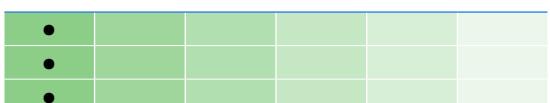
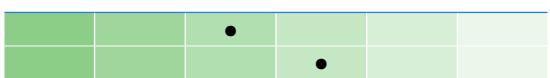
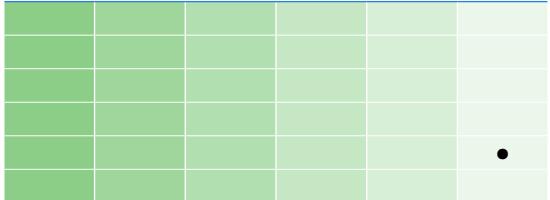
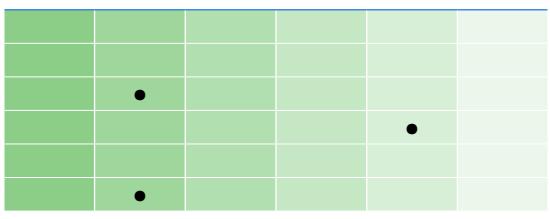
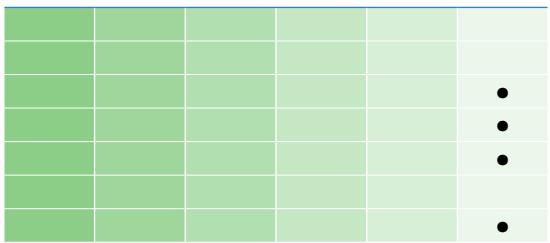
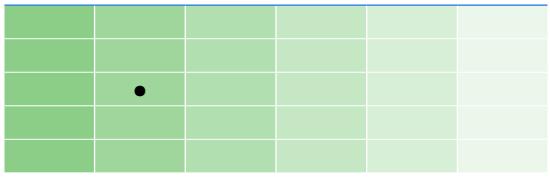
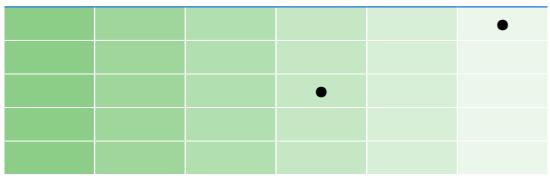
## Cluster 2

3°	4°	5°	6°
prioridad	prioridad	prioridad	prioridad



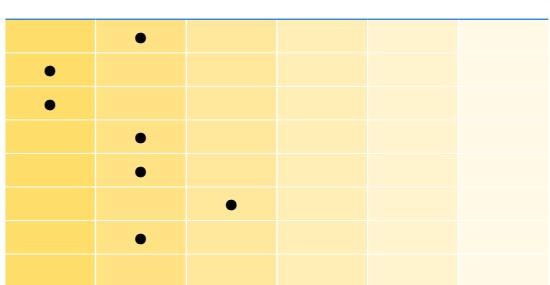
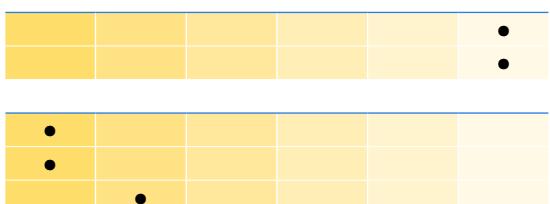
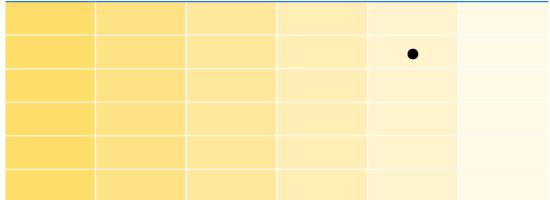
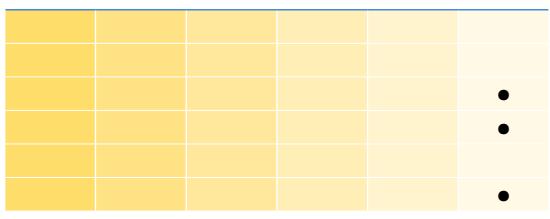
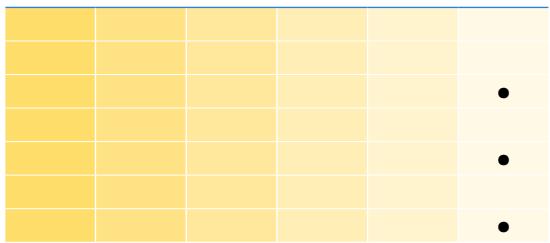
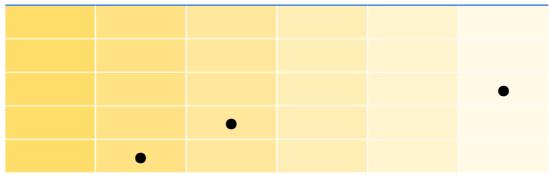
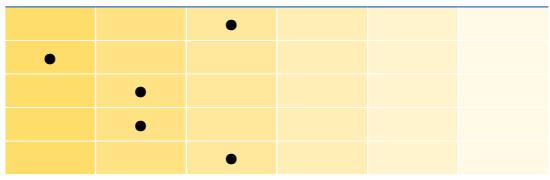
### Cluster 3

$1^\circ$	$2^\circ$	$3^\circ$	$4^\circ$	$5^\circ$	$6^\circ$
prioridad	prioridad	prioridad	prioridad	prioridad	prioridad



## Cluster 4

$1^\circ$	$2^\circ$	$3^\circ$	$4^\circ$	$5^\circ$	$6^\circ$
prioridad	prioridad	prioridad	prioridad	prioridad	prioridad



Con el fin de aumentar el NI y el estándar de la industria, se desarrollan recomendaciones sobre resultados y procesos. Las recomendaciones a partir de los resultados son:

- Generar un programa de apoyo e incentivos para las empresas del C3 que les permita certificarse bajo la Resolución Exenta N°52 (MINVU, 2023a) y contribuir con diseños para la oferta de viviendas sociales industrializadas aprobados bajo la Resolución Exenta N°59 (MINVU, 2023b).
- Aumentar la adopción de BIM en la cadena de valor de la construcción industrializada desde proveedores hasta mandantes.
- Desarrollar sistemas técnicos certificados para soluciones constructivas completas y manuales para etapas post fábrica.
- Promover la medición sistemática y a la reutilización de la experiencia.
- Promover y facilitar asociaciones estratégicas entre empresas prefabricadoras, constructoras y Entidades Patrocinantes (EP).
- Aumentar las subáreas de industrialización que comprende el actual instrumento de evaluación de industrialización de prefabricadoras, la Resolución Exenta N°52 (MINVU, 2023a).
- Estudiar la cadena de valor y los modelos de gestión con los que opera hoy la construcción industrializada en Chile.
- Estudiar etapas post fábrica, es decir, transporte, montaje y construcción.
- Incluir en el Protocolo Fiscalización Técnica de Obras en Proyectos Habitacionales Industrializados - Financiamiento Asistencia Técnica (MINVU, 2023b) la verificación de la calidad de la madera, incluyendo aspectos estructurales, niveles de humedad, dimensionamiento y preservación y la acreditación de las soluciones constructivas según resistencia al fuego, propiedades térmicas y aislamiento acústico.
- Realizar una campaña informativa dirigida a empresas constructoras, orientada a promover y educar sobre los beneficios y oportunidades que ofrece la construcción industrializada.
- Realizar una campaña de difusión que incentive a las empresas del C1 y del C2 a certificarse bajo la Resolución Exenta N°52 (MINVU, 2023a) y a contribuir con diseños para la oferta de viviendas sociales industrializadas aprobados bajo la Resolución Exenta N°59 (MINVU, 2023b).
- Realizar una campaña de difusión que dé a conocer y transfiera el conocimiento desarrollado en esta investigación a la industria de forma efectiva.
- Generar estrategias destinadas a asegurar una alta demanda viviendas que permita a las empresas alcanzar un nivel mínimo suficiente de producción para automatizar procesos, disminuyendo así el riesgo asociado a inversiones a mediano y largo plazo.
- Aplicar “Design Freeze” en el proceso de diseño de viviendas sociales industrializadas bajo la Resolución Exenta N°59 (MINVU, 2023b).

## Conclusiones, limitaciones y mejoras futuras

Las principales conclusiones son:

Los resultados determinaron cuatro *clusters*, los cuales corresponden a un NI alto, medio, bajo y muy bajo. La gran mayoría de las empresas se encuentran en el C2 (NI medio), el C3 (NI bajo) y el C4 (NI muy bajo), específicamente el 87%. Mientras que el C1 (NI alto) corresponde al 13% de las empresas. Los niveles de industrialización identificados muestran un aumento homogéneo de puntajes en las ocho áreas evaluadas. Por lo tanto, el C1 tiene un mayor puntaje en todas las áreas con respecto al C2. Así mismo, el C2 con respecto al C3 y el C3 con respecto al C4. Se identifica solo una excepción en el área 6 de Enfoque al Consumidor entre el C3 y el C4.

Un gran número de empresas del C1 y el C2 se encuentran certificadas por la DITEC MINVU como empresas industrializadoras bajo la Resolución Exenta N°52. Además, algunas cuentan con diseños de vivienda tipo industrializada aprobados según la Resolución Exenta N°59. Por lo tanto, se concluye que, según la presente metodología de evaluación del nivel de industrialización, el NI Medio, cumple con los estándares actuales para la certificación de prefabricadoras según la normativa vigente. De esta manera las empresas del C1 y el C2 son potenciales oferentes de proyectos industrializados y es recomendable crear un programa de incentivos para que se certifiquen y participen de los programas habitacionales.

En cuanto a las empresas del C3 se recomienda seguir las recomendaciones planteadas en la hoja de ruta para aumentar su NI de bajo a

medio (C3 a C2). Por lo tanto, si manifiestan el deseo de participar en proyectos con subsidios, el acompañamiento y el apoyo del estado puede ser un catalizador en la aplicación de la hoja de ruta. Este apoyo debe ser no solo a través de financiamiento, sino también a través del traspaso de información normativa, programas de capacitación, apoyo y fiscalización.

Esta investigación presentó las siguientes limitaciones:

- La cantidad de empresas entrevistadas.
- Metodología de aplicación de la entrevista para medir el NI.
- El carácter voluntario de la participación.

Para el futuro, se vislumbran mejoras fundamentales que pueden potenciar la efectividad de este proyecto:

- La medición del NI de las empresas debe llevarse a cabo de manera regular y sistemática a lo largo del tiempo.
- Automatizar el formulario de evaluación para recopilar datos.
- Estudiar y determinar el peso de cada área de la construcción industrializada e igualar la cantidad de subáreas por área.
- Realizar un estudio los actores que participan en etapas post fábrica en la construcción de viviendas industrializadas.
- Estudiar los modelos de gestión de proyectos de construcción industrializada.

# 01. Introducción

## Déficit habitacional

En Chile existe un déficit habitacional de más de 640 mil hogares en Chile y más de 2 millones de personas, (alrededor del 10% del país) no tiene acceso a una vivienda (Déficit Cero, 2022). En los últimos 2 años se ha superado la cifra de familias viviendo en campamento registradas en los años 90' (Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile [MINVU], 2022b). Además, las últimas dos encuestas de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN), 2015 y 2017, reflejan un aumento del 64% en el nivel de allegamiento en los hogares de las familias del primer quintil de ingresos (300.000 pesos aprox.) (Dirección de Presupuestos de Chile [DIPRES], 2020). A esto se suma el aumento de los precios de arriendo y venta de las viviendas, el incremento del valor del suelo y las alzas de la tasa de interés de los créditos hipotecarios, lo que demuestra que se requiere de una intervención en múltiples frentes para reducir este déficit (MINVU, 2022b).

La respuesta de los principales actores del sector construcción ha sido deficiente. A pesar de que en 2011 se promulga un programa especialmente destinado para las familias más vulnerables del país, el Fondo Solidario de Elección de Vivienda a través del decreto supremo DS49, su rendimiento ha sido marginal en contraste a su objetivo. Anualmente, "11.761 familias han recibido su vivienda definitiva en promedio dentro del periodo de evaluación, lo que representa un aporte promedio de 1,3% a la población potencial y objetivo" (MINVU, 2020). Con respecto al tiempo de producción de vivienda social, si se considera el periodo que transcurre desde la asignación del subsidio hasta la entrega de la vivienda, los datos del año 2019 muestran que tan solo un quinto de los proyectos cumple con la meta de 21 meses que establece el decreto,

donde el promedio de meses de espera fue de 27,5 meses (MINVU, 2020). En la actualidad, si el terreno se encuentra saneado y con su idóneo uso de suelo, los proyectos toman 4 años desde el diseño hasta la construcción y entrega de la vivienda, donde la mitad de este tiempo se destina a trámites, ya sea Servicio de Vivienda y Urbanización (SERVIU) y en Dirección de Obras Municipales (El Mostrador & Capdeville, 2023).

Frente a este aumento en el déficit habitacional y su débil respuesta, el MINVU ha presentado el Plan de Emergencia Habitacional (PEH), en julio del año 2022. Este plan tiene como objetivo entregar 260 mil viviendas en un periodo de 4 años, donde la inversión en viviendas equivaldría alrededor de 341,5 millones de UF, es decir, 43,5 millones de pesos por vivienda (T13, 2022). Con el fin de agilizar los procesos de diseño y construcción y ampliar la gama de oferentes de proyectos habitacionales de índole social, el plan incluye la línea de acción llamada "tecnología e innovación en la producción de vivienda". Esta línea de acción busca potenciar ámbitos desde el diseño modular, el uso de tecnologías de la información y sistemas industrializados (MINVU, 2022b), presentándose una oportunidad de salir del formato de construcción tradicional y hacer que la construcción industrializada sea un factor clave para reducir el déficit habitacional.

## Beneficios construcción industrializada

La construcción industrializada ha tomado fuerza en la última década. La amplia oferta creciente y el aumento del capital de riesgo demuestran que no es una tendencia pasajera (Pullen et al., 2019). Al trasladar partes de este proceso a un entorno controlado y con equipamiento adecuado pueden mejorar significativamente no solo la eficiencia

de materiales y mano de obra, sino también pulir las partidas realizadas en terreno reduciendo tiempos y costos de la obra. Sin ir más lejos, si la construcción pasara por un sistema de producción en masa, fuera de sitio y con un mayor grado de estandarización y modularización, los niveles de productividad podrían aumentar de 5 a 10 veces (CCI, 2022).

## Contexto internacional

Muchas de las variables que complican el proceso de construcción y desarrollo de proyectos inmobiliarios pueden ser mitigadas por la construcción industrializada (Pullen et al., 2019). A través de la introducción de componentes estandarizados y la introducción de técnicas basadas en la construcción industrializada, países como Europa, Japón y EE.UU. han conseguido ahorros de hasta el 30% en los costos y tiempos de construcción (CCI, 2022). Suecia, por ejemplo, tiene ya una larga historia utilizando métodos industrializados para la producción de viviendas. Desde principios del siglo XX, luego durante la década de 1960 con el programa “un millón de hogares” (Lessing, 2015) y nuevamente lo reintegra a inicios de la década de los 2000, para sobrellevar la alta demanda de viviendas que ha ido en persistente aumento en los últimos años (Lessing, 2006).

## Contexto nacional

Si bien la construcción industrializada de interés social en Chile pareciera estar en sus comienzos, la historia evidencia intentos previos. A mediados de la década de los setenta la Corporación de la Vivienda (CORVI) experimentó con la producción de viviendas industrializadas o prefabricadas para segunda

vivienda con fines de tipo recreacional (Alvarado, 2010). Asimismo, esta institución dependiente del MINVU organizó concursos y seminarios para promover técnicas no tradicionales de construcción para la producción de viviendas sociales. Se construyeron los “departamentos de ejecución directa” con base en paneles de entramado ligero para viviendas de 1 o 2 pisos, las cuales luego de 3 años de uso presentaron importantes deterioros. Otro intento fue la experiencia de KPD, una planta de prefabricados de hormigón proveniente de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas desarrollada tras el terremoto de 1971, traspasada luego a la armada, la cual no pudo mantener la capacidad de producción proyectada (Alvarado, 2010).

En los últimos años hemos visto un nuevo ascenso de la construcción industrializada. En los años de pandemia, -2020 y 2021-, se observó un aumento considerablemente de la demanda de productos prefabricados. Frente a la urgencia de mejorar las condiciones de vida y de trabajo, la prefabricación ofreció una solución rápida en términos de la compra, el montaje y la evasión de los problemas del desabastecimiento de materiales de construcción que afectaban al país (Financiero, 2021). La empresa Rental & Home en 2020 triplicó su número de cotizaciones, mientras que Tecno Fast aumentó en un 50% aproximadamente la venta de viviendas modulares Assadi (Financiero, 2021). De igual forma, la empresa Casas Chile logró ventas mensuales de más de \$1.500 millones de pesos. Sin embargo, hoy se enfrenta un proceso de reorganización financiera al acumular una deuda de más de \$6.700 millones de pesos, luego de una caída de 300% en sus ventas (López, 2023). Un estudio de productividad del año 2020 realizado por la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) señala que la incorporación de prefabricados en edificaciones de altura es baja con respecto

a países referentes como EEUU, Canadá y Reino Unido. El uso de elementos prefabricados para muros y losas de hormigón son utilizados tan solo en un 2%. Sin embargo, elementos más complejos como enfierraduras prefabricadas son usados entre un 33 y un 36% versus un 5-6% en países referentes (CChC, 2020). Este estudio también menciona que existe una resistencia cultural sobre la integración de procesos de producción, montaje y construcción en etapas iniciales de formulación y diseño de proyectos y una fragmentación contractual entre los actores, lo que impediría que la industrialización haya desplegado todo su potencial en Chile. Sin embargo, hoy países con una economía similar a la chilena cuentan con “más de 300 empresas proveedoras de prefabricado; un 20% en metal, otro 20% en madera, y un 60% en hormigón, como es el caso de Nueva Zelanda” (CChC, 2020), demostrando la existencia de un gran potencial para la industria.

## MINVU e industrialización

Por parte del estado, el MINVU busca promover la industrialización en la vivienda social mediante el PEH través de dos frentes. Por un lado, la evaluación y acreditación de empresas industrializadoras para que cumplan con un estándar mínimo definido por el MINVU, a través de la Resolución Exenta N°52 (MINVU, 2023a). Por otro lado, la promoción, evaluación y aprobación de proyectos en modalidad “Viviendas Unifamiliares” y “Unidades Funcionales Independientes” (MINVU, 2023b), diseñados y presentados por empresas ya certificadas. La aprobación de estos diseños se realiza una única vez y soslaya la tramitación de permisos de

edificación, inspecciones y recepciones por parte de la Direcciones de Obras Municipales, acortando tiempos de gestión. Un requisito fundamental de estos proyectos y que hace imprescindible un alto nivel en las condiciones y alcance de las empresas industrializadoras, son los elementos o componentes industrializados que deben cumplir con la categoría B2, del Protocolo Fiscalización Técnica de Obras en Proyectos Habitacionales Industrializados - Financiamiento Asistencia Técnica (MINVU, 2023b). Esto implica un mínimo de un 40% de elementos o componentes industrializados los cuales deben incorporar terminaciones e instalaciones (sanitarias y eléctricas) desde fábrica (MINVU, 2023b).

La industrialización en la construcción es crucial para mitigar el déficit habitacional debido a su capacidad para acelerar la producción de viviendas asequibles y de alta calidad. Al fabricar componentes en fábrica, se mejora la eficiencia y se reducen los costos, lo que permite la construcción de más viviendas en menos tiempo. Esta eficiencia y calidad contribuyen a hacer que las viviendas sean más accesibles para un mayor número de personas, abordando así el problema del déficit habitacional de manera efectiva.

Dado lo anterior y al abrupto crecimiento de la demanda de viviendas industrializadas y su reciente incorporación a la producción de viviendas sociales suscitan un mayor conocimiento de la realidad actual de la construcción industrializada con madera en Chile, es decir, determinar la cantidad de empresas que pertenecen a la industria junto con sus tecnologías, sistemas constructivos y capacidades de producción, entre otras interrogantes.

## **02. Preguntas y objetivos de investigación**

A la luz de la problemática planteada en la introducción, surgen las siguientes preguntas:

- ¿Es factible desarrollar un marco conceptual junto con un instrumento que permita medir el Nivel de Industrialización (NI) de las empresas prefabricadoras con madera en Chile?
- ¿Es posible caracterizar las empresas prefabricadoras con madera en Chile y determinar su potencial de transformarse en proveedoras del estado?
- A través del instrumento de medición del NI, ¿Es probable determinar las brechas y capacidades de la industria de la construcción industrializada con madera en Chile?

Con base en el problema y las preguntas de investigación, el objetivo general de esta investigación es realizar un levantamiento de las capacidades y brechas actuales de empresas prefabricadoras con madera en Chile. Proponiendo una hoja de ruta que guíe los trabajos respecto a la actualización del sector construcción en materia de nuevas tecnologías de industrialización para toda su cadena de valor, y ayudando a viabilizar agendas como el PEH. Para dar cumplimiento a este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar un marco conceptual contextualizado en la realidad de la industria de la construcción en Chile, basado en la propuesta teórica de Lessing (2006).
- Elaborar una base de datos de empresas prefabricadoras con madera a lo largo del país.
- Desarrollar un instrumento que permita describir de forma general a las empresas prefabricadoras con madera en Chile.
- Desarrollar un instrumento que permita medir el NI de las empresas prefabricadoras con madera en Chile.
- Analizar la realidad actual de la industria de la construcción industrializada con madera en Chile e inferir empresas potenciales con capacidades de industrialización, determinando las brechas que existen.
- Proponer una hoja de ruta que guíe los trabajos respecto a la actualización del sector construcción en materia de industrialización para toda su cadena de valor impulsando la industria, la producción de viviendas sociales industrializadas y ayudando a viabilizar agendas como el PEH.

## **03. Marco conceptual**

Lessing (2006) define la construcción industrializada de viviendas como un proceso de construcción minucioso, desarrollado con una organización adecuada para la eficiencia de la gestión, planificación y control de las actividades involucradas; flujos, recursos y resultados para el cual se utilizan componentes altamente desarrollados con el fin de crear el máximo valor para el cliente. Bajo esta definición, la construcción industrializada se considera como un sistema complejo que implica varias subáreas y a su vez, cada una puede presentar diferentes niveles de industrialización (Lessing, 2006). Sin embargo, y como lo plantea el autor, es imprescindible mantener una visión holística, pensando en que la relación entre subáreas ordena y norma el funcionamiento de los procesos.

Siguiendo la línea de esta definición, Lessing (2006) plantea ocho áreas como un marco conceptual de la construcción industrializada. Estas áreas o ámbitos son aquellos en el que autor determina que la organización debe trabajar para poder llevar adelante un exitoso proceso de industrialización de su proceso productivo. A continuación, se exponen los requerimientos en términos de estas áreas:

### **Área 1. Planificación y Control de Procesos**

Se refiere a la importancia de una estructura y gestión coherente para las diferentes etapas de un proyecto industrializado con el fin de generar el máximo valor, especialmente en etapas tempranas como diseño e ingeniería. La generación de un “diseño final” previo a la etapa de producción o prefabricación que elimine fallas y generación de residuos.

### **Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados**

Para lograr un proceso eficaz se requiere de la prueba, ajuste y corrección de piezas distintas,

con los cuales se pueda configurar un edificio completo. Estas iteraciones permiten el desarrollo de sistemas, logrando un alto nivel de definición del producto. Este testeo debe ser debidamente documentado.

### **Área 3. Fabricación Off-site de Elementos de Construcción**

La fabricación de piezas de construcción se debe realizar en un entorno propicio con equipos avanzados. Estas deben tener un alto grado de terminación con el fin de minimizar al máximo las partidas realizadas en el sitio.

### **Área 4. Relaciones a Largo Plazo entre los Participantes**

Los participantes involucrados en los proyectos al comprometerse a largo plazo, desarrollan la conexión, establecen objetivos comunes y logran un mejor desempeño creando el máximo valor al producto. Las relaciones a largo plazo con base en la cooperación inciden en los tiempos de los proyectos.

### **Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción**

El traspaso de partidas de construcción a fábrica requiere de altas exigencias de logística y cadena de suministro. Esto implica el manejo, buenas condiciones de almacenamiento y trazabilidad de materiales y piezas de construcción. De igual forma, se requiere de colaboración con proveedores y una minuciosa ejecución de la etapa de transporte.

### **Área 6. Enfoque en el Consumidor**

El conocimiento y enfoque claro en el cliente es una necesidad para garantizar que se produzcan los productos correctos, de la calidad correcta y al costo correcto para el mandante y para el usuario final.

## **Área 7. Uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación**

Los procesos industrializados necesitan información precisa y confiable. Los usos de las tecnologías de la información facilitan un efectivo manejo, actualización y traspaso de los documentos del proyecto, evitando errores para etapas de producción, transporte, montaje y construcción.

## **Área 8. Medición Sistemática del Rendimiento y Reutilización de la Experiencia**

Los procesos industrializados no solo requieren de información exacta, sino además necesitan

de medición continua del desempeño y un uso sistemático de experiencias previas para la mejora de los procesos, involucrando a los distintos actores participantes.

Cabe destacar que, al continuar su línea de investigación, Lessing (2015) incorpora una novena área llamada “Mejora Continua” la cual es transversal a las otras ocho áreas de la construcción industrializada. Esta se refiere a la necesidad de un constante desarrollo del sistema de producción en todas las áreas. Estas mejoras se realizan en base a la experiencia estableciendo estándares nuevos y superiores.

## 04. Metodología

## 4. Metodología

La metodología comprendió cuatro etapas de investigación: elaboración de base de datos, descripción general de las empresas, medición del NI, resultados y discusión. A continuación, se presenta una descripción de cada una de las etapas:

### 4.1. Elaboración de base de datos

La primera etapa consistió en generar una base de datos de alrededor de 112 empresas incluyendo información preliminar como la región donde se ubican, tipo de materialidad que trabajan, clasificación de los elementos prefabricados según su dimensión, es decir, si son lineales, bidimensionales o tridimensionales (Instituto Nacional de Normalización [INN], 2023) y datos de contacto como página web, teléfono y correo electrónico. Además, se identificaron aquellas empresas que están aprobadas por la División Técnica de MINVU (DITEC MINVU) como industrializadoras bajo la Resolución Exenta N°52. Finalmente, las principales fuentes para generar la base de datos inicial fueron el Catálogo de la Industria Forestal Maderera de CORMA & ProChile (2020), el Levantamiento de Empresas que Construyen de Forma Prefabricada o Industrializada Viviendas Sociales del Consejo de Productividad (2018) y las redes sociales de cada una de las empresas identificadas.

### 4.2. Caracterización general de las empresas

Una vez finalizada la base de datos, se caracterizó a las empresas mediante la aplicación de un instrumento (encuesta general), desarrollado a través de Survey Monkey, el cual comprendió, preguntas de selección múltiple y un tiempo de respuesta

estimado de cinco minutos. Las preguntas se enfocaron en identificar características específicas de las empresas tales como:

- Años de experiencia
- Tamaño según personas y ventas anuales (División de Estudios - Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2014)
- Tipo de personal presente en la empresa
- Infraestructura (si poseen fábrica o no y la superficie de esta en caso de aplicar)
- Maquinarias, equipos y/o tecnologías
- Clasificación de los elementos prefabricados según terminación (INN, 2023)
- Tipos de productos que ofrecen al mercado
- Cumplimiento de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC)
- Uso de sistema o mecanismo de control de calidad

Además, se incluyeron preguntas para identificar su nivel experiencia en proyectos públicos y se consultó por el interés y disposición en participar en un proceso de medición del NI de la empresa, es decir, la siguiente etapa de la presente investigación.

La encuesta general se envió a través de correo electrónico a todas las empresas de la base de datos, donde de un total de 112 entidades contactadas, 56 respondieron la encuesta. El Anexo A, presenta el formato del instrumento de caracterización general y sus preguntas.

Finalmente, se describió de forma general a las empresas y se generó, según criterios definidos, una selección de estas para la siguiente etapa de medición del NI (sección 5.1.2).

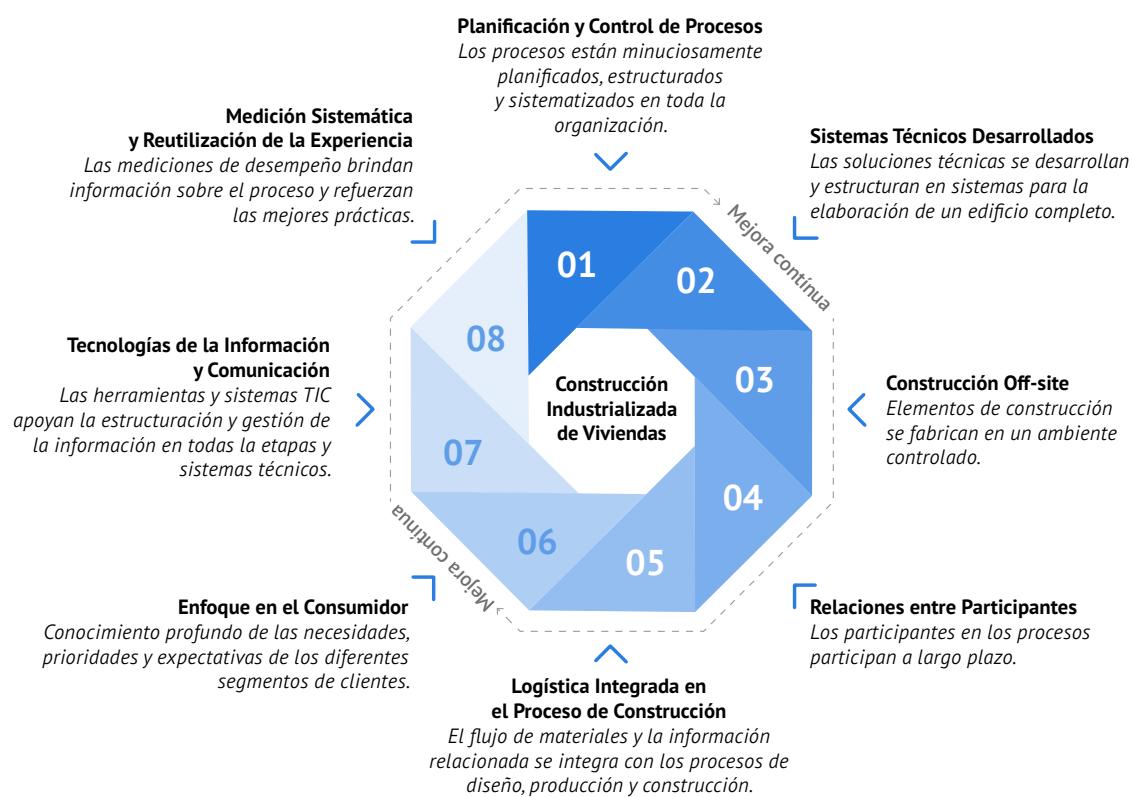
## 4.3. Medición del Nivel de Industrialización (NI)

La metodología propone que el producto final con el cual se está evaluando a las empresas es una unidad habitacional completa totalmente finalizada, por lo cual, se divide el proceso completo en cinco etapas con sus respectivos procesos y equipos (Tabla 1). Esto pretende clarificar conceptos al momento de aplicar el instrumento.

**Tabla 1.** Etapas, procesos y participantes de un proyecto de vivienda industrializada

Etapas	Procesos	Participantes
Diseño	Diseño	Cliente o mandante Equipo diseño
Prefabricación	Obra gruesa Instalaciones Terminaciones	Equipo de prefabricación o producción
Transporte	Transporte	Equipo transporte
Montaje	Montaje	Equipo montaje
Construcción	Obras on-site	Equipo construcción

### 4.3.1. Desarrollo del instrumento de medición del NI



**Figura 1.** Marco conceptual de la construcción industrializada de viviendas basado en lo propuesto por Lessing (2006)

Para medir el NI se tomó como base el marco conceptual propuesto por Lessing (2006). Se plantea que, si bien la prefabricación es el primer paso en el desarrollo de la construcción industrializada, existen varios otros aspectos necesarios para implementar industrialización como una alternativa a la construcción tradicional basada en proyectos (Lessing, 2006). Dado lo anterior, se proponen ocho áreas para la construcción industrializada de viviendas. Para aterrizar estas ocho áreas a la realidad del país, se realizó una revisión bibliográfica de normativas, viviendas sociales, estudios e investigaciones sobre la industria de la construcción en Chile. Con esto se pudo determinar cómo subdividir las áreas en subáreas permitiendo evaluarlas. A continuación, se exponen los términos desarrollados:

## **Área 1. Planificación y Control de Procesos**

Para conocer los niveles de planificación y control de procesos se consideraron cinco subáreas: equipos de trabajo, personal técnico y mano de obra, proceso de planificación de proyectos y uso de normativas de control de calidad y de construcción.

**Subárea 1.1 Equipos de trabajo:** se identificaron los equipos dentro de la empresa y sus funciones (Euroinnova Business School).

**Subárea 1.2 Personal técnico y mano de obra:** se realizó un levantamiento de los profesionales, específicamente se determinó su formación, principales responsabilidades y equipo de trabajo en el cual desempeñan sus labores.

**Subárea 1.3 Proceso de planificación de proyectos:** se evaluó el nivel de planificación de los procesos a través de un levantamiento de los pasos para el desarrollo de un proyecto de inicio a fin, con el fin de conocer su ordenamiento y lógicas de organización. Se identificó la aplicación del concepto Design Freeze (Lattke y Hernandez-Maetsch, 2016) y se complementó con el nivel de uso de herramientas de planificación tomando como referencia la metodología de Lean Manufacturing (Lean Production, s.f.)

**Subárea 1.4 Uso de normativas de control de calidad:** se evaluó el uso de las normativas principales para la planificación y control de procesos, que se enfocan en el control de calidad, ya sea de los materiales que se utilizan para la confección de elementos prefabricados según la normativa para la construcción con madera (NCh2824, NCh176/1, NCh1198, NCh1207) (Centro de Innovación en Madera UC [CIM UC], 2020), como el uso de normativas internacionales ISO para el control de calidad (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2023) y el uso de análisis de conformidad en fabrica propio o por terceras partes.

**Subárea 1.5 Uso de normativas de construcción:** normativa mínima exigida para el diseño y aprobación de proyectos del programa habitacional Fondo Solidario de Elección de Vivienda DS49 (SERVIU Metropolitano, 2022).

## **Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados**

Para explorar el nivel de las soluciones y sistemas técnicos desarrollados se consideraron cinco subáreas: definición del sistema constructivo,

documentación de los sistemas y el diseño, ejecución de manuales o instrucciones de construcción, ensayos o acreditaciones de los elementos prefabricados y consideraciones de diseño modular y transporte.

#### **Subárea 2.1 Definición del sistema constructivo:**

**constructivo:** se preguntó por el o los tipos de sistemas constructivos que la empresa produce, el origen de estas soluciones y el uso de piezas estandarizadas.

#### **Subárea 2.2 Documentación de los sistemas y el diseño:**

se evaluó la existencia y aplicación de protocolos de documentación de los diseños, ya sea de forma manual o digital y la comunicación de los cambios en el diseño entre las distintas etapas del proceso.

#### **Subárea 2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción:**

se identificó la elaboración y uso de manuales o instructivos basado en el listado del Protocolo Fiscalización Técnica de Obras en Proyectos Habitacionales Industrializados - Financiamiento Asistencia Técnica (MINVU, 2022a).

#### **Subárea 2.4 Ensayo o acreditación de la unidad prefabricada:**

con respecto al testeo de los sistemas, se preguntó por la consideración de soluciones certificadas al fuego, térmico y acústico, ya sea provenientes de los listados oficiales del MINVU o a través de ensayos de los elementos prefabricados.

#### **Subárea 2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte:**

se identificaron consideraciones de la etapa de transporte en la etapa de diseño.

### **Área 3. Construcción Off-site**

Para evaluar el nivel de construcción off-site se consideraron siete subáreas: definición o alcance del producto final, clasificación de los elementos prefabricados según dimensión, clasificación de los elementos prefabricados según terminación, uso de componentes estandarizados, secuencia de fabricación, nivel de infraestructura y maquinaria y equipamiento en fábrica.

#### **Subárea 3.1 Definición o alcance del producto final:**

para determinar el nivel de alcance de la empresa con respecto a la producción de una vivienda social industrializada, se preguntó por el tipo de producto o servicio que se ofrece al mercado; desde elementos prefabricados lineales, bidimensionales o tridimensionales no montados hasta una vivienda totalmente finalizada o bajo la modalidad llave en mano.

#### **Subárea 3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión:**

se determinó la clasificación de los elementos prefabricados según dimensión. Esta clasificación se basó en lo señalado en la NCh3744 Construcción industrializada y prefabricada – Términos y definiciones, desarrollada por el INN (2023).

#### **Subárea 3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación:**

se determinó la clasificación de los elementos prefabricados según terminación (INN, 2023). Además, se identificaron las instalaciones incorporadas en los elementos prefabricados (pasadas para cables y tuberías, instalaciones eléctricas y/o instalaciones sanitarias).

#### **Subárea 3.4 Uso de componentes estandarización:**

se determinó el uso de elementos estandarizados en los diseños tales como puertas, ventanas, escaleras, entre otros, junto con su procedencia (fabricado o comprado) y su lugar de instalación (en fábrica o en terreno).

**Subárea 3.5 Secuencia de fabricación:** en cuanto a la línea de producción, se identificaron las estaciones y su forma de producción, ya sea a mano, mecanizado, automatizado o robotizado, conceptos definidos con base en lo propuesto por Girmscheid & Frits (2010).

**Subárea 3.6 Nivel de infraestructura:** para la evaluación del nivel de infraestructura se levantó la superficie, protección y ubicación de recintos básicos para la construcción industrializada de viviendas.

**Subárea 3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica:** además, se elaboró un listado de maquinarias para líneas de producción con madera donde se identificó la cantidad y la disposición de un operador capacitado.

### **Área 4. Relaciones entre Participantes**

Esta área buscó analizar las relaciones que la empresa establece con sus especialistas, contratistas y/o proveedores en el desarrollo de proyectos. Para esto se consideraron seis subáreas: etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio, asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto, integración entre etapas del proyecto, integración en tecnología e información, integración de la

información según etapas del proyecto y grado de Madurez BIM.

#### **Subárea 4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrecen como servicio:**

se identificaron las etapas del proyecto que se ofrecen como producto o servicio final (Tabla 1).

#### **Subárea 4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto:**

para determinar la profundidad de las relaciones se levantaron empresas con las que se trabaja de manera recurrente en cada una de las etapas de un proyecto. Se preguntó por los años de relación, el número de proyectos realizados y el tipo de relación contractual (Mitropoulos, 2000).

#### **Subárea 4.3 Integración entre etapas del proyecto:**

para determinar el nivel de integración entre los participantes, ya sean internos o externos a la empresa, se consultó el momento de participación de los equipos en las distintas etapas del proyecto (Fergusson & Teiocholz, 1993).

#### **Subárea 4.4 Integración en tecnología e información:**

se evaluó cómo es la base de datos que se utiliza para almacenar información del proyecto (Sun y Aouad, 2020).

#### **Subárea 4.5 Integración de la información según etapas del proyecto:**

se identificó que etapas del proyecto poseen acceso a la información del proyecto.

#### **Subárea 4.6 Grado de Madurez BIM:**

se identificó el uso y el grado de Madurez BIM (Ortega, 2017).

## **Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción**

Para evaluar los niveles de logística se consideraron seis subáreas: cadena de suministro para producción, trazabilidad y almacenaje, logística de montaje y construcción, logística de transporte, recepciones y maquinarias y equipamiento para post fábrica.

**Subárea 5.1 Cadena de suministros para producción:** se determinó el principal tipo de relación contractual con los proveedores en la cadena de suministro (Bemelmans et al, 2012).

**Subárea 5.2 Trazabilidad y almacenaje:** se levantó información sobre trazabilidad (tipo de registro y periodicidad) y almacenamiento (transporte y protección) de materiales de producción y elementos prefabricados.

**Subárea 5.3 Logística de montaje y construcción:** se preguntó por la necesidad de almacenaje on-site de materiales y elementos prefabricados y las condiciones de este. También, si se adjuntan o no las fijaciones para la etapa de montaje.

**Subárea 5.4 Logística de transporte:** se levantaron los pasos en la planificación de transporte y la consideración de factores clave como coordinar con el cliente la ruta, fecha y tipo de camión, entre otros.

**Subárea 5.5 Recepciones:** se identificó la realización de recepciones posterior a cada una de las etapas del proyecto.

**Subárea 5.6 Maquinarias y equipamiento para post fábrica:** se elaboró un listado de maquinarias para las etapas de transporte, montaje y construcción donde se identificó la cantidad y la disposición de un operador capacitado.

## **Área 6. Enfoque en el Consumidor**

Esta área midió el nivel de conocimiento y atención que presta la empresa con respecto a su cliente y mercado objetivo. Se consideraron dos subáreas: interés en el cliente y el tipo de oferta.

**Subárea 6.1 Objetivos y estudios de mercado:** se levantó la información sobre el mercado objetivo y sus clientes. Además, se consultó por estudios de mercado y con qué periodicidad se realizan.

**Subárea 6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU:** se preguntó por la oferta de la empresa, es decir, si ofrecen tipologías de viviendas y/o desarrollo de proyectos junto con sus superficies, precios, etapas del proyecto que el valor incluye y el alcance con respecto al precio final de la vivienda. Además, se consultó por la posibilidad de personalización por parte del consumidor experiencia previa en postulación o ejecución de proyectos para programas habitacionales (DS49, DS19, DS10, DS01).

## **Área 7. Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)**

Esta área determinó con qué alcance se utilizan las TIC en el desarrollo del proyecto. Se consideraron

tres subáreas: uso de *softwares*, digitalización e interoperabilidad por etapas y usos BIM.

**Subárea 7.1 Uso de softwares:** se levantó información del uso de *softwares* en diseño, producción, gestión y control de calidad.

**Subárea 7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas:** para determinar la digitalización e interoperabilidad de los *softwares* a lo largo de la cadena de valor, se consultó por la existencia de archivos digitales y la necesidad de cambiarlos de formato entre cada una de las etapas del proyecto (Lattke & Hernandez, 2016).

**Subárea 7.3 Usos BIM:** se identificaron los usos BIM según el “Estándar BIM para Proyectos Públicos” desarrollado por Planbim (2019).

## Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia

La construcción industrializada requiere de medición y seguimiento de los procesos para desarrollar métodos y soluciones eficaces (Lessing, 2006). Tomando en consideración las etapas y procesos de un proyecto industrializado propuestos para esta investigación y complementando con los KPI's desarrollados en el documento, “Metodología para la Construcción Industrializada” elaborado por el CCI (2022), se consideraron ocho subáreas de medición sistemática y reutilización de la experiencia en las que se consultó por el tipo de registro, su frecuencia de medición y la reutilización de la información para la mejora de los procesos. Finalmente, el concepto de Mejora Continua que plantea Lessing (2015) se incorporó

especialmente en esta área desde el punto de vista del registro y reutilización de la información para mejorar los procesos.

**Subárea 8.1 Producción**

**Subárea 8.2 Uso energético**

**Subárea 8.3 Desechos y 4R:** de forma adicional a identificar el tipo de registro, su frecuencia de medición y la reutilización de la información para la mejora de los procesos, se consultó por la realización de reciclaje o reutilización de materiales o desechos producidos en fábrica.

**Subárea 8.4 Calidad:** se determinó el tipo de registro, su frecuencia de medición y la reutilización de la información para la mejora de los procesos *off-site* y *on-site*, es decir, en fábrica y en terreno.

**Subárea 8.5 Plazos:** de forma adicional a identificar el tipo de registro, su frecuencia de medición y la reutilización de la información para la mejora de los procesos, se consultó por la tasa de producción de unidades habitacionales prefabricadas por semana.

**Subárea 8.6 Personal**

**Subárea 8.7 Accidentes laborales:** de forma adicional a identificar el tipo de registro, su frecuencia de medición y la reutilización de la información para la mejora de los procesos, se consultó por la cantidad de accidentes laborales idealmente en el último año.

**Subárea 8.8 Costos**

**Tabla 2.** Áreas y subáreas del instrumento de medición del NI

<b>1. Planificación y Control de Procesos</b>
1.1 Equipos de trabajo
1.2 Personal técnico y mano de obra
1.3 Proceso de planificación de proyectos
1.4 Uso de normativas de control de calidad
1.5 Uso de normativas de construcción
<b>2. Sistemas Técnicos Desarrollados</b>
2.1 Definición del sistema constructivo
2.2 Documentación de los sistemas y el diseño
2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción
2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas
2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte
<b>3. Construcción Off-site</b>
3.1 Definición o alcance del producto final
3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión
3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación
3.4 Uso de componentes estandarizados
3.5 Secuencia de fabricación
3.6 Nivel de infraestructura
3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica
<b>4. Relaciones entre Participantes</b>
4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio
4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto
4.3 Integración entre etapas del proyecto
4.4 Integración en tecnología e información
4.5 Integración de la información según etapas del proyecto
4.6 Grado de Madurez BIM
<b>5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción</b>
5.1 Cadena de suministro para producción
5.2 Trazabilidad y almacenaje
5.3 Logística de montaje y construcción
5.4 Logística de transporte
5.5 Recepciones
5.6 Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica
<b>6. Enfoque en el Consumidor</b>
6.1 Objetivos y estudios de mercado
6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU
<b>7. Tecnologías de la Información y Comunicación</b>
7.1 Uso de softwares
7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas
7.3 Usos BIM
<b>8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia</b>
8.1 Producción
8.2 Uso energético
8.3 Desechos y 4R
8.4 Calidad
8.5 Plazos
8.6 Personal
8.7 Accidentes laborales
8.8 Costos

### 4.3.2. Instrumento de medición del NI

El instrumento de medición del NI es una planilla Excel compuesta por 8 áreas y 42 subáreas (Tabla 2).

Esto se traduce en 324 preguntas, las cuales en su mayoría son de selección múltiple y de evaluación cuantitativa ya que solo cinco subáreas requieren de una evaluación cualitativa.

A pesar de que el proyecto está enfocado en prefabricadoras con madera, el instrumento de medición del NI no sólo se enfoca en la etapa de prefabricación. Lo anterior es debido a que el instrumento posee una mirada integral al estar enfocado en una unidad habitacional completa y en la evaluación de características de la empresa. De esta forma, el instrumento para medir el NI de las empresas abarca preguntas desde la etapa de diseño hasta la etapa de montaje y construcción del proyecto, haciendo un mayor énfasis en la etapa de prefabricación la cual presenta un 78.7% de las preguntas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Cantidad y porcentaje de preguntas por etapas de un proyecto

Etapas	Número de preguntas	Porcentaje
Diseño	39	12,03 %
Prefabricación	255	78,70 %
Transporte	9	2,77 %
Montaje	7	2,16 %
Construcción	14	4,34 %
Total	324	100,00 %

Finalmente, el instrumento de medición del NI contiene cinco hojas, las cuales son descritas en la Tabla 4.

**Tabla 4. Hojas del instrumento de medición del NI**

Portada	Descripción del catastro y entidades involucradas Encargados del proyecto y datos de contacto
Cuestionario	Datos generales de la empresa (nombre, ubicación, contacto) Medición de las 8 áreas del marco conceptual
Listas	Definiciones y conceptos Escalas de evaluación y medición
Matrices de puntajes	Parámetros de evaluación Escalas de puntajes
Puntaje final	Puntaje por área y subárea NI y gráfico radial de la empresa

### **4.3.3. Validación del instrumento de medición del NI**

Con el fin de evaluar la pertinencia y confiabilidad de las preguntas, la duración de la entrevista y la compatibilidad de la medición con la realidad de la industria de la construcción industrializada en Chile, se aplicó una versión piloto del instrumento de medición del NI a dos empresas seleccionadas de la encuesta general (sección 5.1.2), E2E y Patagual Home. Ambas entidades se encuentran certificadas como empresas industrializadoras por la DITEC MINVU bajo la Resolución Exenta N°52 (MINVU, 2023a) y tienen aprobado un diseño de una tipología de vivienda

industrializada. El testeo del instrumento se realizó de forma presencial, donde la visita a terreno consistió en un recorrido por la planta y en un levantamiento de información a través del instrumento de medición. Debido a la extensión del proceso, en ambos casos se requirió de una segunda jornada de entrevista de forma telemática para completar la información. Durante las entrevistas, ambas empresas pudieron expresar libremente sus observaciones y retroalimentación sobre las preguntas, temáticas y escalas de evaluación, las cuales fueron recopiladas y consideradas para la versión final del instrumento.

A pesar de que la mayoría de las áreas y subáreas de medición tuvieron una recepción positiva por los entrevistados, se indicaron preguntas irrelevantes o repetitivas, las cuales fueron eliminadas. Con respecto a la extensión del cuestionario, la mayoría de las preguntas (90%) fueron transformadas a preguntas de selección múltiple, manteniendo un 10% de preguntas de desarrollo. Finalmente, con el fin de acortar aún más los tiempos de medición del NI, se elaboró un documento anexo que se envió al momento de agendar las visitas, el cual se requería completar y entregar previo a estas. En este documento se consultó por equipos, personal, herramientas de planificación y control de procesos, infraestructura, oferta, usos BIM y datos de producción, calidad, plazos y accidentes laborales.

#### **4.3.4. Finalización del instrumento de medición del NI**

Una vez validado el instrumento de medición, se desarrolló el sistema de puntaje a partir de la información levantada en cada una de las subáreas del documento. Producto de la combinación de diversos factores de evaluación de cada subárea, se obtuvieron dos tipos de puntajes, simples y con escala. Los puntajes simples fueron aquellos en donde a cada alternativa dentro de la pregunta

se le asignó un valor de 0 a 4. Por ejemplo, en la Figura 2 se puede observar el puntaje de la subárea 4.6 “Grado de Madurez BIM” donde las alternativas tienen un orden correlacionado con el puntaje asignado.

#### **4.6 GRADO DE MADUREZ BIM**

*Identificar la alternativa que corresponde y asignar puntaje*

0	No utiliza BIM
1	Grado 1 Madurez BIM
2	Grado 2 Madurez BIM
3	Grado 3 Madurez BIM
4	Grado 4 Madurez BIM

**Figura 2. Ejemplo de asignación de puntaje simple**

Los puntajes con escala correspondieron a aquellos en donde el puntaje neto pudo llegar a un valor superior a 4, por lo que, deben ser transformados por una escala lineal. Por ejemplo, en la Figura 3, se puede observar la matriz de puntaje de la subárea 8.2 “Usos Energético”, donde si una empresa registra el uso energético con planillas sistematizadas de forma continua o diaria y utiliza la información en la mejora de los procesos obtiene un puntaje neto de 11 de un máximo de 12 puntos, el cual una vez escalado linealmente a valores entre 0 y 4, corresponde a 3,7 puntos (Figura 3).

A1 ▾ ✘ ✓ θ

**8.2 USO ENERGÉTICO**

*Identificar la combinación de puntuación y transformar en la escala*

**0-12**

Factor	Registro	A mano	Planillas aisladas	Planillas sistematizadas	Software	
Periodicidad		1	2	3	4	
No utiliza información	0					4 12
Anual	1	2	2	3	4	3,7 11
No utiliza información	0					3,3 10
Mensual	2	3	4	5	6	3,0 9
No utiliza información	0					2,7 8
Semanal	3	4	5	6	7	2,3 7
No utiliza información	0					2,0 6
Continuo	4	5	6	7	8	1,7 5
Utiliza información	4					1,3 4
Anual	1	6	7	8	9	1,0 3
Utiliza información	4					0,7 2
Mensual	2	7	8	9	10	0,3 1
Utiliza información	4					0 0
Semanal	3	8	9	10	11	
Utiliza información	4					
Continuo	4	9	10	11	12	

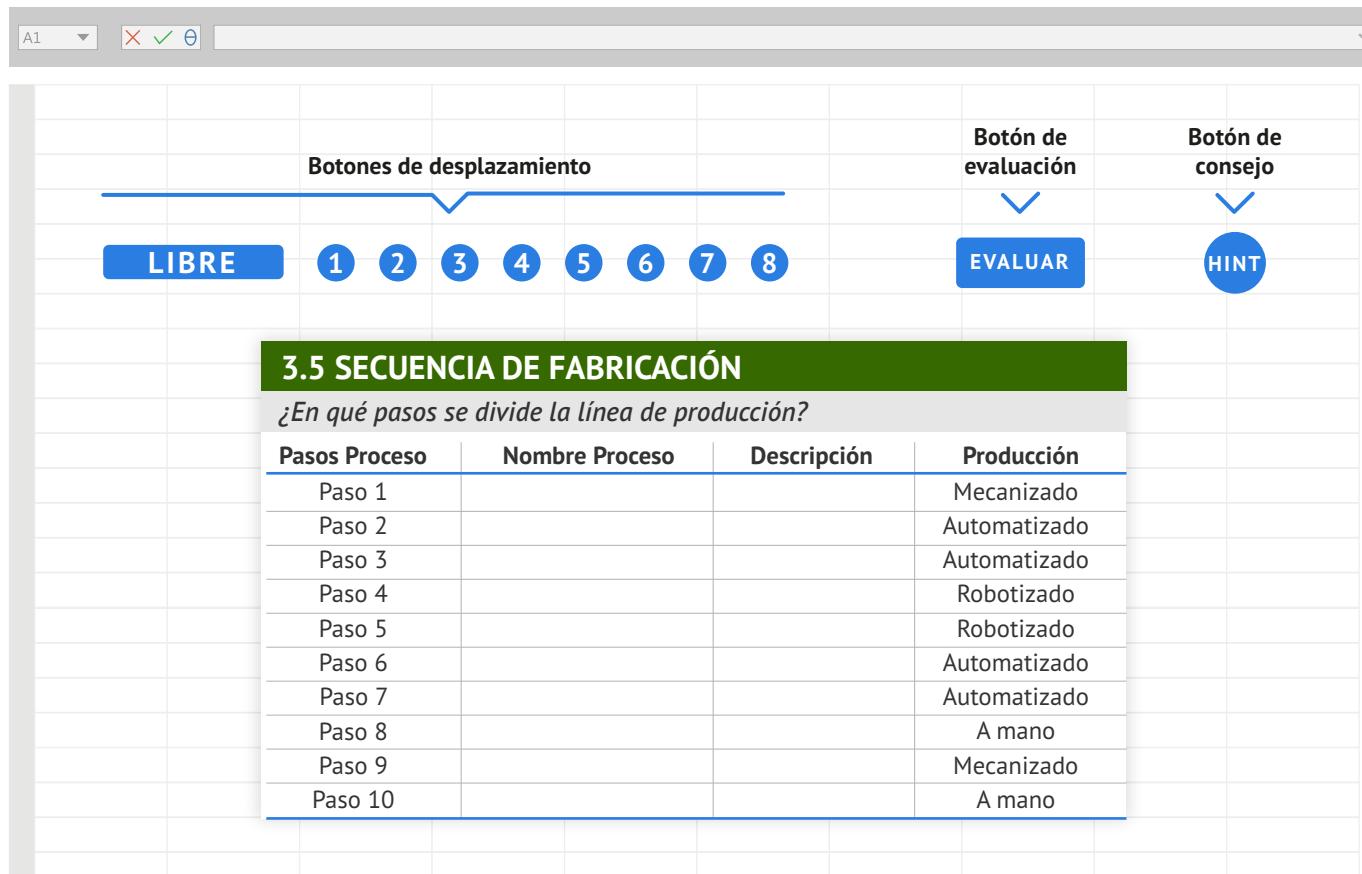
  

PERIODICIDAD	REGISTRO	FACTORES
1 Anual o puntual	1 A mano	0 No utiliza la información
2 Semanal	2 Planillas aisladas	4 Utiliza la información
3 Mensual	3 Planillas sistematizadas	
4 Continuo	4 Software	

**Figura 3.** Ejemplo de asignación de puntaje con escala

Finalmente, una vez validado el instrumento de medición del NI y desarrollado el sistema de puntajes, se programaron macros en Visual Basics for Applications (VBA), para automatizar distintas funciones como desplazarse dentro del documento Excel y obtener los puntajes finales de cada área y subárea. Específicamente, se programaron ocho botones de desplazamiento para visualizar cada una de las áreas, uno para

desplazarse libremente, ocho botones con consejos y 42 botones para evaluar el puntaje obtenido en cada una de las subáreas. Por ejemplo, en la Figura 4 se puede observar un esquema del instrumento en donde se logra observar los botones de desplazamiento a lo largo de las distintas áreas, el botón de evaluación y el de consejo (hint) de la subárea 3.5 Secuencia de fabricación.



**Figura 4.** Ejemplo del instrumento de medición del NI

MES	ABRIL																											
	SEMANAS							Semana 1							Semana 2							Semana 3						
EMPRESAS / DÍAS	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bipanel																												
Rucantu																												
Prefabricadas Premium																												
Casas Florida																												
Viviendas Santa Marta																												
Casas Pancer																												
Industrializadora de Viviendas																												
Hilam																												
Tronconoble																												
Viviendas Prefabricadas Andes																												
Timber																												
Nueva San José																												
Comercial Rengalil																												
Casas Río Bueno																												
Easywood																												
Bermarg																												
RCM Modular																												
Casas Prefabricadas Esmeralda																												
Constructora Sygma																												
Tecno Fast																												
Ingepanel																												

**Figura 5.** Carta Gantt de visitas a terreno para medición del NI

#### 4.3.5. Aplicación del instrumento de medición del NI

Se contactaron las empresas seleccionadas vía correo electrónico para coordinar una visita a la fábrica. En este primer contacto se hizo envío de un documento explicativo sobre la metodología de medición del NI junto con un anexo con preguntas a desarrollar previo a la fecha de la visita. También, se consultaron las medidas básicas de seguridad para visitar la planta.

A medida que se fueron confirmando las visitas se fue desarrollando una Carta Gantt definitiva (Figura 5) en la que se programaron los viajes por cercanía o región.

Las visitas se programaron para una duración de 3 a 4 horas aproximadamente, las cuales incluyeron

un recorrido por la fábrica con registro fotográfico y la aplicación del instrumento de medición del NI. Para los casos en que no se logró terminar el levantamiento de información se programaron reuniones telemáticas.

#### 4.4. Análisis de resultados

Se obtuvieron resultados del instrumento de caracterización general y del instrumento de medición del NI. Para el primer caso, se obtuvieron resultados generales de todas las empresas por región y por característica obteniendo una descripción general de las empresas. De forma similar, para la medición del NI, los resultados por región y área se desarrollaron, en primer lugar, a partir de los datos de todas las empresas seleccionadas. Posteriormente, según un análisis de Machine

MAYO										JUNIO																					
Semana 5							Semana 6				Semana 7				Semana 8					Semana 9											
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Learning (ML), se agruparon las empresas por grupos o *clusters* obteniendo resultados cualitativos y cuantitativos (sección 5.2.2).

ML es una colección de algoritmos y técnicas utilizadas para diseñar sistemas que aprenden de los datos. Luego, estos sistemas pueden realizar predicciones o deducir patrones a partir de los datos suministrados (Lee, 2019). Un tipo de problema que puede resolverse con ML (Lee, 2019) es el de agrupamiento o *clusters*. Este proceso permite agrupar puntos similares de información y descubrir patrones específicos en los datos. Dada una cantidad de variables, *clusters* ayuda a descubrir cómo están organizados los datos agrupándolos en conjuntos o comúnmente llamados *clusters*. Algunos ejemplos de problemas de agrupamiento son por ejemplo determinar que modelos de autos fallan de la misma forma

o que empresas presentan características y comportamiento similares (Lee, 2019).

Dado lo anterior, se desarrolló un flujo de Unsupervised Learning-Clustering Using K-Means en Orange (Anexo 2), software que permite realizar análisis y visualización de datos a través de programación en código abierto (Demšar, et al., 2013) . Al flujo en Orange, se ingresaron los resultados obtenidos de la medición del NI de las 23 empresas seleccionadas permitiendo obtener 4 grupos o *clusters*.

Una vez obtenidos los *clusters*, se determinaron las áreas y subáreas con un NI mayor y menor al NI promedio del *cluster* para posteriormente identificar su consistencia o representatividad estadística (Minitab, s.f.) a través de su Desviación Estándar (DE). Para todo el análisis de

resultados, debido a que la DE del NI representa cuánto, en promedio, se desvían los valores de la media (Minitab, s.f.), se consideraron los siguientes criterios:

**Tabla 6.** Criterios para la DE

DE	Valores
Baja	$\sigma \leq 0,50$
Alta	$\sigma > 0,50$

Finalmente, para cada *cluster* se cruzaron los resultados del NI promedio por área con su DE obteniendo en rojo oscuro las áreas en las que el NI fue menor que el NI promedio del *cluster* y hubo representatividad estadística debido a presentar una DE baja. De igual forma, en rojo claro, se presentaron las áreas en las que el NI fue menor que el NI promedio del *cluster* pero, no tuvo representatividad estadística debido a presentar una DE alta. De forma paralela, en azul claro, se destacaron las áreas en las que el NI fue mayor que el NI promedio del *cluster* pero, no tuvo representatividad estadística debido a presentar una DE alta. Por último, se obtuvo las áreas en azul, las cuales son en las que el NI fue mayor que el NI promedio del *cluster* y hubo representatividad estadística debido a presentar una DE baja. Para los resultados por subáreas se utilizaron los mismos criterios y colores mencionados anteriormente. Un resumen se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Criterios para la definición de los colores de las áreas y subáreas

NI por área o subárea	DE	Color
NI menor al promedio del <i>cluster</i>	DE baja	Rojo oscuro
NI menor al promedio del <i>cluster</i>	DE alta	Rojo claro
NI mayor al promedio del <i>cluster</i>	DE alta	Azul claro
NI mayor al promedio del <i>cluster</i>	DE baja	Azul oscuro

## 4.5. Discusión

Para discutir los resultados y observar de forma clara las diferencias entre los distintos *clusters* desarrollados, se realizó un análisis comparativo entre *clusters*. Específicamente se comparó:

*Cluster 1 versus Cluster 2 (C1 vs C2)*

*Cluster 2 versus Cluster 3 (C2 vs C3)*

*Cluster 3 versus Cluster 4 (C3 vs C4)*

Inicialmente, se compararon los puntajes por área. Posteriormente, para profundizar se categorizaron las diferencias de puntajes en bajas, medias y altas (Tabla 8).

**Tabla 8.** Criterios para las diferencias de puntaje

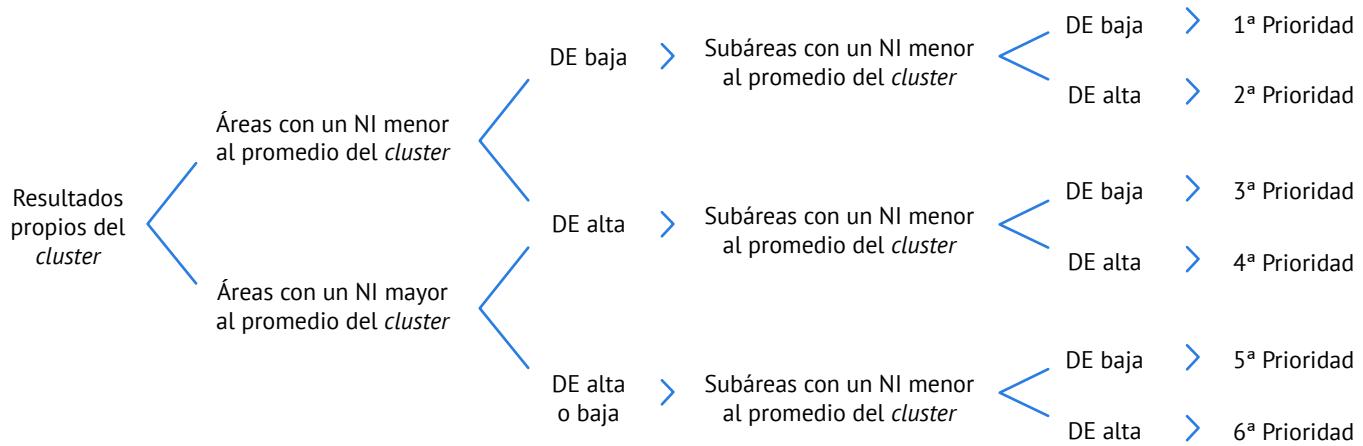
Diferencia	Valores
Baja	$\Delta \leq 0,50$
Media	$0,50 < \Delta < 1,00$
Alta	$\Delta \geq 1,00$

Dado lo anterior, se profundizó en las áreas con una diferencia de puntaje mayor a 0,50 realizando una comparación de puntajes a nivel de subáreas según los criterios de DE y diferencia mencionados anteriormente. Finalmente, con el objetivo de mantener la confidencialidad de los resultados, se asignó un código aleatorio de tres letras a cada una de las empresas.

## 4.6. Hoja de ruta

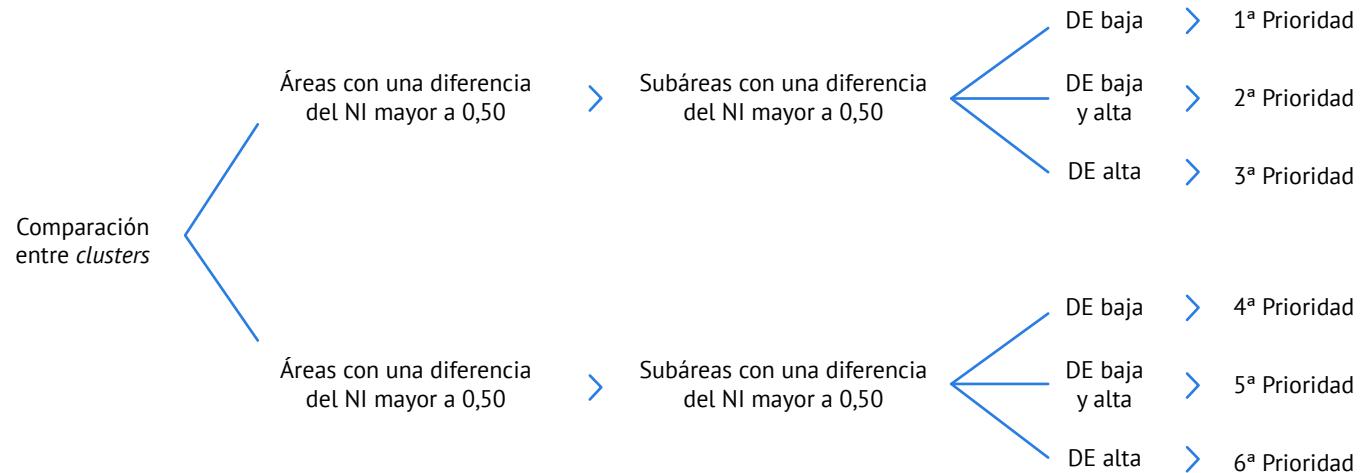
La hoja de ruta se elaboró mediante el cruce de los resultados específicos por *cluster* (sección 5) con la comparativa entre dichos grupos (sección 6), para determinar prioridades a nivel de áreas y subáreas. De este modo, se logró la creación de hojas de ruta individuales para cada *cluster*, con el fin de orientar su desarrollo.

Para los resultados específicos por *cluster* (sección 5), se obtuvieron seis prioridades al comparar los valores obtenidos por área y subárea con el NI promedio del *cluster* y analizar sus DE (Figura 6).



**Figura 6. Criterios para las prioridades según resultados propios del cluster**

De forma similar, para la comparación entre *clusters* (sección 6), también se obtuvieron seis prioridades al categorizar las diferencias de los valores obtenidos por área y subárea entre *clusters* y analizar sus DE (Figura 7).



**Figura 7. Criterios para las prioridades según comparación entre clusters**

Como el C1 no se comparó con un *cluster* con un NI mayor, en su hoja de ruta solo presentó los resultados propios del *cluster*. Finalmente, en la Tabla 9 se resumen los criterios que determinan las prioridades de la hoja de ruta de cada *cluster*. Estos criterios se obtuvieron de la intersección de los resultados específicos de cada *cluster* (sección 5) y de la comparación entre ellos (sección 6).

**Tabla 9.** Criterios para las prioridades de la hoja de ruta

Resultados del <i>cluster</i>	Comparación entre <i>clusters</i>	Prioridad
Subáreas que presenten un NI menor al promedio del <i>cluster</i> junto con una DE baja que se encuentren dentro de un área con un NI menor al promedio del <i>cluster</i> y una DE baja.	Subáreas que presenten una diferencia del NI mayor a 0,50 junto con una DE baja que se encuentren dentro de un área con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 mayor a 0,50.	1 <sup>a</sup>
Subáreas que presenten un NI menor al promedio del <i>cluster</i> junto con una DE alta que se encuentren dentro de las áreas con un NI menor al promedio del <i>cluster</i> y una DE baja.	Subáreas que presenten una diferencia del NI mayor a 0,50 junto con una DE baja y alta que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 mayor a 0,50.	2 <sup>a</sup>
Subáreas que presenten un NI menor al promedio del <i>cluster</i> junto con una DE baja que se encuentren dentro de las áreas con un NI menor al promedio del <i>cluster</i> y una DE alta.	Subáreas que presenten una diferencia del NI mayor a 0,50 junto con una DE alta que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 mayor a 0,50.	3 <sup>a</sup>
Subáreas que presenten un NI menor al promedio del <i>cluster</i> junto con una DE alta que se encuentren dentro de las áreas con un NI menor al promedio del <i>cluster</i> y una DE alta.	Subáreas que presenten una diferencia del NI mayor a 0,50 junto con una DE baja que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 menor a 0,50.	4 <sup>a</sup>
Subáreas que presenten un NI menor al promedio del <i>cluster</i> junto con una DE baja que se encuentren dentro de las áreas con un NI mayor al promedio del <i>cluster</i> .	Subáreas que presenten una diferencia del NI mayor a 0,50 junto con una DE baja y alta que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 menor a 0,50.	5 <sup>a</sup>
Subáreas que presenten un NI menor al promedio del <i>cluster</i> junto con una DE alta que se encuentren dentro de las áreas con un NI mayor al promedio del <i>cluster</i> .	Subáreas que presenten una diferencia del NI mayor a 0,50 junto con una DE alta que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 menor a 0,50.	6 <sup>a</sup>

# **05. Resultados**

El siguiente capítulo presenta los resultados de la encuesta general (sección 5.1.1) junto con los criterios de selección de las empresas, a las cuales se les midió el NI (sección 5.1.2). Posteriormente, se exponen los resultados de la medición del NI de 23 empresas distribuidas a lo largo de Chile (sección 5.2.1). Finalmente, se presentan los resultados del análisis de las empresas agrupadas en *clusters* (sección 5.2.2).

Los criterios a considerar para el análisis de la DE, son los definidos previamente en la metodología (sección 4.4), específicamente, en la Tabla 6. Una DE baja es para valores menores o iguales a 0,50 y una DE alta para mayores a 0,50.

## 5.1. Instrumento de caracterización general

### 5.1.1. Todas las empresas

De un total de 112 empresas identificadas en la base de datos, 56 respondieron la encuesta general, es decir, un 50% (Figura 8).

Al ordenar la distribución de empresas por región, de norte a sur (Figura 9), la región Metropolitana cuenta con 14 de las 56 empresas encuestadas, correspondiendo a un 25%. Y más de la mitad de las empresas encuestadas (57%), se encuentran hacia el sur de la región Metropolitana, mientras que el resto (18%) está hacia el norte del país.

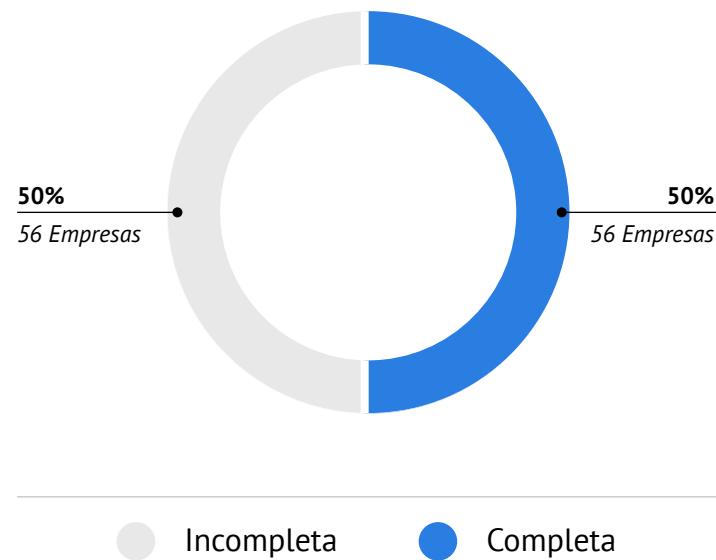
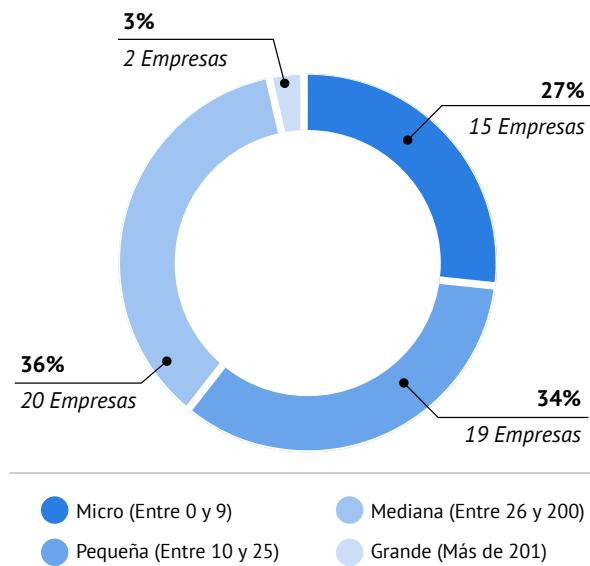


Figura 8. Cantidad de empresas encuestadas

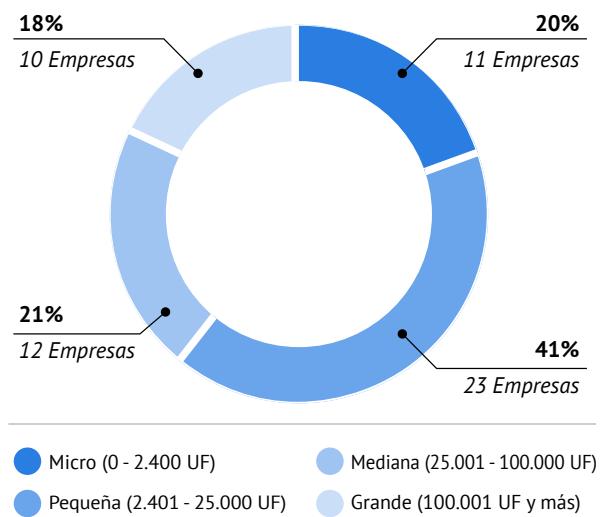


**Figura 9.** Cantidad de empresas encuestadas ordenadas por región de norte a sur

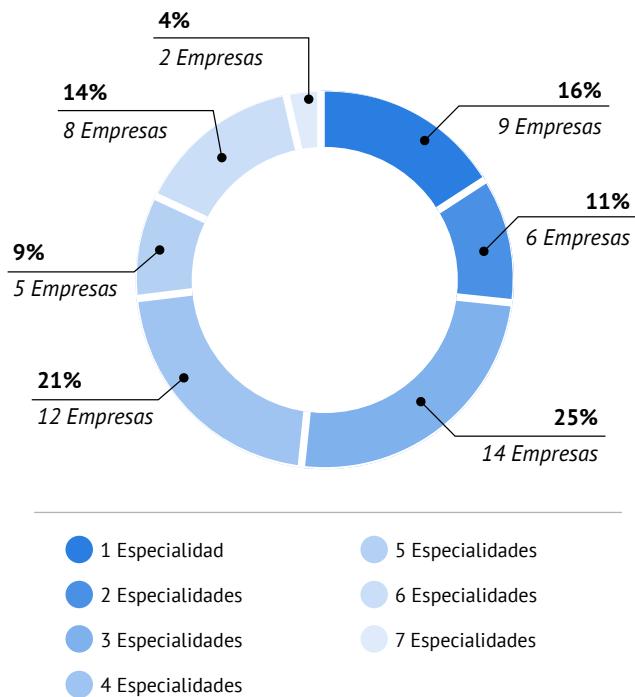
### Tamaño según personas



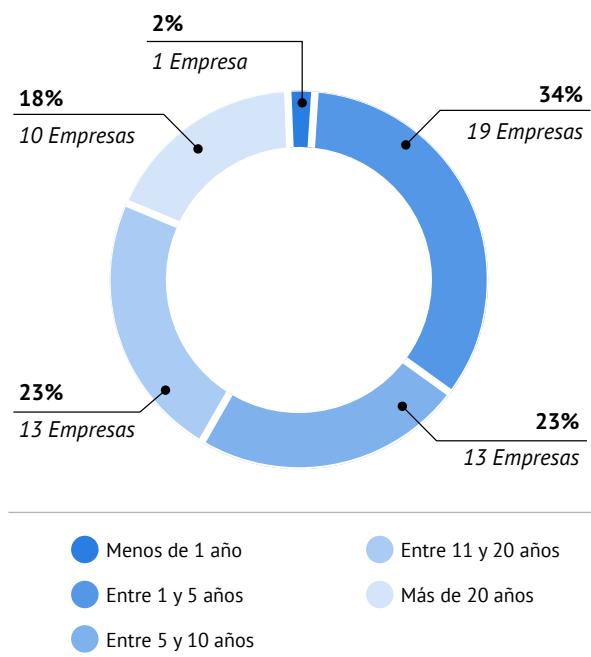
### Tamaño según ventas



### Personal



### Años de experiencia

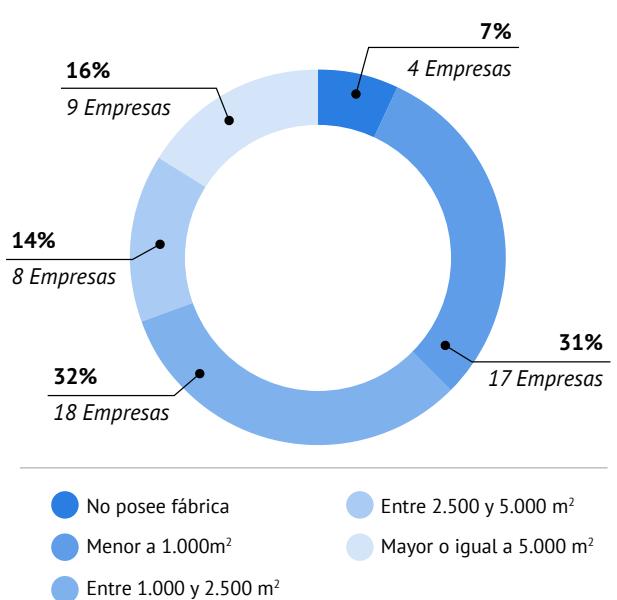


**Figuras 10. Resultados de la encuesta general – Parte 1**

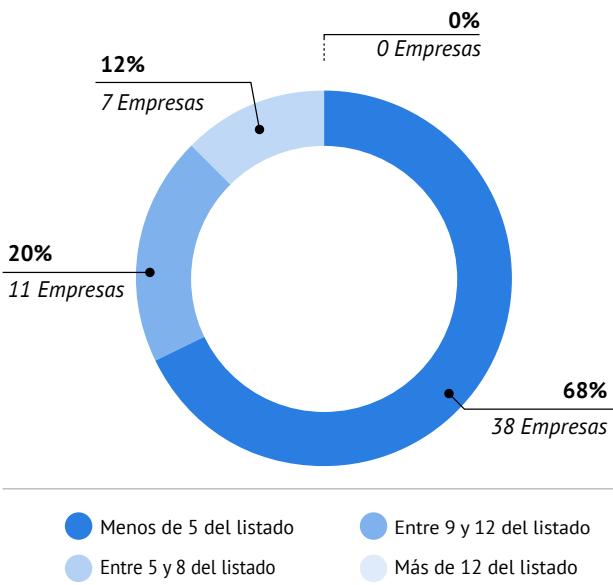
Si se describe de forma general a las empresas encuestadas, en primer lugar, estas se pueden agrupar según su tamaño de acuerdo a la cantidad de personas y sus ventas anuales

(División de Estudios - Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2014). Se destaca que, de 56 empresas encuestadas, un 97% son micro, pequeñas o medianas según cantidad de personas

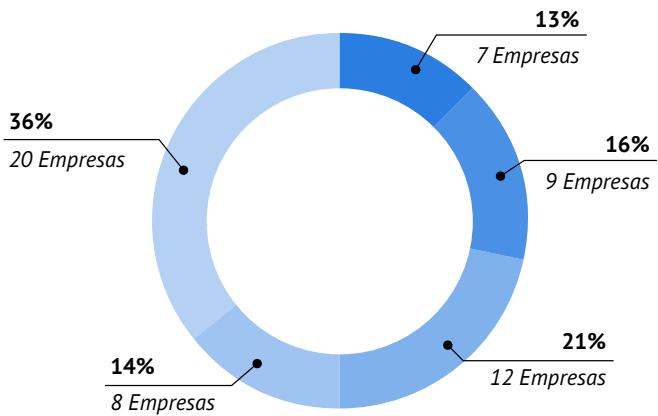
### Tamaño de la fábrica



### Cantidad de maquinarias y/o tecnologías



### Productos o servicios ofrecidos por las empresas



- Módulos y/o paneles prefabricados no montados en sitio
- Módulos y/o paneles prefabricados montados en sitio
- Vivienda prefabricada no montada en sitio
- Vivienda prefabricada montada en sitio
- Vivienda prefabricada, montada en sitio y totalmente finalizada (llave en mano)

**Figuras 11.** Resultados de la encuesta general – Parte 2

y un 82% según ventas anuales respectivamente (Figura 10).

Asimismo, un 52% de las empresas presenta tres o menos profesionales y técnicos y un 82%, cinco o menos (Figura 10).

Paralelamente, un 2% de las empresas posee menos de un año de experiencia, un 59% posee

menos de 10 años y un 82% menos de 20 años de experiencia (Figura 10).

Por otro lado, en cuanto a infraestructura, procesos y oferta, el 93% de las empresas manifiesta contar con una fábrica. Específicamente, un 31% declara poseer una fábrica menor a 1.000 m<sup>2</sup> mientras que un 63% menor a 2.500 m<sup>2</sup> (Figura 11). Adicionalmente,

un 68% de las empresas declara poseer cuatro o menos maquinarias y/o tecnologías del listado provisto en la encuesta y un 88%, ocho o menos (Figura 11). El 82% de las empresas declara poseer un sistema de control de calidad.

Con respecto a los productos que ofrecen al mercado, se pueden clasificar entre elementos bidimensionales no montados hasta viviendas totalmente finalizadas, o llave en mano. Específicamente, un 22% de las empresas ofrece viviendas prefabricadas no montadas, o llamados comúnmente, kits de autoconstrucción y un 36% el servicio de llave en mano (Figura 11).

Junto con lo anterior, los elementos prefabricados clasificados según terminación (INN, 2023) son en un 25% de obra gruesa, un 32% de obra gruesa más instalaciones y un 43% de obra gruesa más instalaciones y terminaciones.

Al consultar sobre el sector público, un 30% de las empresas declara poseer experiencia y un 88% manifiesta interés en él. Además, un 86% declara cumplir con la OGUC. Finalmente, un 88% de las empresas manifestó tener disposición para medir su NI bajo la metodología desarrollada, las cuales fueron consideradas para la siguiente etapa.

En resumen, los resultados iniciales de la encuesta dan indicios de las características generales de las empresas, en donde la gran mayoría:

- Son micro, pequeñas o medianas empresas según la cantidad de personas y ventas anuales
- Presentan personal variado, desde un nivel técnico hasta uno profesional

- Son empresas relativamente jóvenes al poseer entre 1 y 10 años de experiencia
- Poseen una fábrica menor a 2.500 m<sup>2</sup> junto con un sistema de control de calidad y baja cantidad maquinaria, equipos y/o tecnologías
- Ofrecen variados tipos de productos y/o servicios desde elementos prefabricados hasta viviendas totalmente finalizadas
- Los productos o servicios que comercializan cumplen con la OGUC
- No han postulado, diseñado y/o ejecutado proyectos de viviendas sociales acogidos a algún Decreto Supremo como el DS1, DS10, DS19, DS49, etc.
- Presentan un alto interés en trabajar con el sector público y/o con el Estado en el desarrollo de viviendas de carácter social
- Están dispuestas a participar en un proceso de medición de su NI bajo la metodología desarrollada

### **5.1.2. Selección de empresas para medición del NI**

Las empresas que participaron en la etapa de medición del NI fueron seleccionadas bajo el cumplimiento mínimo de los siguientes criterios:

- I. Interés en proyectos públicos: interés en desarrollar o trabajar en proyectos públicos.
- II. Evaluación CIM UC: disposición a participar en un proceso de evaluación de las capacidades de industrialización de la empresa por parte del CIM UC.

III. Fábrica: disposición de una fábrica.<sup>1</sup>

IV. Maquinaria y/o tecnologías: poseer una cantidad de maquinaria y/o tecnología mayor o igual a 3 del listado desarrollado para líneas de producción de unidades prefabricadas en madera.

La Tabla 10 presenta el análisis del cumplimiento de los criterios de selección de las empresas.

**Tabla 10. Empresas encuestadas y cumplimiento de criterios mínimos**

Nº	NOMBRE	REGIÓN	TAMAÑO	I	II	III	IV
1	Casas Florida / Casas KIT	Coquimbo	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
2	Prefabricadas Premium	Coquimbo	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
3	Bermarg	Valparaíso	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
4	Casas Prefabricadas Esmeralda	Valparaíso	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
5	Constructora Puchuncavi	Valparaíso	Micro (0 - 9)	•	•	•	
6	Constructora Vina del Mar	Valparaíso	Micro (0 - 9)	•	•	•	
7	El Toke	Valparaíso	Micro (0 - 9)	•	•	•	
8	Habitar	Valparaíso	Micro (0 - 9)	•	•	•	
9	Mediagua Chile	Valparaíso	Mediana (26 - 200)	•	•	•	
10	RCM Modular	Valparaíso	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
11	Casas Agam Spa	Metropolitana	Pequeña (10 - 25)		•	•	
12	Casas Prefabricadas Buin	Metropolitana	Micro (0 - 9)	•		•	
13	Casas Prefabricadas Lo Infante	Metropolitana	Mediana (26 - 200)	•	•	•	
14	Casas Prefabricadas San Agustín	Metropolitana	Micro (0 - 9)	•	•	•	
15	Casas Sonarte	Metropolitana	Pequeña (10 - 25)	•		•	
16	Constructora Neredo	Metropolitana	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
17	E2E	Metropolitana	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
18	Frabihome	Metropolitana	Micro (0 - 9)	•	•	•	•
19	Housetech	Metropolitana	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
20	Ingelam	Metropolitana	Mediana (26 - 200)		•	•	•
21	Mi Casa Solar	Metropolitana	Micro (0 - 9)				
22	Prefabs	Metropolitana	Micro (0 - 9)	•	•		
23	Tecno Fast	Metropolitana	Grande (201 y más)	•	•	•	•
24	Vaspanel	Metropolitana	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
25	Constructora Milenium de Cahui	O'Higgins	Micro (0 - 9)				
26	Casas Azocar	Maule	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	

1. "Establecimiento dotado de la maquinaria, herramienta e instalaciones necesarias para la fabricación de ciertos objetos, obtención de determinados productos o transformación industrial de una fuente de energía" (Real Academia Española [RAE], 2022).

Nº	NOMBRE	REGIÓN	TAMAÑO	I	II	III	IV
27	Casas del Maule Prefabricadas	Maule	Micro (0 - 9)	•		•	•
28	Casas Prefabricadas Vista Hermosa	Maule	Pequeña (10 - 25)			•	
29	Casas y Maderas Boada y Campos	Maule	Micro (0 - 9)	•	•	•	•
30	Ingepanel	Maule	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
31	Muber Construcciones Ltda	Maule	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	
32	Sociedad Comercial Baeza Molina Limitada	Maule	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
33	Hilam	Ñuble	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
34	Antilhue Casas Prefabricadas	Biobío	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	
35	Casas Pancer	Biobío	Micro (0 - 9)	•	•	•	•
36	Industrializadora Viviendas Chile Limitada	Biobío	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
37	Lemu Products	Biobío	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
38	Niuform	Biobío	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
39	Patagual Home	Biobío	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
40	Viviendas Santa Marta	Biobío	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
41	Comercial Rengalil - Casas Prefabricadas	Araucanía	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
42	Constructora Sygma	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
43	Fourcade & Co SpA	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•		
44	Nueva San José	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
45	Rucantu	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
46	Timber	Araucanía	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
47	Tronconoble	Araucanía	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
48	Viviendas Prefabricadas Andes	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
49	Bipanel	Los Ríos	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
50	Casas Quinchilca	Los Ríos	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	
51	Almazan (Compakpta)	Los Lagos	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
52	Ararat	Los Lagos	Grande (201 y más)	•	•	•	•
53	Casas Prefabricadas Chiloe	Los Lagos	Micro (0 - 9)	•	•	•	
54	Casas Prefabricadas Río Bueno	Los Lagos	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
55	Easywood	Los Lagos	Mediana (26 - 200)	•	•	•	
56	Urbek Modular Homes Chile	Los Lagos	Micro (0 - 9)	•	•		

De acuerdo con los criterios definidos, las empresas preseleccionadas para medir su NI se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Empresas preseleccionadas para medir su NI

Nº	NOMBRE	REGIÓN	TAMAÑO	I	II	III	IV
1	Casas Florida / Casas KIT	Coquimbo	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
2	Prefabricadas Premium	Coquimbo	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
3	Bermarg	Valparaíso	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
4	Casas Prefabricadas Esmeralda	Valparaíso	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
5	RCM Modular	Valparaíso	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
6	Constructora Neredo	Metropolitana	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
7	E2E	Metropolitana	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
8	Frabihome	Metropolitana	Micro (0 - 9)	•	•	•	•
9	Housetech	Metropolitana	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
10	Tecno Fast	Metropolitana	Grande (201 y más)	•	•	•	•
11	Vaspanel	Metropolitana	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
12	Casas y Maderas Boada y Campos	Maule	Micro (0 - 9)	•	•	•	•
13	Ingepanel	Maule	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
14	Sociedad Comercial Baeza Molina Limitada	Maule	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
15	Hilam	Ñuble	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
16	Casas Pancer	Biobío	Micro (0 - 9)	•	•	•	•
17	Industrializadora Viviendas Chile Limitada	Biobío	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
18	Lemu Products	Biobío	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
19	Niuform	Biobío	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
20	Patagual Home	Biobío	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
21	Viviendas Santa Marta	Biobío	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
22	Comercial Rengalil - Casas Prefabricadas	Araucanía	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
23	Constructora Sygma	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
24	Nueva San José	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
25	Rucantu	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
26	Timber	Araucanía	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
27	Tronconoble	Araucanía	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
28	Viviendas Prefabricadas Andes	Araucanía	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
29	Bipanel	Los Ríos	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•
30	Ararat	Los Lagos	Grande (201 y más)	•	•	•	•
31	Casas Prefabricadas Río Bueno	Los Lagos	Pequeña (10 - 25)	•	•	•	•
32	Easywood	Los Lagos	Mediana (26 - 200)	•	•	•	•

Posteriormente, debido a distintas razones, por ejemplo, no encontrarse en operación, no poseer efectivamente una fábrica, poseer un mercado objetivo distinto al de la construcción

industrializada en madera o no completar la información de la entrevista, las siguientes empresas no fueron consideradas para la selección final (Tabla 12).

**Tabla 12.** Empresas preseleccionadas para medir su NI dadas de baja

Nº	NOMBRE	REGIÓN	TAMAÑO
1	Constructora Neredo	Metropolitana	Mediana (26 - 200)
2	Frabihome	Metropolitana	Micro (0 - 9)
3	Housetech	Metropolitana	Pequeña (10 - 25)
4	Vaspanel	Metropolitana	Pequeña (10 - 25)
5	Casas y Maderas Boada y Campos	Maule	Micro (0 - 9)
6	Sociedad Comercial Baeza Molina Limitada	Maule	Pequeña (10 - 25)
7	Lemu Products	Biobío	Mediana (26 - 200)
8	Niuform	Biobío	Mediana (26 - 200)
9	Ararat	Los Lagos	Grande (201 y más)

Finalmente, 23 empresas fueron seleccionadas para visitarlas en terreno y medir el NI (Tabla 13).

**Tabla 13.** Empresas seleccionadas para medir su NI

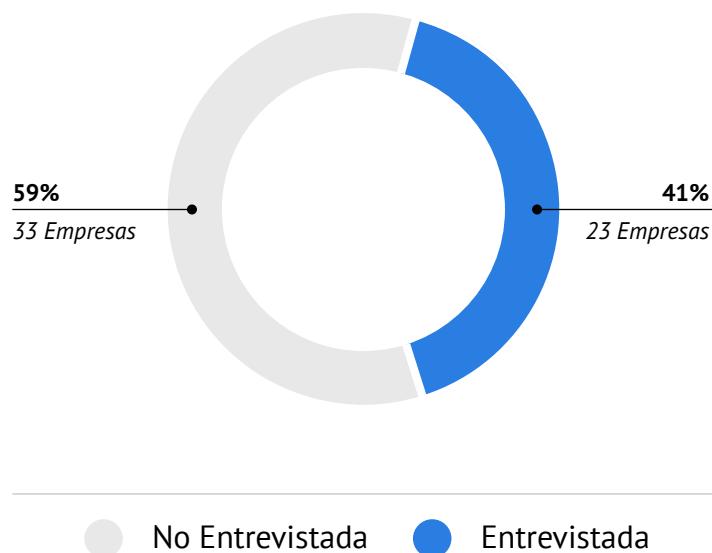
Nº	NOMBRE	REGIÓN	TAMAÑO
1	Casas Florida / Casas KIT	Coquimbo	Mediana (26 - 200)
2	Prefabricadas Premium	Coquimbo	Mediana (26 - 200)
3	Bermarg	Valparaíso	Pequeña (10 - 25)
4	Casas Prefabricadas Esmeralda	Valparaíso	Pequeña (10 - 25)
5	RCM Modular	Valparaíso	Mediana (26 - 200)
6	E2E	Metropolitana	Mediana (26 - 200)
7	Tecno Fast	Metropolitana	Grande (201 y más)
8	Ingepanel	Maule	Mediana (26 - 200)
9	Hilam	Ñuble	Mediana (26 - 200)
10	Casas Pancer	Biobío	Micro (0 - 9)
11	Industrializadora Viviendas Chile Limitada	Biobío	Pequeña (10 - 25)
12	Patagual Home	Biobío	Mediana (26 - 200)
13	Viviendas Santa Marta	Biobío	Pequeña (10 - 25)
14	Comercial Rengalil - Casas Prefabricadas	Araucanía	Pequeña (10 - 25)
15	Constructora Sygma	Araucanía	Mediana (26 - 200)
16	Nueva San José	Araucanía	Mediana (26 - 200)
17	Rucantu	Araucanía	Mediana (26 - 200)
18	Timber	Araucanía	Pequeña (10 - 25)
19	Tronconoble	Araucanía	Pequeña (10 - 25)
20	Viviendas Prefabricadas Andes	Araucanía	Mediana (26 - 200)
21	Bipanel	Los Ríos	Mediana (26 - 200)
22	Casas Prefabricadas Río Bueno	Los Lagos	Pequeña (10 - 25)
23	Easywood	Los Lagos	Mediana (26 - 200)

## 5.2. Instrumento de medición del NI

### 5.2.1. Todas las empresas

De acuerdo con los criterios de selección previamente presentados, un total de 23 de 56 empresas fueron entrevistadas para la medición de su NI (Figura 12). El promedio final del NI de todas las empresas entrevistadas fue 2,30 de 4,00, encontrándose en la mitad superior de la escala de puntaje. La DE del NI fue 0,54, lo cual indica una variabilidad alta entre el NI de las empresas.

Al ordenar las empresas por región, de norte a sur (Figura 13), más de la mitad (70%) de las empresas se encuentran hacia el sur de la región Metropolitana, mientras que tan solo el 22% lo está hacia el norte del país. En la zona sur, la región de la Araucanía cuenta con siete de las 23 empresas entrevistadas (30%), seguida por la región del Biobío con cuatro empresas (17%). En la zona norte, la región de Valparaíso cuenta con tres empresas y la de Coquimbo con dos. Finalmente, la región Metropolitana cuenta con dos empresas.



**Figura 12.** Cantidad de empresas entrevistadas

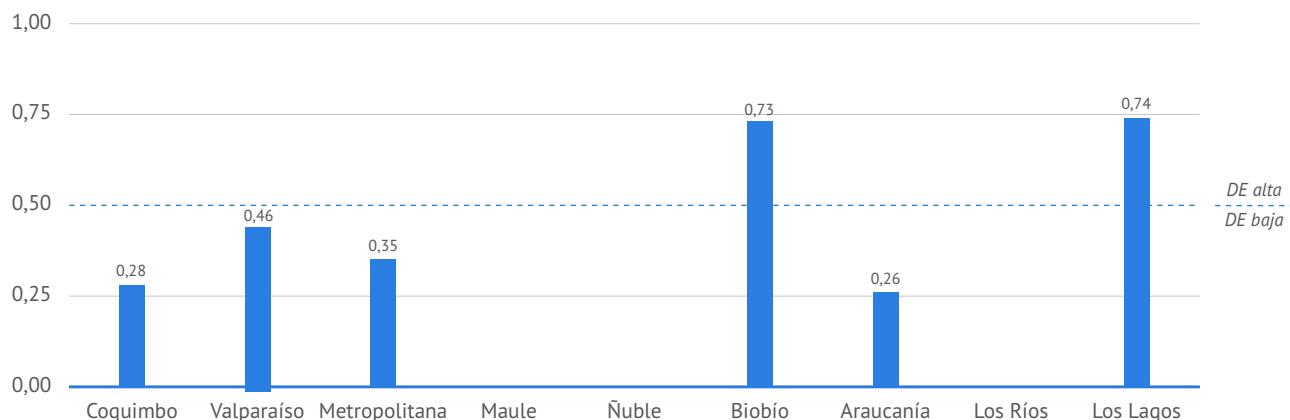


**Figura 13.** Cantidad, NI y DE de las empresas entrevistadas ordenadas por región de norte a sur

De acuerdo con la agrupación por regiones, el NI promedio de las empresas se movió en un rango de 2,00 a 3,17, con excepción de la región de Los Ríos, que tuvo un valor de 1,10 (Figura 13). La región Metropolitana tuvo el mayor NI promedio (3,17) con una DE baja. Mientras que la región de Los Ríos presentó el menor NI promedio NI

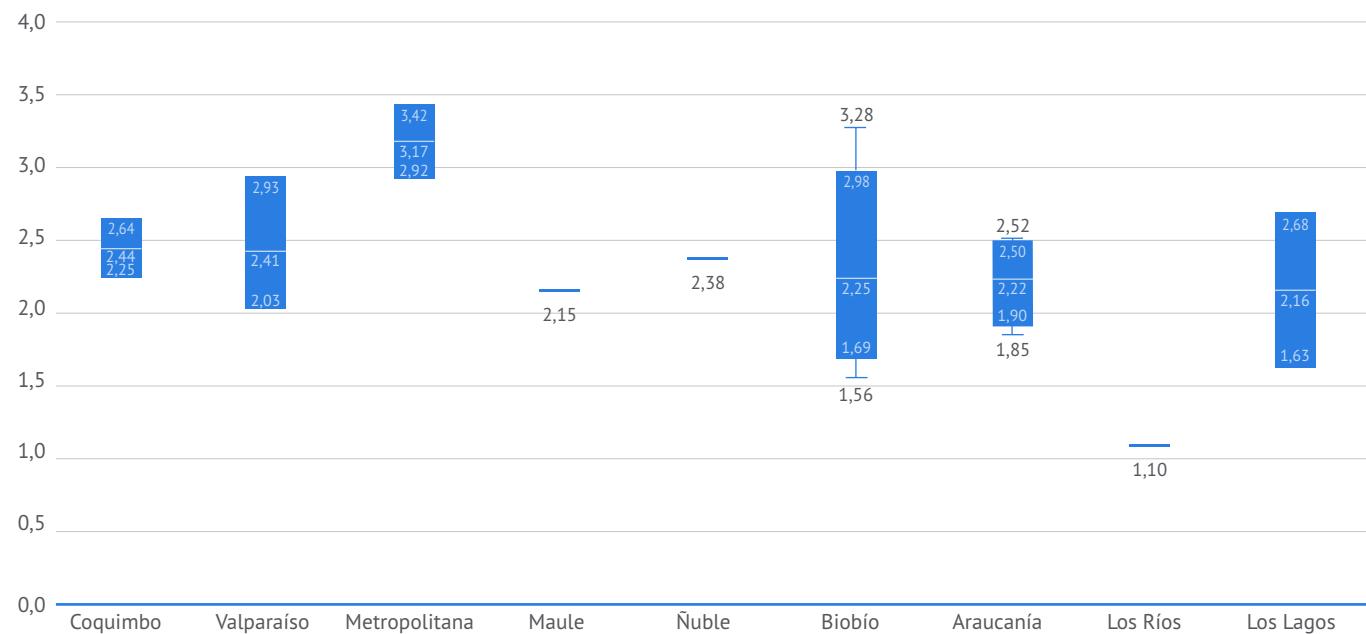
(1,10), con una DE nula por haber una empresa entrevistada en la región.

La DE del NI por región fue baja, exceptuando la región del Biobío y Los Lagos, las cuales tienen un DE alta.



**Figura 14. DE del NI ordenadas por región de norte a sur**

El NI máximo lo obtuvo una empresa de la región Metropolitana (3,42), seguido por una empresa de la región del Biobío (3,32). Mientras que el NI mínimo se presenta en la región de Los Ríos (1,10), seguido por una empresa en la región del Biobío (1,56) (Figura 15).



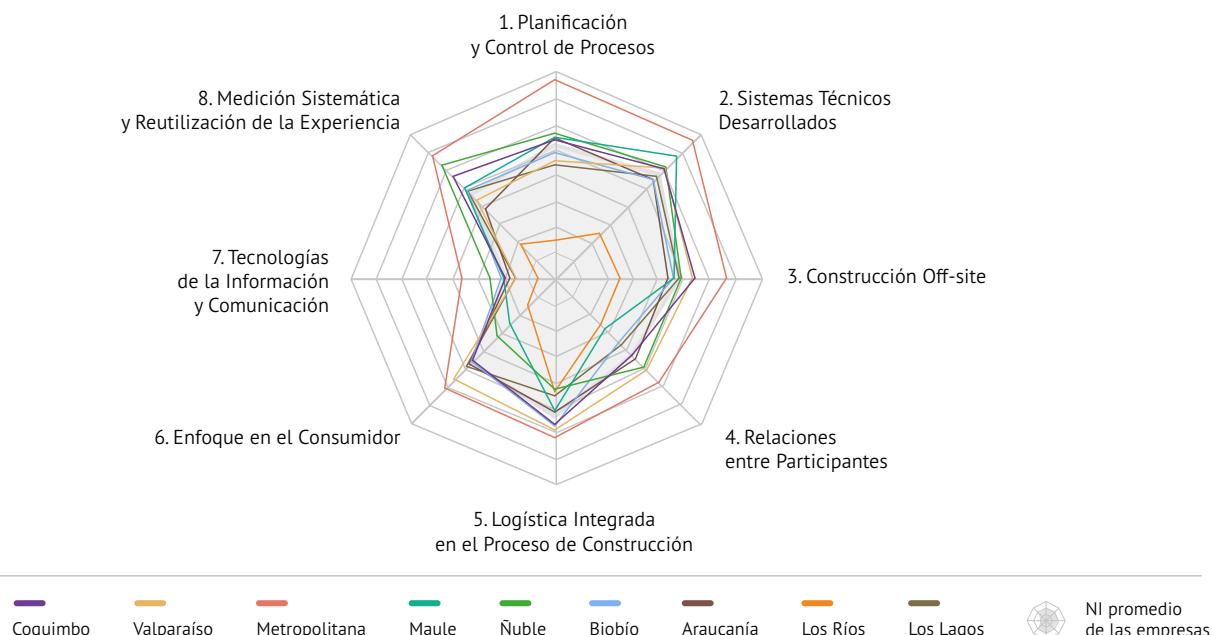
**Figura 15. Boxplot del NI por región ordenadas de norte a sur**

En resumen, de acuerdo con los resultados del NI y su DE por región (Tabla 14), la mayor diferencia entre el NI máximo y mínimo (rango) presentes en una misma región se encuentra en la región del Biobío, seguida por la de Los Lagos. Es decir, en estas regiones existe una variabilidad alta entre el NI de las empresas entrevistadas.

**Tabla 14.** Resumen de los resultados del NI promedio por región ordenados de norte a sur

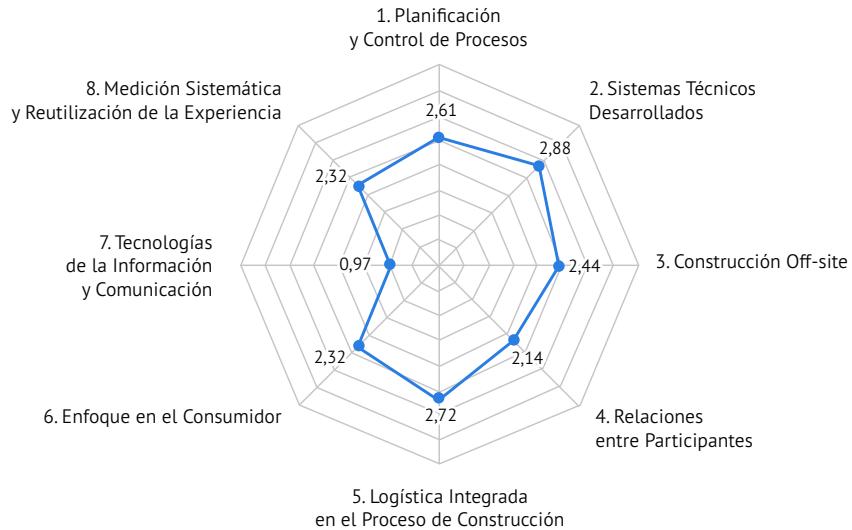
Región	Cantidad de empresas	NI promedio	DE	Máximo	Mínimo	Rango
Coquimbo	2	2,44	0,28	2,64	2,25	0,40
Valparaíso	3	2,41	0,46	2,93	2,03	0,89
Metropolitana	2	3,17	0,35	3,42	2,92	0,50
Maule	1	2,15	-	2,15	2,15	0,00
Ñuble	1	2,38	-	2,38	2,38	0,00
Biobío	4	2,25	0,73	3,28	1,56	1,72
Araucanía	7	2,22	0,26	2,52	1,85	0,67
Los Ríos	1	1,10	-	1,10	1,10	0,00
Los Lagos	2	2,16	0,74	2,68	1,63	1,05

De acuerdo con los resultados del NI por área en cada región (Figura 16), se puede observar que existe una tendencia en el NI por área a lo largo de las distintas regiones. El mayor rango del NI se da principalmente en cuatro áreas (Figura 16): Planificación y Control de Procesos, Sistemas Técnicos Desarrollados y Enfoque en el Consumidor y Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia.



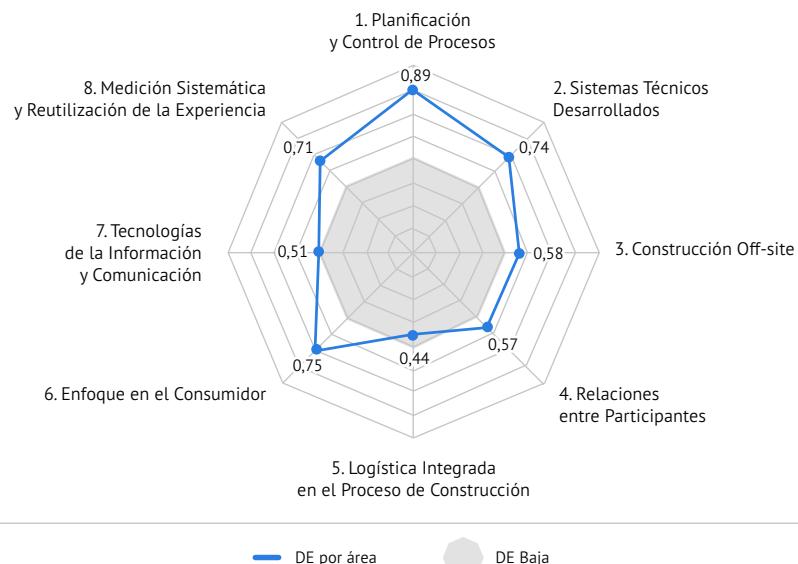
**Figura 16.** NI por área y región

El promedio del NI por área de todas las empresas varía entre 2,00 y 3,00, con excepción del área de Tecnologías de la Información y Comunicación (Figura 17). El área con menor NI promedio es la de Tecnologías de la Información y Comunicación seguida por la de Relaciones entre Participantes (Figura 17).



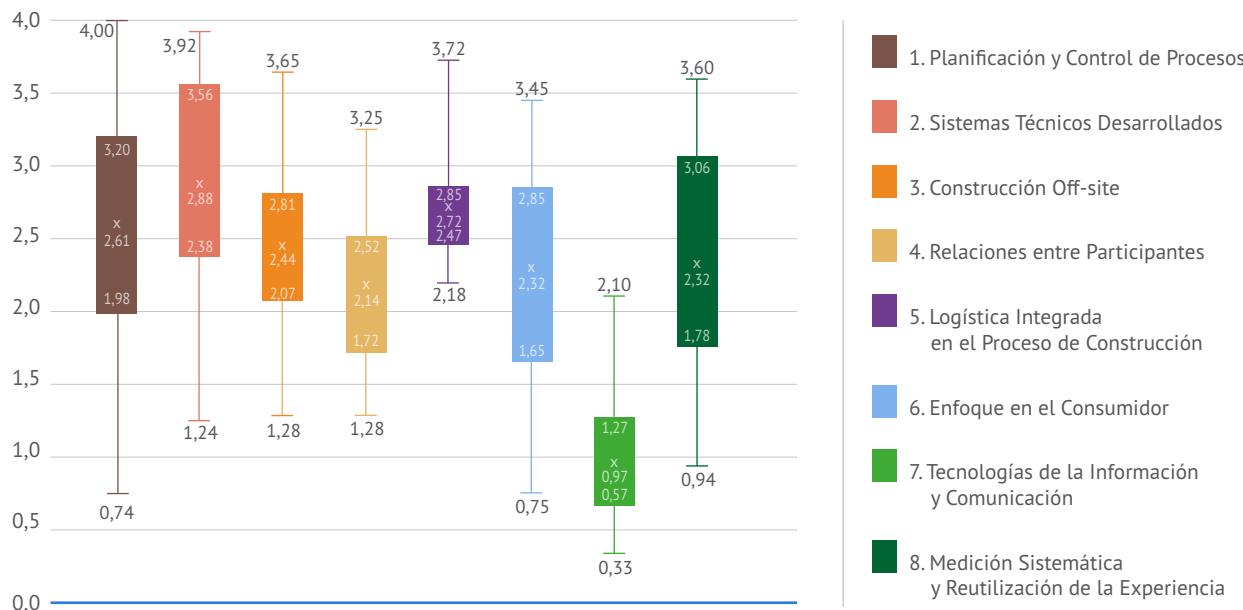
**Figura 17. NI por área**

Las áreas con una mayor DE (Figura 18) son las de Planificación y Control de Procesos, Sistemas Técnicos Desarrollados, Enfoque en el Consumidor y Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia lo cual es congruente con lo propuesto en los resultados por región y área. El área de Logística Integrada en el Proceso de Construcción, presenta una DE baja, lo cual refleja que las empresas tienen un comportamiento similar en esta área.



**Figura 18. DE del NI por área**

Lo mencionado anteriormente, es corroborado con los resultados de máximo y mínimo del NI por área (Figura 19), donde el rango promedio de diferencia del NI por área es 2,41 junto con una DE alta, exceptuando por el área de Logística Integrada en el Proceso de Construcción, la cual presenta una DE baja (Tabla 15).



**Figura 19.** Boxplot del NI por área

**Tabla 15.** Resumen de los resultados del NI por área

Área	NI promedio	DE	Máximo	Mínimo	Rango
1. Planificación y Control de Procesos	2,61	0,89	4,00	0,74	3,26
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	2,88	0,74	3,92	1,24	2,68
3. Construcción Off-site	2,44	0,58	3,65	1,28	2,37
4. Relaciones entre Participantes	2,14	0,57	3,25	1,28	1,97
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	2,72	0,44	3,72	1,88	1,84
6. Enfoque en el Consumidor	2,32	0,75	3,45	0,75	2,70
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	0,97	0,51	2,10	0,33	1,77
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	2,32	0,71	3,60	0,94	2,66
<b>Promedio</b>	<b>2,30</b>	<b>0,65</b>	<b>3,46</b>	<b>1,06</b>	<b>2,41</b>

Finalmente, debido a la alta variabilidad del NI por área de todas las empresas, se desarrollan resultados específicos de datos agrupados (*clusters*).

## 5.2.2. Empresas agrupadas en clusters

Los *clusters* o grupos generados por ML (sección 4.4) son formas de distribuir los datos, en este caso los puntajes de cada subárea de cada

empresa (42 datos por empresa), permitiendo aglomerarlas según características similares y obtener resultados con menor variabilidad y por ende más representativos (Lee, 2019). Dado lo anterior, las 23 empresas entrevistadas fueron agrupadas en cuatro *clusters* (Figura 20).

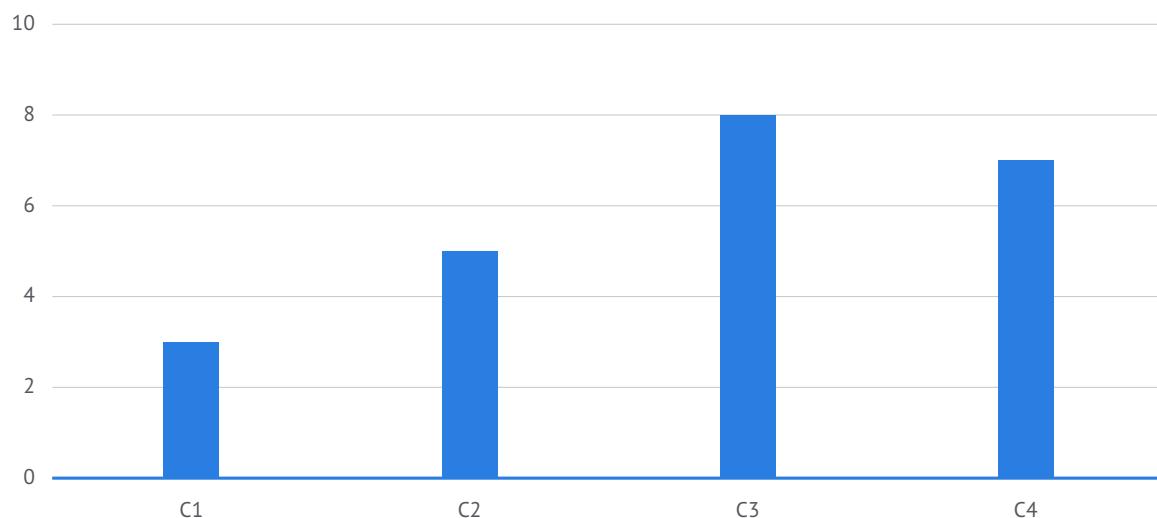


Figura 20. Cantidad de empresas por cluster

De forma general, al graficar el NI versus su Desviación Absoluta Promedio (DAP), destacando a las empresas según el *cluster* al cual pertenecen, se logra observar que las empresas tienden a aglomerarse en distintas zonas del gráfico (Figura 21).

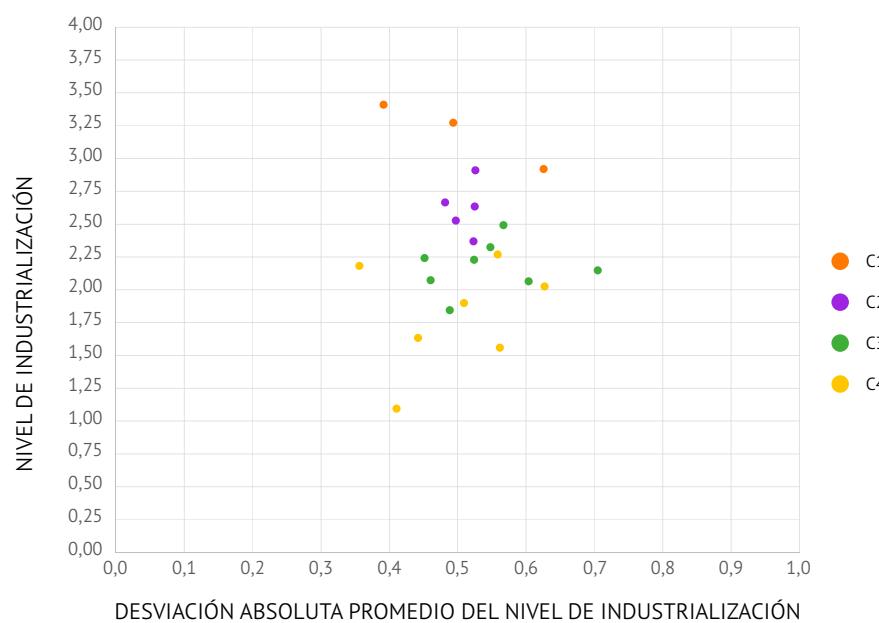
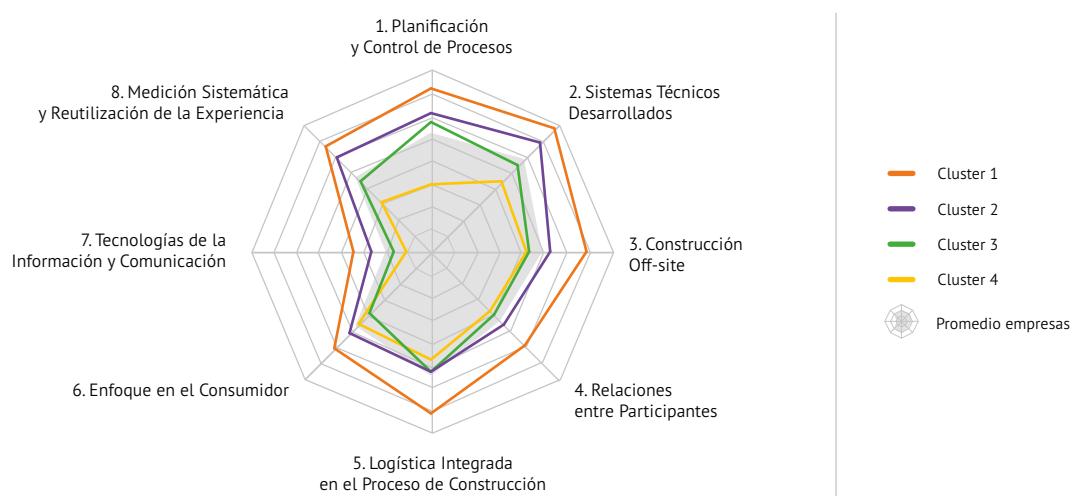


Figura 21. Dispersión por cluster del NI vs DAP

A pesar de que se percibe una tendencia de las empresas a juntarse, existen algunas zonas en que las empresas pertenecientes a distintos *clusters* se mezclan, por ejemplo, para una DAP entre 0,40 y 0,60 y un NI entre 1,75 y 2,50. Esto ocurre debido a que, para desarrollar los distintos grupos, la metodología de ML (sección 4.4) compara y determina la similitud entre las empresas a partir de los valores obtenidos y sus diferencias en las 42 subáreas, lo cual a veces no se ve representado en la DAP de cada entidad.

De acuerdo con los resultados del análisis por *clusters*, el Cluster 1 (C1), obtuvo un NI mayor en todas las áreas respecto a los demás *clusters* (Figura 22). De igual manera sucedió al comparar el Cluster 2 (C2) y Cluster 3 (C3), y el C3 y Cluster 4 (C4), respectivamente. Con excepción de la sexta área, de Enfoque en el Consumidor, entre el C3 y el C4 (Figura 22), donde este último *cluster* obtiene un mayor puntaje.



	C1	C2	C3	C4
1. Planificación y Control de Procesos	3,64	3,09	2,89	1,50
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	3,89	3,44	2,73	2,22
3. Construcción Off-site	3,47	2,66	2,19	2,13
4. Relaciones entre Participantes	2,96	2,30	1,99	1,87
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	3,61	2,68	2,68	2,41
6. Enfoque en el Consumidor	3,05	2,57	1,94	2,28
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	1,73	1,33	0,83	0,55
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	3,32	2,97	2,22	1,56
NI promedio por cluster	3,21	2,63	2,18	1,81

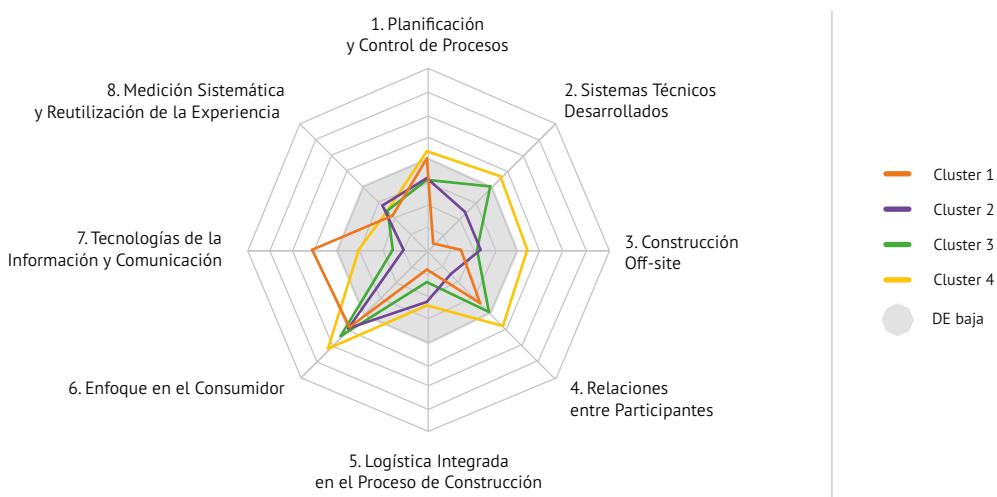
**Figura 22. NI por área y cluster**

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis por *clusters*, la Tabla 16 presenta la clasificación de los cuatro *clusters* según el NI promedio que presentan, es decir, desde NI alto a muy bajo.

**Tabla 16. NI por cluster**

NI	Cluster
Alto	C1
Medio	C2
Bajo	C3
Muy bajo	C4

En cuanto a la DE del NI promedio de cada *cluster* por área, existe al menos un área con una DE alta en cada *cluster* (Figura 23). Dado este resultado, en las siguientes secciones se presenta una descripción cualitativa y cuantitativa detallada, para entender mejor los resultados por *cluster*.



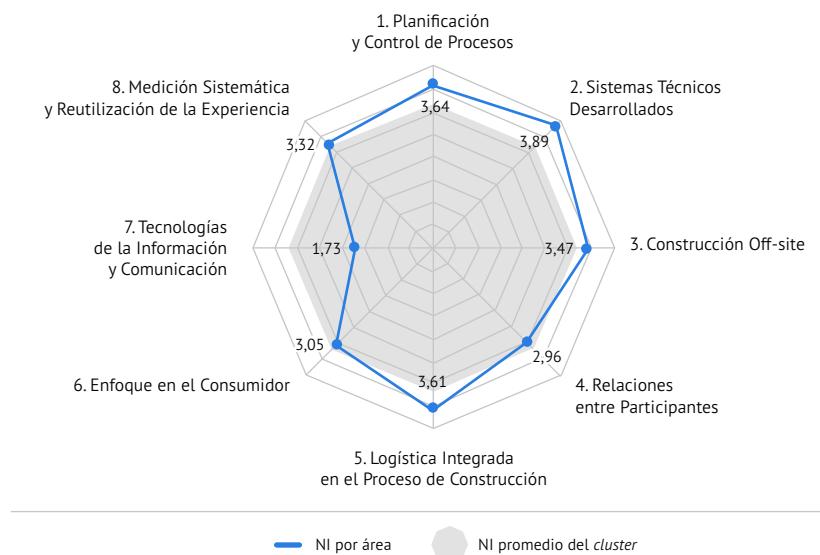
	C1	C2	C3	C4
1. Planificación y Control de Procesos	0,51	0,40	0,39	0,55
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	0,05	0,30	0,50	0,58
3. Construcción Off-site	0,19	0,30	0,28	0,56
4. Relaciones entre Participantes	0,42	0,19	0,49	0,60
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	0,11	0,29	0,18	0,31
6. Enfoque en el Consumidor	0,61	0,62	0,68	0,78
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	0,64	0,13	0,19	0,38
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	0,27	0,35	0,31	0,31
<b>DE del NI por área y cluster</b>	<b>0,35</b>	<b>0,32</b>	<b>0,38</b>	<b>0,51</b>

**Figura 23. DE del NI por área y cluster**

## | Cluster 1 – NI alto

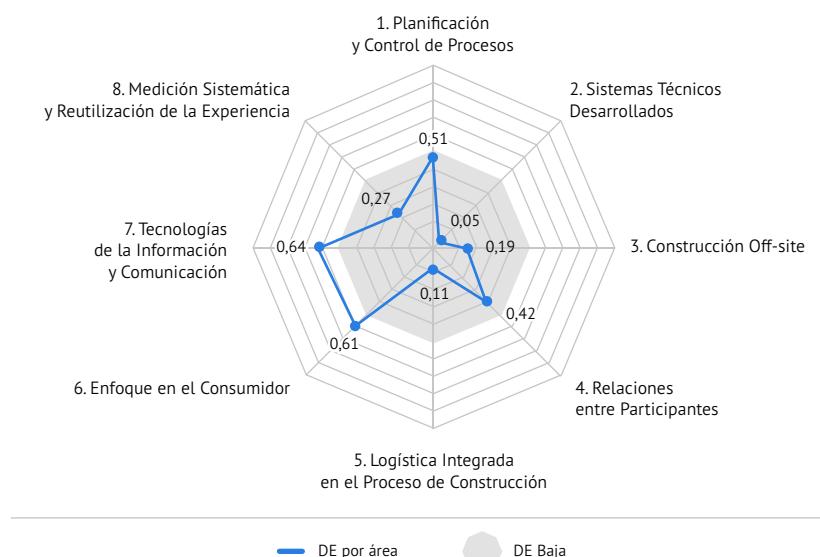
El primer *cluster* (C1) está compuesto por tres empresas que presentan un NI alto. A continuación, se presenta una descripción cuantitativa y cualitativa de las características comunes que definen al C1, por cada una de las áreas y subáreas de industrialización.

El C1 presenta un NI promedio de 3,21. Las áreas con un NI menor que el NI promedio del *cluster* son la de Relaciones entre Participantes, Enfoque en el Consumidor y Tecnologías de la Información y Comunicación (Figura 24).



**Figura 24. C1 - NI por área**

La DE del NI por área en general es baja (Figura 25). El área con mayor DE es la de Tecnologías de la Información y Comunicación seguida por la de Enfoque en el Consumidor.



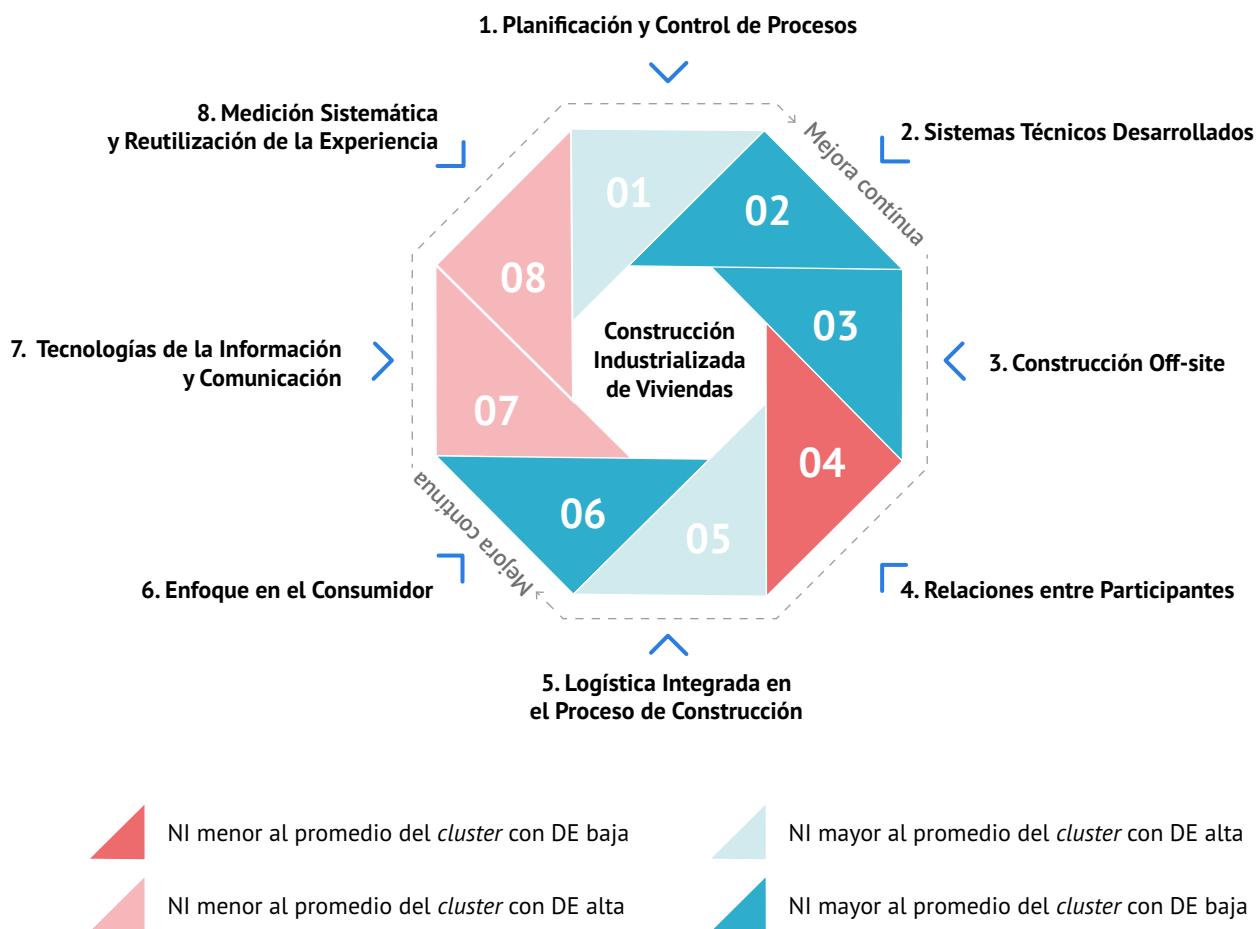
**Figura 25. C1 - DE del NI por área**

Las áreas con un NI menor al NI promedio del *cluster* (3,21) se consideran como las principales áreas a potenciar. Y las áreas con una DE baja (menor o igual a 0,50) se considera que representan a las empresas del grupo por presentar una menor variabilidad (Minitab, s.f.).

Al cruzar los resultados del NI y su DE (Figura 26), el área resaltada en rojo oscuro cumple con los dos criterios mencionados. Las áreas resaltadas en rojo claro presentan un NI menor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística debido a poseer

una DE alta. El área resaltada en azul claro presenta un NI mayor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística. Finalmente, las áreas resaltadas en azul oscuro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* junto con una DE baja.

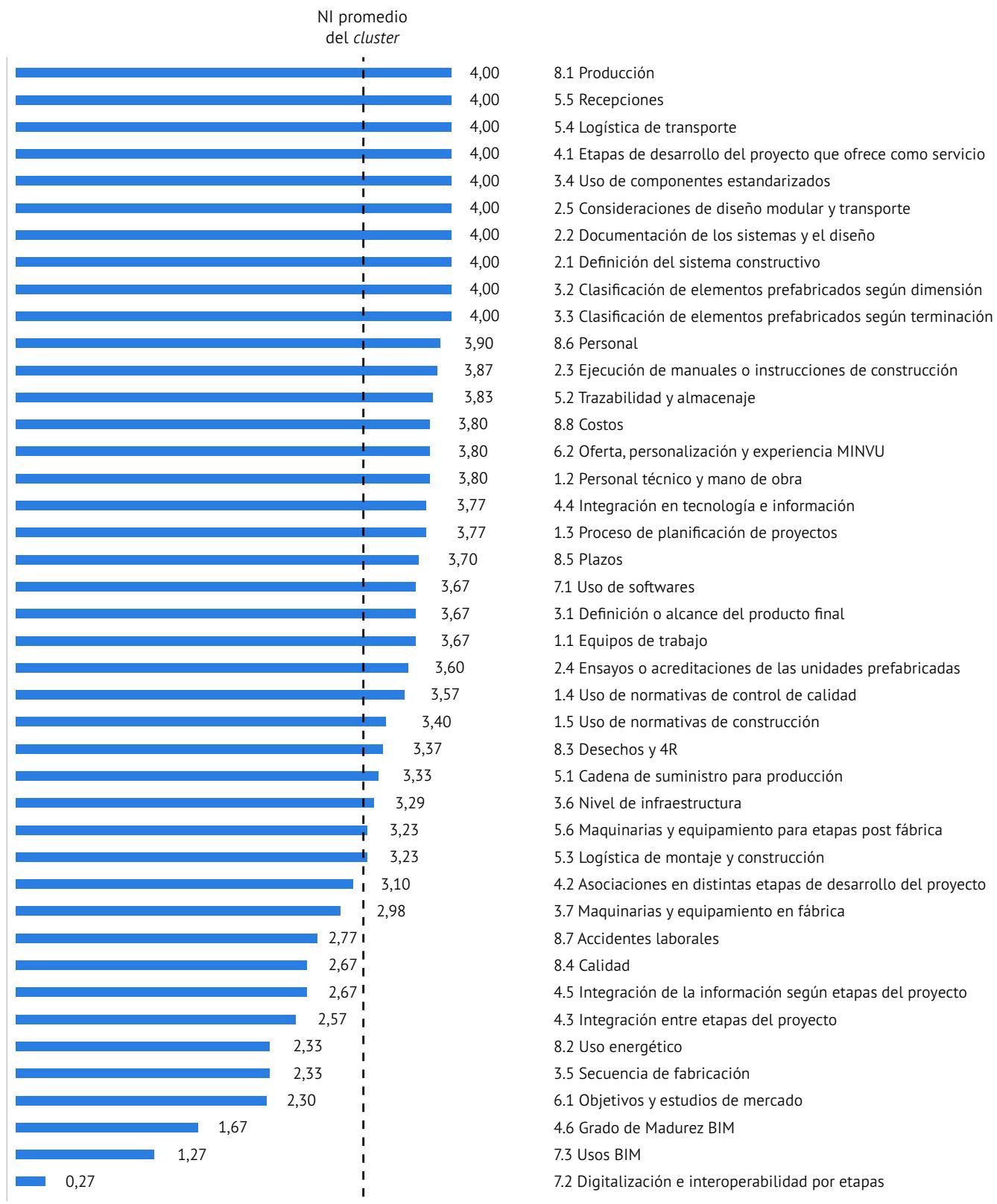
De acuerdo con esta clasificación, las áreas en rojo oscuro son las primeras que se deberían potenciar en el *cluster*, seguidas por las destacadas en rojo claro, luego las de azul claro y, por último, las presentadas en azul oscuro.



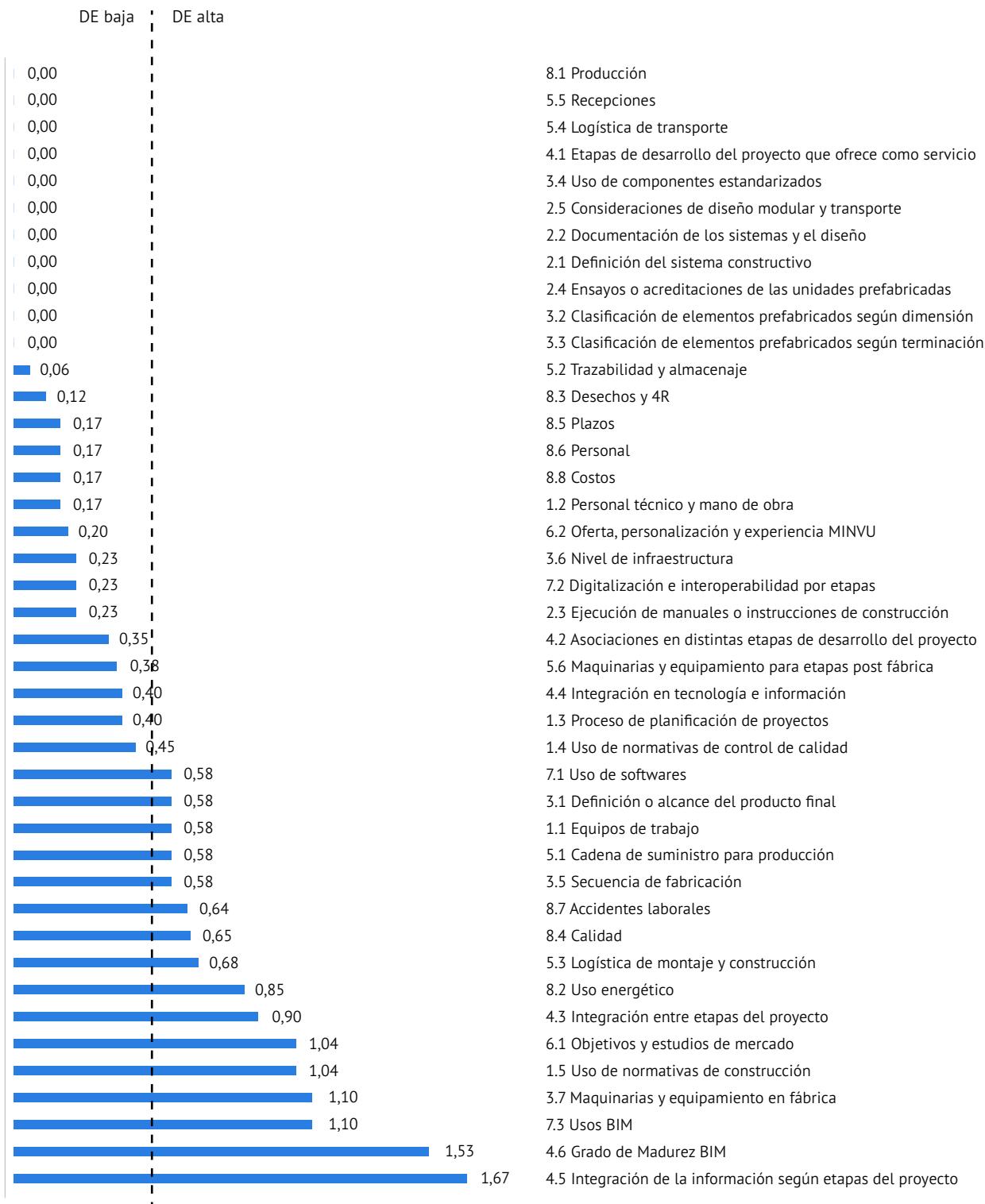
**Figura 26. C1 – Estado de las áreas**

Para profundizar y obtener subáreas específicas a potenciar, se aplica el mismo criterio del NI y DE previamente explicado. Por lo tanto, las subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* (3,21), se

podrían considerar como las principales subáreas en las cuales aumentar el NI y, las con una DE baja, que representan a las empresas del grupo por tener una menor variabilidad (Figuras 27 y 28).



**Figura 27. C1 - NI por subárea ordenados de mayor a menor**



**Figura 28. C1 - DE del NI por subárea ordenadas de menor a mayor**

Al cruzar los resultados del NI y su DE (Figura 29), las subáreas resaltadas en rojo oscuro cumplen con los dos criterios mencionados. Las subáreas resaltadas en rojo claro presentan un NI menor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística debido a poseer una DE alta. Las subáreas resaltadas en azul claro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística. Finalmente, las subáreas resaltadas en azul oscuro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* junto con una DE baja.

De acuerdo con esta clasificación, las subáreas en rojo oscuro son las primeras que se deberían potenciar en el *cluster*, seguidas por las destacadas en rojo claro, luego las de azul claro y, por último, las presentadas en azul oscuro.

A continuación, se presenta una descripción cualitativa de las características comunes que definen al C1, por cada una de las áreas de industrialización.

## Área 1. Planificación y Control de Procesos

**Subárea 1.1 Equipos de trabajo:** poseen una clara y estructurada organización de la empresa en áreas específicas como dirección, administración, contabilidad, finanzas, gestión, producción, ingeniería y diseño, recursos humanos y otras.

**Subárea 1.2 Personal técnico y mano de obra:** cuentan con personal capacitado desde un nivel técnico a uno profesional para todas las etapas de un proyecto, por ejemplo, ingenieros comerciales y estructurales, constructores, arquitectos, prevencionistas de riesgo,

<b>1. Planificación y Control de Procesos</b>
1.1 Equipos de trabajo
1.2 Personal técnico y mano de obra
1.3 Proceso de planificación de proyectos
1.4 Uso de normativas de control de calidad
1.5 Uso de normativas de construcción
<b>2. Sistemas Técnicos Desarrollados</b>
2.1 Definición del sistema constructivo
2.2 Documentación de los sistemas y el diseño
2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción
2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas
2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte
<b>3. Construcción Off-site</b>
3.1 Definición o alcance del producto final
3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión
3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación
3.4 Uso de componentes estandarizados
3.5 Secuencia de fabricación
3.6 Nivel de infraestructura
3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica
<b>4. Relaciones entre Participantes</b>
4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio
4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto
4.3 Integración entre etapas del proyecto
4.4 Integración en tecnología e información
4.5 Integración de la información según etapas del proyecto
4.6 Grado de Madurez BIM
<b>5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción</b>
5.1 Cadena de suministro para producción
5.2 Trazabilidad y almacenaje
5.3 Logística de montaje y construcción
5.4 Logística de transporte
5.5 Recepciones
5.6 Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica
<b>6. Enfoque en el Consumidor</b>
6.1 Objetivos y estudios de mercado
6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU
<b>7. Tecnologías de la Información y Comunicación</b>
7.1 Uso de softwares
7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas
7.3 Usos BIM
<b>8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia</b>
8.1 Producción
8.2 Uso energético
8.3 Desechos y 4R
8.4 Calidad
8.5 Plazos
8.6 Personal
8.7 Accidentes laborales
8.8 Costos

- NI menor al promedio del *cluster* con DE baja
- NI menor al promedio del *cluster* con DE alta
- NI mayor al promedio del *cluster* con DE alta
- NI mayor al promedio del *cluster* con DE baja

**Figura 29. C1 - Estado de las subáreas**

carpinteros, jornaleros de terminaciones, operadores de máquinas y grúas y conductores de camión, entre otros.

**Subárea 1.3 Proceso de planificación de proyectos:** los procesos de planificación están definidos realizando Design Freeze y generando documentación formal para la aprobación del diseño. Utilizan, en promedio, 9 herramientas y métodos para planificar y controlar procesos, por ejemplo, Cellular Manufacturing, Mantenimiento Total Productivo, One Piece Flow, 6 Sigma, 3P, entre otros.

**Subárea 1.4 Uso de normativas de control de calidad:** cumplen con la normativa de control de calidad de la madera al utilizar madera preservada, dimensionada y con un grado estructural y de humedad determinados bajo normativa. Realizan control de calidad interno y externo con una tercera parte (persona y/o entidad). Utilizan el MITO y en algunos casos aplican normativas ISO como la 9000, 9001, 9004 o la 19011.

**Subárea 1.5 Uso de normativas de construcción:** cumplen con todas las normativas mínimas para ejecutar un proyecto público como, por ejemplo, NCh1198, OGUC, RIDAA, NChElec. 4/2003, entre otras.

## Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados

**Subárea 2.1 Definición del sistema constructivo:** utilizan como sistema constructivo elementos tridimensionales de entramado ligero en madera. Presentan un set de soluciones constructivas y piezas estandarizadas desarrolladas por las mismas empresas.

**Subárea 2.2 Documentación de los sistemas y el diseño:** documentan o registran los cambios en los diseños del sistema constructivo a través de softwares integrados que notifican de las modificaciones a los distintos equipos de la empresa.

**Subárea 2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción:** elaboran y entregan, en promedio, 10 de 11 instructivos o consideraciones para etapas post fábrica, por ejemplo, documentos de acopio, izaje, montaje, reparación, manipulación, conexión, tolerancias, etc.

**Subárea 2.4 Ensayo o acreditación de la unidad prefabricada:** los elementos prefabricados provienen del listado oficial o han sido sometidos a los ensayos de resistencia al fuego y de comportamiento térmico, acústico y estructural.

**Subárea 2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte:** consideran métricas básicas en el diseño para la etapa de transporte, por ejemplo, medidas del camión, particularidades del terreno, manual de carretera y la maniobrabilidad del elemento prefabricado (para carga y descarga).

## Área 3. Construcción Off-site

**Subárea 3.1 Definición o alcance del producto final:** ofrecen como producto final una vivienda prefabricada, montada y totalmente finalizada, o llamada comúnmente, llave en mano.

**Subárea 3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión:** la clasificación

de elementos prefabricados según dimensión (INN, 2023) es tridimensional, comúnmente llamados módulos.

**Subárea 3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación:** la clasificación de elementos prefabricados según nivel de terminación o complejidad (INN, 2023) es terminado, incluyendo obra gruesa, instalaciones y terminaciones.

**Subárea 3.4 Uso de componentes estandarización:** utilizan, en promedio, 5 de 6 componentes estandarizados e instalados en fábrica, por ejemplo, ventanas, puertas, muebles de baño y cocina, artefactos de baño y escaleras.

**Subárea 3.5 Secuencia de fabricación:** presentan una secuencia de fabricación, en promedio, mecanizada o automatizada, con procesos óptimos y estables.

**Subárea 3.6 Nivel de infraestructura:** poseen una fábrica cerrada de una superficie mayor a 2.500 m<sup>2</sup> junto con zonas de acopio de materiales y almacenamiento de producción cerradas mayores a 200 m<sup>2</sup> cada una. Presentan zonas de administración acondicionadas de al menos 100 m<sup>2</sup> y una zona de *picking* al aire libre mayor a 500 m<sup>2</sup>.

**Subárea 3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica:** poseen, en promedio, 8 maquinarias y/o herramientas como, por ejemplo, ingletadores, pistolas neumáticas, puentes grúa, sierras circulares y en algunos casos cortadoras y multifuncionales CNC, con el personal capacitado, en promedio, más de 30 horas.

## Área 4. Relaciones entre Participantes

**Subárea 4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio:** ofrecen como producto final servicios en las etapas de diseño, prefabricación, transporte, montaje y construcción.

**Subárea 4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto:** el tipo de relación contractual con otras entidades es en trabajo conjunto con una duración de 3,1 a 10 años y con más de 30 proyectos desarrollados.

**Subárea 4.3 Integración entre etapas del proyecto:** el nivel de integración de los equipos entre las distintas etapas de los proyectos, específicamente para 9 de 10 instancias de integración, consiste en promedio diseñar, planificar y alinear criterios en conjunto previo a realizar cada etapa del proyecto. En algunos casos hay equipos multidisciplinarios a lo largo del proyecto.

**Subárea 4.4 Integración en tecnología e información:** utilizan un modelo o plantilla de planimetrías persistente para los distintos proyectos junto con un sistema de unificación de proyectos de especialidades para revisión y actualización de cambios no requiriendo un cambio en el formato de los archivos para traspasar información entre las distintas especialidades. Existe un sistema de versiones del proyecto según avance y un historial de información que permite ir a versiones anteriores.

**Subárea 4.5 Integración de la información según etapas del proyecto:** el acceso a la información por parte de las distintas etapas y por ende

distintos equipos del proyecto es, en promedio, de 3 de las 5 etapas del proyecto.

**Subárea 4.6 Grado de Madurez BIM:** el uso y grado de Madurez de BIM es en promedio 2 o 3.

## Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción

### Subárea 5.1 Cadena de suministros para producción:

las relaciones con los proveedores se basan en acuerdos en los que se generan compras para varios proyectos o cooperaciones directas en las que los proveedores están integrados en los procesos operativos de la empresa.

**Subárea 5.2 Trazabilidad y almacenaje:** realizan trazabilidad de la materia prima en planta y de los elementos prefabricados con planillas sistematizadas o softwares integrados de forma continua o diaria, transportándolos con puente grúa o similar y almacenándolos en lugares cerrados. Poseen un sistema de comunicación formal dentro de la fábrica, por ejemplo, chat formal, walkie-talkie o un sistema TIC.

**Subárea 5.3 Logística de montaje y construcción:** en general, no requieren almacenamiento *on-site* de elementos prefabricados. Adjuntan las fijaciones para el montaje y en caso de almacenar materiales *on-site*, lo realizan, como mínimo, en lugares cubiertos que incluyen un radier.

**Subárea 5.4 Logística de transporte:** la planificación del transporte está bien definida, cumple con un orden estratégico y está alineada con la producción y con el cliente, la ruta, fecha y tipo de camión. Generan una hoja de chequeo

(*check list*) de lo producido en fábrica previo al transporte junto con un orden de carga y un *check list* de recepción de las unidades transportadas.

**Subárea 5.5 Recepciones:** realizan 5 de 5 recepciones. Específicamente, realizan una recepción o fiscalización de lo producido en planta, post etapa de transporte, montaje, construcción y una recepción final de la Dirección de Obras Municipales (DOM).

**Subárea 5.6 Maquinarias y equipamiento para post fábrica:** poseen, en promedio, 4 maquinarias para etapas posteriores a la prefabricación como camiones, camiones pluma, grúas horquilla, puentes grúa, traspaletas, entre otros, con los operadores capacitados, en promedio, más de 30 horas.

## Área 6. Enfoque en el Consumidor

**Subárea 6.1 Objetivos y estudios de mercado:** definen claramente su mercado inmobiliario objetivo, el destino de las viviendas producidas y su capacidad de trabajar a nivel nacional e internacional. Identifican sus tipos de clientes o mandantes. En algunos casos, de forma anual o cada 3 años, se realizan estudios de mercado del tipo investigaciones del área para definir tipologías de viviendas y sus valores.

**Subárea 6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU:** realizan desarrollo de proyectos y tienen una oferta de tipologías de viviendas. El precio de los servicios o productos ofrecidos corresponde entre el 50% y el 100% del precio final de estos. Ofrecen servicios en las etapas de diseño, prefabricación, transporte, montaje y construcción. Recogen solicitudes específicas de los clientes y sus diseños de

viviendas consideran principios de vivienda progresiva. Han trabajado, en promedio, con el MINVU bajo programas como el DS-49, DS-19, DS-10 y/o DS-01.

## Área 7. Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)

**Subárea 7.1 Uso de softwares:** disponen, en promedio, de 4 de 4 softwares. Específicamente, de diseño, producción, gestión y control de calidad.

**Subárea 7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas:** el nivel de digitalización es bajo, presentando interoperabilidad entre softwares de algunas etapas del proyecto como diseño y prefabricación.

**Subárea 7.3 Usos BIM:** aplican, en promedio, 12 de 25 usos BIM, por ejemplo, coordinación 3D, diseño de especialidades, fabricación digital, estimaciones de cantidades y costos, modelación As-Built, análisis de ingeniería, lumínico y/o energético, planificación de obra y de fases constructivas, entre otros.

## Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia

**Subárea 8.1 Producción:** registran datos de producción, específicamente de la cantidad de elementos prefabricados, de forma continua o diaria con softwares integrados y utilizan la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.2 Uso energético:** realizan, en promedio, registro del consumo energético de forma mensual con planillas sistematizadas o softwares integrados y no utilizan la información recopilada sobre el consumo energético para mejorar los procesos.

**Subárea 8.3 Desechos y 4R:** realizan registro de los desechos producidos en fábrica de forma mensual con softwares integrados y utilizan la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.4 Calidad:** registran, en promedio, errores o problemas de calidad de los elementos prefabricados de forma semanal con planillas sistematizadas o softwares integrados utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.5 Plazos:** registran los plazos de producción de los elementos prefabricados de forma semanal o diaria con planillas sistematizadas o softwares integrados, utilizando la información recopilada para mejorar los procesos. Por semana, producen entre 2 y 30 unidades prefabricadas de 55 m<sup>2</sup> totalmente finalizadas.

**Subárea 8.6 Personal:** registran el personal en fábrica de forma continua o diaria con planillas sistematizadas o softwares integrados utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

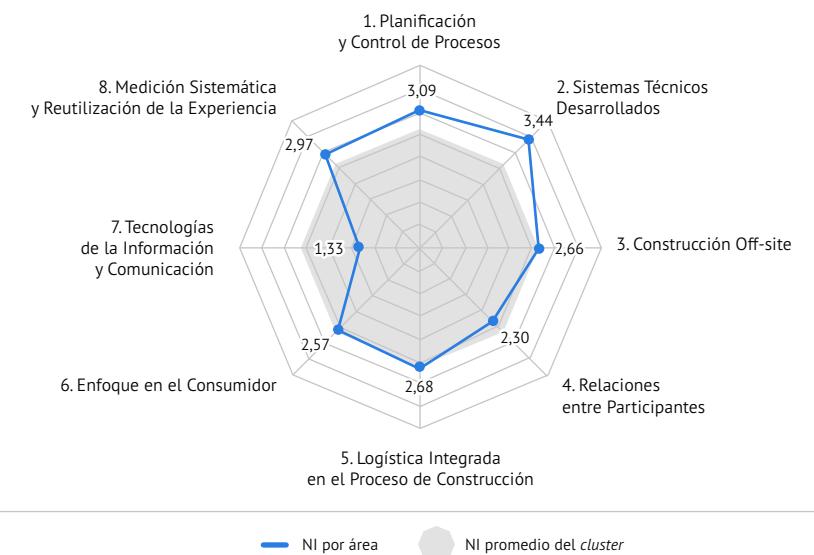
**Subárea 8.7 Accidentes laborales:** registran, en promedio, los accidentes laborales de las distintas etapas del proyecto de forma mensual con planillas sistematizadas o softwares integrados utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.8 Costos:** registran los costos de forma continua o diaria con softwares integrados utilizando la información registrada para mejorar los procesos.

## | Cluster 2 – NI medio

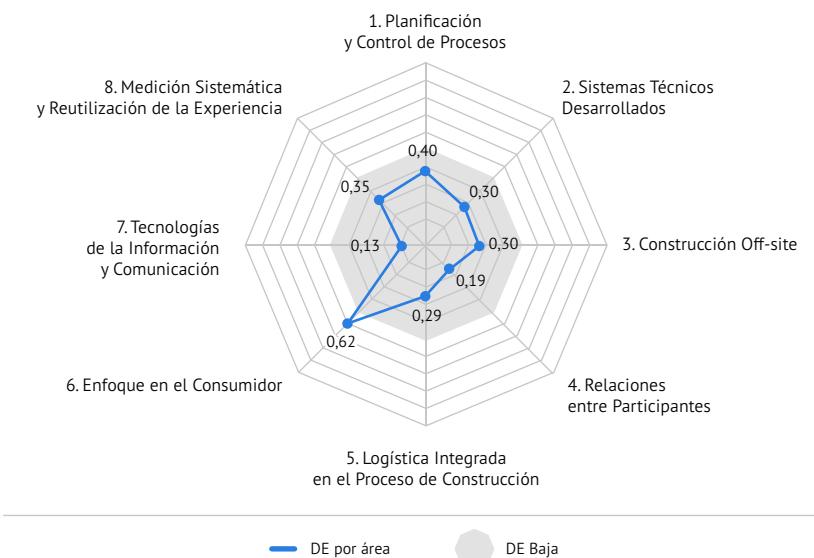
El segundo *cluster* (C2) está compuesto por cinco empresas que presentan un NI medio. A continuación, se presenta una descripción cuantitativa y cualitativa de las características comunes que definen al C2, por cada una de las áreas y subáreas de industrialización.

El C2 presenta un NI promedio de 2,63. Las áreas con un NI menor que el NI promedio del *cluster* son la de Relaciones entre Participantes, Enfoque en el Consumidor y Tecnologías de la Información y Comunicación (Figura 30).



**Figura 30. C2 - NI por área**

La DE del NI por área (Figura 30) en general es baja (menor o igual a 0,50). El área con mayor DE es la de Enfoque en el Consumidor seguida por la de Planificación y Control de Procesos.



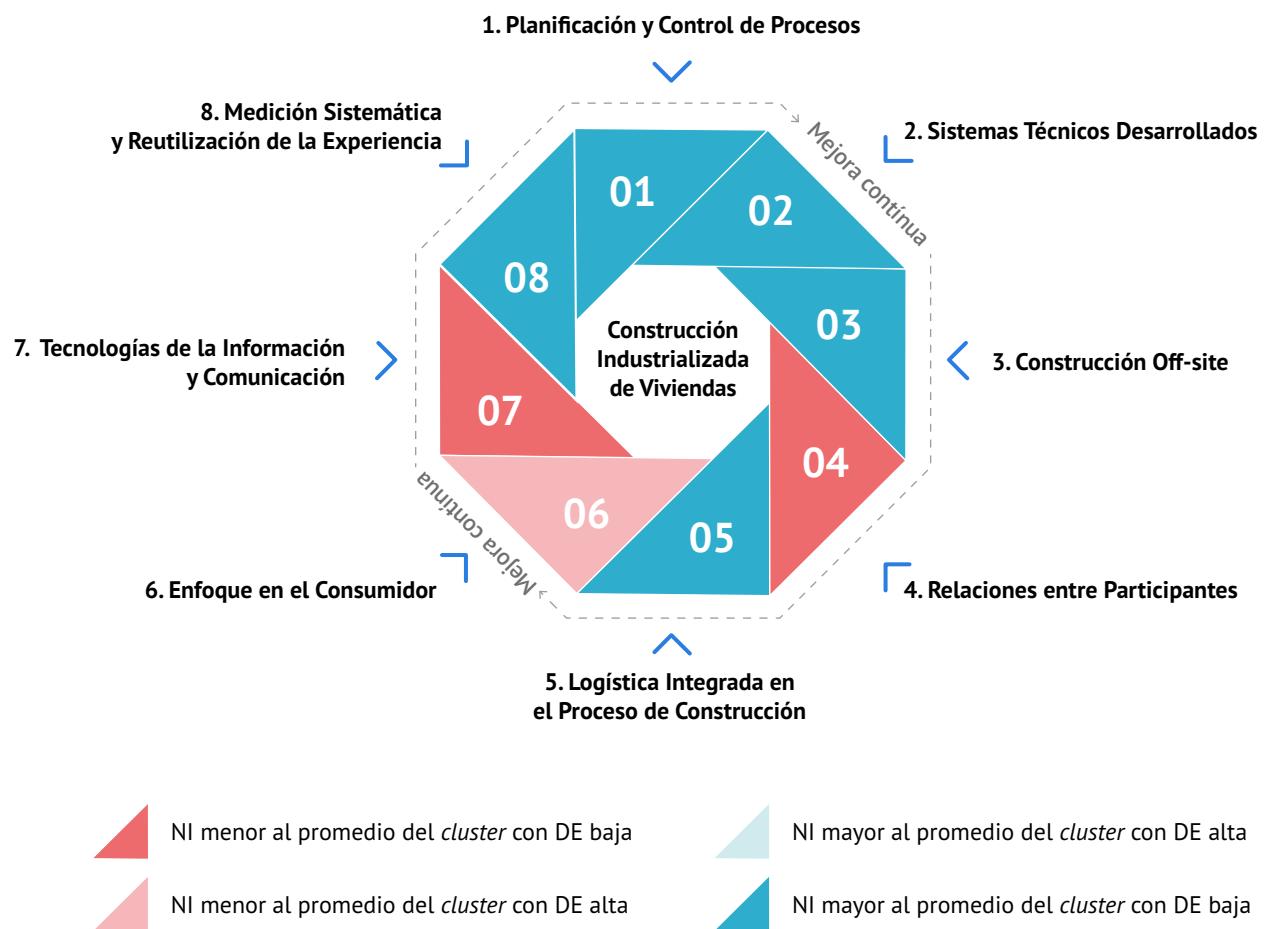
**Figura 31. C2 - DE del NI por área**

Las áreas con un NI menor al NI promedio del *cluster* (2,63) se consideran como las principales áreas a potenciar. Y las áreas con una DE baja (menor o igual a 0,50) se considera que representan a las empresas del grupo por presentar una menor variabilidad (Minitab, s.f.).

Al cruzar los resultados del NI y su DE (Figura 32), el área resaltada en rojo oscuro cumple con los dos criterios mencionados. Las áreas resaltadas en rojo claro presentan un NI menor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística debido a poseer

una DE alta. El área resaltada en azul claro presenta un NI mayor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística. Finalmente, las áreas resaltadas en azul oscuro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* junto con una DE baja.

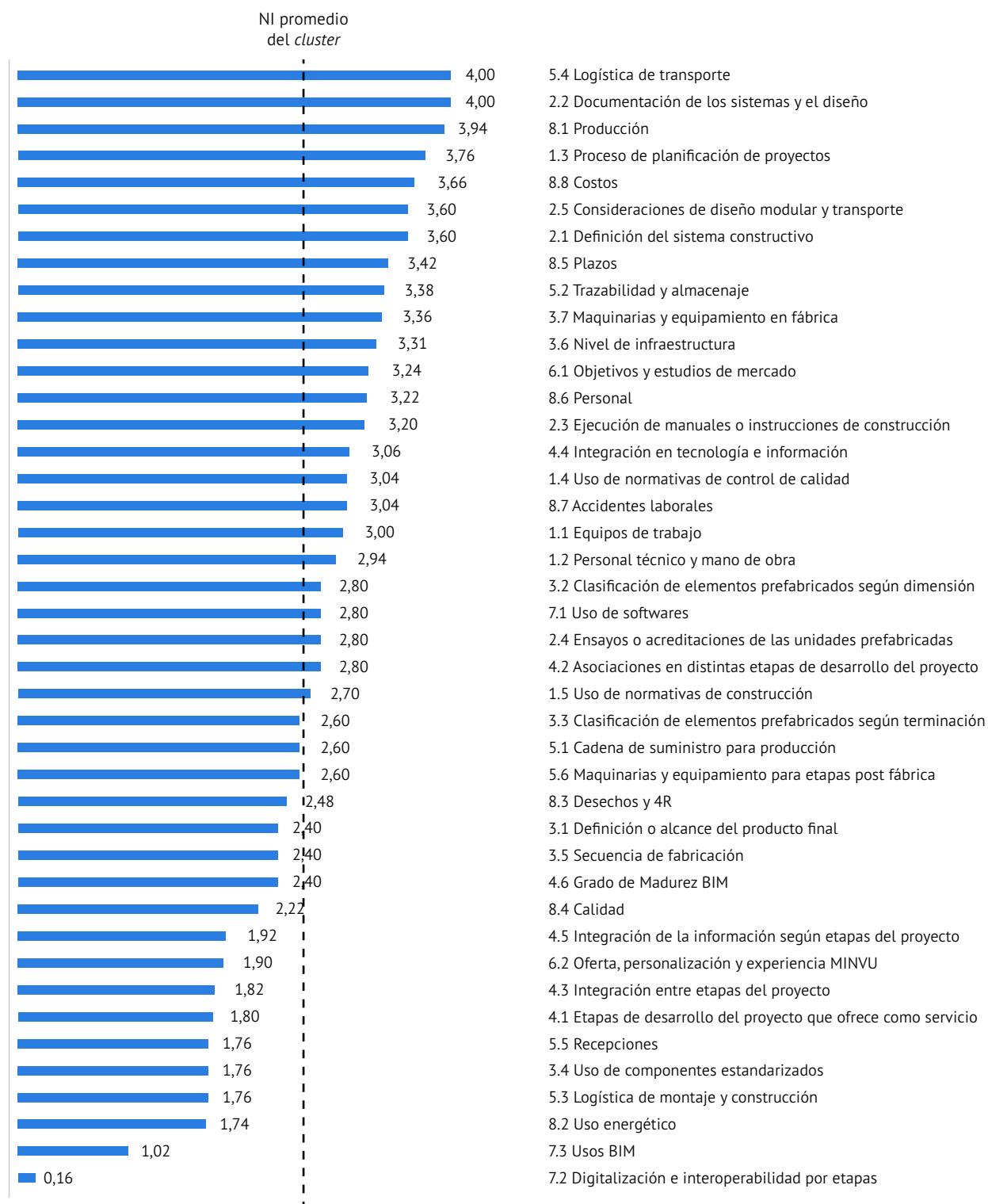
De acuerdo con esta clasificación, las áreas en rojo oscuro son las primeras que se deberían potenciar en el *cluster*, seguidas por las destacadas en rojo claro, luego las de azul claro y, por último, las presentadas en azul oscuro.



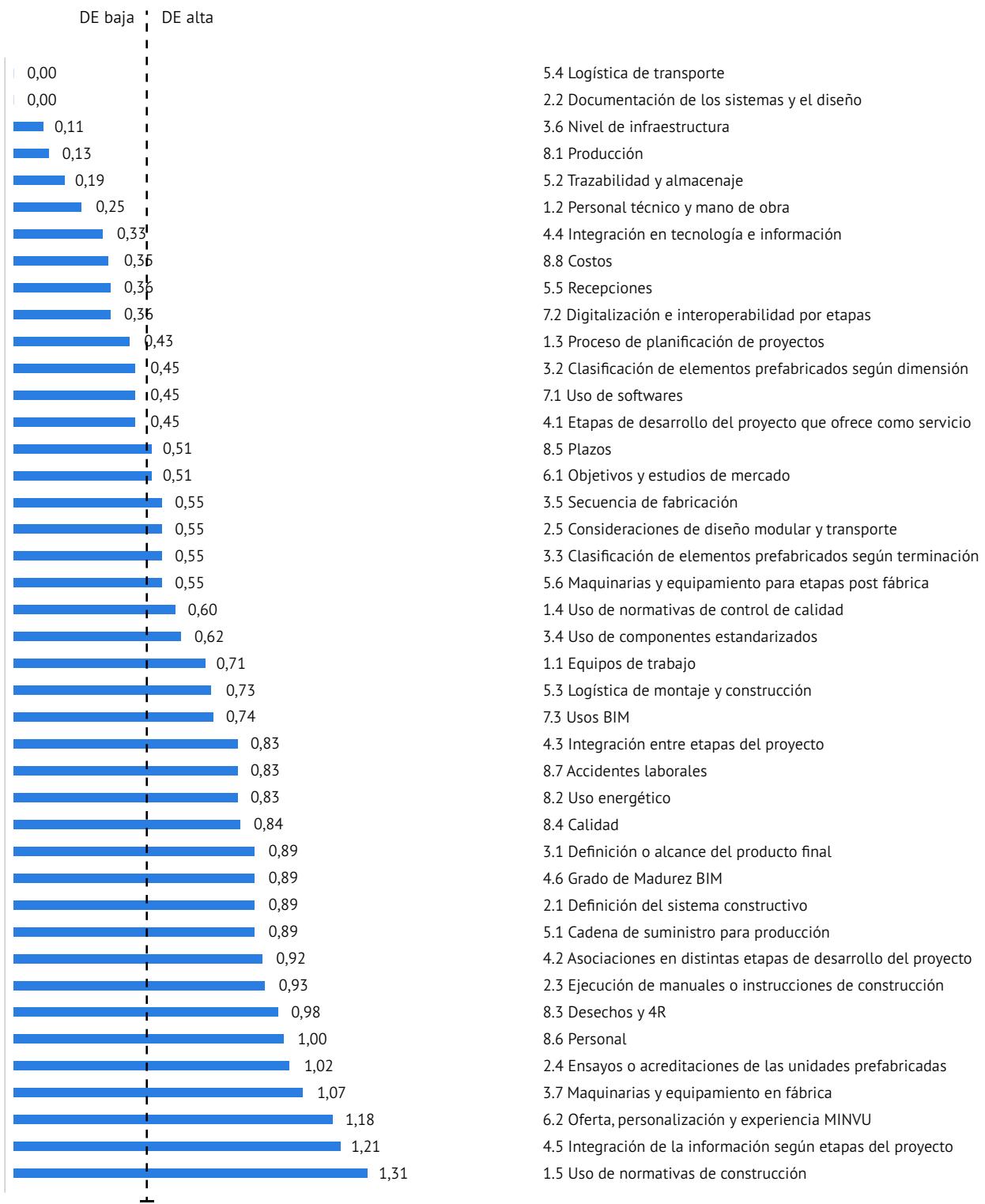
**Figura 32. C2 – Estado de las áreas**

Para profundizar y obtener subáreas específicas a potenciar, se aplica el mismo criterio del NI y DE previamente explicado. Por lo tanto, las subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* (2,63), se

podrían considerar como las principales subáreas en las cuales aumentar el NI y las con una DE baja, que representan a las empresas del grupo por tener una menor variabilidad (Figuras 33 y 34).



**Figura 33. C2 - NI por subárea ordenados de mayor a menor**



**Figura 34. C2 - DE del NI por subárea ordenadas de menor a mayor**

Al cruzar los resultados del NI y su DE (Figura 35), las subáreas resaltadas en rojo oscuro cumplen con los dos criterios mencionados. Las subáreas resaltadas en rojo claro presentan un NI menor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística debido a poseer una DE alta. Las subáreas resaltadas en azul claro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística. Finalmente, las subáreas resaltadas en azul oscuro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* junto con una DE baja.

De acuerdo con esta clasificación, las subáreas en rojo oscuro son las primeras que se deberían potenciar en el *cluster*, seguidas por las destacadas en rojo claro, luego las de azul claro y, por último, las presentadas en azul oscuro.

A continuación, se presenta una descripción cualitativa de las características comunes que definen al C2, por cada una de las áreas de industrialización.

## **Área 1. Planificación y Control de Procesos**

**Subárea 1.1 Equipos de trabajo:** poseen una clara y estructurada organización de la empresa en áreas específicas como dirección, administración, contabilidad, finanzas, gestión, producción, ingeniería y diseño y recursos humanos.

**Subárea 1.2 Personal técnico y mano de obra:** cuentan con personal capacitado desde un nivel técnico a uno profesional para ciertas etapas de un proyecto, por ejemplo, ingenieros comerciales y estructurales, constructores, arquitectos, prevencionistas de riesgo,

<b>1. Planificación y Control de Procesos</b>
1.1 Equipos de trabajo
1.2 Personal técnico y mano de obra
1.3 Proceso de planificación de proyectos
1.4 Uso de normativas de control de calidad
1.5 Uso de normativas de construcción
<b>2. Sistemas Técnicos Desarrollados</b>
2.1 Definición del sistema constructivo
2.2 Documentación de los sistemas y el diseño
2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción
2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas
2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte
<b>3. Construcción Off-site</b>
3.1 Definición o alcance del producto final
3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión
3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación
3.4 Uso de componentes estandarizados
3.5 Secuencia de fabricación
3.6 Nivel de infraestructura
3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica
<b>4. Relaciones entre Participantes</b>
4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio
4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto
4.3 Integración entre etapas del proyecto
4.4 Integración en tecnología e información
4.5 Integración de la información según etapas del proyecto
4.6 Grado de Madurez BIM
<b>5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción</b>
5.1 Cadena de suministro para producción
5.2 Trazabilidad y almacenaje
5.3 Logística de montaje y construcción
5.4 Logística de transporte
5.5 Recepciones
5.6 Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica
<b>6. Enfoque en el Consumidor</b>
6.1 Objetivos y estudios de mercado
6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU
<b>7. Tecnologías de la Información y Comunicación</b>
7.1 Uso de softwares
7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas
7.3 Usos BIM
<b>8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia</b>
8.1 Producción
8.2 Uso energético
8.3 Desechos y 4R
8.4 Calidad
8.5 Plazos
8.6 Personal
8.7 Accidentes laborales
8.8 Costos

- NI menor al promedio del *cluster* con DE baja
- NI menor al promedio del *cluster* con DE alta
- NI mayor al promedio del *cluster* con DE alta
- NI mayor al promedio del *cluster* con DE baja

**Figura 35. C2 - Estado de las subáreas**

carpinteros, jornaleros de terminaciones, operadores de máquinas, entre otros.

**Subárea 1.3 Proceso de planificación de proyectos:** los procesos de planificación están definidos realizando Design Freeze y generando documentación formal para la aprobación del diseño. Utilizan, en promedio, 7 herramientas y métodos para planificar y controlar procesos, por ejemplo, Cellular Manufacturing, Mantenimiento Total Productivo, One Piece Flow, entre otros.

**Subárea 1.4 Uso de normativas de control de calidad:** cumplen con la normativa de control de calidad de la madera al utilizar madera preservada, dimensionada y con un grado estructural y de humedad determinados bajo normativa. Realizan control de calidad interno y externo con una tercera parte (persona y/o entidad).

**Subárea 1.5 Uso de normativas de construcción:** cumplen, en promedio, con todas las normativas mínimas para ejecutar un proyecto público como, por ejemplo, NCh1198, OGUC, RIDAA, NChElec. 4/2003, entre otras.

## Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados

**Subárea 2.1 Definición del sistema constructivo:** utilizan como sistema constructivo elementos bidimensionales de entramado ligero en madera, de madera masiva o paneles SIP. Presentan un set de soluciones constructivas y piezas estandarizadas desarrolladas por las mismas empresas.

**Subárea 2.2 Documentación de los sistemas y el diseño:** documentan o registran los cambios en los diseños del sistema constructivo a

través de softwares integrados que notifican de las modificaciones a los distintos equipos de la empresa.

**Subárea 2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción:** elaboran y entregan, en promedio, 9 de 11 instructivos o consideraciones para etapas post fábrica como, por ejemplo, documentos de montaje, reparación, manipulación, conexión, tolerancias, etc.

**Subárea 2.4 Ensayo o acreditación de la unidad prefabricada:** los elementos prefabricados, en promedio, provienen del listado oficial o han sido sometidos a todos o casi los ensayos de resistencia al fuego y de comportamiento térmico, acústico y estructural.

**Subárea 2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte:** consideran métricas básicas en el diseño para la etapa de transporte, por ejemplo, medidas del camión, particularidades del terreno, manual de carretera y la maniobrabilidad del elemento prefabricado (para carga y descarga).

## Área 3. Construcción Off-site

**Subárea 3.1 Definición o alcance del producto final:** ofrecen como producto final una vivienda prefabricada no montada o en algunos casos montada.

**Subárea 3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión:** la clasificación de elementos prefabricados según dimensión (INN, 2023) es bidimensional, comúnmente llamados paneles.

**Subárea 3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación:** la clasificación de elementos prefabricados según nivel de

terminación o complejidad (INN, 2023) es, en promedio, semiterminado, incluyendo obra gruesa e instalaciones o terminaciones.

**Subárea 3.4 Uso de componentes estandarización:** utilizan, en promedio, 2 o 3 de 6 componentes estandarizados e instalados en fábrica, por ejemplo, ventanas, puertas y escaleras en algunos casos.

**Subárea 3.5 Secuencia de fabricación:** presentan una secuencia de fabricación, en promedio, mecanizada o automatizada, con procesos óptimos y estables.

**Subárea 3.6 Nivel de infraestructura:** poseen una fábrica cerrada de una superficie, en promedio, mayor a 2.000 m<sup>2</sup> junto con zonas de acopio de materiales y almacenamiento de producción, en promedio, cubiertas con radier mayores a 200 m<sup>2</sup> cada una. Presentan zonas de administración acondicionadas de al menos 100 m<sup>2</sup> y una zona de *picking* al aire libre mayor a 500 m<sup>2</sup>.

**Subárea 3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica:** poseen, en promedio, 9 maquinarias y/o herramientas como, por ejemplo, ingletadores, pistolas neumáticas, puentes grúa, sierras circulares y en algunos casos cortadoras y/o multifuncionales CNC, con el personal capacitado, en promedio, entre 10 y 30 horas.

## Área 4. Relaciones entre Participantes

**Subárea 4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio:** ofrecen como producto final 3 de las 5 las etapas de un proyecto, por ejemplo, diseño, prefabricación, y transporte o diseño, prefabricación y montaje, entre otras.

**Subárea 4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto:** el tipo de relación contractual con otras entidades es, en promedio, de trabajo conjunto con una duración de 3,1 a 10 años y con más de 30 proyectos desarrollados.

**Subárea 4.3 Integración entre etapas del proyecto:** el nivel de integración de los equipos entre las distintas etapas de los proyectos, específicamente, para 6 de 10 instancias de integración, consiste, en promedio, en diseñar, planificar y alinear criterios en conjunto previo a realizar algunas etapas del proyecto. En algunos casos hay equipos multidisciplinarios a lo largo del proyecto.

**Subárea 4.4 Integración en tecnología e información:** utilizan un modelo o plantilla de planimetrías persistente para los distintos proyectos junto con un sistema de unificación de proyectos de especialidades para revisión. En algunos casos utilizan un sistema de actualización de cambios en las especialidades que, en promedio, requiere un cambio en el formato de los archivos para traspasar información entre las distintas especialidades. Existe un sistema de versiones del proyecto según avance y un historial de información que permite ir a versiones anteriores.

**Subárea 4.5 Integración de la información según etapas del proyecto:** El acceso a la información por parte de las distintas etapas y por ende distintos equipos del proyecto es, en promedio, de 2 de las 5 etapas del proyecto.

**Subárea 4.6 Grado de Madurez BIM:** El uso y grado de Madurez de BIM es 2 como mínimo.

## **Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción**

**Subárea 5.1 Cadena de suministros para producción:** las relaciones con los proveedores se basan en acuerdos en los que se generan compras para varios proyectos.

**Subárea 5.2 Trazabilidad y almacenaje:** realizan trazabilidad de la materia prima en planta y de los elementos prefabricados con planillas sistematizadas o softwares integrados de forma continua o diaria, transportándolos con grúa horquilla o similar y almacenándolos, en promedio, en lugares cubiertos que incluyen radier. Poseen un sistema de comunicación formal dentro de la fábrica, por ejemplo, chat formal, walkie-talkie o un sistema TIC.

**Subárea 5.3 Logística de montaje y construcción:** requieren almacenamiento *on-site* de elementos prefabricados. Adjuntan las fijaciones para el montaje y en caso de almacenar materiales *on-site*, en promedio, lo realizan al aire libre.

**Subárea 5.4 Logística de transporte:** la planificación del transporte está bien definida, cumple con un orden estratégico y está alineada con la producción y con el cliente, la ruta, fecha y tipo de camión. Generan una hoja de chequeo (*check list*) de lo producido en fábrica previo al transporte junto con un orden de carga y un *check list* de recepción de las unidades transportadas.

**Subárea 5.5 Recepciones:** realizan, 2 de 5 recepciones para etapas posteriores a la prefabricación. Específicamente, realizan

recepción o fiscalización de lo producido en planta y post etapa de transporte.

**Subárea 5.6 Maquinarias y equipamiento para post fábrica:** poseen, en promedio, 3 maquinarias para etapas posteriores a la prefabricación como, por ejemplo, camiones, camiones pluma, grúas horquilla, traspaletas, entre otros, con los operadores capacitados, en promedio, más de 30 horas.

## **Área 6. Enfoque en el Consumidor**

**Subárea 6.1 Objetivos y estudios de mercado:** definen claramente su mercado inmobiliario objetivo, el destino de las viviendas producidas y su capacidad de trabajar a nivel nacional e internacional. Identifican sus tipos de clientes o mandantes. De forma anual o cada 3 años, realizan estudios de mercado del tipo investigaciones del área o del consumidor para definir tipologías de viviendas y sus valores.

**Subárea 6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU:** algunas empresas realizan desarrollo de proyectos y tienen una oferta de tipologías de viviendas mientras que otras no. El precio de los servicios o productos ofrecidos corresponde, en promedio, entre un 25 y un 50% del precio final de estos. Ofrecen servicios en las etapas de diseño, prefabricación y transporte y en algunos casos también en las etapas de montaje y construcción. Recogen solicitudes específicas de los clientes y sus diseños de viviendas consideran principios de vivienda

progresiva. Algunas empresas han trabajado, con el MINVU bajo programas como el DS-49, DS-19, DS-10 y/o DS-01.

## Área 7. Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)

**Subárea 7.1 Uso de softwares:** disponen, en promedio, de 3 de 4 softwares. Específicamente, de diseño, producción y gestión.

**Subárea 7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas:** el nivel de digitalización, en promedio, es nulo, no presentando interoperabilidad entre los softwares de las etapas del proyecto.

**Subárea 7.3 Usos BIM:** aplican, en promedio, 6 de 25 usos BIM, por ejemplo, coordinación 3D, diseño de especialidades, fabricación digital, estimaciones de cantidades y costos, planificación de obra y de fases constructivas.

## Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia

**Subárea 8.1 Producción:** registran datos de producción, específicamente de la cantidad de elementos prefabricados, de forma continua o diaria con softwares integrados y utilizan la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.2 Uso energético:** realizan, en promedio, registro del consumo energético de forma mensual con planillas sistematizadas y no utilizan la información recopilada sobre el consumo energético para mejorar los procesos.

**Subárea 8.3 Desechos y 4R:** realizan, en promedio, registro de los desechos producidos en fábrica de forma mensual con planillas sistematizadas y utilizan la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.4 Calidad:** registran, en promedio, errores o problemas de calidad de los elementos prefabricados de forma semanal con planillas sistematizadas o softwares integrados utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.5 Plazos:** registran los plazos de producción de los elementos prefabricados de forma semanal o diaria con planillas sistematizadas o softwares integrados, utilizando la información recopilada para mejorar los procesos. Por semana, producen entre 15 y 30 unidades prefabricadas de 55 m<sup>2</sup> semiterminadas.

**Subárea 8.6 Personal:** registran, en promedio, el personal en fábrica de forma continua o diaria con planillas sistematizadas utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

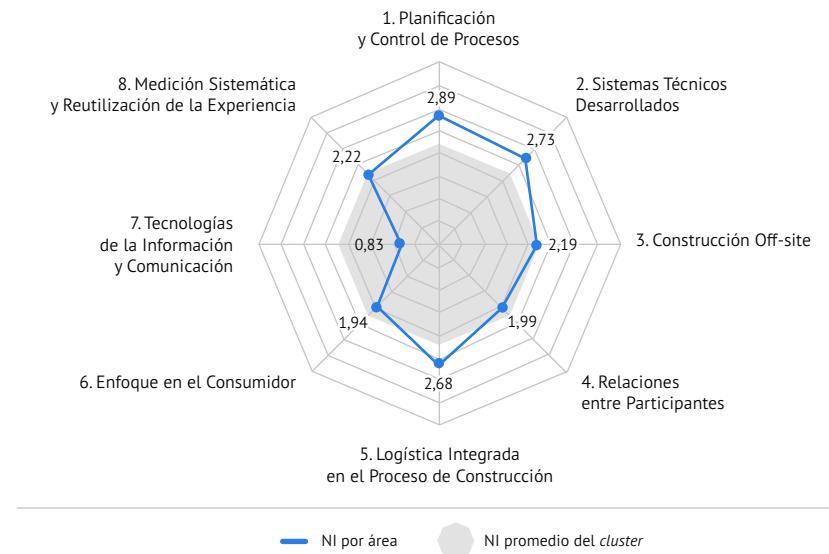
**Subárea 8.7 Accidentes laborales:** registran, en promedio, los accidentes laborales de las distintas etapas del proyecto de forma diaria con planillas sistematizadas utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.8 Costos:** registran los costos de forma diaria o semanal con planillas sistematizadas o softwares integrados utilizando la información registrada para mejorar los procesos.

## | Cluster 3 – NI bajo

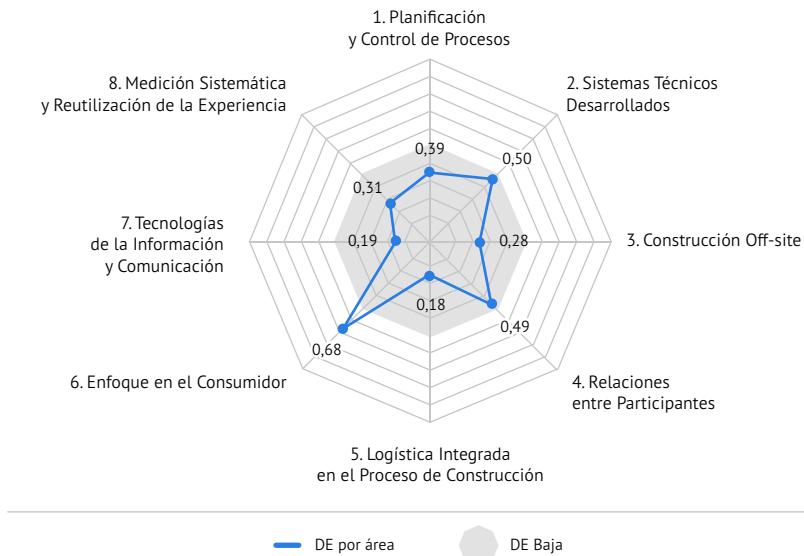
El tercer *cluster* (C3) está compuesto por ocho empresas que presentan un NI bajo. A continuación, se presenta una descripción cuantitativa y cualitativa de las características comunes que definen al C3, por cada una de las áreas y subáreas de industrialización.

El C3 presenta un NI promedio de 2,18. Las áreas con un NI menor que el NI promedio del *cluster* son la de Construcción Off-site, Relaciones entre Participantes, Enfoque en el Consumidor y Tecnologías de la Información y Comunicación (Figura 36).



**Figura 36. C3 - NI por área**

La DE del NI por área (Figura 37) en general es baja (menor o igual a 0,50). El área con mayor DE es la de Enfoque en el Consumidor seguida por la de Sistemas Técnicos Desarrollados y la de Relaciones entre Participantes.



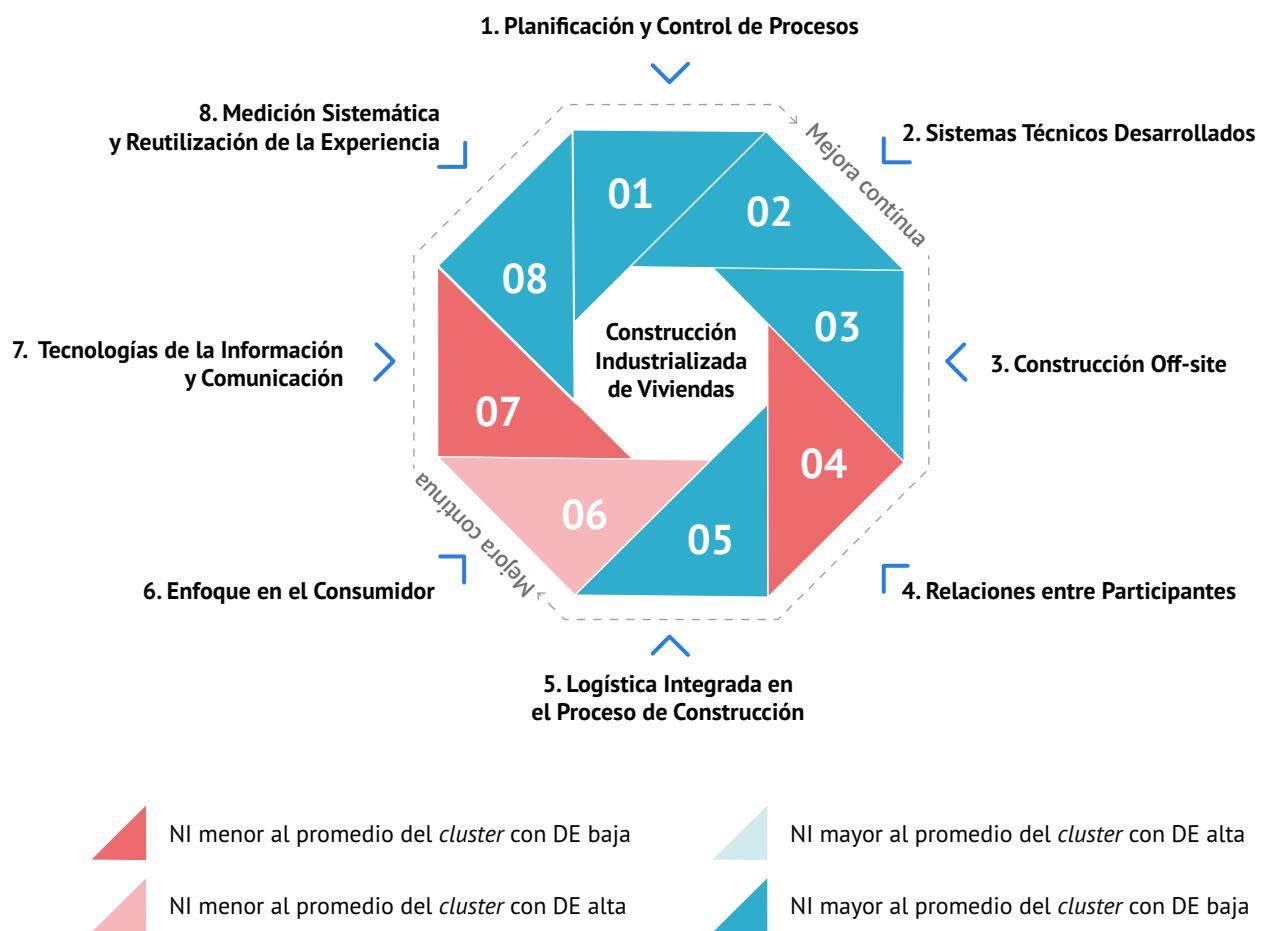
**Figura 37. C3 - DE del NI por área**

Las áreas con un NI menor al NI promedio del *cluster* (2,18) se consideran como las principales áreas a potenciar. Y las áreas con una DE baja (menor o igual a 0,50) se considera que representan a las empresas del grupo por presentar una menor variabilidad (Minitab, s.f.).

Al cruzar los resultados del NI y su DE (Figura 38), el área resaltada en rojo oscuro cumple con los dos criterios mencionados. Las áreas resaltadas en rojo claro presentan un NI menor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística debido a poseer

una DE alta. El área resaltada en azul claro presenta un NI mayor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística. Finalmente, las áreas resaltadas en azul oscuro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* junto con una DE baja.

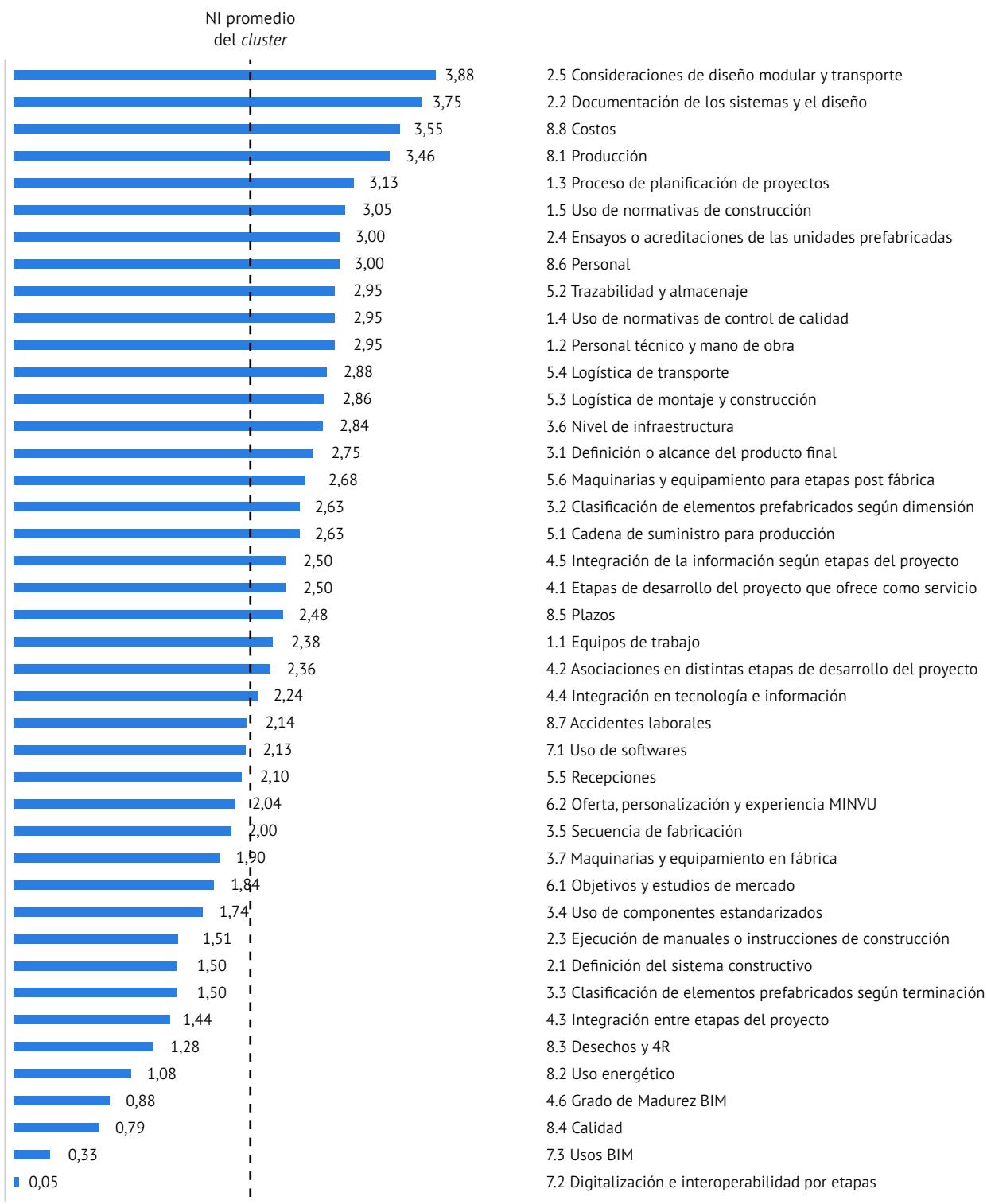
De acuerdo con esta clasificación, las áreas en rojo oscuro son las primeras que se deberían potenciar en el *cluster*, seguidas por las destacadas en rojo claro, luego las de azul claro y, por último, las presentadas en azul oscuro.



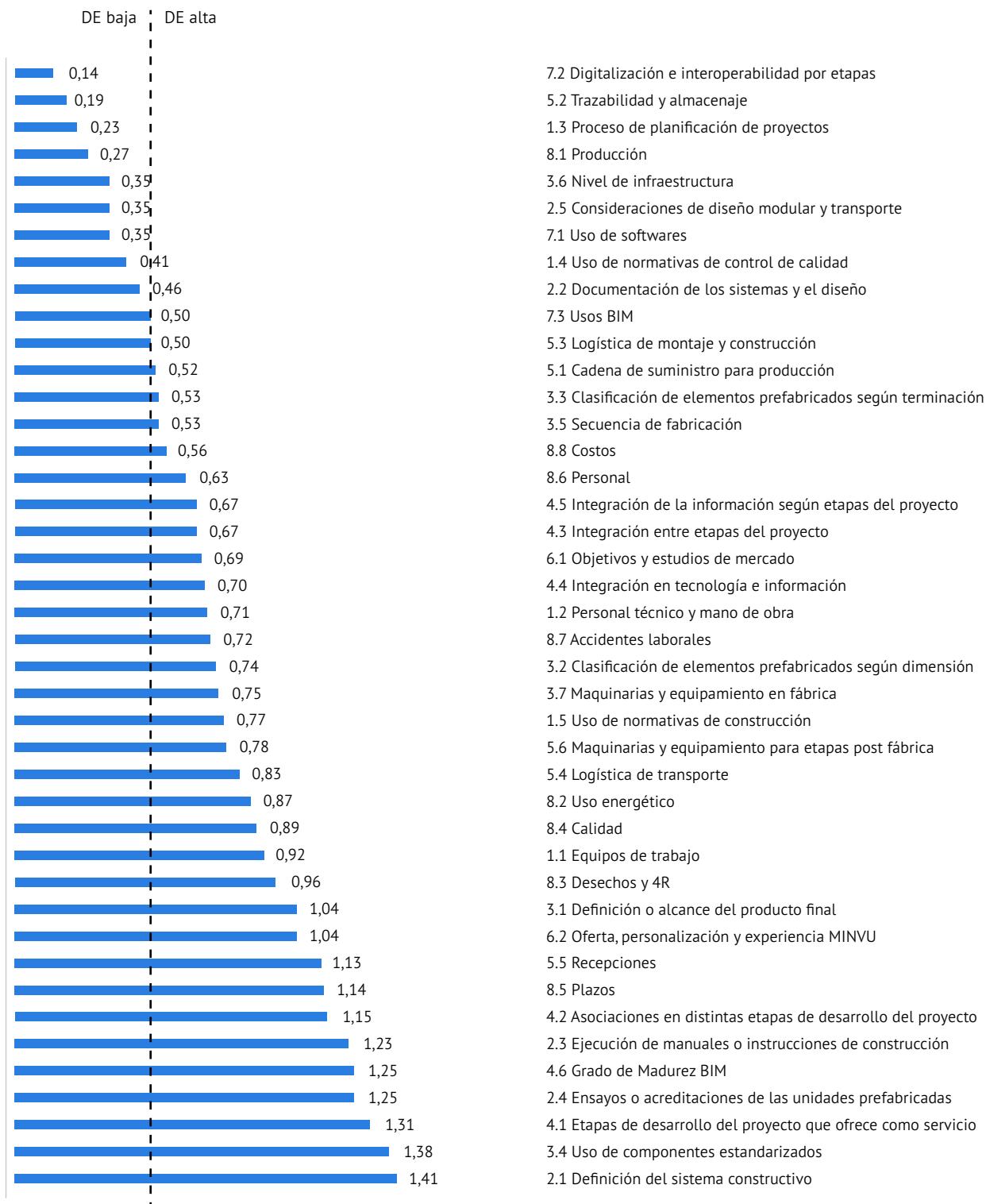
**Figura 38. C3 – Estado de las áreas**

Para profundizar y obtener subáreas específicas a potenciar, se aplica el mismo criterio del NI y DE previamente explicado. Por lo tanto, las subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* (2,18), se

podrían considerar como las principales subáreas en las cuales aumentar el NI y, las con una DE baja, que representan a las empresas del grupo por tener una menor variabilidad (Figuras 39 y 40).



**Figura 39. C3 - NI por subárea ordenados de mayor a menor**



**Figura 40. C3 - DE del NI por subárea ordenadas de menor a mayor**

Al cruzar los resultados del NI y su DE (Figura 41), las subáreas resaltadas en rojo oscuro cumplen con los dos criterios mencionados. Las subáreas resaltadas en rojo claro presentan un NI menor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística debido a poseer una DE alta. Las subáreas resaltadas en azul claro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística. Finalmente, las subáreas resaltadas en azul oscuro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* junto con una DE baja.

De acuerdo con esta clasificación, las subáreas en rojo oscuro son las primeras que se deberían potenciar en el *cluster*, seguidas por las destacadas en rojo claro, luego las de azul claro y, por último, las presentadas en azul oscuro.

A continuación, se presenta una descripción cualitativa de las características comunes que definen al C3, por cada una de las áreas de industrialización.

## Área 1. Planificación y Control de Procesos

**Subárea 1.1 Equipos de trabajo:** poseen, en promedio, una estructurada organización de la empresa en áreas específicas como dirección, comercial, producción e ingeniería y diseño.

**Subárea 1.2 Personal técnico y mano de obra:** cuentan, en promedio, con personal capacitado desde un nivel técnico y algunos desde uno profesional, para algunas etapas de un proyecto, por ejemplo, ingenieros estructurales, arquitectos, carpinteros, operadores de máquinas, entre otros.

**Subárea 1.3 Proceso de planificación de proyectos:** los procesos de planificación están

<b>1. Planificación y Control de Procesos</b>
1.1 Equipos de trabajo
1.2 Personal técnico y mano de obra
1.3 Proceso de planificación de proyectos
1.4 Uso de normativas de control de calidad
1.5 Uso de normativas de construcción
<b>2. Sistemas Técnicos Desarrollados</b>
2.1 Definición del sistema constructivo
2.2 Documentación de los sistemas y el diseño
2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción
2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas
2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte
<b>3. Construcción Off-site</b>
3.1 Definición o alcance del producto final
3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión
3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación
3.4 Uso de componentes estandarizados
3.5 Secuencia de fabricación
3.6 Nivel de infraestructura
3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica
<b>4. Relaciones entre Participantes</b>
4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio
4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto
4.3 Integración entre etapas del proyecto
4.4 Integración en tecnología e información
4.5 Integración de la información según etapas del proyecto
4.6 Grado de Madurez BIM
<b>5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción</b>
5.1 Cadena de suministro para producción
5.2 Trazabilidad y almacenaje
5.3 Logística de montaje y construcción
5.4 Logística de transporte
5.5 Recepciones
5.6 Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica
<b>6. Enfoque en el Consumidor</b>
6.1 Objetivos y estudios de mercado
6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU
<b>7. Tecnologías de la Información y Comunicación</b>
7.1 Uso de softwares
7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas
7.3 Usos BIM
<b>8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia</b>
8.1 Producción
8.2 Uso energético
8.3 Desechos y 4R
8.4 Calidad
8.5 Plazos
8.6 Personal
8.7 Accidentes laborales
8.8 Costos

- NI menor al promedio del *cluster* con DE baja
- NI menor al promedio del *cluster* con DE alta
- NI mayor al promedio del *cluster* con DE alta
- NI mayor al promedio del *cluster* con DE baja

**Figura 41. C3 - Estado de las subáreas**

definidos realizando Design Freeze y generando documentación formal para la aprobación del diseño. No utilizan, en promedio, herramientas y métodos para planificar y controlar procesos como, por ejemplo, Cellular Manufacturing, Mantenimiento Total Productivo, entre otros.

**Subárea 1.4 Uso de normativas de control de calidad:** cumplen con toda o casi toda la normativa de control de calidad de la madera al utilizar madera preservada, dimensionada y/o con un grado estructural y de humedad determinados bajo normativa. Realizan control de calidad interno y en algunos casos realizan control de calidad externo con una tercera parte (persona y/o entidad) o aplican el MITO.

**Subárea 1.5 Uso de normativas de construcción:** cumplen, en promedio, con todas las normativas mínimas para ejecutar un proyecto público como, por ejemplo, NCh1198, OGUC, RIDAA, NChElec. 4/2003, entre otras.

## Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados

**Subárea 2.1 Definición del sistema constructivo:** utilizan como sistema constructivo elementos bidimensionales de entramado ligero en madera o de paneles SIP. En algunos casos, presentan un set de soluciones constructivas desarrolladas por las mismas empresas

**Subárea 2.2 Documentación de los sistemas y el diseño:** documentan o registran los cambios en los diseños del sistema constructivo a través de softwares integrados que notifican de las modificaciones a los distintos equipos de la empresa.

**Subárea 2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción:** elaboran y

entregan, en promedio, 4 de 11 instructivos o consideraciones para etapas post fábrica como, por ejemplo, documentos de montaje, conexión, etc.

**Subárea 2.4 Ensayo o acreditación de la unidad prefabricada:** los elementos prefabricados, en promedio, provienen del listado oficial o han sido sometidos a todos o casi los ensayos de resistencia al fuego y de comportamiento térmico, acústico y estructural.

**Subárea 2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte:** consideran métricas básicas en el diseño para la etapa de transporte, por ejemplo, medidas del camión, particularidades del terreno, manual de carretera y la maniobrabilidad del elemento prefabricado (para carga y descarga).

## Área 3. Construcción Off-site

**Subárea 3.1 Definición o alcance del producto final:** ofrecen como producto final una vivienda prefabricada no montada y en algunos casos montada o totalmente finalizada, o llamada comúnmente, llave en mano.

**Subárea 3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión:** la clasificación de elementos prefabricados según dimensión (INN, 2023) es bidimensional, comúnmente llamados paneles.

**Subárea 3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación:** la clasificación de elementos prefabricados según nivel de terminación o complejidad (INN, 2023) es, en obra gruesa.

**Subárea 3.4 Uso de componentes estandarización:** Uso de componentes estandarización: utilizan, en promedio, 2 de 6

componentes estandarizados instalados *on-site*, por ejemplo, ventanas, puerta y en algunos casos muebles de baño y cocina, artefactos de baño y escaleras.

**Subárea 3.5 Secuencia de fabricación:** presentan una secuencia de fabricación lógica, en promedio, mecanizada.

**Subárea 3.6 Nivel de infraestructura:** poseen una fábrica cerrada de una superficie, en promedio, mayor a 1.000 m<sup>2</sup> junto con zonas de acopio de materiales cubiertas con radier mayores a 200 m<sup>2</sup> y zonas almacenamiento de producción a la intemperie también mayores a 200 m<sup>2</sup>. Presentan zonas de administración acondicionadas de al menos 80 m<sup>2</sup> y una zona de *picking* al aire libre mayor a 300 m<sup>2</sup>.

**Subárea 3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica:** poseen, en promedio, 5 maquinarias y/o herramientas como, por ejemplo, ingletadores, pistolas neumáticas, puentes grúa, sierras circulares y en algunos casos cortadoras y/o multifuncionales CNC, con el personal capacitado, en promedio, entre 4 y 10 horas.

## Área 4. Relaciones entre Participantes

**Subárea 4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio:** ofrecen como producto final entre 2 y 5 de las etapas de un proyecto, por ejemplo, diseño, prefabricación, y transporte, diseño, prefabricación y montaje o diseño, prefabricación, transporte, montaje y construcción.

**Subárea 4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto:** el tipo de relación contractual con otras entidades es de prestación del servicio o trabajo conjunto con una duración,

en promedio, de 1 a 3 años y con más de 30 proyectos desarrollados.

**Subárea 4.3 Integración entre etapas del proyecto:** el nivel de integración de los equipos entre las distintas etapas de los proyectos, específicamente, para 5 de 10 instancias de integración, consiste, en promedio, en diseñar, planificar y alinear criterios en conjunto previo a realizar una etapa del proyecto.

**Subárea 4.4 Integración en tecnología e información:** utilizan un modelo o plantilla de planimetrías persistente para los distintos proyectos. Existe un sistema de versiones del proyecto según avance y un historial de información que permite ir a versiones anteriores.

**Subárea 4.5 Integración de la información según etapas del proyecto:** el acceso a la información por parte de las distintas etapas y por ende distintos equipos del proyecto es, en promedio, de 3 de las 5 etapas del proyecto.

**Subárea 4.6 Grado de Madurez BIM:** el uso y grado de madurez de BIM es, en general, nulo. En algunos casos, se presenta grado de Madurez BIM 2.

## Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción

**Subárea 5.1 Cadena de suministros para producción:** las relaciones con los proveedores se basan en acuerdos en los que se generan compras para varios proyectos o en optimizaciones en la base de suministros.

**Subárea 5.2 Trazabilidad y almacenaje:** realizan trazabilidad de la materia prima en planta con

planillas sistematizadas o *softwares* integrados de forma diaria o semanal, transportándolos con grúa horquilla o similar y almacenándolos, en promedio, en lugares cubiertos que incluyen radier. Realizan trazabilidad de los elementos prefabricados con planillas aisladas o sistematizadas de forma continua o diaria, transportándolos con grúa horquilla o puente grúa y almacenándolos, en promedio, en lugares cubiertos que incluyen radier. Poseen un sistema de comunicación formal dentro de la fábrica, por ejemplo, chat formal o walkie-talkie.

**Subárea 5.3 Logística de montaje y construcción:** no requieren, en promedio, almacenamiento *on-site* de elementos prefabricados. Adjuntan las fijaciones para el montaje y en caso de almacenar materiales *on-site*, en promedio, lo realizan al aire libre.

**Subárea 5.4 Logística de transporte:** la planificación del transporte está bien definida, cumple con un orden estratégico y está alineada con la producción y con el cliente, la ruta, fecha y tipo de camión. Generan una hoja de chequeo (*check list*) de lo producido en fábrica previo al transporte o un *check list* de recepción de las unidades transportadas.

**Subárea 5.5 Recepciones:** realizan, entre 2 y 4 de 5 recepciones para etapas posteriores a la prefabricación como, por ejemplo, recepción o fiscalización de lo producido en planta y post etapa de transporte, recepción o fiscalización de lo producido en planta, post etapa de transporte, construcción y una recepción DOM, entre otras combinaciones.

**Subárea 5.6 Maquinarias y equipamiento para post fábrica:** poseen, en promedio, 3

maquinarias para etapas posteriores a la prefabricación como, por ejemplo, camiones, camiones pluma, grúas horquilla, puente grúa, traspaletas, entre otros, con los operadores capacitados, en promedio, más de 30 horas.

## Área 6. Enfoque en el Consumidor

**Subárea 6.1 Objetivos y estudios de mercado:** definen claramente su mercado inmobiliario objetivo, el destino de las viviendas producidas y su capacidad de trabajar a nivel nacional e internacional. Identifican sus tipos de clientes o mandantes. En general, no realizan investigaciones de mercado, pero si, algunas empresas, cada 10 años o más, realizan estudios de mercado del tipo investigaciones del área.

**Subárea 6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU:** en promedio, realizan desarrollo de proyectos o tienen una oferta de tipologías de viviendas. El precio de los servicios o productos ofrecidos corresponde, entre un 15% y un 100% del precio final de estos. Ofrecen, en promedio, servicios en las etapas de diseño, prefabricación y transporte y en algunos casos también en las etapas de montaje y construcción. Recogen solicitudes específicas de los clientes y sus diseños de viviendas consideran principios de vivienda progresiva. Algunas empresas han trabajado con el MINVU bajo programas como el DS-49, DS-19, DS-10 y/o DS-01.

## Área 7. Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)

**Subárea 7.1 Uso de softwares:** disponen, en promedio, de 2 de 4 softwares. Específicamente, de diseño y gestión y de diseño y producción.

**Subárea 7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas:** el nivel de digitalización, en promedio, es nulo, no presentando interoperabilidad entre los softwares de las etapas del proyecto.

**Subárea 7.3 Usos BIM:** en general, no utilizan BIM. Algunas empresas aplican, en promedio, 4 de 25 usos BIM, como, por ejemplo, fabricación digital y estimaciones de cantidades y costos, entre otros.

## Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia

**Subárea 8.1 Producción:** registran datos de producción, específicamente de la cantidad de elementos prefabricados, de forma continua o diaria con softwares integrados y utilizan la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.2 Uso energético:** realizan, en promedio, registro del consumo energético de forma mensual con planillas a mano y no utilizan la información recopilada sobre el consumo energético para mejorar los procesos.

**Subárea 8.3 Desechos y 4R:** realizan, en promedio, registro de los desechos producidos en fábrica de forma mensual con planillas a mano y no utilizan la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.4 Calidad:** registran, en promedio, errores o problemas de calidad de los elementos prefabricados de forma anual o puntual con planillas a mano no utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.5 Plazos:** registran, en promedio, los plazos de producción de los elementos prefabricados de forma semanal con planillas sistematizadas, utilizando la información recopilada para mejorar los procesos. Por semana, producen entre 6 y 20 unidades prefabricadas de 55 m<sup>2</sup> de obra gruesa.

**Subárea 8.6 Personal:** registran, en promedio, el personal en fábrica de forma continua o diaria con planillas sistematizadas utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.7 Accidentes laborales:** registran, en promedio, los accidentes laborales de las distintas etapas del proyecto de forma puntual con planillas a mano utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.8 Costos:** registran los costos de forma diaria o semanal con planillas sistematizadas o softwares integrados utilizando la información registrada para mejorar los procesos.

## | Cluster 4 – NI muy bajo

El cuarto *cluster* (C4) está compuesto por siete empresas que presentan un NI muy bajo. A continuación, se presenta una descripción cuantitativa y cualitativa de las características comunes que definen al C4, por cada una de las áreas y subáreas de industrialización.

El C4 presenta un NI promedio de 1,81. Las áreas con un NI menor que el NI promedio del *cluster* son la de Planificación y Control de Procesos, Tecnologías de la Información y Comunicación y Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia (Figura 42).

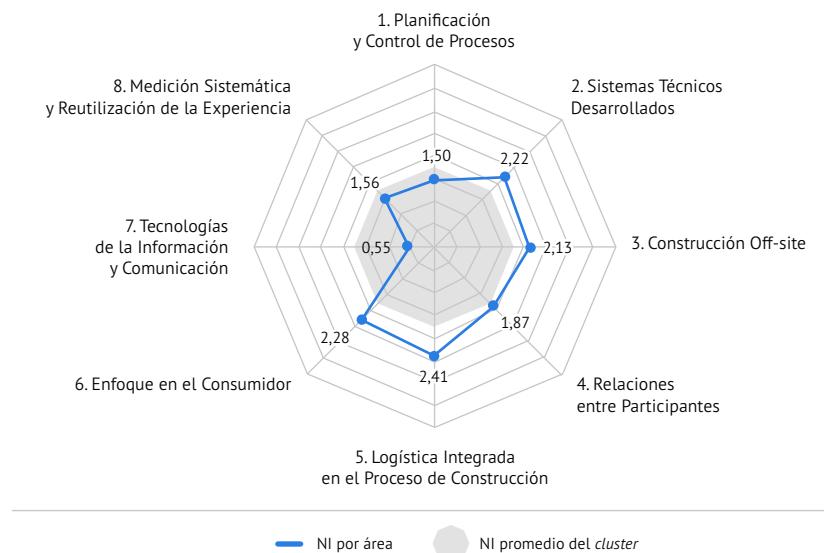


Figura 42. C4 - NI por área

La DE del NI por área (Figura 43) en general es media (entre 0,30 y 0,70). El área con mayor DE es la de Enfoque en el Consumidor seguida por la de Relaciones entre Participantes.



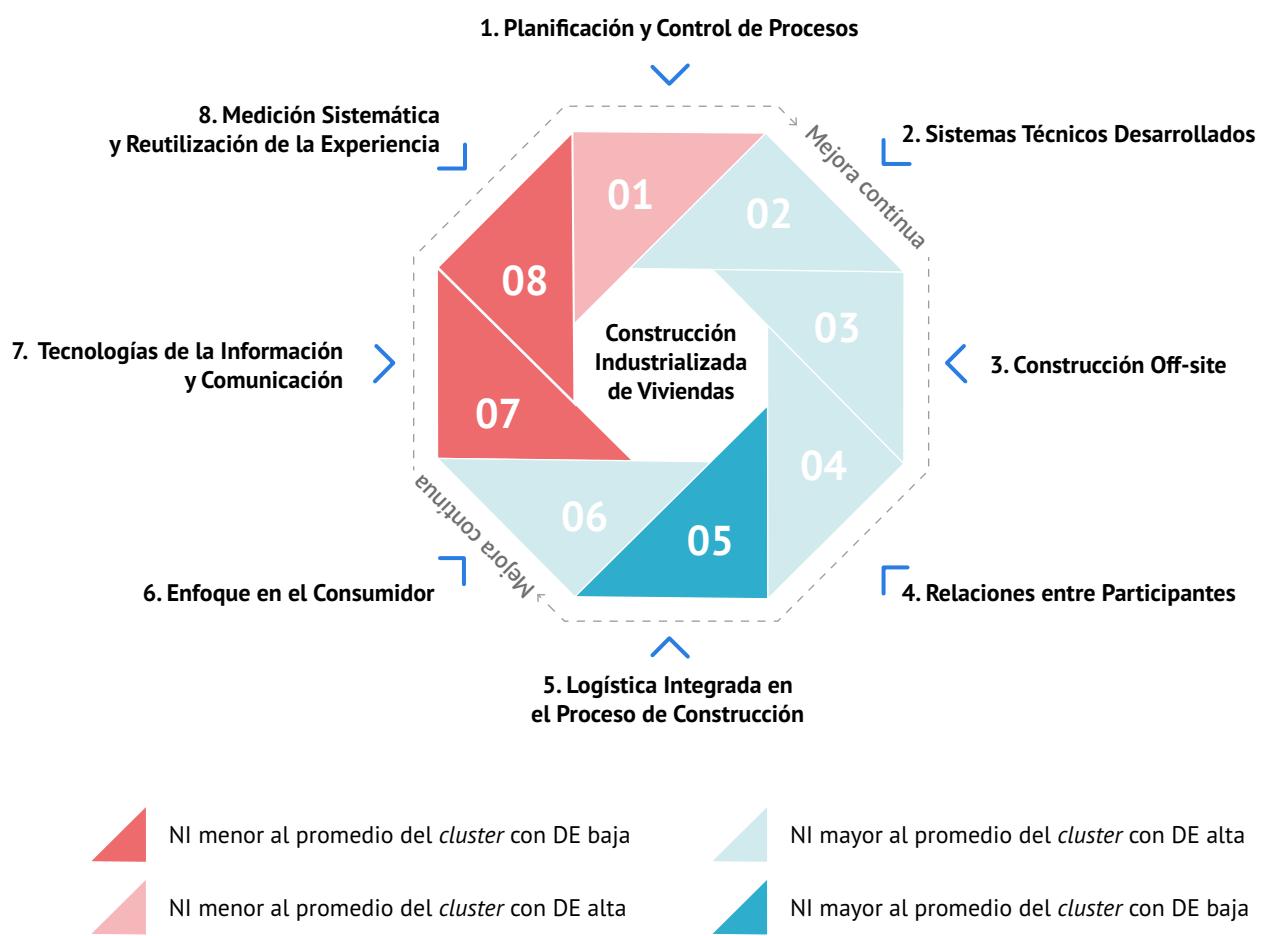
Figura 43. C4 - DE del NI por área

Las áreas con un NI menor al NI promedio del *cluster* (1,81) se consideran como las principales áreas a potenciar. Y las áreas con una DE baja (menor o igual a 0,50) se considera que representan a las empresas del grupo por presentar una menor variabilidad (Minitab, s.f.).

Al cruzar los resultados del NI y su DE (Figura 44), el área resaltada en rojo oscuro cumple con los dos criterios mencionados. Las áreas resaltadas en rojo claro presentan un NI menor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística debido a poseer

una DE alta. El área resaltada en azul claro presenta un NI mayor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística. Finalmente, las áreas resaltadas en azul oscuro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* junto con una DE baja.

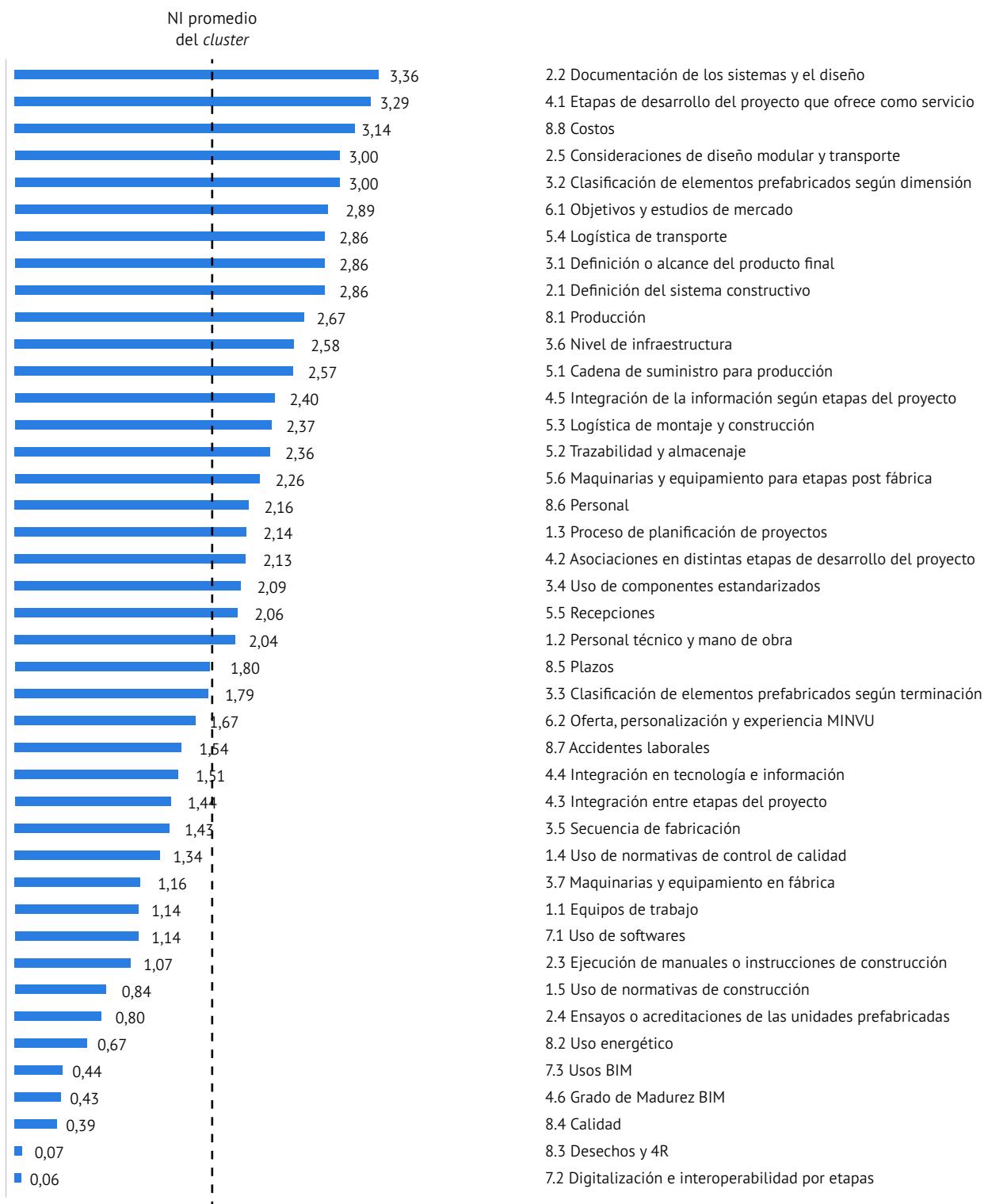
De acuerdo con esta clasificación, las áreas en rojo oscuro son las primeras que se deberían potenciar en el *cluster*, seguidas por las destacadas en rojo claro, luego las de azul claro y, por último, las presentadas en azul oscuro.



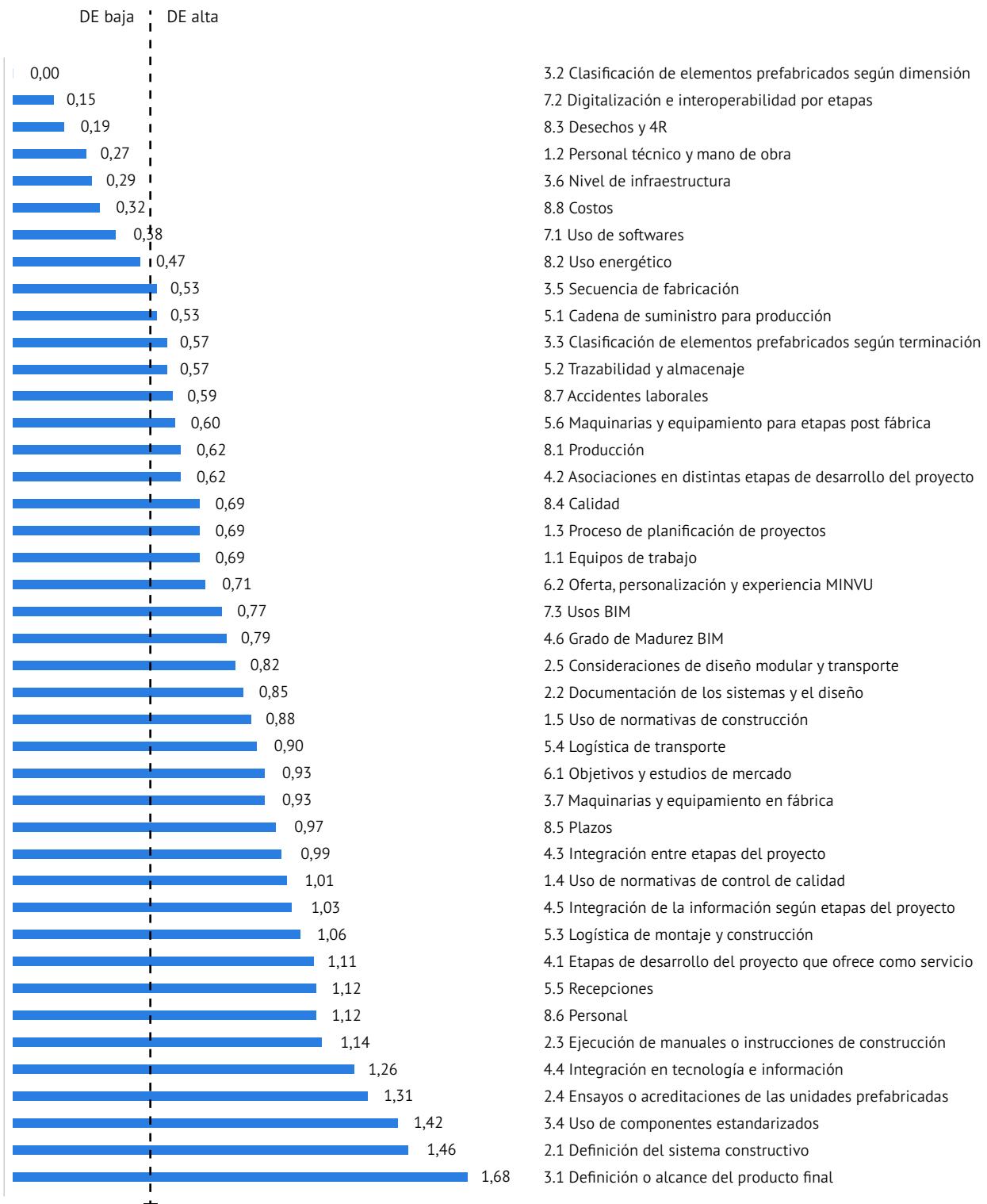
**Figura 44. C4 – Estado de las áreas**

Para profundizar y obtener subáreas específicas a potenciar, se aplica el mismo criterio del NI y DE previamente explicado. Por lo tanto, las subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* (3,21), se

podrían considerar como las principales subáreas en las cuales aumentar el NI y las con una DE baja, que representan a las empresas del grupo por tener una menor variabilidad (Figuras 45 y 46).



**Figura 45. C4 - NI por subárea ordenados de mayor a menor**



**Figura 46.** C4 - DE del NI por subárea ordenadas de menor a mayor

Al cruzar los resultados del NI y su DE (Figura 47), las subáreas resaltadas en rojo oscuro cumplen con los dos criterios mencionados. Las subáreas resaltadas en rojo claro presentan un NI menor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística debido a poseer una DE alta. Las subáreas resaltadas en azul claro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* pero no existe representatividad estadística. Finalmente, las subáreas resaltadas en azul oscuro presentan un NI mayor al promedio del *cluster* junto con una DE baja.

De acuerdo con esta clasificación, las subáreas en rojo oscuro son las primeras que se deberían potenciar en el *cluster*, seguidas por las destacadas en rojo claro, luego las de azul claro y, por último, las presentadas en azul oscuro.

A continuación, se presenta una descripción cualitativa de las características comunes que definen al C4, por cada una de las áreas de industrialización.

## **Área 1. Planificación y Control de Procesos**

**Subárea 1.1 Equipos de trabajo:** poseen, en promedio, una estructurada organización de la empresa en áreas específicas como dirección, comercial y producción.

**Subárea 1.2 Personal técnico y mano de obra:** cuentan, en promedio, con algunas personas capacitadas desde un nivel técnico y algunas desde uno profesional, para algunas etapas de un proyecto, por ejemplo, arquitectos, carpinteros, operadores de máquinas.

**Subárea 1.3 Proceso de planificación de proyectos:** los procesos de planificación están

### **1. Planificación y Control de Procesos**

- 1.1 Equipos de trabajo
- 1.2 Personal técnico y mano de obra
- 1.3 Proceso de planificación de proyectos
- 1.4 Uso de normativas de control de calidad
- 1.5 Uso de normativas de construcción

### **2. Sistemas Técnicos Desarrollados**

- 2.1 Definición del sistema constructivo
- 2.2 Documentación de los sistemas y el diseño
- 2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción
- 2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas
- 2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte

### **3. Construcción Off-site**

- 3.1 Definición o alcance del producto final
- 3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión
- 3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación
- 3.4 Uso de componentes estandarizados
- 3.5 Secuencia de fabricación
- 3.6 Nivel de infraestructura
- 3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica

### **4. Relaciones entre Participantes**

- 4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio
- 4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto
- 4.3 Integración entre etapas del proyecto
- 4.4 Integración en tecnología e información
- 4.5 Integración de la información según etapas del proyecto
- 4.6 Grado de Madurez BIM

### **5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción**

- 5.1 Cadena de suministro para producción
- 5.2 Trazabilidad y almacenaje
- 5.3 Logística de montaje y construcción
- 5.4 Logística de transporte
- 5.5 Recepciones
- 5.6 Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica
- 6. Enfoque en el Consumidor

### **6.1 Objetivos y estudios de mercado**

- 6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU

### **7. Tecnologías de la Información y Comunicación**

- 7.1 Uso de softwares
- 7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas
- 7.3 Usos BIM

### **8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia**

- 8.1 Producción
- 8.2 Uso energético
- 8.3 Desechos y 4R
- 8.4 Calidad
- 8.5 Plazos
- 8.6 Personal
- 8.7 Accidentes laborales
- 8.8 Costos

- NI menor al promedio del *cluster* con DE baja
- NI menor al promedio del *cluster* con DE alta
- NI mayor al promedio del *cluster* con DE alta
- NI mayor al promedio del *cluster* con DE baja

**Figura 47. C4 - Estado de las subáreas**

definidos generando documentación formal para la aprobación del diseño. No realizan Design Freeze y no utilizan herramientas y métodos para planificar y controlar procesos como, por ejemplo, Cellular Manufacturing, Mantenimiento Total Productivo.

**Subárea 1.4 Uso de normativas de control de calidad:** cumplen, en promedio, con algunas normativas de control de calidad de la madera como utilizar madera preservada, dimensionada y/o con un grado estructural y de humedad determinados bajo normativa. No realizan control de calidad interno ni externo con una tercera parte (persona y/o entidad) y tampoco aplican el MITO.

**Subárea 1.5 Uso de normativas de construcción:** cumplen, en promedio, con algunas normativas mínimas para ejecutar un proyecto público como, por ejemplo, NCh1198, OGUC, RIDAA, NChElec. 4/2003.

## Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados

**Subárea 2.1 Definición del sistema constructivo:** utilizan como sistema constructivo elementos bidimensionales de entramado ligero en madera o de paneles SIP. Presentan, en promedio, un set de soluciones constructivas desarrolladas por las mismas empresas

**Subárea 2.2 Documentación de los sistemas y el diseño:** documentan o registran los cambios en los diseños del sistema constructivo a través de softwares integrados que notifican de las modificaciones a los distintos equipos de la empresa.

**Subárea 2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción:** elaboran y entregan, en promedio, 3 de 11 instructivos

o consideraciones para etapas post fábrica como, por ejemplo, documentos de montaje y conexión.

**Subárea 2.4 Ensayo o acreditación de la unidad prefabricada:** los elementos prefabricados, en promedio, provienen del listado oficial o han sido sometidos a alguno de los ensayos de resistencia al fuego y de comportamiento térmico, acústico y estructural.

**Subárea 2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte:** consideran, en promedio, métricas básicas en el diseño para la etapa de transporte, por ejemplo, medidas del camión, particularidades del terreno, manual de carretera y en algunos casos, la maniobrabilidad del elemento prefabricado (para carga y descarga).

## Área 3. Construcción Off-site

**Subárea 3.1 Definición o alcance del producto final:** ofrecen, en promedio, como producto final una vivienda prefabricada, montada y totalmente finalizada, o llamada comúnmente, llave en mano.

**Subárea 3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión:** la clasificación de elementos prefabricados según dimensión (INN, 2023) es bidimensional, comúnmente llamados paneles.

**Subárea 3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación:** la clasificación, en promedio, de elementos prefabricados según nivel de terminación o complejidad (INN, 2023) es, en obra gruesa.

**Subárea 3.4 Uso de componentes estandarización:** utilizan, en promedio,

componentes estandarizados instalados *on-site*, por ejemplo, ventanas, puerta y en algunos casos muebles de baño y cocina, artefactos de baño y escaleras.

**Subárea 3.5 Secuencia de fabricación:** presentan una secuencia de fabricación lógica, en promedio, manual o mecanizada.

**Subárea 3.6 Nivel de infraestructura:** poseen una fábrica cerrada de una superficie, en promedio, mayor a 200 m<sup>2</sup> junto con zonas de acopio de materiales al aire libre mayores a 60 m<sup>2</sup> y zonas almacenamiento de producción también a la intemperie y mayores a 60 m<sup>2</sup>. Presentan zonas de administración cerradas de al menos 40 m<sup>2</sup> y una zona de *picking* al aire libre mayor a 100 m<sup>2</sup>.

**Subárea 3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica:** poseen, en promedio, 4 maquinarias y/o herramientas como, por ejemplo, ingletadores, pistolas neumáticas y sierras circulares, con el personal capacitado menos de 3 horas.

## Área 4. Relaciones entre Participantes

**Subárea 4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio:** ofrecen, en promedio, como producto final las 5 de las etapas de un proyecto, es decir, diseño, prefabricación, transporte, montaje y construcción.

**Subárea 4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto:** el tipo de relación contractual con otras entidades es, en promedio, de prestación del servicio con una duración de 1 a 3 años y con más de 30 proyectos desarrollados.

**Subárea 4.3 Integración entre etapas del proyecto:** el nivel de integración de los equipos entre las distintas etapas de los proyectos, específicamente, para 5 de 10 instancias de integración, consiste, en promedio, en diseñar, planificar y alinear criterios en conjunto previo a realizar una etapa del proyecto.

**Subárea 4.4 Integración en tecnología e información:** utilizan, en promedio, un historial de información que permite ir a versiones anteriores y un modelo o plantilla de planimetrías persistente para los distintos proyectos o un sistema de versiones del proyecto según avance.

**Subárea 4.5 Integración de la información según etapas del proyecto:** el acceso a la información por parte de las distintas etapas y por ende distintos equipos del proyecto es, en promedio, de 2 de las 5 etapas del proyecto.

**Subárea 4.6 Grado de Madurez BIM:** el uso y grado de madurez de BIM es, en general, nulo. En algunos casos, se presenta grado 1 o 2 de madurez BIM.

## Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción

**Subárea 5.1 Cadena de suministros para producción:** las relaciones con los proveedores se basan en acuerdos en los que se generan compras para varios proyectos o en optimizaciones en la base de suministros.

**Subárea 5.2 Trazabilidad y almacenaje:** realizan, en promedio, trazabilidad de la materia prima en planta con planillas a mano o planillas aisladas de forma diaria

o semanal, transportándolos con grúa horquilla o similar y almacenándolos, en promedio, en lugares cubiertos que incluyen radier. Realizan, en promedio, trazabilidad de los elementos prefabricados con planillas aisladas o sistematizadas por proyecto, transportándolos con grúa horquilla y almacenándolos, en promedio, en lugares cubiertos que incluyen radier. Poseen, en promedio, un sistema de comunicación formal dentro de la fábrica, por ejemplo, chat formal o walkie-talkie.

**Subárea 5.3 Logística de montaje y construcción:** no requieren, en promedio, almacenamiento *on-site* de elementos prefabricados. Adjuntan las fijaciones para el montaje y en caso de almacenar materiales *on-site*, en promedio, lo realizan al aire libre.

**Subárea 5.4 Logística de transporte:** la planificación del transporte está bien definida, cumple con un orden estratégico y está alineada con la producción y con el cliente, la ruta, fecha y tipo de camión. Generan una hoja de chequeo (*check list*) de lo producido en fábrica previo al transporte o un *check list* de recepción de las unidades transportadas.

**Subárea 5.5 Recepciones:** realizan, entre 2 y 3 de 5 recepciones para etapas posteriores a la prefabricación como, por ejemplo, recepción o fiscalización de lo producido en planta y post etapa de transporte, recepción o fiscalización de lo producido en planta, post etapa de transporte, construcción y una recepción DOM, entre otras combinaciones.

**Subárea 5.6 Maquinarias y equipamiento para post fábrica:** poseen, en promedio, 3

maquinarias para etapas posteriores a la prefabricación como, por ejemplo, camiones y grúas horquilla, con los operadores capacitados, en promedio, más de 30 horas.

## Área 6. Enfoque en el Consumidor

**Subárea 6.1 Objetivos y estudios de mercado:** definen claramente su mercado inmobiliario objetivo, el destino de las viviendas producidas y su capacidad de trabajar a nivel nacional e internacional. Identifican sus tipos de clientes o mandantes. En promedio, de forma anual o cada 3 años, realizan estudios de mercado del tipo investigaciones del área o del consumidor para definir tipologías de viviendas y sus valores.

**Subárea 6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU:** presentan una oferta de tipologías de viviendas y en algunos casos realizan desarrollo de proyectos. El precio de los servicios o productos ofrecidos corresponde, entre un 10% y un 100% del precio final de estos. Ofrecen, en promedio, servicios en las etapas de diseño, prefabricación y transporte y en algunos casos también en las etapas de montaje y construcción. Recogen, en promedio, solicitudes específicas de los clientes y sus diseños de viviendas consideran principios de vivienda progresiva. No han trabajado con el MINVU bajo programas como el DS-49, DS-19, DS-10 y/o DS-01.

## Área 7. Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)

**Subárea 7.1 Uso de softwares:** disponen, en promedio, de 1 de 4 softwares. Específicamente, de diseño.

**Subárea 7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas:** el nivel de digitalización, en promedio, es nulo, no presentando interoperabilidad entre los softwares de las etapas del proyecto.

**Subárea 7.3 Usos BIM:** en general, no utilizan BIM. Algunas empresas aplican, en promedio, 8 de 25 usos BIM, como, por ejemplo, fabricación digital y estimaciones de cantidades y costos, entre otros.

## Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia

**Subárea 8.1 Producción:** registran datos de producción, específicamente de la cantidad de elementos prefabricados, de forma mensual o semanal con planillas sistematizadas y utilizan la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.2 Uso energético:** realizan, en promedio, registro del consumo energético de forma mensual con planillas a mano y no utilizan la información recopilada sobre el consumo energético para mejorar los procesos.

**Subárea 8.3 Desechos y 4R:** no realizan, en promedio, registro de los desechos producidos en fábrica.

**Subárea 8.4 Calidad:** no registran, en promedio, errores o problemas de calidad de los elementos prefabricados.

**Subárea 8.5 Plazos:** registran, en promedio, los plazos de producción de los elementos prefabricados por proyecto con planillas aisladas, utilizando la información recopilada

para mejorar los procesos. Por semana, producen entre 2 y 11 unidades prefabricadas de 55 m<sup>2</sup> de obra gruesa.

**Subárea 8.6 Personal:** registran, en promedio, el personal en fábrica de forma continua o diaria con planillas a mano no utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.7 Accidentes laborales:** registran, en promedio, los accidentes laborales de las distintas etapas del proyecto de forma puntual con planillas a mano utilizando la información recopilada para mejorar los procesos.

**Subárea 8.8 Costos:** registran los costos de forma semanal o mensual con planillas sistematizadas utilizando la información registrada para mejorar los procesos.



- NI menor al promedio del cluster con DE baja
- NI menor al promedio del cluster con DE alta
- NI mayor al promedio del cluster con DE alta
- NI mayor al promedio del cluster con DE baja

**Figura 48. Estado de las subáreas de los cuatro clusters**

# **06. Discusión**

Este capítulo presenta el análisis comparativo entre *clusters* con el fin de examinar las mayores diferencias entre Niveles de Industrialización (NI). Inicialmente se realiza una comparación de los puntajes promedios por áreas entre dos *clusters* (Ej. C1 vs C2) y se identifican las diferencias de puntajes. Luego, aquellas áreas que presentan diferencias medias y altas se examinan al nivel de subáreas aplicando los mismos criterios. Además, se toma en consideración la representatividad estadística de los datos (DE baja o alta) y si el puntaje está sobre o bajo el promedio del *cluster*.

## 6.1 Comparación entre el C1 y el C2

Al comparar los puntajes promedio por áreas del C1 y el C2 (Tabla 17), hay cuatro áreas con una diferencia media de puntaje. A continuación, se ordenan de mayor a menor:

- **Área 5.** Logística Integrada en el Proceso de Construcción
- **Área 3.** Construcción Off-site
- **Área 4.** Relaciones entre Participantes
- **Área 1.** Planificación y Control de Procesos

**Tabla 17.** Comparación entre el C1 y el C2 - NI por área

Áreas de Industrialización	C1	C2	Δ
1. Planificación y Control de Procesos	3,64	3,09	0,55
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	3,89	3,44	0,45
3. Construcción Off-site	3,47	2,66	0,81
4. Relaciones entre Participantes	2,96	2,30	0,66
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	3,61	2,68	0,92
6. Enfoque en el Consumidor	3,05	2,57	0,48
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	1,73	1,33	0,41
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	3,32	2,97	0,35

### Simbología:

 Diferencia media ( $0,50 < \Delta < 1,00$ )  
 Diferencia alta ( $\Delta \geq 1,00$ )

 NI menor el promedio del *cluster* y con DE baja  
 NI menor el promedio del *cluster* y con DE alta  
 NI mayor el promedio del *cluster* y con DE alta  
 NI mayor el promedio del *cluster* y con DE baja

Las tres mayores diferencias de puntajes son en áreas que, para ambos *clusters*, tienen una DE baja, por lo que se denominan representativas del nivel. El C1 y C2 obtienen en las áreas de Construcción Off-site y de Logística Integrada en los Procesos de Construcción promedios por sobre el NI, mientras que en el área de Relaciones entre Participantes un promedio menor al NI (Tabla 17).

Respecto al área de Planificación y Control de Procesos, ambos *clusters* obtiene puntajes por sobre el NI (Tabla 17). Sin embargo, esta área es representativa del C2, mientras que el C1 tiene una mayor variabilidad de puntajes entre las empresas que lo componen.

A continuación, se presenta un análisis comparativo entre subáreas de estas cuatro áreas, que presentan una mayor diferencia de puntaje de NI entre el C1 y C2.

### 6.1.1 Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción

Al analizar en detalle esta área, existen dos subáreas con una alta diferencia de puntajes y dos con una media diferencia de puntaje (Tabla 18). La diferencia más alta ( $\Delta = 2,24$ ) se encuentra en la ejecución de Recepciones (5.5) según etapas de un proyecto industrializado (diseño, prefabricación, transporte, montaje y construcción). En este caso, el C1 realiza un proceso de recepción para todas las etapas, mientras que el C2 realiza en promedio dos de cinco etapas. Es relevante destacar que esta subárea es representativa para ambos *clusters*, quedando el C1 por sobre su NI y para el C2 bajo su NI, acentuando esta diferencia para las empresas con los puntajes máximos y mínimos.

**Tabla 18.** Comparación entre el C1 y el C2 - Área 5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción

5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	Empresas C1				Empresas C2					$\Delta$	
	OPQ	QRS	JKL	$\bar{x}$	UVW	ZER	XYZ	FGH	PGR		
5.1 Cadena de suministro para producción	4,00	3,00	3,00	3,33	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	2,60	0,73
5.2 Trazabilidad y almacenaje	3,90	3,80	3,80	3,83	3,40	3,10	3,30	3,60	3,50	3,38	0,45
5.3 Logística de montaje y construcción	3,00	4,00	2,70	3,23	1,80	2,20	2,00	2,30	0,50	1,76	1,47
5.4 Logística de transporte	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	0,00
5.5 Recepciones	4,00	4,00	4,00	4,00	2,40	1,60	1,60	1,60	1,60	1,76	2,24
5.6 Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica	3,40	2,80	3,50	3,23	2,00	2,50	3,50	2,50	2,50	2,60	0,63

La siguiente diferencia alta ocurre en Logística de montaje y construcción (5.3), que refiere a la necesidad de instalaciones para el acopio para elementos prefabricados, materiales de construcción y/o de componentes estandarizados (puertas, ventanas, artefactos, etc.). La diferencia de puntajes entre *clusters* es de 1,47 puntos (Tabla 18), donde los puntajes tienen una alta desviación estándar para ambos grupos. Como se menciona en la caracterización del C1, las tres empresas trabajan con elementos prefabricados tridimensionales con instalaciones y terminaciones en fábrica, donde gracias a su nivel de finalización, tienen menores requerimientos de almacenaje *on-site* y por ende una mejor evaluación. El C2 en promedio no requiere de almacenaje de elementos prefabricados, pero sí de materiales de construcción y/o componentes estandarizados.

En cuanto a las dos subáreas con una diferencia media de puntaje, la primera refiere al tipo de Cadena de suministro para producción (5.1). Esta evalúa el nivel de integración entre la empresa y los proveedores. Al agrupar las empresas de ambos *clusters*, seis de ocho empresas obtienen el mismo puntaje (3,00 puntos), mientras que

las dos restantes tienen el puntaje máximo (4,00 puntos) y mínimo (1,00 punto) de la subárea. Por lo tanto, no hay una diferencia significativa entre grupos. Por otro lado, en la subárea de Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica (5.6), el C1, con una DE baja, obtiene 0,63 puntos por sobre el C2, mostrando un mayor involucramiento en etapas post fábrica.

### 6.1.2 Área 3. Construcción Off-site

Las primeras cuatro subáreas son las que presenta una mayor diferencia de puntaje entre el C1 y C2 (sobre 1,00 punto) (Tabla 19).

La subárea de definición o alcance del producto final (3.1) presenta una alta diferencia de puntaje ( $\Delta = 1,27$ ). Esta área mide el alcance de la empresa en entregar el producto final que considera esta investigación, una unidad habitacional completamente terminada. En general, el C1 ofrece una vivienda prefabricada, montada y totalmente finalizada, mientras que el C2 produce viviendas prefabricadas no montada.

Al evaluar el grado de prefabricación según dimensión (3.2) y nivel de finalización o

**Tabla 19.** Comparación entre el C1 y el C2 - Área 3. Construcción Off-site

3. Construcción Off-site	Empresas C1				Empresas C2					$\Delta$	
	OPQ	QRS	JKL	$\bar{x}$	UVW	ZER	XYZ	FGH	PGR		
3.1 Definición o alcance del producto final	3,00	4,00	4,00	3,67	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,40	1,27
3.2 Grado de prefab. según dimensión	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,80	1,20
3.3 Grado de prefab. según nivel de finalización o terminación	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,60	1,40
3.4 Uso de componentes estandarizados	4,00	4,00	4,00	4,00	2,50	1,50	2,30	1,50	1,00	1,76	2,24
3.5 Secuencia de fabricación	3,00	2,00	2,00	2,33	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,40	-0,07
3.6 Nivel de infraestructura	3,27	3,07	3,53	3,29	3,40	3,40	3,27	3,13	3,33	3,31	-0,02
3.7 Maquinaria y equipamiento en fábrica	3,12	1,82	4,00	2,98	3,76	4,00	3,59	1,47	4,00	3,36	-0,38

terminación (3.3), el C1, con una DE baja en ambos puntos, producen elementos tridimensionales, específicamente módulos de entramado ligero, con instalaciones (sanitarias y eléctricas) y terminaciones. En contraste, el C2 en su mayoría produce elementos bidimensionales, paneles de entramado ligero o paneles SIP, con una parcialidad de instalaciones y/o terminaciones. Además, en el uso de componentes estandarizados (3.4), donde está la mayor diferencia, el C1 utiliza componentes tipo para la totalidad de los elementos preguntados (puertas, ventanas, mobiliario y artefactos de baño y cocina, closet y escaleras) instalados en fábrica, mientras que el C2 incorpora un tercio de estos en su mayoría instalados *on-site*.

### 6.1.3 Área 4. Relaciones entre Participantes

La subárea 4.1, Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicios, presenta la mayor diferencia de puntajes (Tabla 20). Las empresas del C1 que obtienen un promedio sobre su NI ofrecen la totalidad de las etapas definidas para un proyecto de construcción industrializada, ya sea de forma interna o subcontratada, mientras

que las empresas del C2, ofrecen en promedio 2 de 5 etapas, obteniendo un promedio bajo el NI. Esta diferencia del NI es representativa dato que ambos *clusters* tiene una DE baja.

Cuatro subáreas tienen una diferencia media de puntajes, Integración entre etapas del proyecto (4.3), Integración en tecnología de la información (4.4), integración de la información según etapas del proyecto (4.5) y el Grado de madurez BIM (4.6). Estas hacen alusión a la importancia de la integración temprana en la construcción industrializada. La subárea 4.3 se refiere a la integración horizontal o de los equipos de trabajo en cuanto a las etapas del proyecto. Ambos *clusters*, trabajan alineando criterios de diseño o producción previo a la ejecución de la etapa respectiva. Sin embargo, el C1 obtiene más puntaje al tener más equipos de trabajo que operando en esta modalidad.

Las subáreas 4.4 y 4.5 miden el acceso a la información de los proyectos por los equipos de trabajo (representativa para ambos *clusters*) y a la base de datos de las empresas. En promedio el C1 cumple la totalidad de criterios para una óptima base de datos y tienen acceso a esta,

**Tabla 20. Comparación entre el C1 y el C2 - Área 4. Relaciones entre Participantes**

4. Relaciones entre Participantes	Empresas C1				Empresas C2					$\Delta$	
	OPQ	QRS	JKL	$\bar{x}$	UVW	ZER	XYZ	FGH	PGR		
4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,80	2,20
4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto	2,70	3,30	3,30	3,10	1,30	3,00	3,70	3,30	2,70	2,80	0,30
4.3 Integración entre etapas del proyecto	2,10	3,60	2,00	2,57	2,60	1,50	1,00	2,80	1,20	1,82	0,75
4.4 Integración en tecnología e información	3,30	4,00	4,00	3,77	3,30	3,30	2,70	2,70	3,30	3,06	0,71
4.5 Integración de la información según etapas del proyecto	0,80	4,00	3,20	2,67	4,00	1,60	1,60	0,80	1,60	1,92	0,75
4.6 Grado de Madurez BIM	2,00	0,00	3,00	1,67	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	2,40	-0,73

entre 3 y 5 equipos tienen acceso a esta. El C2 cumplen un 80% del listado y en promedio 2 equipos tiene acceso. Finalmente, la subárea 4.6, que mide el Grado de Madurez BIM, se discrimina del análisis debido a la variabilidad de las respuestas del C1, impidiendo una conclusión assertiva para la comparación.

## 6.1.4 Área 1. Planificación y Control de Procesos

En el área de Planificación y Control de Procesos hay cuatro subáreas con una diferencia media de puntajes (Tabla 21).

Ambos *clusters* tiene una alta evaluación de la subárea 1.1 de Equipos de Trabajo, sobre 3,00. La diferencia radica en que el C1 tiene equipos de trabajo específicos creados según la necesidad de la empresa.

La subárea Personal técnico y mano de obra (1.2), siendo representativa para ambos *clusters* con un

promedio mayor a sus respectivos NI, evalúa las especialidades, el tamaño de la empresa según las personas y su relación con los equipos de trabajo. Ambos *clusters* son muy similares porque la mayoría son empresas medianas y tienen más personas que equipos de trabajo. En el primer factor se marca la diferencia dado que el C1 tiene una mayor diversidad de especialidades técnicas y de mano de obra, que el C2.

Por otro lado, la subárea 1.5, de uso de normativas de construcción, presenta un listado de normativas elaborado con base en el diseño de vivienda social para el programa para sectores vulnerables. Busca determinar qué empresas tiene la experiencia para incorporarse hoy a la ejecución de vivienda industrializada MINVU. Al analizar ambos *clusters* juntos, las 3 empresas con puntuación máxima de NI ya tienen uno o dos proyectos de vivienda industrializada tipo aprobado por MINVU. Aquellas con el cuarto y quinto lugar, son empresas con experiencia MINVU en programas como el DS-49, DS-1, DS-10 o DS-19 que todavía no tienen una

**Tabla 21.** Comparación entre el C1 y el C2 - Área 1. Planificación y Control de Procesos

1. Planificación y Control de Procesos	Empresas C1				Empresas C2				$\Delta$	
	OPQ	QRS	JKL	$\bar{x}$	UVW	ZER	XYZ	FGH	PGR	
1.1 Equipos de trabajo	4,00	3,00	4,00	3,67	4,00	2,00	3,00	3,00	3,00	0,67
1.2 Personal técnico y mano de obra	3,70	3,70	4,00	3,80	3,30	3,00	2,70	2,70	3,00	0,86
1.3 Proceso de planificación de proyectos	4,00	3,30	4,00	3,77	4,00	3,80	4,00	3,00	4,00	0,01
1.4 Uso de normativas de control de calidad	3,60	3,10	4,00	3,57	3,60	3,10	3,60	2,20	2,70	0,53
1.5 Uso de normativas de construcción	4,00	2,20	4,00	3,40	4,00	3,60	1,10	3,30	1,50	0,70

vivienda certificada, pero tendrían las condiciones para lograrlo.

Finalmente, en el Uso de normativas de control de calidad (1.4), hay una diferencia de 0,53 puntos (Tabla 21), donde ambos *clusters* cumplen con la normativa sobre materialidad, en este caso madera, y tienen un proceso interno de control de los elementos prefabricados. La distinción principal se genera en que el C1 incorpora una normativa internacional ISO en su proceso.

En resumen, las dos subáreas que principalmente marcan una diferencia al comparar el C1 y C2 son la complejidad del elemento prefabricados y las etapas de un proyecto responsables. La Tabla 22 muestra los resultados del C1 y C2 respecto al grado de prefabricación según dimensión, terminación y las etapas responsables por parte de las empresas.

Así mismo, al aumentar la complejidad en dimensión y las terminaciones de los elementos

prefabricados se impulsa el incremento en los niveles de integración de los participantes de un proyecto y de la información de los proyectos.

Es importante mencionar que dos de las tres empresas del C1 ya se encuentran certificadas por la DITEC y el MINVU como empresas industrializadoras según la Resolución Exenta N°52. Ambas cuentan con diseños de vivienda tipo industrializada para la ejecución de proyectos de vivienda social. Asimismo, dos empresas del C2 también están certificadas y una está en proceso de certificación de su planta.

De acuerdo con el análisis detallado por subáreas, a partir del NI Medio, las empresas cumplen con los estándares actuales estatales para la construcción de vivienda sociales industrializadas. Por lo tanto, las tres empresas restantes (una del C1 y dos del C2) hoy ya tienen el nivel para certificarse y participar de la producción de vivienda social. En este sentido, es recomendable crear un programa

**Tabla 22. Comparación entre el C1 y el C2 - Clasificación de elementos prefabricados y etapas responsables**

Empresas C1 GP SEGÚN DIMENSIÓN GP SEGÚN TERMINACIÓN			ETAPAS
JKL	Tridimensional	Obra gruesa con instalaciones y terminaciones	D + P + T + M + C
OPQ	Tridimensional	Obra gruesa con instalaciones y terminaciones	D + P + T + M + C
QRS	Tridimensional	Obra gruesa con instalaciones y terminaciones	D + P + T + M + C
Empresas C2 GP SEGÚN DIMENSIÓN GP SEGÚN TERMINACIÓN			ETAPAS
UVW	Bidimensional	Obra gruesa con instalaciones y terminaciones	D + P + M
ZER	Bidimensional	Obra gruesa con pasadas para tubería y cables	D + P + T
PGR	Bidimensional	Obra gruesas sin instalaciones y con terminaciones	P + T + M
XYZ	Bidimensional	Obra gruesa sin instalaciones	D + P + T
FGH	Bidimensional	Obra gruesa con pasadas para tuberías y cables y terminaciones	D + P

que motive a estas empresas, ya sea a través de una entrega efectiva de información con respecto a los programas habitacionales o sobre los incentivos que estos conllevan para diseños industrializados.

## 6.2 Comparación entre el C2 y el C3

Al comparar los puntajes promedio por áreas del C2 y el C3 (Tabla 23), hay tres áreas con una diferencia media de puntaje. A continuación, se ordenan de mayor a menor:

- **Área 8.** Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia
- **Área 2.** Sistemas Técnicos Desarrollados
- **Área 6.** Enfoque en el Consumidor

Las áreas de uso de Sistemas Técnicos Desarrollados y en Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia tienen las dos diferencias mayores, donde sus puntajes de NI son mayores con una baja DE (Tabla 23), lo cual son áreas representativas. El área de Enfoque en el Consumidor tiene la tercera mayor diferencia mayor, pero los puntajes de NI son menores al promedio del *cluster*, con una DE alta, lo cual no es un área representativa.

A continuación, se presenta un análisis comparativo por subáreas de estas tres áreas, que presentan una mayor diferencia de puntajes de NI entre el C2 y C3.

**Tabla 23.** Comparación entre el C2 y el C3 - NI por área

Áreas de Industrialización	C2	C3	Δ
1. Planificación y Control de Procesos	3,09	2,89	0,20
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	3,44	2,73	0,71
3. Construcción Off-site	2,66	2,19	0,47
4. Relaciones entre Participantes	2,30	1,99	0,31
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	2,68	2,68	0,00
6. Enfoque en el Consumidor	2,57	1,94	0,63
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	1,33	0,83	0,49
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	2,97	2,22	0,74

### Simbología:

 Diferencia media ( $0,50 < \Delta < 1,00$ )	 NI menor el promedio del <i>cluster</i> y con DE baja
 Diferencia alta ( $\Delta \geq 1,00$ )	 NI menor el promedio del <i>cluster</i> y con DE alta
	 NI mayor el promedio del <i>cluster</i> y con DE alta
	 NI mayor el promedio del <i>cluster</i> y con DE baja

## 6.2.1 Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia

Al analizar en detalle esta área, existen dos subáreas con alta diferencia de puntajes y tres con una diferencia media de puntaje Tabla 24.

Las dos altas diferencias de puntajes ocurren en las subáreas de Desechos y 4R (8.3) y Calidad (8.4). En la subárea de Calidad (8.4), el C3 obtiene un promedio de 0,79 puntos, donde cinco de ocho empresas tienen una puntuación menor o igual a 1,00 punto, demostrando un casi nulo registro y la falta de auto evaluación en errores de producción. En contraste el C2 obtiene un promedio 2,22 puntos ( $\Delta = 1.43$ ).

Así mismo, en la subárea de Desechos y 4R (8.3), existe una diferencia de 1,21 puntos. En este caso las empresas de ambos *clusters* realizan un registro de forma mensual. El C3 realiza un registro a mano sin utilizar la información para mejoras futuras, mientras que el C2 lo realiza en

planillas sistematizada y utiliza esta información para el autoaprendizaje de los procesos.

Las diferencias medias en las subáreas de Uso energético (8.2), Plazos (8.5) y Accidentes laborales (8.7). Esta área en su conjunto está enfocada en al registro, documentación y el autoaprendizaje de los procesos y se evalúa respeto a la forma (nivel de sistematización), la periodicidad de este y si esta información es utilizada el autoaprendizaje de sus propios sistemas.

La primera diferencia refiere a Plazos (8.5), el C2 obtiene 3,42 puntos mientras que el C3 tiene 2,48 puntos. El C2 tiene un registro de plazos de producción de forma semanal o diaria a través de planillas sistematizadas o *softwares* integrados, además, utilizan esta información para la mejora de sus procesos. Por otro lado, el C3 realiza un registro semanal, a través de planillas sistematizadas, también utilizando esta información para la mejora de sus procesos. Sin embargo, el factor de mayor diferencia en esta

**Tabla 24. Comparación entre el C2 y el C3 - Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia**

8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	Empresas C2						Empresas C3						$\Delta$			
	UVW	ZER	XYZ	FGH	PGR	$\bar{x}$	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	HJU	STU	WXY	$\bar{x}$	
8.1 Producción	4,00	4,00	4,00	4,00	3,70	3,94	3,30	3,30	3,70	3,70	3,70	3,00	3,70	3,30	3,46	0,48
8.2 Uso energético	1,00	1,00	2,00	1,70	3,00	1,74	1,00	1,00	2,30	0,00	0,00	1,00	2,30	1,00	1,08	0,67
8.3 Desechos y 4R	2,50	2,80	3,30	0,80	3,00	2,48	2,30	0,80	1,80	2,00	2,30	1,00	0,00	0,00	1,28	1,21
8.4 Calidad	3,70	1,70	2,00	2,00	1,70	2,22	0,70	1,30	0,30	0,00	1,70	2,30	0,00	0,00	0,79	1,43
8.5 Plazos	3,80	4,00	3,50	3,00	2,80	3,42	3,00	2,80	3,30	2,30	3,80	2,30	2,30	0,00	2,48	0,95
8.6 Personal	2,70	4,00	4,00	1,70	3,70	3,22	3,00	1,70	3,30	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,22
8.7 Accidentes laborales	3,80	3,00	2,80	1,80	3,80	3,04	1,50	1,50	1,50	2,80	2,50	1,50	3,30	2,50	2,14	0,90
8.8 Costos	4,00	4,00	3,30	3,70	3,30	3,66	3,00	3,70	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	2,70	3,55	0,11

subárea entre el C1 y el C2 es la producción semanal. El C2 realiza entre 15 y 30 unidades prefabricadas semiterminadas, mientras que el C3 produce entre 6 y 20 unidades en obra gruesa.

En la subárea de Uso energético (8.2), para ambos *clusters* se observa que se realiza un registro básico para el pago de cuentas. Esta subárea es la que tiene una menor medición de forma transversal para todas las empresas, por lo que se recomienda complementar los estándares e indicadores de sostenibilidad y preservación del medio ambiente en la normativa de construcción.

En Accidentes laborales (8.7), el C2 registra los accidentes laborales de las distintas etapas del proyecto de forma diaria con planillas sistematizadas, mientras que el C3 realiza un registro promedio a través de planillas a mano y caso a caso. También esta subárea se mantiene los mínimos exigidos por el código del trabajo; sin embargo, señala la reutilización de la información en la mejora de los procesos.

## 6.2.2 Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados

Al analizar en detalle esta área, existen dos subáreas con alta diferencia de puntajes (Tabla 25).

La subárea de Definición del sistema constructivo (2.1) tiene diferencia de más de 2,00 puntos ( $\Delta = 2,10$ ). Esta evalúa el desarrollo de un set de soluciones constructivas completas (combinación de estructura, aislación, barreras y revestimientos) y el emplear piezas estandarizadas para nuevos diseños. En este caso en el C2, cuatro de cinco empresas obtienen la puntuación máxima (4,00 puntos), mientras que en el C3 existe dos empresas que obtienen 0,00 puntos, tres empresas obtienen 1,00 punto, y las tres empresas restantes obtiene 2,00 3,00 y 4,00 puntos, respectivamente. Esta alta variabilidad de puntaje no permite una caracterización representativa de la subárea.

**Tabla 25. Comparación entre el C2 y el C3 - Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados**

2. Sistemas Técnicos Desarrollados	Empresas C2						Empresas C3						$\Delta$			
	UVW	ZER	XYZ	FGH	PGR	$\bar{x}$	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	HIJ	STU	WXY	$\bar{x}$	
2.1 Definición del sistema constructivo	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	3,60	1,00	4,00	1,00	0,00	2,00	1,00	3,00	0,00	1,50	2,10
2.2 Documentación de los sistemas y el diseño	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	3,00	3,75	0,25	
2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción	4,00	2,20	4,00	3,60	2,20	3,20	0,00	1,10	2,90	2,20	3,30	0,00	1,50	1,10	1,51	1,69
2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas	3,60	3,60	2,40	1,20	3,20	2,80	3,60	3,60	0,00	3,60	3,60	2,80	3,60	3,20	3,00	-0,20
2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte	3,00	4,00	4,00	3,00	4,00	3,60	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,88	-0,28

La segunda alta diferencia de puntaje está en la Ejecución de manuales o instructivos para las diferentes etapas del proyecto (2.3), tales como montaje, izaje, tolerancias, entre otros. El C3 realiza en promedio 4 de 11 manuales, mientras que el C2 el doble (9 de 11).

### 6.2.3 Área 6. Enfoque en el Consumidor

La subárea de Objetivos y estudios de mercado (6.1) tiene una alta diferencia de puntajes (Tabla 26). Esta área habla del conocimiento de la empresa con respecto a su cliente objetivo y en la ejecución y frecuencia de estudios de mercado ya sea del área o del consumidor. En este caso el C2 los ejecuta cada 3 o menos años mientras que el C3 lo ha realizado de forma puntual.

La subárea de Oferta, personalización y experiencia MINVU (6.2), el C3 tiene una diferencia negativa de 0.14 puntos respecto al C2. Esta subárea se enfoca principalmente en la experiencia en proyectos con financiamiento estatal y en la producción de vivienda social. Si bien, tres de cinco empresas del C2 ya están certificadas por DITEC MINVU para ejecutar

proyectos industrializados y una empresa de las restantes está en proceso de certificación, se destaca que cinco de ocho empresas del C3 , ya participan de forma indirecta en proyectos de vivienda social al prefabricar ciertas partidas para constructoras que también son entidades patrocinantes. Por lo que se recomienda analizar la posibilidad de asociación entre empresas prefabricadoras y constructoras y/o entidades patrocinantes para facilitar el traspaso de la experiencia en procesos como documentación, postulación, estados de pago, etc., propios de la construcción de vivienda social en base a subsidios y así en conjunto postular a proyectos de vivienda industrializada tipo según la Resolución Excerta N°59.

Además, como se menciona anteriormente, el NI medio es un homólogo al estándar que hoy el estado aplica en proyectos industrializados, por lo que las empresas del C3 son potenciales oferentes de vivienda social industrializadas. Estas empresas necesitan potenciarse en todas las áreas para subir su NI de bajo a medio. Sin embargo, deben enfocar sus mejoras, inversión y capacitación en aumentar su nivel en las áreas con mayor diferencia con el C2, el uso de

**Tabla 26. Comparación entre el C2 y el C3 - Área 6. Enfoque en el Consumidor**

6. Enfoque en el Consumidor	Empresas C2						Empresas C3						Δ			
	UVW	ZER	XYZ	FGH	PGR	ꝝ	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	HIJ	STU	WXY	ꝝ	
6.1 Objetivos y estudios de mercado	3,10	3,40	4,00	3,10	2,60	3,24	2,60	1,10	1,70	3,10	1,70	1,70	1,70	1,10	1,84	1,40
6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU	2,40	2,30	0,80	3,40	0,60	1,90	3,20	3,60	2,60	2,20	0,80	1,60	1,40	0,90	2,04	-0,14

Sistemas Técnicos Desarrollados y la Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia. Para esto se hace imperioso el apoyo del estado, no solo en financiamiento, ya sea a través de fondos concursables o créditos, sino también el traspaso de información normativa, programas y fiscalización.

### 6.3 Comparación entre el C3 y el C4

Al comparar los puntajes promedio por áreas del C3 y el C4 (Tabla 27), hay un área con una

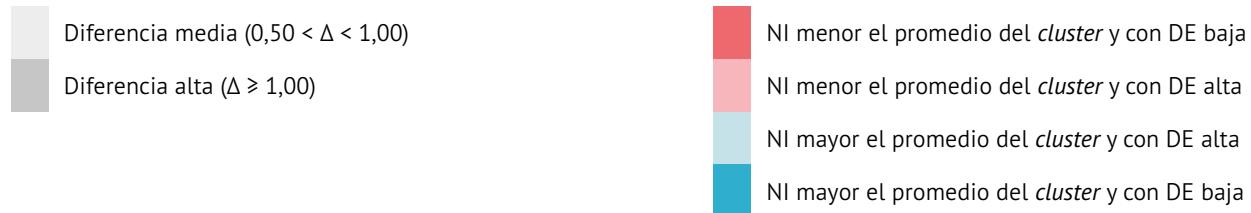
diferencia alta de puntaje y dos áreas con una diferencia media. A continuación, se ordenan de mayor a menor

- **Área 1.** Planificación y Control de Procesos
- **Área 8.** Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia
- **Área 2.** Sistemas Técnicos Desarrollados

**Tabla 27. Comparación entre el C3 y el C4 - NI por área**

Áreas de Industrialización	C3	C4	Δ
1. Planificación y Control de Procesos	2,89	1,50	1,39
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	2,73	2,22	0,51
3. Construcción Off-site	2,19	2,13	0,06
4. Relaciones entre Participantes	1,99	1,87	0,12
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	2,68	2,41	0,27
6. Enfoque en el Consumidor	1,94	2,28	-0,34
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	0,83	0,55	0,29
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	2,22	1,56	0,66

#### Simbología:



### 6.3.1 Área 1. Planificación y Control de Procesos

Al analizar en detalle esta área, existen alta y medias diferencia de puntajes en todas las subáreas (Tabla 28). Hay tres altas diferencias de puntajes y dos diferencias medianas de puntaje.

La mayor diferencia está en la subárea de Uso de normativa de construcción (1.5). Esta plantea un listado de 11 normativas de construcción que son requisito mínimo para proyectos de vivienda social para sectores vulnerables, DS-49. En este caso, el C4 obtiene un promedio de 0,84 puntos, en contraste con el C3 con 3,05 puntos. En otras palabras, el C3 utiliza en promedio 8 normativas del listado, mientras que el C4 utiliza tres, requiriendo de un gran trabajo de ratificar su cumplimiento o de adaptación de proyectos en el caso de postular alguno de sus modelos actuales.

La subárea de Uso de normativas de control de calidad (1.4) presenta una diferencia de 1,61 puntos. Ambos *clusters* utilizan un sistema de control de calidad de la materia prima, en este

caso normativa nacional en el uso de madera. Sin embargo, el C2 adicionalmente, efectúa además un sistema interno de los elementos prefabricados, ya sea realizar análisis de no conformidades, recepción de reclamos, etc.

Las próximas dos subáreas, Equipos de trabajo (1.1) y Personal técnico y mano de obra (1.2) presentan una diferencia de 1,23 puntos y 0,95 puntos respectivamente. Estas tienen que ver con el tamaño según número de personas y las distintas especialidades y diversidad de fuerza de trabajo que tiene la empresa. Por un lado, en el C4 la mayoría de las empresas son pequeñas, con un personal y equipos de trabajo básicos para el funcionamiento del área comercial, dirección, y producción. Mientras que el C3 son empresas pequeñas o medianas e incluyen más especialidades y equipos como diseño y/o ingeniería.

La subárea de Procesos de planificación de proyectos (1.3) hay una diferencia media de puntajes ( $\Delta = 0,98$ ). Aquí se evalúa la secuencia lógica de planificación de proyectos, su documentación y el uso de herramientas para el

**Tabla 28. Comparación entre el C3 y el C4 - Área 1. Planificación y Control de Procesos**

	Empresas C3										Empresas C4										$\Delta$
	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	HJ	STU	WXY	$\bar{x}$	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	STU	WXY	$\bar{x}$				
1. Planificación y Control de Procesos																					
1.1 Equipos de trabajo	4,00	3,00	2,00	3,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,38	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,00	1,14	1,23			
1.2 Personal técnico y mano de obra	4,00	4,00	3,00	3,00	2,70	2,30	2,30	2,30	2,95	2,30	1,70	2,00	2,30	2,00	2,00	1,70	2,00	0,95			
1.3 Proceso de planificación de proyectos	3,00	3,00	3,00	3,50	3,00	3,00	3,00	3,50	3,13	2,00	3,00	2,00	3,00	2,00	1,00	2,00	2,14	0,98			
1.4 Uso de normativas de control de calidad	3,10	2,70	2,20	3,60	3,10	3,10	3,10	2,70	2,95	1,80	1,80	1,80	2,70	1,30	0,00	0,00	1,34	1,61			
1.5 Uso de normativas de construcción	3,30	3,30	2,50	3,30	4,00	3,60	1,50	2,90	3,05	2,20	1,10	1,80	0,40	0,40	0,00	0,00	0,84	2,21			

control de proyectos. Ambos *clusters* tienen una planificación con un orden lógico en sus pasos y no utilizan herramientas o metodologías de control de proyectos. La divergencia radica en que, el C4 a diferencia del C3, no incluye una documentación para el cierre de del diseño, o Design Freeze.

### 6.3.2 Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia

Esta área presenta diferencias de puntajes en cinco de ocho subáreas. Un área tiene una alta diferencia de puntaje y cuatro tienen una diferencia media (Tabla 29).

La alta diferencias de puntajes ocurre en la subárea de Desechos y 4R (8.3), mientras que la diferencia media de puntaje está en las subáreas

de Producción (8.1), Plazos (8.5), Personal (8.6) y Accidentes laborales (8.7). Esta área se enfoca en el registro, documentación y el autoaprendizaje de los procesos y se evalúa respecto a la forma (nivel de sistematización), la periodicidad de este y si esta información es utilizada el autoaprendizaje de sus propios sistemas. En la subárea de Desechos y 4R (8.3), el C4 obtiene un promedio de 0,07 puntos, donde seis de siete empresas tienen una puntuación de cero. En contraste el C2 obtiene un promedio 1,28 puntos ( $\Delta = 1,20$ ).

Esta área, Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia, es un área representativa para ambos *clusters* con DE baja. Para el caso del C3, obtiene un promedio por sobre el NI, mientras que C2, obtiene un promedio bajo su NI. Por lo tanto, esta diferencia acentúa la brecha para el NI Muy bajo y los otros niveles de industrialización.

**Tabla 29.** Comparación entre el C3 y el C4 - Área 8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia

8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	Empresas C3									Empresas C4									$\Delta$
	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	HIJ	STU	WXY	$\bar{x}$	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	STU	WXY	$\bar{x}$		
8.1 Producción	3,30	3,30	3,70	3,70	3,70	3,00	3,70	3,30	3,46	3,70	2,00	2,70	2,00	2,30	3,00	3,00	2,67	0,79	
8.2 Uso energético	1,00	1,00	2,30	0,00	0,00	1,00	2,30	1,00	1,08	0,70	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,67	0,40	
8.3 Desechos y 4R	2,30	0,80	1,80	2,00	2,30	1,00	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,07	1,20	
8.4 Calidad	0,70	1,30	0,30	0,00	1,70	2,30	0,00	0,00	0,79	0,00	1,70	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,40	
8.5 Plazos	3,00	2,80	3,30	2,30	3,80	2,30	2,30	0,00	2,48	2,50	2,00	2,00	1,00	2,80	2,30	0,00	1,80	0,68	
8.6 Personal	3,00	1,70	3,30	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,70	1,70	3,00	3,00	2,70	3,00	0,00	2,16	0,84	
8.7 Accidentes laborales	1,50	1,50	1,50	2,80	2,50	1,50	3,30	2,50	2,14	2,50	1,80	1,50	0,50	1,50	1,50	1,50	1,54	0,59	
8.8 Costos	3,00	3,70	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	2,70	3,55	3,30	3,00	2,70	3,00	3,70	3,30	3,00	3,14	0,41	

### 6.3.3 Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados

Al analizar en detalle esta área, existen dos subáreas con altas diferencias de puntajes y una con una diferencia media de puntajes (Tabla 30).

La mayor diferencia ( $\Delta = 2,20$ ) está en la subárea de Ensayos o acreditaciones de los elementos prefabricados (2.4). Esta tiene que ver con el uso de normativa para el diseño de soluciones que cumplan con requerimientos mínimos en resistencia al fuego, térmico o acuáticos de los elementos prefabricados. El C4 en promedio ensaya o utiliza una solución de listado oficial en el 10% del listado desarrollado (muros, losas y techos en los tres ámbitos, hermeticidad y calculo), mientras que el C3 aplica el 75% de estos.

En la subárea de Consideraciones de transporte (2.5), la cual plantea métricas del transporte para el diseño de los elementos prefabricados, el C4 en promedio utiliza 3 de 4 consideraciones encuestadas, mientras que el C3 utiliza la totalidad.

Finalmente, hay diferencia de puntajes negativa en la subárea de Definición del sistema constructivo (2.1). Esta evalúa el desarrollo de un set de soluciones constructivas completas (combinación de estructura, aislación, barreras y revestimientos) y el emplear piezas estandarizadas para nuevos diseños. El C4 obtiene 1,36 puntos sobre el C3 en la definición del sistema constructivo, no obstante, es difícil concluir sobre el NI ya que las respuestas para el C3 tiene un DE alta.

**Tabla 30.** Comparación entre el C3 y el C4 - Área 2. Sistemas Técnicos Desarrollados

2. Sistemas Técnicos Desarrollados	Empresas C3										Empresas C4										$\Delta$
	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	HJ	STU	WXY	$\bar{x}$	CDE	IJK	ABC	RST	GHI	STU	WXY	$\bar{x}$				
2.1 Definición del sistema constructivo	1,00	4,00	1,00	0,00	2,00	1,00	3,00	0,00	1,50	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	2,00	0,00	2,86		-1,36		
2.2 Documentación de los sistemas y el diseño	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	3,00	3,75	2,50	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	2,00	3,36		0,39		
2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción	0,00	1,10	2,90	2,20	3,30	0,00	1,50	1,10	1,51	3,30	1,50	0,40	0,40	0,40	1,50	0,00	1,07		0,44		
2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas	3,60	3,60	0,00	3,60	3,60	2,80	3,60	3,20	3,00	0,40	0,40	3,60	0,00	0,00	0,00	1,20	0,80		2,20		
2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,88	3,00	4,00	3,00	4,00	2,00	2,00	3,00	3,00		0,88		

Para profundizar el análisis de esta área, se hace un cruce entre las etapas en las que participa la empresa y el producto que las empresas ofrecen al mercado (Tabla 31). Las empresas del C4 tienen un uso en promedio de 3 de 11 normativas básicas de construcción, una puntuación de 0,8 puntos en el uso de ensayo o acreditaciones, ya sea fuego, térmico y acústico, de las unidades prefabricadas y en promedio la ejecución de 3 de 11 manuales o instructivos de construcción.

Tomando en consideración que cuatro de siete empresas asume las etapas desde el diseño

hasta la construcción (Tabla 31), y dos de los tres restantes asumen hasta el montaje, se presenta la interrogante de si estas viviendas son aptas para regularización y apremia una efectiva fiscalización a empresas prefabricadoras. Se sugiere el estudio del alcance en el cumplimiento de la normativa para el uso de materiales de construcción apropiados, la aprobación de diseños con estándares mínimos de espacios, un correcto emplazamiento de las viviendas en los terrenos, el montaje en fundaciones adecuadas, la fiscalización del cumplimiento de instalaciones eléctricas y sanitarias, entre otros.

**Tabla 31. Comparación entre el C3 y el C4 - Etapas y productos que ofrecen las empresas del C4**

Empresas C4	ETAPAS	PRODUCTO
DEF	D + P + T + M + C	Vivienda prefabricada, montada y totalmente finalizada (Llave en mano)
VWX	P + T	Módulos y/o paneles prefabricados no montados
MNO	D + P + T + M + C	Vivienda prefabricada, montada y totalmente finalizada (Llave en mano)
BCD	D + P + T + M	Vivienda prefabricada montada
EFG	D + P + T + M + C	Vivienda prefabricada, montada y totalmente finalizada (Llave en mano)
LMN	D + P + T + M	Módulos y/o paneles prefabricados montados

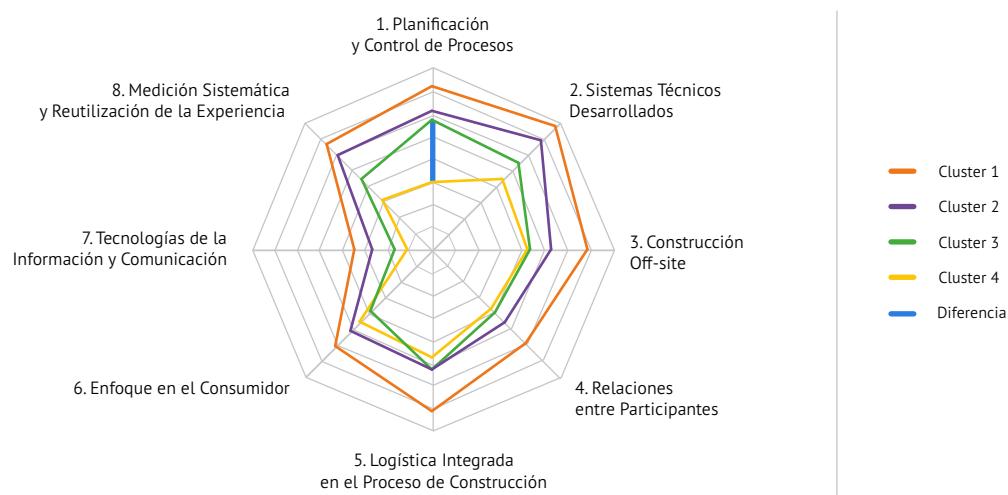
## 6.4 Caracterización de los Niveles de Industrialización

A modo de resumen la Tabla 32 muestra tres aspectos: las mayores diferencias de puntajes, si estas son promedios por sobre o bajo el NI del *cluster* y sus desviaciones estándar.

**Tabla 32.** Resumen de la comparación del NI por área de los cuatro *clusters*

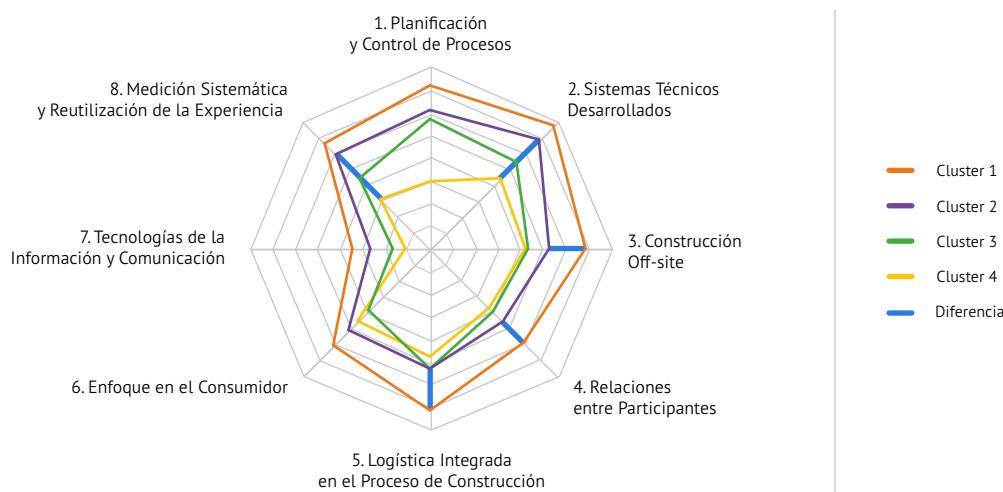
Áreas de Industrialización	C1 y C2		C2 y C3		C3 y C4	
	C1	C2	C2	C3	C3	C4
1. Planificación y Control de Procesos	3,64	3,09	3,09	2,89	2,89	1,50
2. Sistemas Técnicos Desarrollados	3,89	3,44	3,44	2,73	2,73	2,22
3. Construcción Off-site	3,47	2,66	2,66	2,19	2,19	2,13
4. Relaciones entre Participantes	2,96	2,30	2,30	1,99	1,99	1,87
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción	3,61	2,68	2,68	2,68	2,68	2,41
6. Enfoque en el Consumidor	3,05	2,57	2,57	1,94	1,94	2,28
7. Tecnologías de la Información y Comunicación	1,73	1,33	1,33	0,83	0,83	0,55
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia	3,32	2,97	2,97	2,22	2,22	1,56
<b>Promedio</b>	<b>3,21</b>	<b>2,63</b>	<b>2,63</b>	<b>2,18</b>	<b>2,18</b>	<b>1,81</b>

La mayor brecha entre niveles de industrialización se presenta en el área de Planificación y Control de Procesos, entre el C4 y el C3 (Figura 49).



**Figura 49.** NI por área y cluster - Mayor diferencia entre clusters

Si bien, para subir de NI se requiere que una empresa aplique mejoras en todas las áreas, las áreas de uso de Sistemas Técnicos Desarrollados y la de Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia son áreas de mejora persistente hasta avanzar a un NI medio (Figura 50). Mientras que, para avanzar de un NI medio a un NI alto (C2 a C1), las mejoras se enfocan en las áreas de Construcción Off-site, Relaciones entre Participantes y Logística Integrada en los Procesos de Construcción.



**Figura 50. NI por área y cluster - Mayores diferencias para llegar al NI alto (C1)**

A continuación, se presenta una caracterización de los cuatro niveles de industrialización. Esta caracterización no es representativa para todas las empresas que integran cada *cluster*, sino más bien, es una interpretación de las características inferidas por los resultados de la muestra y del análisis comparativo entre grupos.

#### 6.4.1 C1 - NI alto

El NI alto se destaca por la complejidad y completitud de los elementos prefabricados y por ofrecer edificios viviendas montadas y totalmente finalizadas. Como resultado de la etapa de prefabricación, son elementos tridimensionales que comprenden con sus instalaciones sanitarias y eléctricas, incluyen las terminaciones y componentes estandarizados como puertas y ventanas incorporados *off-site*,

obteniendo alcances sobre el 50% del valor final de la vivienda.

A diferencia de los dos niveles inferiores, las empresas asumen como responsabilidad todas las etapas del proyecto (desde la etapa de diseño hasta la construcción *on-site*) y realizan recepciones al largo del proyecto, cerciorándose de mantener el nivel de calidad obtenido en fábrica. Las empresas pueden ser grandes o medianas y se organizan en variados equipos de trabajo e incluyen una alta selección de profesionales y equipo técnico apropiado a las líneas de producción y sistemas constructivos utilizados. Tiene un alto nivel de integración temprana entre sus equipos, donde previo a la ejecución de las tareas se alinean los criterios de proyecto.

La planificación de sus proyectos está apoyada por una variada selección de herramientas de control procesos además de documentación que marca el cierre del diseño y el paso a la producción. Además de aplicar avanzados sistemas de control de calidad a sus productos, utilizan materiales certificados, controles internos o externos para la producción y en algunos casos el uso de normativas ISO. El alto nivel de terminación conlleva mínimos requerimientos de almacenaje *on-site* al incorporar múltiples partidas en el módulo. Presentan una alta coordinación entre el transporte y el montaje en obra. En este nivel, el registro y medición de los procesos es transversal a la empresa, teniendo chequeos y análisis para un autoaprendizaje constante y mejora de los procesos.

Se caracteriza por un avanzado desarrollo de sistemas técnicos. Los diseños de los elementos prefabricados integran soluciones constructivas completas (estructura, aislación, instalaciones, revestimientos, etc.), las cuales son testeadas y ensayadas para la resistencia al

fuego, térmico y requerimientos acústicos. Los sistemas son documentados de forma integrada entre especialidades de forma digital y a través de *softwares* en diseño, producción, gestión y control de procesos. Tiene un buen nivel de integración en la información y una óptima base de datos compartida entre la mayoría de las etapas del proyecto. La documentación incluye la elaboración de manuales o instructivos de todas las partidas post fábrica.

La fábrica tiene todos los espacios necesarios para la producción, cerrados y con una superficie de 2500 m<sup>2</sup> aproximadamente. Claras líneas de producción con un nivel de maquinaria en promedio mecanizada o automatizada (manejada por un personal contantemente capacitado). En el mismo terreno de la fábrica cuentan con oficinas, zonas de acopio de materiales, almacenaje de producción y áreas de *picking*. Utilizan de forma continua sistemas de trazabilidad de las materias primas y de la producción de forma sistematizada o a través de *softwares* integrados.



**Figura 51.** Diagrama del NI por subárea - C1 - NI alto

## 6.4.2 C2 - NI medio

El NI Medio ofrece como producto final una vivienda prefabricada, la cual en algunos casos puede incluir el montaje en obra. En fábrica se elaboran elementos bidimensionales, paneles de entramado ligero o paneles SIP, e incluyen una parcialidad de instalaciones y/o terminaciones, y en algunos casos incorporan componentes estandarizados como puertas y ventanas *off-site*. Los proyectos pueden obtener alcances de entre un 25% y el 50% del valor final de la vivienda.

En este nivel, las empresas asumen 3 de 5 etapas de proyecto, donde la base es la etapa de prefabricación a la cual se puede sumar diseño y transporte o en otros casos transporte y montaje. Realizan recepciones o fiscalizaciones de calidad para etapas de producción y transporte. Las empresas por lo general son medianas y se organizan en variados equipos de trabajo e incluyen profesionales y equipo técnico apropiado a las líneas de producción y sistemas constructivos utilizados. Tiene un nivel de integración temprana de los equipos donde previo a la ejecución de las tareas se alinean criterios de proyecto.

La planificación de los proyectos está apoyada por una selección básica de herramientas de control de procesos y además de documentación que marca el cierre del diseño y el paso a la producción. Aplican sistema de control de calidad a sus productos, utilizan materiales certificados y en ciertos casos controles externos para la producción. Este nivel de terminación tiene

mayores requerimientos de almacenaje en obra los cuales se manejan a través de instalaciones de faenas con cubiertas y radieres para la protección de materiales de construcción y una buena planificación entre la etapa de transporte y el montaje para elementos prefabricados. Al igual que en nivel de industrialización alto, el registro y medición de los procesos es transversal a la empresa, teniendo chequeo y análisis para el autoaprendizaje constante y para la mejora de los procesos.

Los diseños de los elementos prefabricados integran soluciones constructivas completas (estructura, aislación, instalaciones, revestimientos, etc.) y están basadas en los listados de soluciones de la normativa vigente. Estas se registran de forma integrada entre las especialidades de prefabricación y en algunos casos con diseño. Se trabaja de forma digital y a través de softwares en diseño, producción y gestión. La documentación incluye la elaboración de manuales o instructivos para un 80% las partidas post fábrica.

La fábrica consta de un espacio cerrado con una superficie de 2000 m<sup>2</sup> aproximadamente. Claras líneas de producción con un nivel de maquinaria en promedio mecanizado o automatizada empleada por un personal altamente capacitado. En el mismo terreno, cuentan con espacios para acopio de materiales y almacenaje de producción con cubiertas y radieres. Además, utilizan de forma continua sistemas de trazabilidad de las materias primas y materiales de forma sistematizada o a través de softwares integrados.



**Figura 52. Diagrama del NI por subárea - C2 - NI medio**

### 6.4.3 C3 - NI bajo

En este nivel de industrialización se ofrece como producto final una vivienda prefabricada no montada. En fábrica se elaboran elementos bidimensionales, paneles de entramado ligero o paneles SIP en obra gruesa sin instalaciones o terminaciones por lo que su alcance puede ser aproximadamente de un 15% del valor final de la vivienda.

Estas empresas asumen 3 de 5 etapas de proyecto, incluyendo como base la etapa de prefabricación la cual se puede sumar diseño y transporte o en otros casos transporte y montaje. Las empresas por lo general son medianas y se organizan en equipos de trabajo que cubren las tareas básicas de una empresa como dirección, comercial, producción e ingeniería y diseño. Los equipos comprenden profesionales y equipo técnico apropiado a las líneas de producción y sistemas constructivos utilizados. Tiene un nivel de integración temprana de los equipos donde previo a la ejecución de las tareas se alinean criterios de proyecto. Sin embargo, presentan una segregación de información de los proyectos la cual es compartida entre 2 de 5 etapas.

La planificación de los proyectos es lógica y aplican de documentación que marca el cierre del diseño y el paso a la producción. Utilizan un sistema de control de calidad como la certificación de la materialidad utilizada y controles internos o externos como proceso de recepción de

producción. En este nivel de industrialización se realiza registro de forma continua o semanal de forma sistematizada o a través de *softwares* integrados en producción, control de calidad y costos. Sin embargo, no se realiza un análisis de lo registrado. Otras áreas de la empresa quedan en registro básico exigido por la normativa o no realizan registro.

Los diseños de los elementos prefabricados están basados en los listados de soluciones de la normativa vigente. Sin embargo, al no asumir etapas post fábrica, estas quedan en manos de los clientes. Se trabaja de forma digital y a través de *softwares* en diseño, producción y/o gestión. La documentación incluye la elaboración de manuales o instructivos para un 50% las partidas post fábrica.

La fábrica consta de un espacio cerrado con una superficie de 1000 m<sup>2</sup> aproximadamente. Cuentan con líneas de producción y maquinaria básica acorde al sistema constructivo utilizado alcanzando un nivel mecanizado. Su personal de mano de obra y operarios por lo general tienen un nivel de capacitación introductorio. En el mismo terreno, cuentan con espacios para acopio de materiales con cubierta y radier. Sin embargo, el almacenaje de producción se realiza a la intemperie. Utilizan de forma continua sistemas de trazabilidad de las materias primas de forma semanal y de producción diaria, a través de planillas sistematizada o aisladas.



Escala de valores por subáreas



**Figura 53. Diagrama del NI por subárea - C3 - NI bajo**

#### **6.4.4. C4 - NI muy bajo**

En este nivel de industrialización, se ofrece como producto final una vivienda prefabricada montada y totalmente finalizada. En fábrica, se elaboran elementos bidimensionales, paneles de entramado ligero o paneles SIP en obra gruesa sin instalaciones ni terminaciones, por lo que su alcance puede ser aproximadamente de un 10% del valor final de la vivienda.

Estas empresas asumen las 5 etapas del proyecto, de las cuales, en promedio, 2 o 3 incluyen un proceso de recepción. Las empresas son generalmente pequeñas y se organizan en equipos de trabajo que cubren las tareas básicas, como dirección, comercial y producción. Tienen un equipo de profesionales y técnico básico. Tiene un nivel de integración temprana de los equipos, donde previo a la ejecución de las tareas, se alinean criterios de proyecto. Sin embargo, presentan una segregación de la información de los proyectos, la cual es compartida entre 2 de 5 etapas.

Las áreas que presentan mayores desafíos son la de Planificación y Control de Procesos (1.0) y la de Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia (8.0). Por un lado, la planificación de los proyectos tiene una secuencia lógica, sin embargo, no utilizan herramientas o métodos

de planificación ni realizan un control de calidad además de no aplicar una documentación para el cierre formal del diseño. Respecto a la Medición, el registro se realiza de forma continua o semanal a través de planillas sistematizada o aisladas en producción, plazo y costos, un análisis de los datos. Otras áreas de la empresa quedan en lo básico exigido por la normativa o no se realiza registro.

Los diseños de los elementos prefabricados están basados en los listados de soluciones de la normativa vigente y declaran utilizar 3 de 11 normativas básicas de construcción, a pesar de asumir las etapas post fábrica. Se trabaja de forma digital solo en la etapa de diseño. La documentación incluye la elaboración de manuales o instructivos para un 25% las partidas post fábrica.

La fábrica consta de un espacio cerrado con una superficie de 200 m<sup>2</sup> aproximadamente. La línea de producción es acorde al sistema constructivo utilizado y la maquinaria alcanza un nivel manual o mecanizado con operadores capacitados en un nivel introductorio. En el mismo terreno, cuentan con espacios para acopio de materiales y acopio de producción al aire libre. La trazabilidad de la materia prima y de la producción se realiza través de planillas aisladas o a mano, con una periodicidad semanal.



Escala de valores por subáreas



**Figura 54.** Diagrama del NI por subárea - C4 - NI muy bajo

El presente análisis comparativo entre *clusters* y la caracterización de los diferentes Niveles de Industrialización definidos permiten identificar las principales similitudes y diferencias entre grupos. En el próximo capítulo, estas son transformadas en una hoja de ruta por nivel, a modo de sugerencias en cómo priorizar acciones para mejoras en cada área de industrialización.

## **07. Hoja de ruta y recomendaciones**

## Hoja de ruta

Con el fin de guiar y aumentar el NI de las empresas prefabricadoras con madera en Chile, se elaboró una hoja de ruta con una mirada sistemática en las ocho áreas planteadas. Como se especifica en la metodología (sección 4.6), para los cuatro *clusters* desarrollados, se cruzaron los resultados específicos por *cluster* (sección 5) con la comparativa entre dichos grupos (sección 6), obteniendo seis prioridades a nivel de áreas y subáreas. Cada empresa evaluada puede, a través de sus resultados particulares, identificar en la hoja de ruta el *cluster* al cual pertenece y acceder a las recomendaciones por nivel.

Para los distintos *clusters*, se recomienda aumentar el NI de las áreas y subáreas en el siguiente orden de prioridades:

1. Subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* con una DE baja y que se encuentren dentro de un área con un NI menor al promedio del *cluster* y una DE baja. También, subáreas con una diferencia del NI mayor a 0,50 con una DE baja que se encuentren dentro de un área con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 mayor a 0,50.
2. Subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* con una DE alta y que se encuentren dentro de las áreas con un NI menor al promedio del *cluster* y una DE baja. También, subáreas con una diferencia del NI mayor a 0,50 con una DE baja y alta que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 mayor a 0,50.
3. Subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* con una DE baja y que se encuentren

dentro de las áreas con un NI menor al promedio del *cluster* y una DE alta. También, subáreas con una diferencia del NI mayor a 0,50 con una DE alta que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 mayor a 0,50.

4. Subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* con una DE alta y que se encuentren dentro de las áreas con un NI menor al promedio del *cluster* y una DE alta. También, subáreas con una diferencia del NI mayor a 0,50 junto con una DE baja que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 menor a 0,50.
5. Subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* junto con una DE baja y que se encuentren dentro de las áreas con un NI mayor al promedio del *cluster*. También, subáreas con una diferencia del NI mayor a 0,50 con una DE baja y alta que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 menor a 0,50.
6. Subáreas con un NI menor al promedio del *cluster* junto con una DE alta y que se encuentren dentro de las áreas con un NI mayor al promedio del *cluster*. También, subáreas con una diferencia del NI mayor a 0,50 junto con una DE alta que se encuentren dentro de las áreas con una diferencia del NI entre el CX y el CX+1 menor a 0,50.

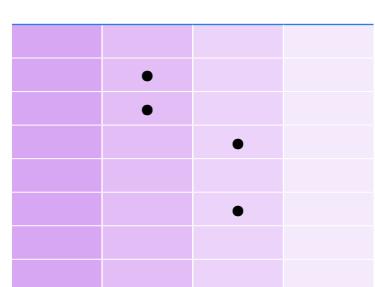
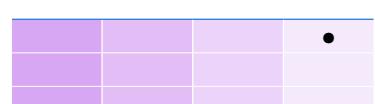
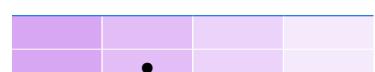
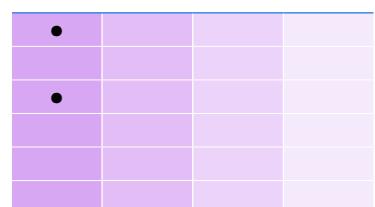
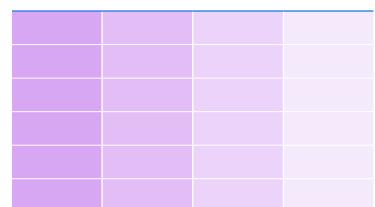
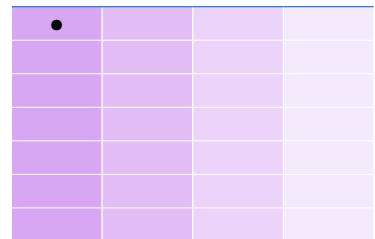
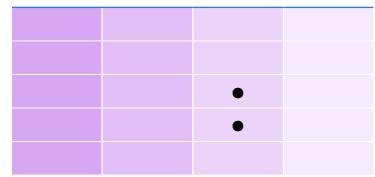
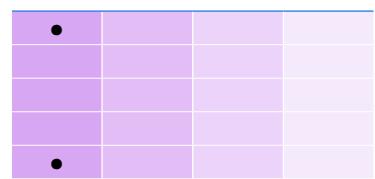
A continuación, se presenta una hoja de ruta desarrollada por *clusters* (Figura 55) y recomendaciones para la industria de la construcción industrializada en madera.

	Cluster 1							
	1º prioridad	2º prioridad	3º prioridad	4º prioridad	5º prioridad	6º prioridad	1º prioridad	2º prioridad
1. Planificación y Control de Procesos								
1.1 Equipos de trabajo								
1.2 Personal técnico y mano de obra							●	
1.3 Proceso de planificación de proyectos								●
1.4 Uso de normativas de control de calidad								
1.5 Uso de normativas de construcción								
2. Sistemas Técnicos Desarrollados								
2.1 Definición del sistema constructivo								
2.2 Documentación de los sistemas y el diseño								
2.3 Ejecución de manuales o instrucciones de construcción								
2.4 Ensayos o acreditaciones de las unidades prefabricadas								
2.5 Consideraciones de diseño modular y transporte								
3. Construcción Off-site								
3.1 Definición o alcance del producto final								
3.2 Clasificación de elementos prefabricados según dimensión							●	
3.3 Clasificación de elementos prefabricados según terminación								●
3.4 Uso de componentes estandarizados								●
3.5 Secuencia de fabricación								
3.6 Nivel de infraestructura								
3.7 Maquinarias y equipamiento en fábrica								
4. Relaciones entre Participantes								
4.1 Etapas de desarrollo del proyecto que ofrece como servicio								
4.2 Asociaciones en distintas etapas de desarrollo del proyecto								
4.3 Integración entre etapas del proyecto	●							
4.4 Integración en tecnología e información		●						
4.5 Integración de la información según etapas del proyecto			●					
4.6 Grado de Madurez BIM				●				
5. Logística Integrada en el Proceso de Construcción								
5.1 Cadena de suministro para producción								
5.2 Trazabilidad y almacenaje								
5.3 Logística de montaje y construcción								
5.4 Logística de transporte								
5.5 Recepciones								
5.6 Maquinarias y equipamiento para etapas post fábrica								
6. Enfoque en el Consumidor								
6.1 Objetivos y estudios de mercado				●				
6.2 Oferta, personalización y experiencia MINVU								
7. Tecnologías de la Información y Comunicación								
7.1 Uso de softwares					●			
7.2 Digitalización e interoperabilidad por etapas						●		
7.3 Usos BIM						●		
8. Medición Sistemática y Reutilización de la Experiencia								
8.1 Producción								
8.2 Uso energético							●	
8.3 Desechos y 4R								
8.4 Calidad							●	
8.5 Plazos								
8.6 Personal								
8.7 Accidentes laborales								
8.8 Costos								

Figura 55. Hoja de ruta de los cuatro clusters

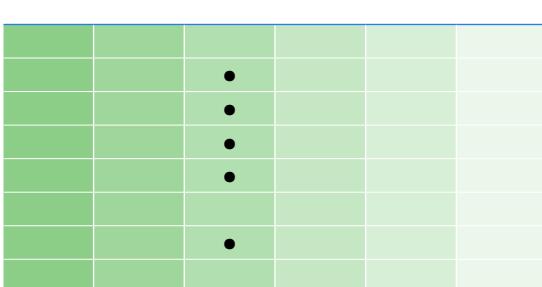
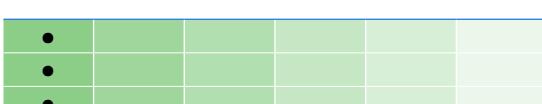
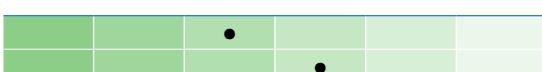
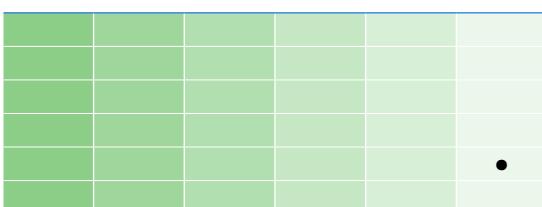
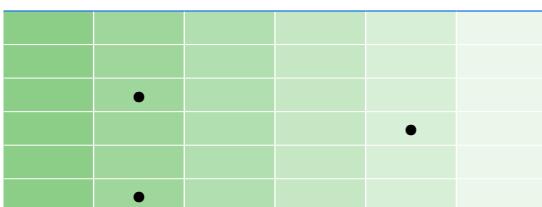
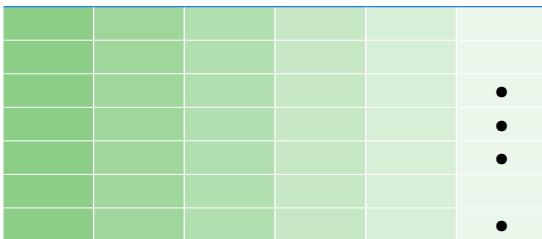
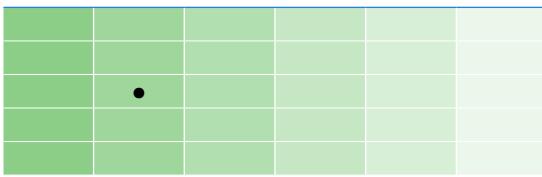
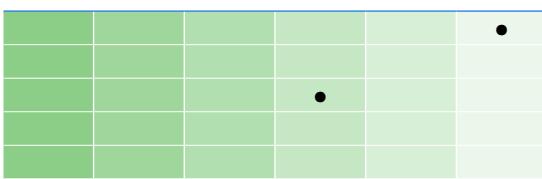
Cluster 2

3°	4°	5°	6°
prioridad	prioridad	prioridad	prioridad



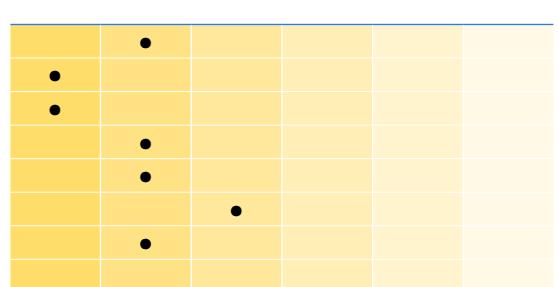
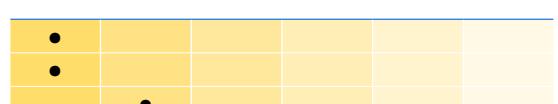
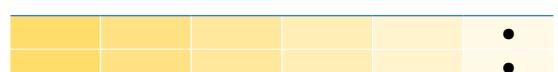
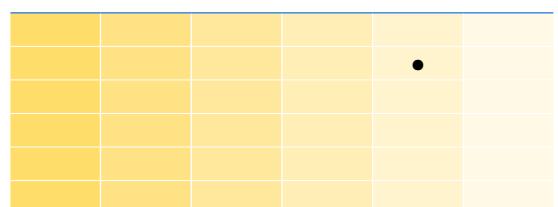
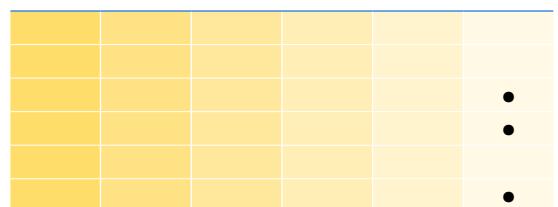
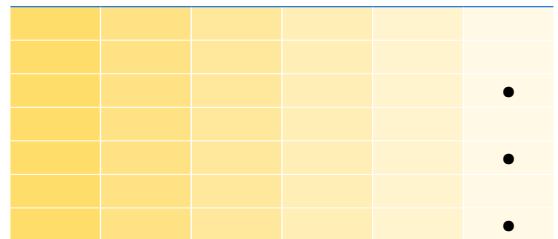
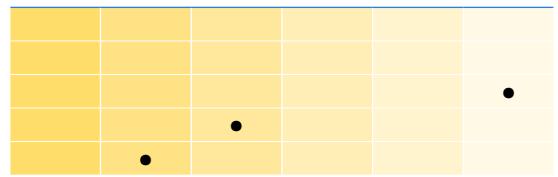
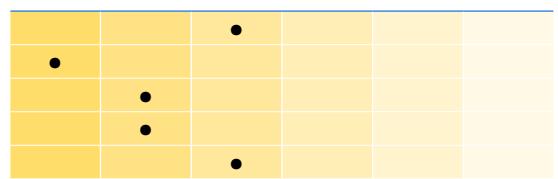
Cluster 3

1°	2°	3°	4°	5°	6°
prioridad	prioridad	prioridad	prioridad	prioridad	prioridad



Cluster 4

1°	2°	3°	4°	5°	6°
prioridad	prioridad	prioridad	prioridad	prioridad	prioridad



## Recomendaciones

Con el fin de aumentar el NI y el estándar de la industria, se desarrollan las siguientes recomendaciones:

- **Generar un programa de apoyo e incentivos para las empresas del C3 que les permita certificarse bajo la Resolución Exenta N°52 (MINVU, 2023a) y contribuir con diseños para la oferta de viviendas sociales industrializadas aprobados bajo la Resolución Exenta N°59 (MINVU, 2023b):** se identificó que el C2 (NI medio) es el estándar básico actualmente requerido para la participación de empresas prefabricadoras en el diseño de viviendas industrializadas que contribuyan a la reducción del déficit habitacional y a la provisión de viviendas sociales. Por lo tanto, las empresas evaluadas con un NI bajo (C3) son aquellas que requieren de especial atención e incentivos para aumentar su NI y sumarse a la oferta de viviendas industrializadas. Este respaldo estratégico contribuirá significativamente al crecimiento y fortalecimiento de estas empresas, facilitando su transición hacia una categoría que cumpla con los estándares de industrialización requeridos. Para esto se sugiere que la hoja de ruta del C3 sea el punto de partida de este programa. Sin embargo, para garantizar el éxito de este, se recomienda un seguimiento continuo donde no solo se realicen asignaciones de recursos financieros, sino también un asesoramiento especializado y un desarrollo de redes de colaboración que permitan mejoras sostenibles en el tiempo en cada subárea identificada.
- **Aumentar la adopción de BIM en la cadena de valor de la construcción industrializada desde proveedores hasta mandantes:** este apoyo puede proveer financiamiento para la adquisición del *software* especializado, capacitaciones y formación de los futuros usuarios, aprovechando al máximo las capacidades de BIM y facilitando la integración entre equipos de trabajo internos y externos. Este enfoque conjunto en aplicación, formación e integración impulsará eficazmente la digitalización a lo largo de la cadena de valor, mejorando la eficiencia y la calidad en la construcción industrializada. En este sentido, se requiere mayor conocimiento sobre la interoperabilidad de los *softwares* utilizados a lo largo de todo el proceso.
- **Desarrollar sistemas técnicos certificados para soluciones constructivas completas y manuales para etapas post fábrica:** es fundamental proporcionar pautas claras para todo el proyecto desde etapas tempranas de diseño y planificación que permitan garantizar calidad y eficiencia en la construcción, promoviendo así la implementación de estándares más elevados.
- **Promover la medición sistemática y la reutilización de la experiencia:** es importante mantener un registro sistematizado de las áreas que comprende la industrialización y utilizar esta información para mejorar y controlar los procesos.
- **Promover y facilitar asociaciones estratégicas entre empresas prefabricadoras, constructoras y EP:** esto permite expandir la variedad de etapas ofrecidas como productos finales y elevar el NI. Estas colaboraciones estratégicas permitirán integrar procesos prefabricados en múltiples fases del proyecto, lo que impulsará la eficiencia y la calidad en la ejecución de obras de construcción. Estas alianzas colaborativas crearán una sinergia entre las especialidades y las distintas etapas del

proyecto, llevando a una optimización de la industria de la construcción y al desarrollo de proyectos más eficientes y sostenibles.

- **Aumentar las subáreas de industrialización que comprende el actual instrumento de evaluación de industrialización de prefabricadoras, la Resolución Exenta N°52 (MINVU, 2023a):** esta investigación sugiere variadas subáreas que pueden ser integradas complementando los actuales estándares mínimos propuestos. También, se recomienda establecer un estándar esperado, transparentarlo y actualizarlo cada un periodo de tiempo determinado.
- **Estudiar la cadena de valor y los modelos de gestión con los que opera hoy la construcción industrializada en Chile:** es esencial conocer los actores que participan en la elaboración de un proyecto, las relaciones contractuales entre estos y el nivel de integración temprana, especialmente en las etapas de diseño y prefabricación.
- **Estudiar etapas post fábrica, es decir, transporte, montaje y construcción:** es fundamental conocer el NI de empresas transportistas, montajistas y constructoras, junto con la formación y capacitación del personal, el nivel de tecnología y maquinaria que utilizan, los protocolos de seguridad, las relaciones contractuales y el nivel de integración temprana que estas pueden tener en etapas de diseño y producción. Esta profundización permitirá conocer, por ejemplo, en qué medida se mantiene el nivel de calidad garantizado por las prefabricadoras, si se aplican los manuales exigidos para proyectos industrializados, y las tolerancias en obra de las fundaciones e instalaciones.
- **Incluir en el Protocolo Fiscalización Técnica de Obras en Proyectos Habitacionales Industrializados - Financiamiento Asistencia Técnica (MINVU, 2023b) la verificación de la calidad de la madera, incluyendo aspectos estructurales, niveles de humedad, dimensionamiento y preservación y la acreditación de las soluciones constructivas según resistencia al fuego, propiedades térmicas y aislamiento acústico:** es crucial que se establezcan requisitos claros para el diseño de soluciones completas, que incluyan recomendaciones específicas o alternativas relacionadas con la aislación térmica, barreras de vapor y/o humedad y revestimientos adaptados a las distintas zonas climáticas. Esta medida fortalecerá la confiabilidad de las construcciones prefabricadas, asegurando estándares óptimos y cumpliendo con las normativas y expectativas de calidad en la industria de la construcción.
- **Realizar una campaña informativa dirigida a empresas constructoras, orientada a promover y educar sobre los beneficios y oportunidades que ofrece la construcción industrializada:** esta campaña debería resaltar las ventajas claves, como la disminución de costos, la reducción de tiempos y el aumento de la calidad, productividad y sostenibilidad de los proyectos. Al incrementar la comprensión sobre los beneficios de la construcción industrializada, se incentiva a las empresas a adoptar este enfoque en sus proyectos, lo que, a su vez, contribuirá al crecimiento del sector, impulsando la demanda y fomentando la innovación en la industria.
- **Realizar una campaña de difusión que incentive a las empresas del C1 y del C2 a certificarse bajo la Resolución Exenta N°52**

**(MINVU, 2023a) y a contribuir con diseños para la oferta de viviendas sociales industrializadas aprobados bajo la Resolución Exenta N°59 (MINVU, 2023b):** La información debe incluir los beneficios financieros de los programas habitacionales industrializados, los procesos de postulación, requerimientos de diseño y el funcionamiento del sistema de estados de pago en proyectos industrializados.

- **Realizar una campaña de difusión que dé a conocer y transfiera el conocimiento desarrollado en esta investigación a la industria de forma efectiva:** es esencial para maximizar el impacto de los resultados. Esta iniciativa establece un puente crucial entre la academia y la industria, facilitando la implementación de innovaciones y fomentando la colaboración, lo que contribuye al desarrollo sostenible y al progreso nacional.
- **Generar estrategias destinadas a asegurar una alta demanda viviendas que permita a las empresas alcanzar un nivel mínimo suficiente de producción para automatizar procesos, disminuyendo así el riesgo asociado a inversiones a mediano y largo plazo:** según Bertram et al. (2019), uno de los principales impulsores para lograr ahorros de costos radica en las economías de escala. Esto implica contar con fábricas que cumplan con los requisitos y características mínimas para conseguir una producción que garantice la repetibilidad, aprendizaje continuo y reducción de costos por volumen en compras. Las empresas experimentan un incremento sustancial en la productividad cuando logran producir al menos unas 1.000 unidades al año. Asegurar una demanda sólida y sostenida permitirá a las empresas de construcción industrializada beneficiarse de economías de escala, lo que se traducirá en eficiencias operativas, reducción de costos y mayores niveles de calidad en la producción, consolidando así el éxito a largo plazo en la industria (Bertram et al., 2019). En este sentido, se recomienda continuar e incentivar la aprobación de proyectos industrializados bajo la Resolución Exenta N°59 (MINVU, 2023b) buscando consolidar una demanda sólida y sostenida en el tiempo.
- **Aplicar “Design Freeze” en el proceso de diseño de viviendas sociales industrializadas bajo la Resolución Exenta N°59 (MINVU, 2023b):** “Design Freeze” implica una fase crítica en la que se consolida y se estabiliza el diseño de manera definitiva antes de proceder con la producción en masa (Lattke y Hernandez-Maetsch, 2016). Esto requiere de una planificación detallada y exhaustiva, para garantizar la uniformidad, calidad y eficiencia en la fabricación de viviendas industrializadas. Al incorporar este concepto en el proceso de aprobación de diseños, se promoverá una mayor consistencia y confiabilidad en la producción, reduciendo costos y minimizando las posibles variaciones que puedan surgir durante la fabricación. Esto contribuirá significativamente a la mejora general en la calidad y la eficiencia del proceso de construcción de viviendas industrializadas (Lattke & Hernandez, 2016).

## **08. Conclusiones, limitaciones y mejores futuras**

## Conclusiones

Esta investigación aborda las interrogantes sobre la extensión de la industria de la construcción prefabricada con madera en Chile, sus capacidades, brechas y la potencialidad de las empresas en transformarse en proveedoras de viviendas sociales industrializada contribuyendo al PEH.

En una etapa inicial de la investigación se creó una base de datos compuesta por 115 empresas prefabricadoras con madera a lo largo de Chile. Además, se elaboró una encuesta para caracterizarlas de forma general, obteniendo respuestas de 56 empresas. De los resultados se concluye que en su mayoría las empresas se encuentran al sur de la región Metropolitana. Predominantemente, son micro, pequeñas o medianas empresas, tanto en términos de número de empleados como de ingresos anuales. Estas empresas cuentan con una fuerza laboral diversa que abarca desde personal de mano de obra, personal técnico y profesionales en áreas de ingeniería, gestión y diseño. Además, son relativamente jóvenes en el mercado. La mayoría con entre 1 y 10 años de experiencia y operan en instalaciones con un tamaño menor a 2500 m<sup>2</sup>. Aunque cuentan con sistemas de control de calidad, disponen de una cantidad limitada de maquinaria, equipos y tecnologías. Asimismo, ofrecen una amplia gama de productos y servicios que van desde elementos prefabricados hasta viviendas completamente finalizadas. Cabe destacar que gran parte de estas empresas no han participado en proyectos de viviendas sociales bajo decretos supremos (DS1, DS10, DS19 o DS49). Sin embargo, muestran un fuerte interés en colaborar con el sector público en la construcción de viviendas de carácter social. Con base en los resultados de la encuesta,

se definieron unos criterios de selección y se escogieron 23 empresas para una evaluación en profundidad de su nivel de industrialización.

Basado en la propuesta teórica sobre construcción de vivienda industrializada (Lessing, 2006), se desarrolló un marco conceptual contextualizado a la realidad local compuesto por ocho áreas de industrialización. Con base en este marco conceptual y a una visión multifactorial de la industrialización se elaboró un instrumento de medición del NI para aplicar en terreno a las 23 empresas seleccionadas. Dentro de las ocho áreas de industrialización se definieron 42 subáreas, a las cuales se les asignó un puntaje. Luego, mediante la metodología de *clustering* no supervisado (*unsupervised learning clustering* en inglés) se analizaron los puntajes de las distintas empresas según valores similares, permitiendo formar grupos (*clusters*) que representan distintos niveles de industrialización.

Los resultados determinaron cuatro *clusters*, los cuales corresponden a un Nivel de Industrialización (NI) alto, medio, bajo y muy bajo. La gran mayoría de las empresas se encuentran en el C2 (NI medio), el C3 (NI bajo) y el C4 (NI muy bajo), específicamente el 87%. Mientras que el C1 (NI alto) corresponde al 13% de las empresas. Los niveles de industrialización identificados muestran un aumento homogéneo de puntajes en las ocho áreas evaluadas. Por lo tanto, el C1 tiene un mayor puntaje en todas las áreas con respecto al C2. Así mismo, el C2 con respecto al C3 y el C3 con respecto al C4.

Con el fin de identificar las capacidades y brechas de la industria se realizó un análisis comparativo entre *clusters* con base en las diferencias de puntajes por áreas y a la DE de las respuestas.

La brecha más alta entre el C1 y el C2 está relacionada con el grado de completitud de los elementos prefabricados (Área 3. Construcción Off-site). Esto está directamente relacionado con la cantidad de partidas de construcción que se elaboran en fábrica, implicando un mayor nivel de control sobre estas desde etapas tempranas como el diseño y producción considerando la planificación que conllevan etapas posteriores como transporte, montaje y obras *on-site*. El C1 elabora elementos prefabricados tridimensionales con instalaciones, terminaciones y componentes estandarizados, como puertas y ventanas, instalados en fábrica. Mientras que el C2 elabora elementos prefabricados bidimensionales, con una parcialidad de instalaciones (eléctricas y/o sanitarias) y una parcialidad de terminaciones, por lo general, el revestimiento exterior y la aislación térmica y/o acústica. Además, en este nivel, debido a la logística de transporte de paneles, solo una parcialidad de componentes estandarizados es instalado *off-site*.

La segunda gran brecha entre el C1 y el C2 es el alcance de las empresas con respecto a la Logística Integrada en los Procesos de Construcción (Área 5). Dado el punto anterior, el nivel de completitud en la fase de construcción *off-site* conlleva una integrada cadena de suministros, un sofisticado sistema de trazabilidad de materiales de construcción y producción, menores requerimiento en obra, una alta coordinación y logística de transporte, maquinaria y equipamientos post fábrica para movilizar y montar elementos prefabricados tridimensionales y un proceso de recepción para cada una de las etapas del proyecto con el fin de mantener el estándar de calidad obtenido en fábrica. Este último punto contiene la principal distinción entre los *clusters*. Las empresas del C1 realizan 5 de 5 recepciones mientras que el C2 realiza 3 de 5.

Por otro lado, con respecto a las brechas entre el C2 y el C3, la Medición Sistemática y la Reutilización de la Experiencia (Área 8) es un factor altamente diferenciador. Esto es debido a que esta área no presenta una diferenciación considerable entre el NI medio y el NI alto. En este sentido, el C2 aborda la totalidad de ámbitos de manera integrada permitiendo la autoevaluación y autoaprendizaje para mejorar los procesos y apoyar el crecimiento de la empresa. Paralelamente, el C3 mantiene un registro sistematizado y continuo en temas básicos como producción, personal y costos, dejando uso energético, desechos, accidentes laborales, calidad y plazos en el mínimo exigido por la normativa o directamente sin registro y reutilización de la experiencia, desatendiendo el aprendizaje directo de estos datos.

La segunda mayor brecha entre el C2 y el C3 está en los Sistemas Técnicos Desarrollados (Área 2). La diferencia se nota en la definición del sistema constructivo y la ejecución de manuales o instructivos de construcción. Este último punto es muy relevante, ya que el C2 realiza 9 de 11 manuales listados en contraste con el C3 que ejecuta 4.

Paralelamente, se puede concluir que la brecha más alta entre el C3 y el C4 se encuentra en la Planificación y Control de Procesos (Área 1). Esta área es además el área con mayor diferencia de puntajes en la comparación de los distintos *clusters*. Esto implica que el C4 requiere de mejoras en la conformación y especialización dentro de los grupos de trabajo, mayor preparación en la planificación de los proyectos, pero especialmente, requiere incorporar el uso de la normativa básica de construcción y control de calidad.

Finalmente, la mayoría de las empresas del C1 y el C2 ya se encuentran certificadas por la DITEC

MINVU como empresas industrializadoras bajo la Resolución Exenta N°52. Además, varias cuentan con diseños de vivienda tipo industrializada para la ejecución de proyectos según la Resolución Exenta N°59. Por lo tanto, el NI alto y medio cumplen con los estándares actuales que aplica el estado para aprobar a prefabricadoras y permitir que construyan de viviendas sociales industrializadas. De esta manera las empresas del C1 y el C2 son potenciales oferentes de proyectos industrializados y es recomendable crear un programa de incentivos para que se certifiquen y participen de los programas habitacionales.

En cuanto a las empresas del C3 se recomienda seguir las recomendaciones planteadas en la hoja de ruta para aumentar su NI de bajo a medio (C3 a C2). Por lo tanto, si manifiestan el deseo de participar en proyectos con subsidios, el acompañamiento y el apoyo del estado puede ser un catalizador en la aplicación de la hoja de ruta. Este apoyo debe ser no solo a través de financiamiento, sino también a través del traspaso de información normativa, programas de capacitación, apoyo y fiscalización.

## Limitaciones

Esta investigación presentó las siguientes limitaciones:

- **La cantidad de empresas entrevistadas:** la extensión de la entrevista y la visita a terreno hizo que ciertas empresas optaran por no participar en el proceso de medición o por renunciar en medio de este. Por otro

lado, empresas expresaron temor respecto al anonimato de la información o a la divulgación de esta a entidades regulatorias. Estos obstáculos fueron un desafío significativo en la obtención de una mayor cantidad de datos.

- **Metodología de aplicación de la entrevista para medir el NI:** la presencialidad requerida por la entrevista demandó de una extensa coordinación de las visitas de forma geográfica. A pesar de esto, no fue posible coordinar a todas las empresas por lo que para ciertas regiones se requirió múltiples viajes. Además, se estimó que la aplicación de la entrevista y el recorrido por la fábrica se completara en media jornada. Sin embargo, la extensión de la entrevista y la conversación con los entrevistados hizo que en un gran porcentaje de las visitas no se respondiese la metodología completa y se agendara una segunda entrevista online. Esto significó una segunda tarea de planificación y coordinación de reuniones lo que afectó la continuidad de la toma de datos y extendió los plazos de investigación.
- **El carácter voluntario de la participación:** fue un obstáculo adicional inicialmente en la disposición a participar en el proyecto y posteriormente en la entrega de datos precisos y detallados. En este último caso, en pro de la veracidad de la muestra, se requirió eliminar empresas seleccionadas para medir su NI por falta de información.

## Mejoras futuras

Para el futuro, se vislumbran mejoras fundamentales que pueden potenciar la efectividad de este proyecto:

- **La medición del Nivel de Industrialización de las empresas debe llevarse a cabo de manera regular y sistemática a lo largo del tiempo:** esto permitirá una evaluación continua de la evolución de las empresas y el impacto de las iniciativas implementadas. Asimismo, se requiere de un proceso de mejora continua para la metodología de evaluación en sí. Esto garantizará que se mantenga actualizada y se adapte a medida que el estándar de la industria varia a lo largo del tiempo.
- **Automatizar el formulario de evaluación para recopilar datos:** la automatización del formulario para recopilar y evaluar los datos simplificará y acelerará su aplicación. La duración y extensión de la entrevista prolongó la investigación siendo perjudicial en la predisposición de las empresas en participar en la investigación.
- **Estudiar y determinar el peso de cada área de la construcción industrializada e igualar la cantidad de subáreas por área:** se requiere estudiar el peso de cada área propuesta en el marco conceptual de industrialización e igualar la cantidad de subáreas por área igualando la cantidad de información levantada por cada temática o área.
- **Realizar un estudio los actores que participan en etapas post fábrica en la construcción de viviendas industrializadas:** debido a la gran diversidad en la oferta de las empresas prefabricadoras estudiadas, en relación a las etapas en las cuales participan, se requiere un mayor conocimiento con respecto a la oferta, rendimiento y desempeño de empresas transportistas, montajistas y constructoras.
- **Estudiar los modelos de gestión de proyectos de construcción industrializada:** es importante conocer el tipo de relaciones entre actores, sus niveles de participación e integración temprana en etapas de planificación y diseño de proyectos.

# Bibliografía

- Alvarado, A. (2010). Construcción industrializada para la vivienda social en Chile: Análisis de su impacto potencial. En *Ciclo de Seminarios Académicos de Economía*. Santiago. [https://www.sociedadpoliticaspublicas.cl/archivos/BLOQUE2/Vivienda\\_y\\_Politicas\\_Publicas/Construccion\\_Industrializada\\_para\\_la\\_Vivienda\\_Social\\_en\\_Chile\\_Analisis\\_de\\_su\\_Impacto\\_Potencial.pdf](https://www.sociedadpoliticaspublicas.cl/archivos/BLOQUE2/Vivienda_y_Politicas_Publicas/Construccion_Industrializada_para_la_Vivienda_Social_en_Chile_Analisis_de_su_Impacto_Potencial.pdf)
- Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., & Woetzel, J. (2019). Modular construction: From projects to products. In *McKinsey & Company*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>
- CChC. (2020). Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales. [https://cchc.cl/assets/landings/2020/informe-productividad/pdf/ResumenEjecutivo\\_Estudio\\_de\\_Productividad\\_Construccion2020.pdf](https://cchc.cl/assets/landings/2020/informe-productividad/pdf/ResumenEjecutivo_Estudio_de_Productividad_Construccion2020.pdf)
- Bemelmans, J., Voordijk, H., Vos, B., & Buter, J. (2012). Assessing buyer-supplier relationship management: Multiple case-study in the Dutch Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(1), 163–176. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000418](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000418)
- CCI. (2022). Impacto de barreras presentes en la adopción de la Construcción Fuera de Sitio en Chile Identificación y Evaluación. <https://construccionindustrializada.cl/download/impacto-de-barreras-presentes-en-la-adopcion-de-la-construccion-fuera-de-sitio-en-chile-identificacion-y-evaluacion/>
- CCI. (2022). Metodología para la Construcción Industrializada. <https://construccionindustrializada.cl/download/metodologia-para-la-construccion-industrializada-cci-2022/>
- Centro de Innovación en Madera UC. (2020). Guía de Uso de Fichas Técnicas. <https://www.disenamadera.cl/templates/plantillaresponsiva/doc/guia-de-uso-de-fichas-tecnicas.pdf>
- Consejo de Productividad. (2018). Empresas que Construyen de Forma Prefabricada o Industrializada Viviendas Sociales DS19 o DS49.
- CORMA & ProChile. (2020). Catálogo de la Industria Forestal Maderera.
- Déficit Cero. (2022). *Déficit Habitacional: ¿Cuántas familias necesitan una vivienda y en qué territorios?* [https://deficitzero.cl/uploads/biblioteca/Minuta\\_EstimaciondelDeficit.pdf](https://deficitzero.cl/uploads/biblioteca/Minuta_EstimaciondelDeficit.pdf)
- Demšar, J., Curk, T., Erjavec, A., Gorup, Č., Hočevič, T., Milutinovič, M., Možina, M., Polajnar, M., Toplak, M., Starič, A., Štajdohar, M., Umek, L., Žagar, L., Žbontar, J., Žitnik, M., & Zupan, B. (2013). Orange: Data Mining Toolbox in Python. *Journal of machine learning research: JMLR*, 14(71), 2349–2353.
- Dirección de Presupuestos de Chile. (2020). Resumen ejecutivo evaluación programas gubernamentales DS49
- División de Estudios - Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (2014). Antecedentes para la revisión de los criterios de clasificación del Estatuto Pyme.

- El Mostrador, & Capdeville, I. P. (2023). *Retraso burocrático en Viviendas Sociales*. El Mostrador. <https://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/columnas/2023/06/14/retraso-burocratico-en-viviendas-sociales/>
- Euroinnova Business School. (2023). *Conozcamos sobre las áreas de una empresa*. Euroinnova Business School. <https://www.euroinnova.edu.es/blog/areas-de-una-empresa>
- Ortega, A. S. (2017). *Madurez en entorno BIM: Level 0/1/2/3*. Espacio BIM. <https://www.espaciobim.com/madurez-bim-level-0-1-2-3>
- Fergusson,K.J., & Teiocholz,P.M.(1993).Impact of Integration on Industrial Facility Quality. *Stanford University ProQuest Dissertations Publishing*.
- Financiero, D. (2021). *Construcciones prefabricadas Ganan Terreno: Proveedores Buscan aumentar la venta de viviendas*: Diario Financiero. ir a. <https://www.df.cl/empresas/industria/construcciones-prefabricadas-ganan-terreno-proveedores-buscan-aumentar>
- Girmscheid, G., & Frits, S. (2010). *New perspective in industrialisation in construction: A state-of-the-art report* (CIB, Ed.). Eigenverlag des Institut für Bauplanung und Baubetrieb an der ETH Zürich. <http://hdl.handle.net/20.500.11850/159023>
- Instituto Nacional de Normalización. (2023). Construcción industrializada y prefabricada - Términos y definiciones.
- Kedir, F., & Hall, D. (2020). Resource efficiency in industrialized housing construction e A systematic review of current performance and future opportunities. *Cleaner Production*.
- Lattke, F., & Hernandez, S. (2016). leanWOOD - Advancing performance of design teams in timber construction. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016)*.
- Lean Production.(s.f.).*Lean manufacturing tools and techniques*. <https://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools/>
- Lee, W. M. (2019). *Python® Machine Learning* (1st ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119557500>
- Lessing, J. (2006). *Industrialised House-Building: Concept and Processes*. Department of Construction Sciences, Lund University, Lund.
- Lessing, J. (2015). *Industrialised House-Building - Conceptual orientation and strategic perspectives*. [Doctoral Thesis (compilation), Division of Structural Engineering]. Lund University.
- López, F. (2023). *Casas Chile, empresa de viviendas prefabricadas, pide reorganizarse ante deudas por \$6.768 millones*. BioBioChile.<https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad-economica/2023/06/05/casas-chile-empresa-de-viviendas-prefabricadas-pide-reorganizarse-ante-deudas-por-6-768-millones.shtml>

- Minitab. (s.f.). *Interpretar todos los estadísticos para almacenar estadísticos descriptivos.* <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/store-descriptive-statistics/interpret-the-statistics/all-statistics/>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, Plan de Emergencia Habitacional 2022-2025 (2022). <https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2022/07/Plan%20de%20Emergencia%20Habitacional.pdf>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, Protocolo Fiscalización Técnica de Obras en Proyectos Habitacionales Industrializados - Financiamiento Asistencia Técnica (2022). [https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2022/11/Protocolo\\_FTO\\_Industrializados16062022.pdf](https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2022/11/Protocolo_FTO_Industrializados16062022.pdf)
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. (2023). RESOLUCIÓN EXENTA 52 APRUEBA INSTRUMENTOS PARA LA EVALUACIÓN Y APROBACIÓN DE EMPRESAS INDUSTRIALIZADORAS PARA PRESENTAR PROYECTOS DE VIVIENDA INDUSTRIALIZADA TIPO. <https://bcn.cl/3bf3q>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. (2023). RESOLUCIÓN EXENTA 59 ESTABLECE CONDICIONES Y MECANISMOS DE APROBACIÓN DE PROYECTOS DE VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS TIPO Y FIJA EL PROCEDIMIENTO PARA REVISIÓN DE PROYECTOS QUE INCORPOREN EL USO DE VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS TIPO, DESARROLLADOS EN EL MARCO DE LOS PROGRAMAS HABITACIONALES FONDO SOLIDARIO ELECCIÓN DE VIVIENDA DS N°49 (V.Y U.) DE 2011, Y DE HABITABILIDAD RURAL DS N°10 (V.Y U.), DE 2015. <https://bcn.cl/3bi0f>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. (2020). RESUMEN EJECUTIVO EVALUACIÓN PROGRAMAS GUBERNAMENTALES (EPG) PROGRAMA FONDO SOLIDARIO DE ELECCIÓN DE VIVIENDA DS49. [https://www.dipres.gob.cl/597/articles-205713\\_r\\_ejecutivo\\_institucional.pdf](https://www.dipres.gob.cl/597/articles-205713_r_ejecutivo_institucional.pdf)
- Mitropoulos, P. (1994). *Management-Driven Integration.* <https://stacks.stanford.edu/file/druid:dc289zj4831/TR096.pdf>
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos* (ISO 9001). <https://dgn.isolutions.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- Planbim. (2019). *Estándar BIM para Proyectos Públicos.* <https://planbim.cl/download/estandar-bim-spreads/>
- Pullen, T., Hall, D., & Leesing, J. (2019). A preliminary overview of emerging trends for industrialized construction in the United States. *White Paper.*
- Real Academia Española. (2022). *Fábrica.* <https://dle.rae.es/f%C3%A1brica>
- SERVIU Metropolitano. (2022). BASES TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS CONCURSO DE ENTIDADES PATROCINANTES PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE VIVIENDA INDUSTRIALIZADA PARA LAS COMUNAS DE RENCA Y LO ESPEJO. <https://www.calificacionenergetica.cl/media/BASES-TECNICAS-Y-ADMINISTRATIVAS-PROYECTO-INDUSTRIALIZACION-LO-ESPEJO-Y-RENCA.pdf>

- Sun, M., & Aouad, G. (2020). Integration Technologies to support organisational changes in the construction industry. *Advances in Concurrent Engineering*, 596–603. <https://doi.org/10.1201/9781003423508-79>
- T13. (2022). *Gobierno presentó el Plan de Emergencia Habitacional: Buscan crear 260 mil viviendas para 2025.* t13.cl/noticia/nacional. <https://t13.cl/noticia/nacional/gobierno-presento-plan-emergencia-habitacional-buscan-crear-260-mil-viviendas-2025#:~:text=Para%20cumplir%20con%20la%20demanda,entre%20el%20periodo%202022-2025%20>.

# Anexos

## Anexo A. Encuesta General

**Centro UC**  
de Innovación  
en Madera



### Catastro de Prefabricadoras en Madera Chile

Actualmente, bajo el marco del Plan de Emergencia Habitacional y del convenio entre el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y el Centro de Innovación en Madera UC - Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CIM UC - CENAMAD), se encuentra en desarrollo el proyecto:

"Catastro de brechas y capacidades del sector, viviendas industrializadas de media y baja tecnología, en el marco de los desafíos planteados por el Plan de Emergencia Habitacional"

Como parte del levantamiento de información del presente proyecto, se realizan las siguientes 15 preguntas las que corresponden a una encuesta de carácter confidencial. El tiempo estimado de respuesta es de 8 minutos.

Ante cualquier duda o consulta, por favor contactar a Sebastián Parada G. al correo electrónico [siparada@uc.cl](mailto:siparada@uc.cl) o al +56 9 87688309

CIM UC – CENAMAD / <https://madera.uc.cl> / <https://cenamad.cl>

Sig.

Con la tecnología de  
 SurveyMonkey  
Ve lo fácil que es [crear una encuesta](#).

[Aviso de privacidad](#) y [Aviso de cookies](#)

<https://es.surveymonkey.com/r/RFYLB39>

## Catastro de Prefabricadoras en Madera Chile

\* 1. Nombre de la empresa

\* 2. Región donde se encuentra la empresa

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <input type="radio"/> Antofagasta        | <input type="radio"/> Los Ríos      |
| <input type="radio"/> Araucanía          | <input type="radio"/> Magallanes    |
| <input type="radio"/> Arica y Parinacota | <input type="radio"/> Maule         |
| <input type="radio"/> Atacama            | <input type="radio"/> Metropolitana |
| <input type="radio"/> Aysén              | <input type="radio"/> Ñuble         |
| <input type="radio"/> Biobío             | <input type="radio"/> O'Higgins     |
| <input type="radio"/> Coquimbo           | <input type="radio"/> Tarapacá      |
| <input type="radio"/> Los Lagos          | <input type="radio"/> Valparaíso    |

3. Correo electrónico de contacto

4. Número de contacto (Ej: 569 87688309)

\* 5. Años de funcionamiento de la empresa

- Menos de 1 año
- 1 - 5 años
- 5 - 10 años
- 11 - 20 años
- Más de 20 años

\* 6. ¿Cuál es el tamaño de la empresa según la cantidad de empleados?

- Micro (0 - 9)
- Pequeña (10 - 25)
- Mediana (26 - 200)
- Grande (201 y más)

\* 7. ¿Qué tipo de profesionales o técnicos conforman el equipo de la empresa?

Seleccione la(s) alternativa(s) que corresponda(n)

- Arquitecto/a
- Constructor/a
- Diseñador/a
- Ingeniero/a
- Comercial
- Técnico
- Otro (especifique)

\* 8. ¿Cuál es el tamaño de la empresa de acuerdo con las ventas anuales?

- Micro (0 - 2.400 UF)
- Pequeña (2.401 - 25.000 UF)
- Mediana (25.001 - 100.000 UF)
- Grande (100.001 UF y más)

\* 9. ¿Disponen de una fábrica?

Fábrica: establecimiento dotado de la maquinaria, herramienta e instalaciones necesarias para la fabricación de ciertos objetos, obtención de determinados productos o transformación industrial de una fuente de energía (RAE, 2022).

- Sí
- No

10. En caso de poseer una fábrica, ¿cuál es su superficie construida total de ésta, en metros cuadrados?

\* 11. ¿Qué maquinaria, equipos y/o tecnologías poseen?  
Seleccione la(s) alternativa(s) que corresponda(n)

- BIM y/o CAD/CAM
- Cinta transportadora
- Cortadora CNC (Control Numérico Computarizado)
- Impresora 3D
- Lijadora calibradora
- Mesa basculante
- Pistola neumática
- Pórtico de producción
- Prensa hidráulica
- Puente grúa
- Pulidora / cepilladora de banco
- Seccionadora para paneles
- Torno
- Torre telescopio
- Otro (especifique)

\* 12. Cuál es el grado de terminación de la unidad que elabora en fábrica?  
Seleccione la(s) alternativa(s) que corresponda(n)

- No finalizados (obra gruesa)
- Semifinalizados (obra gruesa, instalaciones)
- Finalizados (obra gruesa, instalaciones y terminaciones)

\* 13. ¿Qué tipo de producto entregan?  
Seleccione la(s) alternativa(s) que corresponda(n)

- Vivienda prefabricada, montada en sitio y totalmente finalizada (llave en mano)
- Vivienda prefabricada montada en sitio
- Vivienda prefabricada no montada en sitio
- Módulos y/o paneles prefabricados montados en sitio
- Módulos y/o paneles prefabricados no montados en sitio
- Omitir
- Omitir

\* 14. ¿Las unidades o productos que comercializan cumplen con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y sus especificaciones de resistencia al fuego, aislación térmica y acústica, hermeticidad, calidad de la madera, entre otras?

Sí

No

\* 15. ¿Poseen un mecanismo o sistema de control de calidad de los productos finales?

Sí

No

\* 16. ¿Han interactuado con el Estado postulando, diseñando y/o ejecutando proyectos públicos? Por ejemplo, proyectos de viviendas sociales acogidos a algún Decreto Supremo como el DS1, DS10, DS19, DS49, etc.

Sí

No

\* 17. ¿Se encontrarían interesados en trabajar con el sector público y/o con el Estado en el desarrollo de viviendas de carácter social?

Sí

No

18. Bajo todos los protocolos y resguardos de confidencialidad de la información.

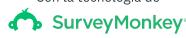
¿Estarían dispuestos a participar en un proceso de evaluación de las capacidades de industrialización de la empresa por parte del Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD)?

Sí

No



Con la tecnología de

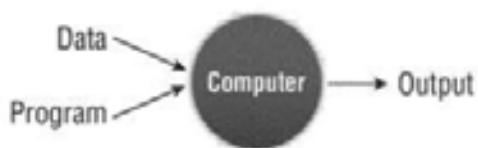


Ve lo fácil que es [crear una encuesta](#).

## Anexo B. Análisis de Machine Learning

Machine Learning (ML) es una colección de algoritmos y técnicas utilizadas para diseñar sistemas que aprenden de los datos. Luego, estos sistemas pueden realizar predicciones o deducir patrones a partir de los datos suministrados.

Tradicionalmente, tal como muestra la Figura 1, al momento de utilizar programas (o también comúnmente llamados modelos), primero estos se desarrollan, luego se les entregan datos y se obtienen resultados.



**Figura 1.** Programación tradicional de modelos

ML ha transformado el paradigma de la Figura 1 en un nuevo paradigma, que se muestra en la Figura 2. En lugar de alimentar con datos el programa, ahora se utilizan los datos y los resultados recopilados para obtener un modelo (Lee, 2019).



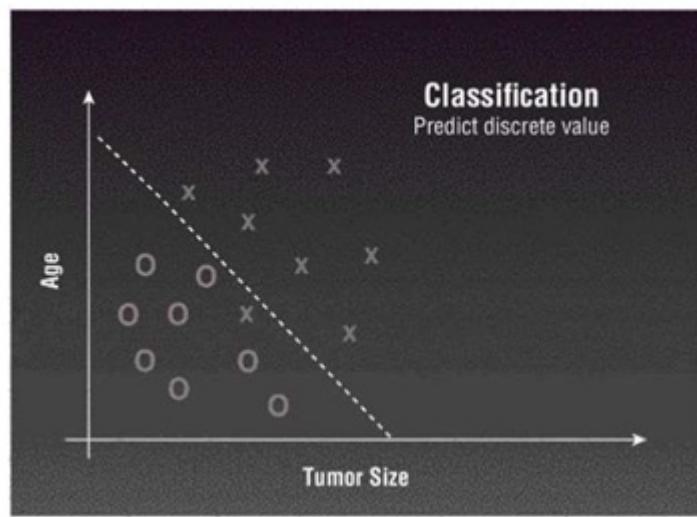
**Figura 2.** Programación de modelos de ML

Los algoritmos de ML se clasifican dentro de dos categorías:

- Algoritmos de aprendizaje supervisados: se entrena con datos etiquetados. En otras palabras, datos compuestos con información de respuestas deseadas. Por ejemplo, un modelo que identifique el uso fraudulento de tarjetas de crédito se entrenaría a partir de un conjunto de datos con puntos de datos etiquetados de cargos válidos y fraudulentos conocidos. La gran mayoría de los modelos de ML son supervisados (Lee, 2019).
- Algoritmos de aprendizaje no supervisados: se utilizan datos sin etiquetas, y el objetivo es encontrar relaciones en los datos. Por ejemplo, es posible que desee encontrar agrupaciones de datos demográficos de clientes con hábitos de compra similares (Lee, 2019).

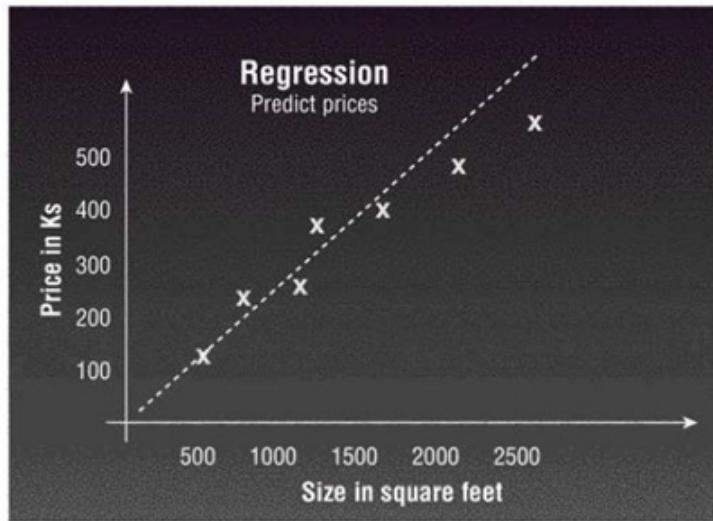
Por ejemplo, existen 3 tipos de problemas que pueden resolverse con ML (Lee, 2019). Estos son:

- Clasificación: consiste en identificar a que categoría pertenece un nuevo dato dado un set de variables dada en las categorías observadas. Un ejemplo, es determinar si un tumor es cancerígeno o no dado dos variables como la edad y el tamaño del tumor (Lee, 2019). Al graficarlo se puede observar una separación en dos distintos grupos donde uno contiene a los tumores cancerígenos y el otro no tal como se puede observar en la Figura 3 a continuación.



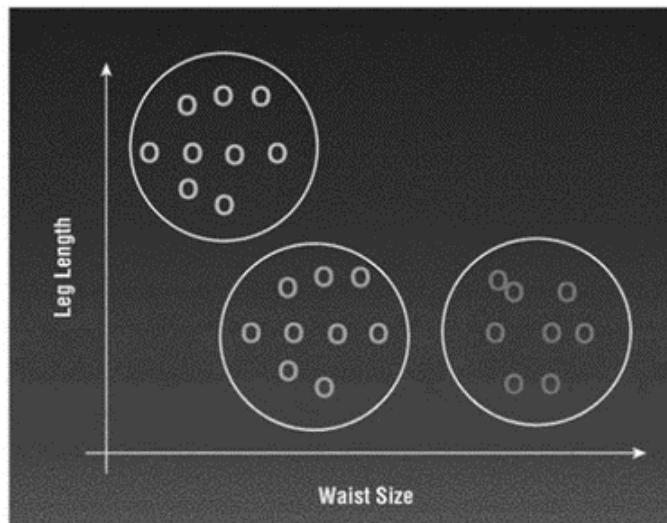
**Figura 3. Ejemplo de ML de clasificación**

- Regresión: ayuda a predecir el futuro estimando la relación entre variables. A diferencia del problema de clasificación, el que determina a que categoría o clase pertenece una nueva observación, el análisis de regresión devuelve resultados numéricos continuos. Algunos ejemplos de problemas de regresión son el predecir la cantidad de ventas de un ítem en particular, la temperatura de la próxima semana, la vida útil de un neumático, entre otras (Lee, 2019). Por ende, al graficar el precio de una casa dada variables como el tamaño de esta y el valor promedio se puede predecir el precio final de otra tal como se puede observar en la Figura 4.



**Figura 4. Ejemplo de ML de regresión**

- Agrupamiento o *clustering*: permite agrupar puntos similares de información y descubrir patrones específicos en los datos. Dada una cantidad de variables, *clustering* ayuda a descubrir cómo están organizadas agrupándolas en conjuntos o comúnmente llamados *clusters*. Al graficar un ejemplo, la relación entre el largo de las piernas y el ancho de la cintura, como se observa en la Figura 5, se pueden agrupar en distintos conjuntos.

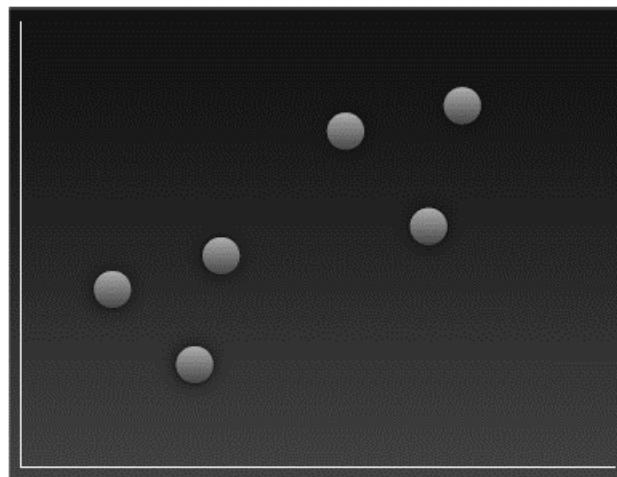


**Figura 5. Ejemplo de ML de agrupamiento o clustering**

Para determinar características similares entre las empresas analizadas se decidió utilizar Unsupervised Learning - Clustering Using K-Means (algoritmo de aprendizaje no supervisado - *clustering* usando K-Means). Se utiliza cuando tiene datos sin etiquetar. El objetivo del agrupamiento de K-Means es lograr lo siguiente:

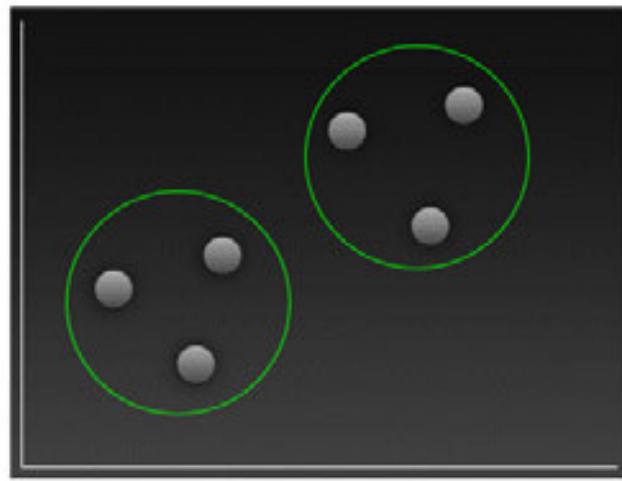
- o K centroides que representan el centro de los *clusters*
- o Etiquetas para los datos de entrenamiento

Para entender cómo funciona esta metodología, se puede observar un ejemplo. Supongamos que hay una serie de puntos de datos no etiquetados como se muestra en la Figura 6.



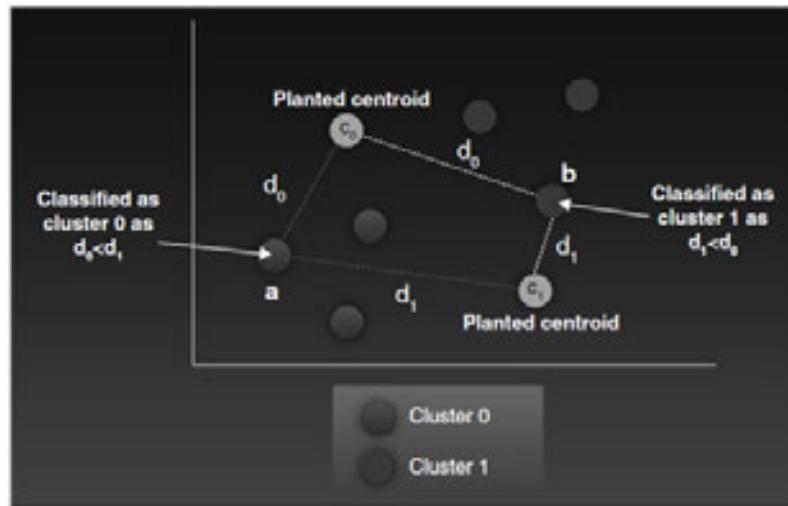
**Figura 6.** Conjunto de puntos de datos sin etiquetar

El objetivo es agrupar todos estos puntos en grupos distintos para poder descubrir un patrón entre ellos. Si imaginamos que se desean obtener 2 grupos ( $K=2$ ), se debería obtener algo como lo que se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Agrupando los puntos en 2 clusters

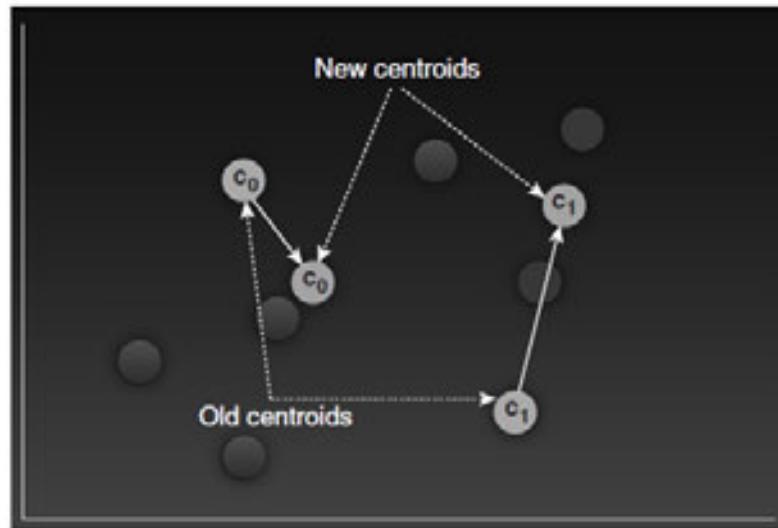
Primero, se colocan K número de centroides en el gráfico. En la Figura 8, dado que K es igual a 2, se posicionan aleatoriamente dos centroides en el gráfico:  $C_0$  y  $C_1$ . Para cada punto del gráfico, se mide la distancia entre él mismo y cada uno de los centroides. Como se muestra en la figura, la distancia (representada por  $d_0$ ) entre a y  $C_0$  es más corta que la distancia (representada por  $d_1$ ) entre a y  $C_1$ . Por lo tanto, a ahora se clasifica como perteneciente al grupo 0. Asimismo, para el punto b, la distancia entre él y  $C_1$  es más corta que la distancia entre él y  $C_0$ . Por lo tanto, el punto b se clasifica como perteneciente al grupo 1. Se repite este proceso para todos los puntos del gráfico.



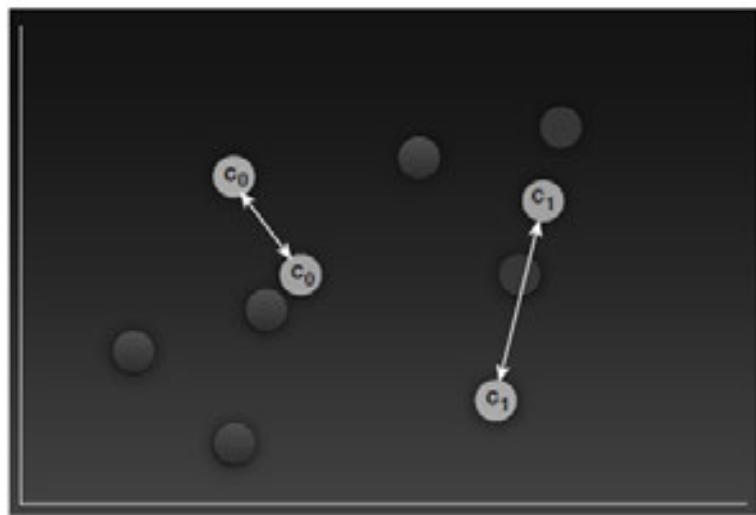
**Figura 8.** Medición de distancia de cada punto con respecto a cada centroide buscando la distancia más corta

Ahora se toma promedio de todos los puntos en cada grupo y se cambia la posición de los centroides usando el promedio recién calculado. La Figura 9 muestra las nuevas posiciones de los dos centroides.

Ahora se mide la distancia entre cada uno de los centroides antiguos y los centroides nuevos (Figura 10). Si la distancia es 0, eso significa que el centroide no cambió de posición y, por lo tanto, se encontró el centroide definitivo. Se repite todo el proceso hasta que todos los centroides ya no cambian de posición.



**Figura 9.** Reposicionando los centroides tomando el promedio de todos los puntos en cada grupo



**Figura 10.** Midiendo la distancia entre cada centroide

Finalmente, se desarrolló un flujo de Unsupervised Learning - Clustering Using K-Means en Orange, software que permite realizar análisis y visualización de datos a través de programación en código abierto (Demšar, et al., 2013). Al flujo en Orange, se ingresaron los resultados obtenidos de la medición del NI de las 23 empresas seleccionadas permitiendo obtener distintos grupos o *clusters*. Los resultados se pueden observar en la sección 5.



**Centro UC**  
de Innovación  
en Madera



**CHILE  
AVANZA  
CONTIGO**