



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

**DISEÑO DE GUÍA CON ESTRATEGIAS PARA LA APLICACIÓN DE
ECONOMÍA CIRCULAR Y LEAN CONSTRUCTION EN PROYECTOS DE
VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

KURT ANDREAS KOWAL CUADRA

PROFESOR GUÍA:
JOSÉ LUIS SALVATIERRA GARRIDO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARCELO CONCHA DURÁN
ALEJANDRO POLANCO CARRASCO

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: **KURT ANDREAS KOWAL CUADRA**
FECHA: 2021
PROF. GUÍA: José Luis Salvatierra Garrido

DISEÑO DE GUÍA CON ESTRATEGIAS PARA LA APLICACIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR Y LEAN CONSTRUCTION EN PROYECTOS DE VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS

El concepto de economía circular en construcción corresponde al modelo de negocios enfocado a desacoplar el crecimiento económico del sector de la explotación de recursos naturales para alcanzar este crecimiento. Para esto existen distintos aspectos que pueden ser adaptados al sector, alcanzando así una industria más sustentable y consciente con el medio ambiente.

A su vez, Lean Construction es una adaptación del modelo productivo Toyota Production System (TPS) al sector de la construcción conceptualizada por Lauri Koskela en 1992. Este modelo busca el aumento de la productividad y de la calidad del producto mediante la reducción de los denominados “desperdicios”. Estos desperdicios corresponden a actividades que no agregan valor al producto final, tales como tiempos muertos del personal, espera por falta de materiales, reconstrucción de estructuras, etc. También, Lean Construction entrega distintas herramientas y principios que ayudan a la implementación de los aspectos de economía circular, es por esto que este trabajo busca generar estrategias para implementar economía circular utilizando las herramientas y principios Lean en el proceso.

En el caso chileno, existe evidencia de la baja adopción de las nuevas técnicas de construcción y gestión de la misma. Esto se evidencia en el bajo o nulo aumento de la producción del sector, comparado al mismo parámetro a nivel nacional. Sin embargo, existen algunos casos del florecimiento de empresas enfocadas a un mirada más industrializada de la construcción, tales como BauMax y Discovery Precast. Estas han remecido al sector en aspectos de innovación, cambiando la visión y alejando la construcción del sitio de la obra. Estas dinámicas de prefabricación e industrialización facilitan enormemente la implementación de nuevos paradigmas como lo son la economía circular y Lean Construction.

El objetivo principal de este trabajo es generar material gráfico en forma de guía, que aumente el conocimiento de los distintos actores de los proyectos de construcción industrializada, específicamente en el área de viviendas, genere consciencia en la gestión de desperdicios desde etapas tempranas del proyecto e instaure la cultura de control y seguimiento de la implementación, mediante un índice.

A strange light fills the room...Twilight is shining through the barrier...It seems your journey is finally over...You're filled with DETERMINATION

Saludos

Agradecimientos

Quiero agradecer a toda mi familia, a mi padre, madre y hermanos por el apoyo y sustento. Especialmente dar una mención a mi abuelo por creer, quizás excesivamente en mí. También destacar el sacrificio de mi padre por otorgarme todas las facilidades para propiciar mi aprendizaje, tanto universitario como de la vida.

Quiero agradecer a mi comisión de titulación, en especial al profesor José Luis Salvatierra por su disposición y por creer en mi para participar en su proyecto. Agradezco también a Marcelo Concha por la rapidez que presentó ante cualquier duda y solicitud de mi parte. También al profesor Alejandro Polanco, por todas las enseñanzas que me dio en los dos cursos que tomé con él y también por sus observaciones ante este mismo trabajo.

También quiero mencionar a mis amigos del colegio por su incondicionalidad y atemporalidad, sobre todo al Pablo, al Elias y al Tomás. También a mi compañeros del equipo de ciclismo, que ayudan día a día contribuyendo a mantener la cordura en mi vida.

Finalmente, quiero agradecer a Belen, mi polola, por ser una parte importante de mi vida y ayudarme a superar este eterno encierro en el que nos encontramos. Espero poder ayudarte de la misma manera y quererte de la misma manera en la que yo se que tu lo haces.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo Principal	1
1.2.2. Objetivos Secundarios	2
1.3. Metodología	2
1.3.1. Revisión bibliográfica	2
1.3.2. Diseño de índice de circularidad	2
1.3.3. Creación y diseño de la guía	2
1.3.4. Validación del documento mediante la encuestas a profesionales	3
1.4. Resultados esperados	3
2. Marco teórico	4
2.1. Cambio climático y su relación con el sector construcción	4
2.2. El sector construcción y las “nuevas prácticas”	5
2.3. Economía circular y su aplicación en la construcción	5
2.4. Lean Construction y sustentabilidad	7
2.5. Herramientas de medición y seguimiento	8
2.6. Resumen de “Circular Economy Guidance for Construction Clients: How to Practically apply Circular Economy at the Project Brief Stage”	9
2.6.1. Conceptos de economía circular	10
2.7. Economía circular en la construcción chilena	12
3. Metodología	15
4. Elección de Conceptos a utilizar y desarrollo de índice de seguimiento	17
4.1. Elección de Conceptos a incluir en la guía	17
4.1.1. Reutilizar	17
4.1.2. Recuperar	18
4.1.3. Compartición de materiales entre obras	18
4.1.4. Diseñar por longevidad	19
4.1.5. Diseño para la flexibilidad	19
4.1.6. Diseño para la adaptabilidad	19
4.1.7. Diseño para el desarme y recuperación	20
4.1.8. Estandarización y modularización	20
4.1.9. Post venta y leasing	20
4.1.10. Utilización de materiales de bajo impacto	21

4.1.11. Utilización de materiales reciclados o secundarios	21
4.1.12. Diseño de desechos	22
4.1.13. Reducción del impacto de la construcción	22
4.2. Resumen de conceptos a incluir en la guía	22
4.3. Diseño de índice de circularidad	23
4.3.1. Diseño del índice a utilizar	25
4.3.1.1. Definición de las áreas a evaluar	25
4.3.1.2. Definición de las etapas del proyecto en la cual se evaluará .	26
4.3.1.3. Definición del responsable de las mediciones	31
4.3.1.4. Procedimiento de medición y control del índice	32
5. Desarrollo de guía por capítulos	35
5.1. Prefacio	35
5.2. Alcance	36
5.3. ¿Por qué circularidad y Lean Construction?	36
5.4. Índice de medición y seguimiento	38
5.5. Conceptos y sus estrategias	39
5.5.1. Reutilizar	39
5.5.1.1. Definición	39
5.5.1.2. Objetivos	40
5.5.1.3. Estrategias	40
5.5.1.4. Barreras a la implementación	41
5.5.1.5. Casos de estudio	42
5.5.2. Recuperar	42
5.5.2.1. Definición	42
5.5.2.2. Objetivos	42
5.5.2.3. Estrategias	42
5.5.2.4. Barreras a la implementación	44
5.5.2.5. Casos de estudio	45
5.5.3. Compartición de materiales entre obras	45
5.5.3.1. Definición	45
5.5.3.2. Objetivos	45
5.5.3.3. Estrategias	46
5.5.3.4. Barreras a la implementación	47
5.5.3.5. Casos de estudio	47
5.5.4. Diseñar por flexibilidad	47
5.5.4.1. Definición	47
5.5.4.2. Objetivos	48
5.5.4.3. Estrategias	48
5.5.4.4. Barreras a la implementación	48
5.5.4.5. Casos de estudio	48
5.5.5. Diseño para la adaptabilidad	49
5.5.5.1. Definición	49
5.5.5.2. Objetivos	49
5.5.5.3. Estrategias	49
5.5.5.4. Barreras a la implementación	50
5.5.5.5. Casos de estudio	50

5.5.6.	Diseño para el desarme y recuperación	50
5.5.6.1.	Definición	50
5.5.6.2.	Objetivos	50
5.5.6.3.	Estrategias	51
5.5.6.4.	Barreras a la implementación	51
5.5.6.5.	Casos de estudio	52
5.5.7.	Estandarización y modularización	52
5.5.7.1.	Definición	52
5.5.7.2.	Objetivos	52
5.5.7.3.	Estrategias	52
5.5.7.4.	Barreras a la implementación	53
5.5.7.5.	Casos de estudio	53
5.5.8.	Utilización de materiales de bajo impacto	53
5.5.8.1.	Definición	53
5.5.8.2.	Objetivos	53
5.5.8.3.	Estrategias	54
5.5.8.4.	Barreras a la implementación	55
5.5.8.5.	Casos de estudio	55
5.5.9.	Utilización de materiales reciclados o secundarios	55
5.5.9.1.	Definición	55
5.5.9.2.	Objetivos	56
5.5.9.3.	Estrategias	56
5.5.9.4.	Barreras a la implementación	57
5.5.9.5.	Casos de estudio	57
5.5.10.	Diseño de desechos	57
5.5.10.1.	Definición	57
5.5.10.2.	Objetivos	58
5.5.10.3.	Estrategias	58
5.5.10.4.	Barreras a la implementación	59
5.5.10.5.	Casos de estudio	59
5.5.11.	Reducción del impacto de la construcción	59
5.5.11.1.	Definición	59
5.5.11.2.	Objetivos	59
5.5.11.3.	Estrategias	60
5.5.11.4.	Barreras a la implementación	61
5.5.11.5.	Casos de estudio	61
5.6.	Conclusiones	61
5.7.	Diseño gráfico de la guía	62
6.	Validación de la guía	66
6.1.	Resultados	66
7.	Conclusiones	69
	Bibliografía	71
7.1.	Respuestas individuales de la encuesta	76

Índice de Tablas

3.1.	Relación entre puntos de la metodología y los objetivos declarados en el capítulo 1.2.	16
4.1.	Resumen de conceptos a incluir y excluir en la guía	23
4.2.	Conceptos a aplicar economía circular y las etapas claves en donde es necesario colocar esfuerzo para que el concepto se implemente	26
4.3.	Evaluación de cada una de las etapas del proyecto de la perspectiva del área de la Organización	28
4.4.	Evaluación de cada una de las etapas del proyecto de la perspectiva del área del Equipo de Diseño	29
4.5.	Evaluación de cada una de las etapas del proyecto de la perspectiva del área de Construcción	30
4.6.	Cargos propuestos para ser el responsable de su área en la medición del índice.	32
5.1.	11 principios de Lean Construction, definidos por Koskela (1992)	38
5.2.	Cargos propuestos para ser el responsable de su área en la medición del índice.	39
5.3.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de reutilizar la estructura existente	41
5.4.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de recuperar los elementos de la estructura existente	44
5.5.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de recuperar los elementos de la estructura existente (Continuación) . .	45
5.6.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de compartir materiales y elementos con otras obras	47
5.7.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de diseñar por flexibilidad	48
5.8.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de diseñar por adaptabilidad	50
5.9.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de diseñar para el desarme y recuperación	51
5.10.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de estandarizar y modularización	53
5.11.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de utilizar materiales de bajo impacto	55
5.12.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de utilizar materiales secundarios o reciclados	57
5.13.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto del diseño de desechos	59

5.14.	Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de reducción del impacto de la construcción	61
6.1.	Promedio de respuestas en primera parte de la encuesta realizada	66
6.2.	Promedio de respuestas en segunda parte de la encuesta realizada	67
6.3.	Promedio de respuestas en tercera parte de la encuesta realizada	68
6.4.	Promedio de respuestas en cuarta parte de la encuesta realizada	68
7.1.	Respuesta del profesional N°1 a parte 1 de la encuesta	76
7.2.	Respuesta del profesional N°1 a parte 2 de la encuesta	77
7.3.	Respuesta del profesional N°1 a parte 3 de la encuesta	77
7.4.	Respuesta del profesional N°1 a parte 4 de la encuesta	78
7.5.	Respuesta del profesional N°2 a parte 1 de la encuesta	78
7.6.	Respuesta del profesional N°2 a parte 2 de la encuesta	78
7.7.	Respuesta del profesional N°2 a parte 3 de la encuesta	79
7.8.	Respuesta del profesional N°2 a parte 4 de la encuesta	79

Índice de Ilustraciones

2.1.	Distintos conceptos de EC asociados al área de la construcción Fuente: Traducido de Tebbatt y Osmani (2017)	6
2.2.	Desarrollo de la productividad nacional versus la productividad en la construcción desde 1996 hasta 2016. Fuente: Informe Productividad Laboral de la Construcción (de Solminihac y Dagá, 2018)	12
2.3.	Ejes estratégicos del plan “Construye2025”. Fuente: Programa Estratégico Nacional Productividad y Construcción (Construye2025, 2020b)	13
2.4.	Ejes estratégicos para economía circular. Fuente: Hoja de Ruta RCD - Economía Circular en Construcción (Construye2025, 2020a)	14
4.1.	Esquema de evaluación del Circular Economy Index. Fuente: Traducido desde (Núñez-Cacho y cols., 2018)	24
4.2.	Ejemplo de los parámetros de evaluación en el nivel de procesos. Fuente: Traducido desde (Núñez-Cacho y cols., 2018)	24
4.3.	Escala simplificada de evaluación de un parámetro en particular. Fuente: Elaboración propia	25
4.4.	Diagrama de los niveles y áreas de medición de índice	27
4.5.	Traspaso de información propuesto para evaluación del índice. Fuente: Elaboración Propia	31
4.6.	Reporte propuesto para la evaluación mes a mes del puntaje de circularidad.	33
5.1.	Portada para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”	63
5.2.	Prefacio para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”	63
5.3.	Alcance para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”	64
5.4.	Plantillo del tercer capítulo para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”	64
5.5.	Plantilla de uno de los conceptos para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”	65
5.6.	Continuación de plantilla de concepto para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”	65

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

El sector de la construcción chilena ha sido objetivo de diversas críticas en la última década, debido a su baja modernización y gran impacto al medio ambiente. Estos retrasos en relación a la industria manufacturera ha resultado en bajas productividades comparativas, baja rentabilidad y aumento del nivel de desperdicios, provenientes del aumento de las obras a nivel nacional.

Debido a esto, diversas iniciativas tanto a nivel mundial como nacional han tratado de llevar conceptos de la industria manufacturera al sector. Algunos de estos conceptos son la industrialización, metodologías Lean y BIM, Economía circular, entre otras.

Este trabajo nace de la necesidad de facilitar y de aumentar el conocimiento de los distintos actores de proyectos privados para adoptar estas nuevas prácticas, con la visión de modernizar el sector productivo y aumentando la rentabilidad, productividad e incluso calidad de vida de la gente que trabaja en la cadena productiva.

Dentro de los pasos comunes entre varias metodologías, se encuentra la necesidad de efectuar mediciones de los parámetros importantes para cada proyecto en particular. Mediante las mediciones de índices, es posible tomar mejores decisiones a futuro, e incluso puede ser el puntapié inicial para la integración de Big Data y uso de inteligencia artificial en la construcción. Sin embargo, para este trabajo se considera necesario integrar un indicador, de manera de poder controlar el proceso de integración de la circularidad del proyecto.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Principal

El objetivo principal de este trabajo consiste en generar una guía con estrategias para aplicar conceptos de economía circular en proyectos de una empresa industrial relacionada a la construcción de viviendas industrializadas.

1.2.2. Objetivos Secundarios

Dentro de los objetivos secundarios se encuentran:

- Generar una revisión bibliográfica sobre economía circular, relacionando a la construcción chilena
- Generar un sistema de medición básico, en base a un índice, para la cuantificar la circularidad de una empresa o proyecto
- Explicar el uso del sistema de medición, mediante el desarrollo de un breve procedimiento, definiendo posibles responsables y las áreas involucradas.
- Relacionar las distintas estrategias que ofrece la literatura con el mercado chileno
- Cuantificar los efectos de cada estrategia en el sistema de medición propuesto.
- Introducir herramientas de la filosofía Lean que ayuden a implementar economía circular.
- Validar la guía mediante la opinión de expertos

1.3. Metodología

1.3.1. Revisión bibliográfica

Para este trabajo recopila información de distintas fuentes bibliográficas, principalmente de publicaciones académicas y material de asociaciones especializadas en temas de economía circular y Lean Construction. Estos documentos se enfocan principalmente en economía circular, sustentabilidad y dinámicas de control y seguimiento en construcción.

1.3.2. Diseño de índice de circularidad

En este trabajo se diseña un índice para realizar el seguimiento del desempeño de la implementación de la circularidad del proyecto. Esto se realiza mediante el análisis de la literatura sobre indicadores sobre economía circular y adaptación de estos índices al caso específico de este trabajo.

1.3.3. Creación y diseño de la guía

Debido a que el objetivo de este trabajo responde a generar consciencia del sector respecto a temas de circularidad, se diseña un documento en formato guía, el cual incluye el diseño gráfico y recopilación de distintas estrategias y barreras a la implementación de cada concepto implementable.

1.3.4. Validación del documento mediante la encuestas a profesionales

Debido a que la guía debe poder ser utilizada en una obra piloto, es necesario consultar la opinión de profesionales con experiencia en el ámbito de viviendas industrializadas, de esta manera corroborar la capacidad de aplicación de los conceptos encontrados en la literatura. Para esto se efectúa una encuesta con respuestas de tipo Likert.

1.4. Resultados esperados

1. Generar una revisión bibliográfica sobre economía circular y Lean Construction.
2. Generar un marco teórico que presente los fundamentos y aplicación de economía circular y Lean Construction, y a su vez mostrar la necesidad y contexto del material a crear.
3. Realizar la guía, incluyendo lo descrito en esta memoria y casos reales que apliquen economía circular.
4. Determinar la validez de la guía mediante encuestas a profesionales

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Cambio climático y su relación con el sector construcción

En los últimos años, el cambio climático ha sido uno de los tópicos más comentados, tanto en el ámbito académico como en la política o incluso como tema de una conversación cualquiera. Existe un consenso ampliamente apoyado que dice que el cambio climático a escala global es real y definirá nuestro futuro, e incluso nuestro presente.

Dentro de las causas del cambio climático podemos encontrar, la indiscriminada producción de gases de efecto invernadero, de la cual son responsables varias industrias de productos o alimentos que consumimos día a día, la utilización (y no regeneración) de recursos no renovables y las inmensas cantidades de desechos de las ciudades e industrias. Dentro de esta última categoría, el sector construcción tiene una mención honorífica, donde, a principios de siglo en la unión europea, la construcción generaba cerca del 40 % de los desechos de origen humano (Huovila y Koskela, 1998). También se puede mencionar que los materiales utilizados para la construcción contribuyen en gran parte (también cercano al 40 % del consumo humano en principios de siglo) al gasto energético mundial. Esto se debe a los dos principales materiales de obra gruesa; el acero estructural y el hormigón, que necesitan vastas cantidades energéticas para su producción, y son de los materiales más usados en el planeta, incluso más que el plástico.

Lo anterior deja en clara evidencia la necesidad de hacer cambios en la manera de como construimos. Tanto en los ámbitos directos, como sería el uso de nuevos materiales o técnicas que permitan la reducción del gasto energético o la emisión de contaminantes asociadas; como en los ámbitos un poco más indirectos, como es el cambio de un modelo económico de producción en la construcción (Sanchez y Haas, 2018), lo que corresponde al tema principal de este trabajo.

2.2. El sector construcción y las “nuevas prácticas”

En Chile existen diversos planes, medidas y concursos con el fin de superar uno de los problemas más grandes de la construcción de los últimos tiempos; salir del estancamiento de la productividad que sufre el sector hacia ya varios años, y lograr una introducción de la construcción a la era digital. Planes como el “Construye 2025” e iniciativas como “Digitalizar la construcción” dejan en claro la necesidad de nuevas ideas y proyectos para cambiar las prácticas de gestión de la construcción y modernizarlas.

Para este fin, existen diversas herramientas y filosofías de gestión de las diversas áreas del sector que pueden ayudar a avanzar hacia distintos estilos de administración y producción. Se pueden mencionar la integración de proyectos BIM, implementación de Lean Construction, estándares de calidad Six Sigma, programación Last Planner, Economía circular, entre otros. Uno de los principales desafíos de implementación de estas herramientas es la integración de los distintos actores de un proyecto de inversión (UKGBC, 2019) y la necesidad de evolucionar hacia una construcción más industrializada, en donde los procesos sean repetibles y mejorables.

En el caso de viviendas, en 2008, cerca del 5% de las casas construidas en los Estados Unidos fueron hechas en fábricas, en donde solo un 5% de estas, son partes agregadas en obra (Nahmens y H.Ikuma, 2012). Esto nos dice que ya existe una industria asociada a la construcción de viviendas prefabricadas que funciona bajo un estándar de “5% de piezas especiales” y nos otorga un punto de partida para temas de estandarización y producción en serie en proyectos de construcción.

La industrialización podría ser la salida del estancamiento de productividad en la construcción, puesto que es posible estandarizar cada proceso de cualquier elemento de la estructura, mejorar la calidad del producto final mediante la fabricación en ambientes controlados e implementar de manera mucho más expedita las nuevas herramientas y filosofías mencionadas anteriormente.

2.3. Economía circular y su aplicación en la construcción

La economía circular también ha sido un concepto muy comentado en los últimos tiempos, ya que propone un modelo de negocios en el cual se puede aumentar la rentabilidad y, a su vez, desacoplar el desarrollo económico de la explotación de recursos naturales.

Según la UKGBC (2019) se puede definir economía circular como: *“En contraste a una economía lineal de “Tomar-Hacer-Desechar”, una Economía Circular construye una integral salud de los sistemas mediante el desacoplamiento de la actividad económica y del consumo de recursos finitos. Esto debe ser realizado utilizando energías renovables, y se basa en tres principios:*

1. *Diseño de desperdicios y contaminación*

2. *Mantener productos y materiales en uso*

3. *Regenerar sistemas naturales”*

En varias industrias, la EC puede ser implementada mediante modelos simples de integración al cliente en el proceso. Un ejemplo de esto es la devolución del producto por parte del cliente una vez este alcance su vida útil o presente alguna falla, este producto es luego reacondicionado para volver nuevamente al mercado, rescatando así distintos materiales que no presenten problemas. A esto se le debe sumar algún beneficio para el cliente, como puede ser un descuento en el producto nuevo o reacondicionado. Estas estrategias aumentan el margen de ganancia obtenido por el productor, ya que el costo de producción de una unidad decrece al adquirir menos materiales.

Por otro lado, en el sector construcción, la aplicación de EC no es tan directa, debido a la alta duración del producto y baja estandarización de los componentes estructurales. Sin embargo, en la literatura es posible encontrar distintos conceptos aplicables a distintas etapas de un proyecto de inversión asociado a la construcción. Estos conceptos se muestran a continuación en la figura 2.1 (Tebbatt y Osmani, 2017).

Etapa del ciclo de vida	Concepto de economía circular
Diseño	DfD
	Diseño para adaptabilidad y flexibilidad
	Diseño para estandarización
	Diseño de Residuos
	Diseño en Modularidad
	Especificar materiales recuperados
	Especificar materiales reciclados
Manufactura y suministro	Principios de eco-diseño
	Utilizar menos material/optimizar materiales
	Utilizar menos materiales peligrosos
	Aumentar el ciclo de vida del producto
	Diseñar para desarme del producto
	Diseño para estandarización del producto
	Utilizar materiales secundarios
Explotación y reacondicionamiento	Esquemas de recuperación
	Logística inversa
	Minimizar desechos
	Minimizar mantención
	Facilitar reparaciones y mejoras
	Adaptabilidad
	Flexibilidad
Fin de vida útil (EoL)	Deconstrucción
	Demolición selectiva
	Reutilización de productos y componentes
	Reciclaje de ciclo cerrado
	Reciclaje de ciclo abierto
Todas las etapas	Gestión de información, incluyendo métricas y bases de datos

Figura 2.1: Distintos conceptos de EC asociados al área de la construcción Fuente: Traducido de Tebbatt y Osmani (2017)

Dentro de los distintos conceptos, es fácil notar que la mayoría de estos se encuentran en las etapas tempranas del ciclo de vida del proyecto, es decir, en las etapas de diseño y la manufactura de materiales. En este ámbito, la UKGBC (2019) y Minnuno (2018) han desarrollado excelentes trabajos en la publicación de guías con estrategias y desafíos a superar en la aplicación de varios de estos conceptos. Es importante notar que estos conceptos se repiten a lo largo de la literatura.

2.4. Lean Construction y sustentabilidad

El pensamiento Lean ha significado profundos cambios en como operan las industrias. Estas otorgan un enfoque de producción “sin desperdicios” en la cual la satisfacción del cliente está primero. Sin embargo, la construcción ha intentado adoptar el pensamiento Lean sin mucho éxito en el territorio nacional. Solo se han logrado implementar algunas herramientas, como lo es el Last Planner System.

Lean Construction corresponde a una adaptación al mundo de la construcción de lo que fue el Toyota Production System de finales del siglo XX, este tiene como objetivo principal aumentar el valor del producto mediante la reducción de los desperdicios. La implementación de Lean en la construcción es particularmente difícil debido al modelo de construcción en obra, que genera grandes rotaciones de personal, características únicas en obra que no permiten estandarización del producto, desacoplamiento de las distintas etapas del proyecto y la gran cantidad de entidades que trabajan en un mismo proyecto (Mandante, contratista, subcontratistas, ingeniería, etc).

A pesar de lo anterior, Lean es cada vez más usado en la construcción en el mundo, a medida que la construcción se industrializa y cada vez los procesos son más repetibles, dando una oportunidad para la implementación de estas prácticas.

Lean Construction, como fue contextualizado por Koskela (1992), responde a 10 principios fundamentales, los cuales, en el presente documentos se utilizarán para implementar los conceptos de economía circular en la guía. Los principios se presentan a continuación:

1. Reducir las actividades que no añaden valor
2. Aumentar el valor del Output mediante la evaluación sistemática de los requisitos del cliente
3. Reducir variabilidad
4. Reducir tiempos de ciclo
5. Simplificar mediante la reducción del número de pasos, partes y vínculos
6. Aumentar la flexibilidad del Output
7. Aumentar la transparencia en los procesos

8. Enfocar el control en el proceso completo
9. Integrar el mejoramiento continuo en el proceso
10. Balancear el mejoramiento del flujo con el mejoramiento de la transformación
11. Realizar Benchmarking

En el ámbito de la sustentabilidad, las prácticas actuales están lejos de producir construcciones sustentables, sin embargo, el pensamiento Lean contiene herramientas muy compatibles con los objetivos de la sustentabilidad.

De acuerdo con Nahmens (2012), “Lean construction propone una atmósfera que es muy conductora a la reducción de desechos y la prevención de polución”. También requiere la integración de las distintas partes involucradas del proyecto.

Koskela (1998) también propone una manera de introducir los principios de Lean Construction para lograr una construcción más sustentable, para esto define distintos tipos de gestión (“Task Management”, “Flow Management” y “Value Management”) con distintas contribuciones a el desarrollo sustentable en proyectos. Otro concepto importante que supone es incluir al medio ambiente como uno de los clientes finales, aportando con requerimientos que deben cumplirse para la “satisfacción” de este. A su vez, Salvatierra (2012) propone un modelo de que la sustentabilidad debe ser un valor primario de la aplicación de principios lean aplicados a la construcción.

Por lo tanto, podemos ver que existen puntos de encuentro entre lo expuesto en la literatura sobre Lean Construction y los principios de la EC, por lo que se busca lograr una sinergia entre estas dos herramientas con objetivo que una ayude a la otra en términos de aplicación. Para lograr lo anterior, se busca usar los principios de Lean Construction y las herramientas Lean para ayudar a la implementación de los conceptos de economía circular.

2.5. Herramientas de medición y seguimiento

Como toda implementación de algún programa o proceso, es de suma importancia confeccionar herramientas de seguimiento y control para asegurar el correcto funcionamiento y las pérdidas o ganancias adquiridas de la implementación.

En el ámbito de la Economía Circular, Elia (Elia y cols., 2017) sostiene que es de suma importancia elaborar correctas herramientas de seguimiento y control para las etapas de los procesos de implementación de EC. Sin embargo, se encuentra que el seguimiento a nivel micro de implementación está todavía en una etapa muy temprana, por lo que propone diversos métodos de seguimiento de acuerdo al proceso que se quiera monitorear. Finalmente, estas mediciones nos otorgan una medida de que tan adecuado es nuestro proceso para la implementación de EC, o simplemente la simpatía entre nuestro modelo de negocios y los principios de sustentabilidad.

Para poder elaborar un seguimiento de la implementación de las técnicas de EC, podemos remitirnos al índice creado por Núñez-Cacho (Núñez-Cacho y cols., 2018) denominado Circular Economy Index o CEI. Este consiste en la evaluación de distintos parámetros, tanto de conocimiento como de implementación, en las distintas áreas de una empresa de construcción. Este en un principio nos puede dar a conocer que tan “familiar” son los conceptos de EC en la misma empresa, y nos pueden otorgar una historia de la implementación de las distintas estrategias.

En principio, es necesario adaptar este índice para la construcción chilena y simplificarlo a una etapa muy temprana de lo que sería la implementación en una empresa.

2.6. Resumen de “Circular Economy Guidance for Construction Clients: How to Practically apply Circular Economy at the Project Brief Stage”

“Circular Economy Guidance for Construction Clients: How to Practically apply Circular Economy at the Project Brief Stage” realizado por la United Kingdom Green Building Council corresponde a una guía, con el objetivo de entregar herramientas a los distintos actores relacionados con proyectos de construcción, para implementar conceptos de economía circular en estos.

La guía se enfoca principalmente en las etapas tempranas de un proyecto de inversión. Específicamente en la etapa de “Preparación y estudios de factibilidad” y “Diseño Conceptual”. Sin embargo, menciona que es necesario establecer un enfoque a todo el ciclo de vida del proyecto para que los objetivos de economía circular puedan cumplirse.

Dentro de los alcances de esta guía podemos encontrar:

- Enfocado a no requerir un consultor.
- Enfocado al equipo desarrollando el proyecto, no enfocado a un nivel organizacional
- No enfocado en proyectos habitacionales, pero se espera que los principios de la guía puedan servir en estos casos
- Busca mostrar información que genere un incentivo económico para utilizar economía circular en proyectos
- Muestra los posibles desafíos de implementación y como superarlos
- Provee recomendaciones para establecer relaciones laborales, identificando el “quien”, “como” y el “cuando”.
- Promueve el “Pensamiento Circular” para mejorar el desempeño sustentable. Esto es realizado mediante la aplicación de “Principios Circulares Básicos”, que pueden ser aplicados tanto en proyectos generales como en situaciones específicas

- Sugiere contenido para la documentación del proyecto

El texto entrega su propia definición economía circular, la cual es la que utilizaremos en el presente trabajo; La siguiente se define como sigue:

“En contraste a una economía lineal de “Tomar-Hacer-Desechar”, una Economía Circular construye una integral salud de los sistemas mediante el desacoplamiento de la actividad económica y del consumo de recursos finitos. Esto debe ser realizado utilizando energías renovables, y se basa en tres principios:

- 1. Diseño de desperdicios y contaminación*
- 2. Mantener productos y materiales en uso*
- 3. Regenerar sistemas naturales”*

(UKGBC, 2019).

Enfatiza el hecho que introducir economía circular debe ser considerado una estrategia de negocios, y no una consideración para la sustentabilidad. Esto implica que se deben plantear modelos de negocios circulares, diseños circulares, logísticas inversas y se debe tener políticas públicas favorables. Con estos modelos, es posible disminuir el riesgo del flujo de valor y crear relaciones más fuertes y duraderas con clientes y proveedores.

Dentro de los avances en materia de políticas públicas en relación a economía circular, el Reino Unido ha generado distintos planes y proyectos con el objetivo de generar una mayor eficiencia de recursos.

Esto destaca el rol del gobierno en materia de generar un marco legal apropiado que incentive la utilización de modelos de negocios circulares. Algunas de las medidas aplicadas corresponden a incentivar el seguimiento de los datos entorno a los recursos y desperdicios, cursar impuestos a los deshechos retirados a botaderos y mostrar liderazgo para efectuar regulaciones al mercado que permitan introducir estas prácticas.

2.6.1. Conceptos de economía circular

Antes de mencionar los conceptos que la guía menciona, es necesario destacar que este modelo de negocios debe ser aplicado a lo largo de toda la cadena de valor. De esta manera es posible generar un seguimiento del funcionamiento de los conceptos de la economía circular en todos los actores, identificando riesgos innecesarios y desperdicios. También se vuelve importante considerar todas las etapas en el ciclo de vida del producto, incluyendo el “End of Life (EoL)”. Con estos datos es posible definir si es que existe un ahorro de costos operacionales por adquirir un enfoque circular.

En términos de la selección de materiales, existe una jerarquía la cual adoptar; esta se puede resumir como sigue:

1. Evitar el uso de componentes o materiales desde la etapa de diseño. Por ejemplo, especificar en el diseño del proyecto la no utilización de pintura en ciertos muros en los cuales se puede obtener un terminado arquitectónico del material bruto.
2. Utilizar materiales que hayan sido utilizados previamente (reutilizar). A su vez, también se puede considerar el uso de componentes reacondicionados.
3. Utilización de materiales reciclados, diseñados para desarme, materiales que puedan ser utilizados más de una vez o certificados por C2C.

Una vez mencionadas las consideraciones de materiales a especificar en el proyecto, la guía comienza a nombrar los distintos conceptos de economía circular y como abordarlos considerando, por lo general, los distintos criterios:

- Objetivo del uso del concepto
- Beneficios
- Cómo introducirlo en las especificaciones del proyecto
- Acciones y estrategias
- Desafíos y soluciones
- En algunos casos incluye ejemplos de proyectos que tomaron este concepto

Los distintos conceptos de economía circular que considera la guía se enumeran a continuación:

1. Reutilizar el elemento existente
2. Recuperar materiales y productos de obra anterior o de otra obra y reutilizarlos
3. Compartir materiales o productos para uso posterior
4. Diseño por longevidad
5. Diseño por flexibilidad
6. Diseño por adaptabilidad
7. Diseño para ensamblaje, desarme y recuperación
8. Estandarización o modularización
9. Post venta y leasing
10. Uso de materiales de bajo impacto
11. Uso de de materiales reciclados o alternativos
12. Diseño de desechos
13. Reducir impactos de la construcción

Cada uno de estos será detallado en la sección de anexos.

2.7. Economía circular en la construcción chilena

En la última década, la construcción chilena se ha visto seriamente estancada en términos de productividad, en donde esta se mantuvo estable en el periodo 1996-2016, mientras que la productividad general en Chile creció en un 1,7% en promedio (de Solminihac y Dagá, 2018).

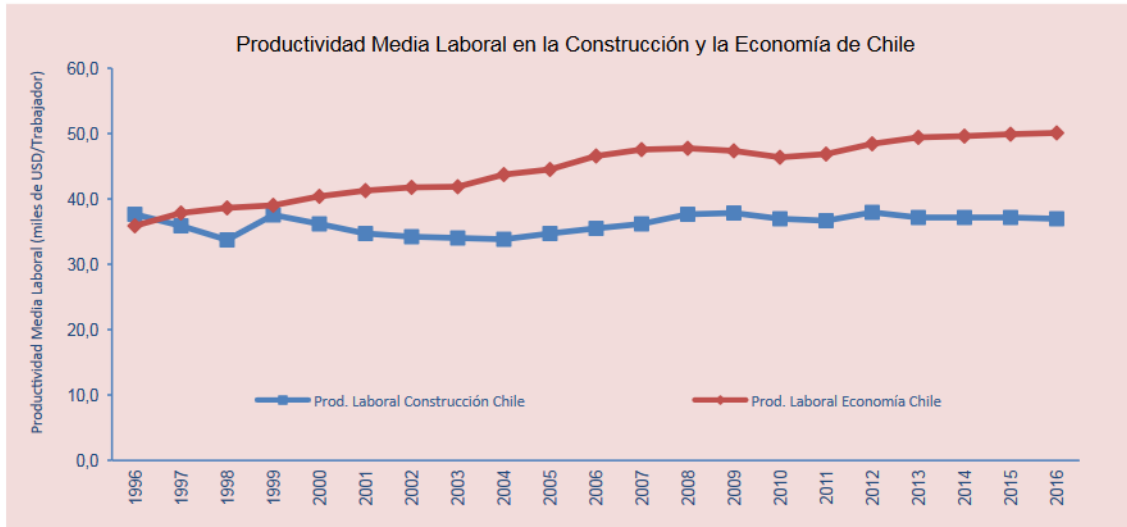


Figura 2.2: Desarrollo de la productividad nacional versus la productividad en la construcción desde 1996 hasta 2016. Fuente: Informe Productividad Laboral de la Construcción (de Solminihac y Dagá, 2018)

Frente a esto, se decidió crear el plan “Construye2025” que busca transformar a la construcción chilena en una actividad competitiva internacionalmente, sustentable y comprometida con el desarrollo del país (Construye2025, 2020b). Para esto, definen cuatro ejes estratégicos que se presentan en la figura 2.3.



EJES ESTRATÉGICOS CONSTRUYE2025 (2020-2022)



Figura 2.3: Ejes estratégicos del plan “Construye2025”. Fuente: Programa Estratégico Nacional Productividad y Construcción (Construye2025, 2020b)

En conformidad con el eje de “Construcción sustentable”, existe una hoja de ruta para la implementación de economía circular en la construcción chilena (Construye2025, 2020a). En esta se definen 5 metas adicionales que se mencionan a continuación:

1. “El ordenamiento y la planificación del territorio considera el crecimiento de la edificación e infraestructura y los impactos que genera su construcción, estableciendo instrumentos que fomentan la economía circular y uso eficiente de los recursos en las actividades productivas que se llevan a cabo en la región.”
2. “El 50 % de la edificación e infraestructura pública nueva de Chile cuenta con criterios y atributos circulares, acreditados a través de certificaciones.”
3. “A nivel nacional, el 40 % de la oferta de materiales, productos, piezas y componentes para la construcción cuenta con atributos circulares.”
4. “El país cuenta con plataformas de trazabilidad de materiales y residuos para la economía circular del sector construcción.”
5. “El país cuenta con programas a nivel regional para la remediación, restauración y mitigación de los riesgos generados por la extracción ilegal de áridos y disposición inadecuada de RCD.”

Es importante mencionar que estas metas son declaradas para el año 2035, teniendo como objetivo principal la carbono neutralidad para el 2050.

Esta hoja de ruta propone el modelo circular en la construcción mediante 5 ejes estratégicos, que se presentan en la figura 2.4.



Figura 2.4: Ejes estratégicos para economía circular. Fuente: Hoja de Ruta RCD - Economía Circular en Construcción (Construye2025, 2020a)

Estos ejes responden a distintas estrategias y metas, tanto para el 2025, como para el 2035. La presente memoria busca complementar esta iniciativa mediante la caracterización de los conceptos y estrategias encontradas en la literatura internacional, y el traspaso al contexto de viviendas industrializadas chilenas.

Un factor que menciona la hoja de ruta es el bajo conocimiento del sector construcción de la actual normativa y conceptos asociados a la economía circular y gestión de residuos. Entre estos se menciona que cerca del 60% de los profesionales del sector no conoce las leyes, normativas, reglamentos y manuales con respecto a la gestión de residuos (Construye2025, 2020a).

Por la razón anterior, se requiere un indicador que vislumbre el desarrollo del conocimiento y conciencia sobre economía circular en las etapas de implementación.

Capítulo 3

Metodología

En el siguiente capítulo se presenta los distintos pasos a seguir para lograr los objetivos propuestos y cubrir los alcances de esta memoria.

1. **Revisar estado del arte:** Consiste en la revisión de las distintas investigaciones realizadas alrededor del mundo sobre temas de economía circular en construcción, uso de Lean Construction y sustentabilidad. Esto se incluye en el capítulo de marco teórico.
2. **Definir los puntos de encuentro entre enfoque Lean y Economía circular:** Es necesario encontrar objetivos comunes y compatibilidades entre los principios y herramientas que entrega la filosofía Lean y los conceptos que definen a la economía circular en construcción.
3. **Elección de los distintos conceptos aplicables a la construcción industrializada:** Dado que la literatura entrega diversos conceptos sobre la aplicación de la economía circular, se debe hacer una selección de cuales serán los conceptos a los cuales se relacionarán las estrategias a diseñar.
4. **Diseño de Índice de Circularidad:** Para esto se utilizará como base el CEI descrito por Núñez-Cacho (2018). Esto para evaluar el estado de cercanía de la empresa a los concepto de economía circular.
5. **Diseño de guía para la medición del índice de circularidad:** Para esto se utilizarán experiencias de proyectos de viviendas industrializadas.
6. **Diseño de las estrategias para la implementación:** Se confeccionarán las distintas estrategias, evaluando su influencia en el índice antes descrito y factibilidad de aplicabilidad. Estas estrategias son escritas en el capítulo de diseño de guía, en donde también se encuentran los otros capítulos de esta, tales como prefacio, introducción, etc.
7. **Diseño gráfico de la guía:** Con el objetivo de realizar una guía agradable a la lectura, se debe realizar un diseño gráfico de la guía final. Esta debe considerar aspectos gráficos, tales como paletas de colores acordes, orientación de la información que permita captar la atención y fuentes de agradable lectura. Finalmente, esta se agrega en la sección de anexos de esta memoria.

8. **Validación de la guía mediante encuestas a profesionales:** Para verificar la utilidad de las estrategias diseñadas, es necesario conocer e interpretar la opinión de profesionales una vez leída la guía. Para esto, se entregará la guía terminada a profesionales afines de construcción industrializada para conocer su opinión al respecto.

A continuación, en la tabla 3.1, se presentan los ítems declarados de metodología con los objetivos del capítulo 1.2. de la presente memoria.

Tabla 3.1: Relación entre puntos de la metodología y los objetivos declarados en el capítulo 1.2.

Ítem de metodología	Objetivo asociado
1	OP; 1
2	OP; 6
3	OP
4	2 y 3
5	OP; 2 y 3
6	OP; 4 y 5
7	OP
8	OP
Nomenclatura: OP=Objetivo Principal;[Número de objetivos secundarios]	

Capítulo 4

Elección de Conceptos a utilizar y desarrollo de índice de seguimiento

En este capítulo, se busca elegir y diseñar los parámetros que irán incluidos en la guía. Ante esto, se realiza el análisis que se desprende de la literatura, y se relaciona con la realidad chilena.

4.1. Elección de Conceptos a incluir en la guía

Para definir los conceptos que más se acomoden a la construcción industrializada de viviendas, y al contexto chileno, es necesario entender estos conceptos a fondo. La explicación de cada uno se encuentra en la sección de “Anexos”.

Para poder dirimir, se realizará un análisis y se mostrarán las razones por la cual incluirlas o no.

4.1.1. Reutilizar

Este concepto no puede faltar en cualquier intento de aumentar la sustentabilidad, ya que busca reducir la producción de nuevos materiales o componentes, aumentando su vida útil, reduciendo residuos y huella de carbono asociada a la construcción.

En el ámbito de viviendas industrializadas puede presentar un valor importante, ya que muchos componentes se podrán repetir entre una vivienda a otra, por lo que, si una de estas cumple su vida útil, componentes podrían ser rescatados y utilizados en las nuevas viviendas, sin perjuicio de que se trate de un elemento estructural o no estructural.

También debemos notar, que bajo los principios lean de satisfacer al cliente identificando el valor a sus ojos, y producir el producto de manera Pull, este concepto tiene un principal valor si tomamos al medio ambiente como uno de los clientes a los cuales satisfacer (Huovila y Koskela, 1998).

Con esto en mente, este concepto será incorporado en la guía final.

4.1.2. Recuperar

El concepto de recuperación tiene su principal génesis en el periodo de diseño. En donde el diseñador debe, utilizando datos de la estructura a demoler, considerar la recuperación de la mayor cantidad de elementos, tanto estructurales como no estructurales, y utilizarlos en la nueva estructura.

De esta manera es posible no solo evitar la compra de materiales, si no incentivar la planificación previa de procesos futuros en la obra. Además de cambiar manufactura en terreno (Como el ejemplo de elementos de hormigón) por ensamblaje de piezas “prefabricadas”.

Este concepto es probablemente más fácil de aplicar en obras privadas, debido a, en el caso contrario, pueden existir problemas a la hora de querer extraer material de un sitio de demolición.

A medida que herramientas como BIM comienzan a ser más utilizadas, este concepto también se vuelve más factible, debido a el seguimiento que se le puede efectuar a cada pieza componente de la estructura. En las cuales el diseñador de la nueva estructura puede utilizar, señalar y especificar su recuperación y nueva utilización de manera fácil y rápida.

Con esto en mente, este concepto será incorporado en la guía final.

4.1.3. Compartición de materiales entre obras

La aplicación de este concepto puede traer beneficios adicionales al que ofrecen los conceptos anteriores. Ya que puede generar buenas relaciones entre las distintas obras presentes en el área o ciudad.

Debido a que hablamos de obras de viviendas prefabricadas, es posible la compartición de materiales estándar de otros proyectos en el área. Para esto se puede usar el concepto de "donación" de materiales recuperados de demolición, o simplemente sobrantes de las obras.

Otra ventaja que ofrece este concepto en relación a los anteriores corresponde a la reducción de inventario. Ya que, en el caso de la recuperación, los materiales deben guardarse hasta que se alcance la etapa donde corresponda su colocación. Esto genera inventario, lo que contradice las nuevas prácticas Lean que recomiendan siempre reducir el inventario al mínimo posible. Por otro lado, generando una red de compartición de materiales, puede ser beneficioso tanto a la reducción del inventario en obra y ahorros en transporte a botadero en los casos de demolición.

Con esto en mente, este concepto será definitivamente incorporado en la guía final.

4.1.4. Diseñar por longevidad

En el contexto chileno este concepto pierde sentido cuando se compara a los requisitos de durabilidad de las estructuras y la filosofía de diseño existente.

Como contexto, Chile es considerado como uno de los países más sísmicos del mundo. En donde podemos destacar los terremotos de Valdivia en 1960 y el terremoto en la región del Biobío el 2010, considerados como el 1º y el 6º de los terremotos más grandes de la historia de la humanidad (USGS, 2020).

Debido a esto, Chile presenta una de las normas sísmicas más exigentes del mundo, en la cual se tiene una política de “0 daño”. Esto tiene como consecuencia estructuras muy robustas y durables en el tiempo.

Ya que las estructuras son normativamente diseñadas para ser longevas, solo queda la arista de dinamismo de este concepto, lo cual puede ser considerado por conceptos como el “Diseño por adaptabilidad o flexibilidad”.

Considerando lo anterior y lo establecido en el alcance de este trabajo, se decide no considerar este concepto en la guía final.

4.1.5. Diseño para la flexibilidad

Como se expone en el capítulo de anexos, la aplicación de este concepto depende fuertemente de la planificación previa, tanto del proyecto, como del plan estratégico de la empresa, ya que es necesario tener identificadas las necesidades futuras de la empresa y su cartera de proyectos.

Para la aplicación de este concepto la filosofía Lean juega un papel importantísimo. Ya que uno de los principios principales de esta es la planificación temprana y la importancia de privilegiar la mirada a largo plazo frente al reaccionismo inmediato.

Frente al desarrollo de viviendas industrializadas, este concepto también presenta una gran oportunidad, en donde es posible diseñar estructuras que puedan ser ampliables a futuro. Por lo que podemos decir que es totalmente factible la aplicación de este concepto en el ámbito chileno.

Considerando lo expuesto, este concepto será incluido en la guía.

4.1.6. Diseño para la adaptabilidad

De la misma manera que el concepto anterior, este concepto es uno de los principales aplicables, desde la etapa de diseño, a proyectos de viviendas. En donde es posible poner a disposición del usuario la configuración de la distribución de los espacios de la vivienda.

De la misma forma, se incluirán distintas manera de aplicar este concepto al caso de viviendas. Por lo que este concepto se incluirá en la guía final.

4.1.7. Diseño para el desarme y recuperación

El concepto de desarme y recuperación propone una dificultad para el área de diseño estructural, al obligar a los diseñadores cambiar las uniones químicas actuales a uniones mecánicas. Dado la gran sismicidad chilena, esto podría presentar un problema. Sin embargo, también presenta una gran oportunidad, de generar conexiones mecánicas sísmicamente eficiente, en una pequeña escala, como podría considerarse las viviendas unifamiliares.

Debido a que cada vez más se utilizan proyectos con elementos prefabricados, y en el área industrial, estas prácticas son estándar, podemos decir que es posible generar estos cambios en el diseño de viviendas chilenas.

A su vez, este concepto se encuentra en el corazón del eslogan “Reducir-Reutilizar-Reciclar”, dado que de esta forma, podemos no depender de la demolición de la estructura, sino de la reutilización de elementos estándar. Por lo que este concepto será incluido en la futura guía.

4.1.8. Estandarización y modularización

Este concepto es parte importante de, tanto la economía circular y de Lean Construction. También presenta una gran oportunidad para el sector construcción de construir más rápido y con mayor calidad.

La estandarización y modularización de los proyectos son una parte importante de todos los planes realizados al día para aumentar la productividad del sector (MGI, 2017). En Chile, podemos ver esto en el plan “Construye 2025”, en donde estos conceptos toman una fuerza real.

Estos conceptos generan distintas situaciones que facilitan la implementación de un modelo circular. Tales como el seguimiento de materiales, elementos de mejor calidad, favorece la flexibilidad de las estructuras y la industrialización en el sector.

Finalmente, estos conceptos son de vital importancia para la implementación de economía circular en proyectos, por lo que es importante incluirlo en la guía a desarrollar.

4.1.9. Post venta y leasing

Este concepto, tal como se explica en la sección de anexos, no aplica a proyectos de viviendas, ya que tiene relación con transformar el concepto de vender el producto, a vender un servicio. Sin embargo, esto no tiene mucho sentido al hablar de una vivienda como un “servicio”.

A su vez, esto podría considerarse dentro del concepto de modularización y prefabricación en el contexto de viviendas. Ya que ofrece al cliente la posibilidad de modificar su vivienda a futuro, manteniendo al cliente y al proveedor dentro de la línea productiva en la vida útil de la vivienda.

Es por esto, que este concepto no se incluirá directamente en la guía, pero estará indirectamente incluido dentro del concepto ya mencionado.

4.1.10. Utilización de materiales de bajo impacto

Existe una vasta posibilidad de materiales de construcción, en donde, en Chile, domina el uso de hormigón armado y acero. Con una baja utilización de materiales como madera u otros.

Estos materiales pueden ser considerados de alto impacto ambiental, lo que muestra la necesidad de la utilización de materiales alternativos, que puedan tanto complementar, como reemplazar los ya existentes.

Existen diversas organizaciones que certifican productos, materiales e incluso estructuras, que cumplan con altos estándares en materia de cuidado al medio ambiente y potencialidad de reutilización. Una de las organizaciones más mencionadas dentro de la literatura orientada a la circularidad del modelo productivo es Cradle to Cradle, el cual certifica a los productos en áreas como: Salud material, Reutilización del material, Uso de energía y huella de carbono, Uso de agua y Justicia social.

Este concepto también tiene relación con la preferencia de productores locales, reduciendo contaminación por transportes, usos no éticos de la fuerza productiva y mejorando la economía local. Lo que toma un valor importante en un país centralizado como lo es Chile.

Por estas razones, este concepto va a ser incluido dentro de la guía final.

4.1.11. Utilización de materiales reciclados o secundarios

Esta estrategia corresponde a una última opción dentro del concepto de las “3R” (Reducir, Reutilizar y Reciclar), debido a que el reciclaje de materiales usualmente conlleva una baja en la calidad del producto, o el bajo aprovechamiento de las capacidades de los materiales.

Sin embargo, el reciclaje de estos materiales es mejor que su traslado a botadero. Sobre todo en materiales como hormigones, que tiene un gran consumo energético para su producción.

Finalmente, este concepto debe ser incluido en la guía con directrices sobre cuáles son los materiales reciclables y la manera de reciclarlos.

4.1.12. Diseño de desechos

Este concepto es de los más importantes dentro de la economía circular y de Lean Construction, ya que obliga al equipo del proyecto a efectuar una planificación temprana, reduciendo desperdicios y definir la aplicación de todos los conceptos mencionados anteriormente.

También, el diseño de desperdicios facilita la aplicación de todos los conceptos anteriores, generando inventarios de lo que se va a desechar o compartir entre otras obras, sus impactos en la economía del proyecto y, eventualmente, la reducción en el uso de materiales vírgenes de cada medida aplicada.

Por estas razones, es posible afirmar que es totalmente necesario incluir este concepto dentro de la guía final.

4.1.13. Reducción del impacto de la construcción

La etapa de construcción también representa una gran parte de distintos tipos de contaminación y generación de desechos. Es por esto que es necesario implementar medidas que velen por el medio ambiente, y apliquen lo definido en las etapas de diseño con respecto a economía circular.

Considerando a la construcción como un generador de desperdicios y aplicar medidas para mitigarlas, generan una mirada más integral de todas las partes del proyecto, generando mayor comunicación y transparencia entre los distintos equipos de este.

De la misma forma, combinando las directrices de economía circular con la filosofía Lean, es posible aumentar la productividad del sector, mediante la reducción del impacto ambiental del mismo (MGI, 2017).

Otras herramientas pueden utilizarse para la reducción del impacto de la construcción, tales como la preferencia por productos prefabricados, reducción del plazo de trabajo y efectuar una buena gestión de recursos y desperdicios.

Finalmente, este concepto debe incluirse en la guía final.

4.2. Resumen de conceptos a incluir en la guía

A continuación, se presenta una tabla con los distintos conceptos de economía circular estudiados y la decisión si incluirlos o no en la guía.

Tabla 4.1: Resumen de conceptos a incluir y excluir en la guía

Concepto de economía circular	Decisión
Reutilizar	Se incluye
Recuperar	Se incluye
Compartición de materiales entre obras	Se incluye
Diseñar por longevidad	Se excluye
Diseñar por flexibilidad	Se incluye
Diseñar para adaptabilidad	Se incluye
Diseño para el desarme y recuperación	Se incluye
Estandarización y modularización	Se incluye
Post venta y leasing	Se excluye
Utilización de materiales de bajo impacto	Se incluye
Utilización de materiales dreciclados o secundarios	Se incluye
Diseño de desechos	Se incluye
Reducción del impacto de la construcción	Se incluye

4.3. Diseño de índice de circularidad

Cada vez que se intenta implementar un nuevo sistema o proceso, es útil y necesario establecer un método de seguimiento y control para vislumbrar y entender el avance y efectividad de la implementación.

Con respecto a la implementación de economía circular, la literatura no presenta mucha importancia al concepto de seguimiento y control, dado que cerca de 10 de cada 155 estudios y trabajos sobre economía circular se centran en el diseño y discusión de Key Performance Indicators o KPI (Elia y cols., 2017). Bajo esta razón, en la presente memoria y futura guía, se considera pertinente proponer un KPI de seguimiento de la implementación de los conceptos mencionados en el capítulo anterior y sus estrategias asociadas.

Para esto, el indicador a diseñar se inspira en el trabajo de Núñez-Cacho (2018), diseñador del Circular Economy Index o CEI, el cual se basa en la medición del “Pensamiento Circular” en la empresa, en sus distintos niveles. Comienza con 3 tipos de puntajes; por organización (“Score for Organisation section” o SO), por procesos (“Score for processes section” o SP) y por grupos de trabajo (“Score for workgroup section” o SW). Cada uno de estos puntajes se conforma del promedio de la calificación en las distintas etapas del proyecto.

Las distintas etapas que considera son:

- Etapa de diseño (DE)
- Etapa de manufactura de materiales (MM)
- Etapa de construcción (CP)
- Etapa de mantenimiento (MA)

- Fin de vida o End of life (EL)

Estos se evalúan con un porcentaje de 0 % a 100 %, para cada nivel de organización como muestra la figura 4.1.

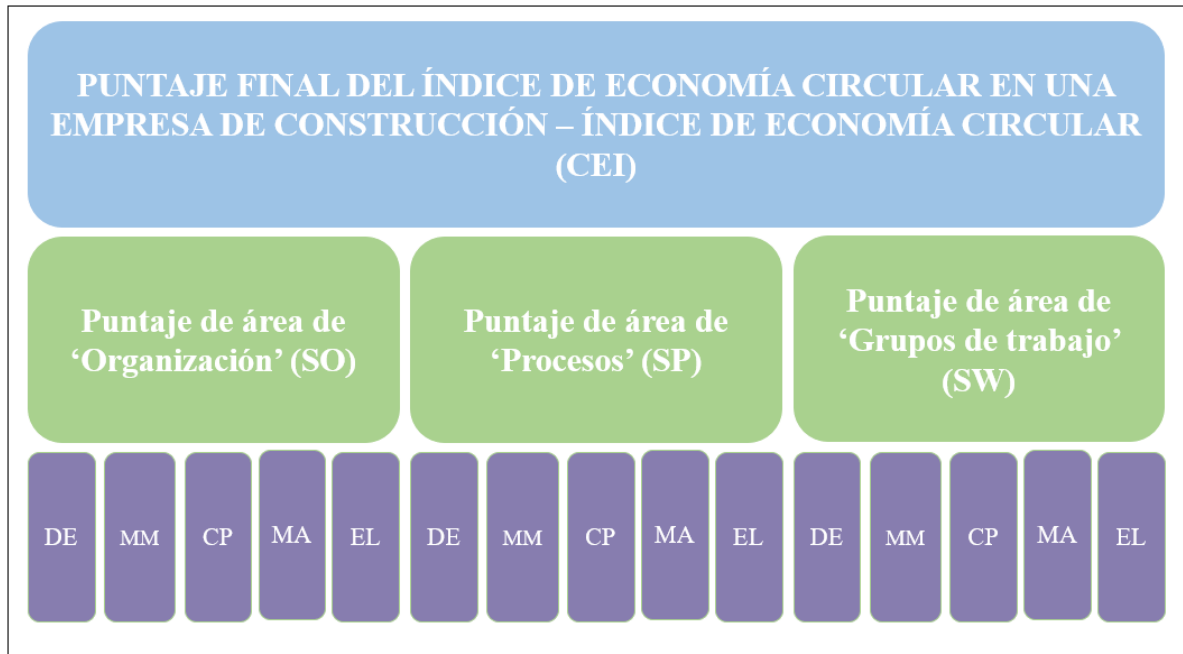


Figura 4.1: Esquema de evaluación del Circular Economy Index. Fuente: Traducido desde (Núñez-Cacho y cols., 2018)

Estos se evalúan mediante un sistema de porcentaje, asignado a las distintas etapas del proyecto. A continuación, se adjunta la tabla del nivel “Score for Processes section”.

Nivel	Perspectiva	Indicadores (Medición)	Valor deseado del indicador (Objetivo)	Justificación
PROCESOS	DE	Diseños realizados en estandar BIM, en porcentaje	100%	La mayoría de los expertos lo señaló
	MM	Mejora continua en Economía Circular (Sistema de gestión), en porcentaje	90%	La mayoría de los expertos lo señaló
	CP	Orden de desperdicios de construcción, en porcentaje	100%	La mayoría de los expertos lo señaló
	MA	Procesos basados en BMS Sistema de gestión de edificios), en porcentaje	80%	La mayoría de los expertos lo señaló
	EL	Decisión correcta de métodos de demolición, en porcentaje	90%	La mayoría de los expertos lo señaló

DE - Etapa de diseño, MM - Etapa de manufactura de materiales, CP - Etapa de construcción y procesos, MA - Etapa de mantenimiento, EL - Etapa de End-of-life, BIM - Building Information Modelling

Figura 4.2: Ejemplo de los parámetros de evaluación en el nivel de procesos. Fuente: Traducido desde (Núñez-Cacho y cols., 2018)

4.3.1. Diseño del índice a utilizar

Es importante notar que en términos de evaluación utilizando índices, es posible tomar una gran cantidad de parámetros a evaluar, como lo pueden ser: costos, cantidad de piezas estándar, parámetros de calidad, seguridad, etc. Sin embargo, para la guía final se elige generar un índice que denote el conocimiento o “awareness” por proyecto con respecto a la economía circular. También se considera que el nivel más alto de awareness sería el hecho de la implementación de economía circular en el proyecto. En la figura 4.3 se presenta el concepto de la escala a utilizar para la medición en las distintas áreas y etapas del proyecto.

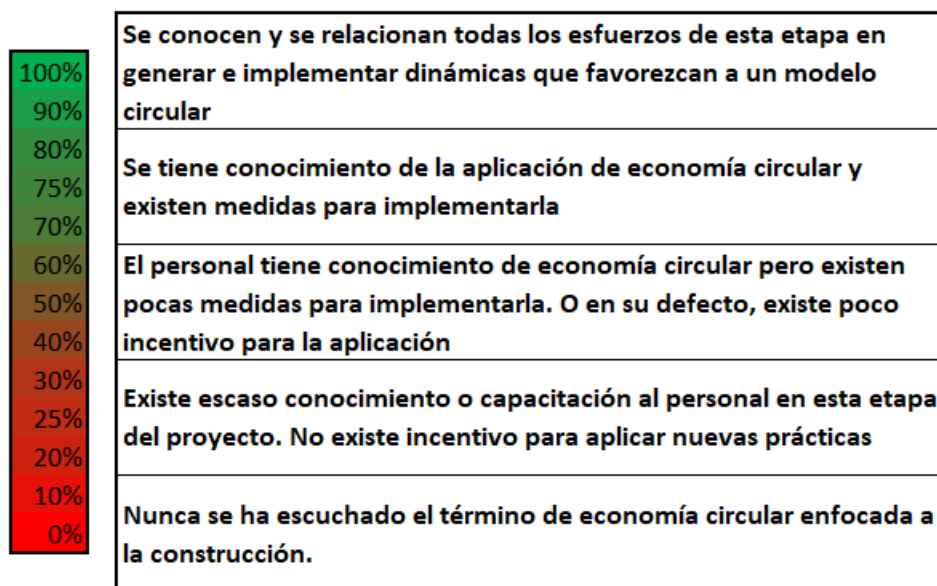


Figura 4.3: Escala simplificada de evaluación de un parámetro en particular. Fuente: Elaboración propia

Mediante esto, necesitamos definir las áreas en las cuales se va a evaluar este índice, en que etapas se evaluará y quién será el responsable de realizar estas evaluaciones.

4.3.1.1. Definición de las áreas a evaluar

Como primera instancia, podemos afirmar que todas las áreas de la organización dueña del proyecto debe estar comprometida con el cambio a un modelo circular. Sin embargo, debemos considerar que en proyectos de construcción existen diversos actores particulares, los cuales no siempre estarán comprometidos o se podrán comprometer a realizar mediciones de este tipo.

Es por lo anterior que, con el propósito de este estudio, el índice se restringe a las áreas inherentes de la organización y proyecto. Es decir, esta memoria considera tres áreas principales a las cuales se deberá aplicar este índice. Estas áreas se enumeran a continuación:

1. Organización: Hace referencia al área administrativa de la empresa, la cual considera el área de proyectos, inmobiliaria e incluso el directorio de esta misma. Esta área es de suma importancia, ya que, es importante que el conocimiento sobre economía circular baje desde la organización hasta las siguientes áreas, mediante los requerimientos especificados del proyecto.
2. Equipo de diseño: Este puede o no pertenecer a la misma empresa u organización, pero debido a la importancia de la aplicación de estos conceptos de economía circular y Lean Construction, es de vital importancia considerar y comprometer a esta área en las mediciones.
3. Construcción: Como también ocurre con el equipo de diseño, la constructora puede ser un contratista o una parte de la misma organización que genera el proyecto. Sin embargo, es necesario especificar la medición de esto ítems y comprometer a los responsables de construcción de seguir las recomendaciones de esta guía y las especificadas por el equipo de diseño y organización.

4.3.1.2. Definición de las etapas del proyecto en la cual se evaluará

Dado que estamos hablando de proyectos de viviendas industrializadas, en un entorno de economía circular, en donde el compromiso de todos los involucrados en las distintas etapas es fundamental.

Para definir las etapas a comprometer, debemos considerar las necesidades de la implementación de los conceptos de la tabla 4.1. Estas necesidades se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Conceptos a aplicar economía circular y las etapas claves en donde es necesario colocar esfuerzo para que el concepto se implemente

Concepto de economía circular	Necesidad
Reutilizar	Importancia en la prefactibilidad y diseño
Recuperar	Importancia en etapa de diseño
Compartición de materiales entre obras	Etapa de construcción
Diseñar por flexibilidad	Etapa de diseño/Mantenimiento
Diseñar para adaptabilidad	Etapa de diseño/Mantenimiento
Diseño para el desarme y recuperación	Etapa de diseño/Mantenimiento
Estandarización y modularización	Etapa de diseño/Mantenimiento
Utilización de materiales de bajo impacto	Etapa de Construcción/procurement
Utilización de materiales reciclados o secundarios	Construcción/procurement
Diseño de desechos	Etapa de diseño
Reducción del impacto de la construcción	Construcción/procurement

Por lo que se propone un sistema de medición por áreas, la cual investigue las medidas o efectos sobre las siguientes etapas:

1. Etapas de Diseño (ED): Se refiere a la influencia sobre la etapa de diseño. Por ejemplo, en el área de organización, se puede influenciar la etapa de diseño mediante la definición de los alcances y requerimientos del proyecto a diseñar.
2. Etapas de Construcción (CO): Al igual que la etapa anterior, se refiere a la influencia sobre la etapa de construcción de los distintas áreas del proyecto.
3. Etapa de Mantenimiento/Explotación (ME): Se refiere a como afectan las distintas áreas al mantenimiento o post venta del proyecto.

Con esto en mente, podemos definir un diagrama similar al de la figura 4.1, pero considerando las áreas y etapas consideradas.



Figura 4.4: Diagrama de los niveles y áreas de medición de índice

Una vez realizado el diagrama de la evaluación, es necesario desarrollar los parámetros para cada par área/etapa. A continuación se presentan:

Tabla 4.3: Evaluación de cada una de las etapas del proyecto de la perspectiva del área de la Organización

Área	Etapas	Evaluación	Descripción
Organización	ED	Se especifican y exige al equipo de diseño que incluyan conceptos de economía circular en el proyecto.	En este caso, la calificación más alta corresponde a una especificación que considera un proyecto y modelo de negocios totalmente circular, mientras que la más baja considera un desconocimiento sobre economía circular y, por ende, una especificación sin atributos de un modelo circular.
	CO	Se considera la historia medioambiental del contratista para su contratación. A su vez, se exige capacidad de gestionar desperdicios y utilización de materiales secundarios.	En este aspecto, la calificación más alta corresponde a la elección de un contratista familiarizado con dinámicas circulares o comprometidas con el medio ambiente, en su defecto, se puede capacitar al contratista y comprometerlo mediante las bases de licitación a aplicar estos conceptos. La menos calificación corresponde a la elección de un contratista meramente por su oferta económica, sin ninguna capacitación de por medio.
	ME	Se construye un servicio de mantenimiento y post venta orientado al cliente y a mantener los materiales en uso.	La nota más alta en esta categoría correspondería a la utilización de un modelo circular, en donde el contacto entre la organización y el cliente sea permanente. Produciendo dinámicas de actualización de la vivienda mediante la modularización, compra y reutilización de los componentes, etc. La menor calificación correspondería al nulo contacto entre la organización y el cliente, en donde al final de la vida útil de la estructura, probablemente se demuela.

Tabla 4.4: Evaluación de cada una de las etapas del proyecto de la perspectiva del área del Equipo de Diseño

Área	Etapa	Evaluación	Descripción
Diseño	ED	El equipo se compromete a elaborar un proyecto circular, ocupando los conceptos de esta guía y considerando las necesidades futuras de la organización.	Se deben utilizar distintas técnicas, como “<5 % de piezas especiales”, reutilización al máximo de las estructuras existentes, uso de BIM para el seguimiento de componentes, etc.
	CO	Se facilita la logística circular para el equipo de construcción. Para esto se especifican piezas prefabricadas, el diseño de los residuos y su tratamiento y otorgan una respuesta rápida y confiable ante preguntas en obra.	En este aspecto, es clave un diseño de calidad, en la cual se realicen pocos cambios en el periodo de construcción, y esos cambios sean realizados mediante canales de comunicación expeditos y ágiles.
	ME	Se diseña considerando las necesidades de la post venta, realizando diseños dinámicos y flexibles para el usuario.	En este principio se consideran los conceptos de post venta, diseño por flexibilidad, modularización y seguimiento de las piezas utilizadas para mantención.

Tabla 4.5: Evaluación de cada una de las etapas del proyecto de la perspectiva del área de Construcción

Área	Etapas	Evaluación	Descripción
Construcción	ED	Se mantienen comunicaciones expeditas con el equipo de diseño y se aporta con ideas para la circularización del proyecto a la organización	Es importante considerar al área de la construcción como un sujeto activo en la búsqueda de la circularidad del proyecto entero. En esta evaluación la nota más alta denota una constructora comprometida con el medio ambiente y el modelo económico de economía circular, la cual aporta con ideas y soluciones para la reducción de residuos y reutilización de materiales.
	CO	La empresa constructora cumple los requisitos de circularidad comprometidos con el mandante y equipo de diseño, y además considera la búsqueda de la sustentabilidad como su propio objetivo	Es importante que la constructora no solo cumpla con los requisitos propuestos por el dueño o equipo de diseño, sino también un compromiso de esta misma a lograr la circularidad en el modelo y la reducción de sus emisiones contaminantes
	ME	La empresa constructora se compromete a la facilitación de trabajadores para el servicio de post venta, ensamblaje de nuevos módulos y recuperación de elementos que hayan alcanzado su vida útil	En esta evaluación es importante considerar que estas dinámicas pueden generar un aumento de rentabilidad al largo plazo para la constructora. Ya que a medida que pase el tiempo, la incertidumbre del costo de ensamblar o modificar una vivienda se reduciría. Finalmente, una calificación alta en esta categoría denotaría una empresa responsable con sus clientes y dispuesta a compromisos a largo plazo.

Como se puede apreciar en las tablas anteriores, esta medición correspondería a una medición “cruzada” entre las distintas etapas y áreas del proyecto. Es decir, el área de diseño, por ejemplo, deberá evaluar su influencia en las distintas etapas del proyecto, con respecto a la implementación de dinámicas circulares.

El objetivo de esta forma de evaluar, sería interconectar las distintas etapas del proyecto, y que cada área involucrada intente influenciar o facilitar la aplicación de circularidad en las otras. Esto sigue las directrices del primer principio Lean, el cual busca “Determinar el valor del producto a los ojos de los cliente”(Salvatierra, 2020). Este principio no solo busca identificar el valor a los ojos del cliente final, sino también identificar el valor a los clientes internos de la cadena productiva.

4.3.1.3. Definición del responsable de las mediciones

Debido a las distintas áreas (Ver figura 4.4 que abarca el índice, es necesario definir responsables por cada área para los procesos de levantamiento y traspaso de información. Sin embargo, para efectos de los contenidos de esta guía, el dueño del proyecto debe disponer de un responsable del seguimiento y recopilación de la información proveniente de las distintas áreas.

De esta manera, el dueño del proyecto puede comparar los desempeños de las distintas áreas en materia de circularidad a lo largo de su cartera de proyectos.

En la siguiente figura, se muestra el flujo de información entre las partes involucradas en la medición.

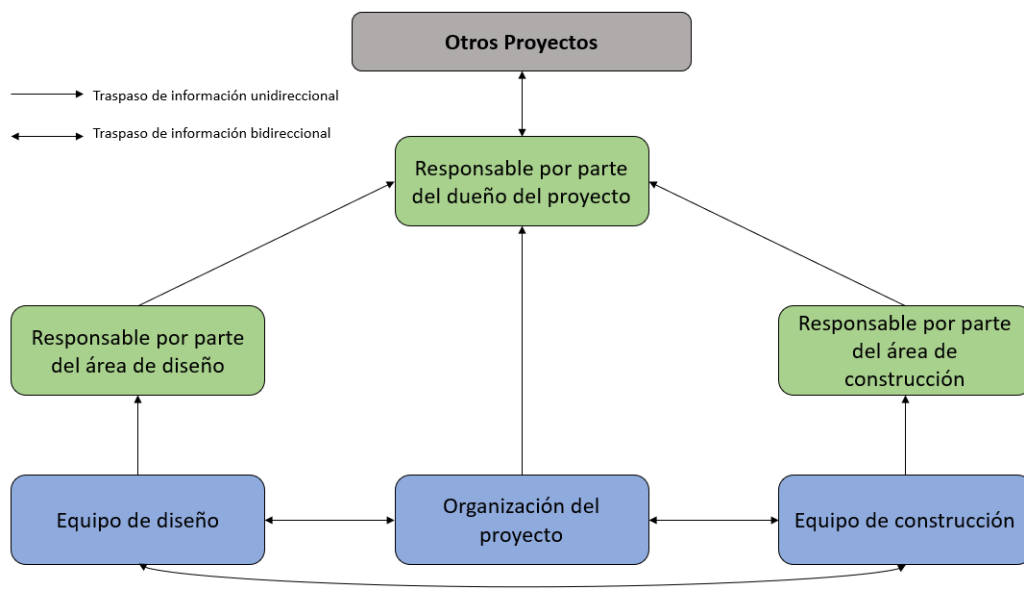


Figura 4.5: Traspaso de información propuesto para evaluación del índice. Fuente: Elaboración Propia

Por lo anterior, es necesario definir a un responsable por área, que se preocupe de exigir y otorgar la información correspondiente. El perfil del responsable debe ser de presencia permanente en el proyecto y debe tener un conocimiento completo con respecto a este. Algunos cargos propuestos dentro del proyecto pueden ser:

Tabla 4.6: Cargos propuestos para ser el responsable de su área en la medición del índice.

Área	Posible responsable
Diseño	Jefe de Proyecto
	Ingeniero Ayudante
	Ingeniero en terreno
Construcción	Encargado de Calidad
	Administrador de Contrato
	Jefe Oficina Técnica
	Control de Documentos
Organización	Project Manager
	Recursos Humanos
	Encargado Mejora Continua

Finalmente, la asignación o compromiso del responsable del control del índice debe ser de acuerdo a sus capacidades y disponibilidad. Este debe ser activo y debe estar abierto a los cambios de paradigma que implica un cambio a una economía circular, debe ser capaz de adaptar este índice a la realidad y contexto de la organización, sin perder el foco que este busca.

4.3.1.4. Procedimiento de medición y control del índice

Como se muestra en la figura 4.3, el puntaje asignado a cada par Área x Etapa será un porcentaje, dependiendo de que tan adoptada se encuentran las dinámicas circulares en ese ámbito.

La asignación de este puntaje deberá ser realizado de manera, a lo menos, mensual. Este proceso deberá ser ejecutado según la etapa del proyecto en la cual se encuentre. Se deberá completar el siguiente reporte mensual, otorgando una evaluación por parte del responsable de área y realizar un compromiso para mejorar ese puntaje y evaluar el cumplimiento y resultado del compromiso anterior.

A continuación, se propone un reporte estándar para evaluar el progreso del puntaje mes a mes.

REPORTE DE EVALUACIÓN MENSUAL DE ECONOMÍA CIRCULAR		
Responsable:		Fecha:
Área:		Nº Mes:

A continuación, complete la siguiente evaluación otorgando un porcentaje al desempeño de su área con respecto a la interacción con las otras áreas/etapas del proyecto. Este puntaje debe ser acorde a los parámetros establecidos en las tablas XX del procedimiento XX		
Área/Etapa	Puntaje Asignado	Comentario
ED		
CO		
ME		

Con respecto a el mes anterior, ¿Existe alguna mejora con respecto a la circularidad de los procesos?

Detalle compromisos para mejorar los índices al próximo mes de evaluación. Indique responsables y medidas concretas

Figura 4.6: Reporte propuesto para la evaluación mes a mes del puntaje de circularidad.

Mediante este documento, evaluado mensualmente, se puede realizar seguimiento al puntaje del índice en la etapa indicada y se puede evaluar el compromiso con la implementación de los conceptos.

Es importante notar que este documento es una propuesta básica para el seguimiento. La organización y el responsable debe adecuar esta evaluación a los objetivos y formatos del proyecto/organización.

Junto con la designación del puntaje de la etapa del proyecto, se puede obtener una evaluación parcial de lo presentado en la figura 4.4. Mediante la siguiente fórmula:

Puntaje por área:

$$P^{área} = \frac{ED^{área} + CO^{área} + ME^{área}}{3} \quad (4.1)$$

En donde:

$P^{área}$: Puntaje por área (Diseño, Construcción, Organización)

$ED^{área}$: Puntaje asignado en reporte de figura 4.6 a la etapa de Diseño según el área de Organización.

$CO^{área}$: Puntaje asignado en reporte de figura 4.6 a la etapa de Construcción según el área de Organización.

$ME^{área}$: Puntaje asignado en reporte de figura 4.6 a la etapa de Mantenimiento según el área de Organización.

Este puntaje será relativo al desempeño del área a medir según los criterios y escala definidos en la figura 4.3 y tablas 4.3, 4.4 y 4.5. Se debe tener como objetivo ir subiendo el puntaje mes a mes.

Para cuantificar la circularidad del proyecto, se debe promediar los puntajes por área, considerando las 3 áreas descritas. El puntaje sería como sigue:

$$P^{Proyecto} = \frac{P^{Dis} + P^{Const} + P^{Org}}{3} \quad (4.2)$$

En donde:

$P^{Proyecto}$: Puntaje por área de “Organización”.

P^{Dis} : Puntaje por área de “Diseño”.

P^{Const} : Puntaje por área de “Construcción”.

P^{Org} : Puntaje por área de “Organización”.

Este puntaje servirá para efectuar comparaciones frente a distintos proyectos asociados a la empresa y realizar un seguimiento a largo plazo sobre la inclusión de circularidad en los proyectos de inversión.

Capítulo 5

Desarrollo de guía por capítulos

Una vez definidos los conceptos de economía circular a utilizar (Ver tabla 4.1) y definido el índice de evaluación y seguimiento, se procede a elaborar y definir los distintos capítulos, y el contenido de estos.

5.1. Prefacio

De acuerdo a Julián Pérez Porto y María Merino (Definición.de, 2014), un prefacio corresponde a la parte inicial de una obra, en la cual, el autor ofrece una guía o comentario sobre la intención u objetivos de la misma.

Por lo anterior, podemos deducir que el prefacio corresponde a una adaptación del capítulo de “Motivación” y “Objetivos”. Dado esto, se propone el siguiente texto.

El presente documento corresponde a el resultado de un trabajo de título denominado "Diseño de guía con estrategias para la aplicación de economía circular y Lean Construction en proyectos de viviendas industrializadas", realizado en el año 2020 y 2021 en la Universidad de Chile.

La construcción chilena se ha visto enfrentada a un estancamiento en términos de productividad durante los últimos 10 años (de Solminihaç y Dagá, 2018), en la cual entre 2006 y 2016 la productividad del sector se ha mantenido estable, donde la productividad promedio del país ha visto un crecimiento sostenido.

Sumado a lo anterior, la industria de la construcción corresponde a una de las más contaminantes, incluso llegando a ser responsable de cerca del 35 % de los desechos de la unión europea en el año 2014 (Núñez-Cacho y cols., 2018). En el territorio nacional, cerca del 40 % de los proyectos del sector poseen una política efectiva de gestión y manejo de residuos (CDT, 2018). Lo que responde al bajo nivel de adaptación que presenta el sector ante las situaciones y problemas actuales. Otras situaciones que evidencian lo anterior son el bajo nivel de digitalización, industrialización y el alto nivel de desperdicio de talento que existe.

Bajo esta mirada, la siguiente obra intenta aportar con información facilitadora para que los proyectos de viviendas en Chile puedan comenzar un nuevo viaje de innovación y compromiso con el medio ambiente. Reduciendo sus emisiones, aumentando su rentabilidad y

fomentando otras dinámicas actuales necesarias, tales como la digitalización y la introducción de la filosofía Lean en la cultura organizacional.

5.2. Alcance

De acuerdo a Polanco (2020), el alcance “Es el conjunto de productos, servicios, resultados, entregables que debe proporcionar el proyecto y el trabajo necesario ello”. De acuerdo a esto, el capítulo de alcance de la guía debe especificar los servicios y resultados de la implementación de estos conceptos. También, se quiere recalcar la utilidad de la industrialización en la empresa, de manera de generar una sinergia con los conceptos de economía circular.

A continuación, se presenta lo que se incluirá en la sección de Alcance.

El presente documento tiene como público objetivo a personas involucradas en proyectos de viviendas industrializadas en las etapas tempranas del mismo. Esto implica que los proyectos de la empresa poseen características de la construcción industrializada, lo que facilitaría la implementación de los conceptos a tocar en la guía debido a las dinámicas de OSC (Off-Site Construction), estandarización o modularización. Sin embargo, los conceptos ofrecidos en esta guía pueden ser extrapolados y adaptados a otros contextos asociados con construcción.

Es importante mencionar que este documento corresponde a recomendaciones generales, basadas en la revisión bibliográfica de distintas instancias nacionales e internacionales, las cuales requieren de una adaptación al contexto empresa/país y una cultura de mejora continua y seguimiento.

El objetivo de la guía corresponde a expandir el conocimiento de la posibilidad de implementar conceptos provenientes de la industria manufacturera, como lo son la economía circular y Lean Management, en la industria de la construcción. Promoviendo el desarrollo y la modernización del sector.

Este documento propone un índice de conocimiento y aplicación de las estrategias a presentar, sin embargo, este es una propuesta básica, con el objetivo de que los responsables de la implementación lo adapten en camino al desarrollo de un índice que otorgue una dinámica de mejoramiento continuo.

5.3. ¿Por qué circularidad y Lean Construction?

En esta sección se presenta para otorgar razones por las cuales implementar economía circular, mediante herramientas y principios de Lean Construction en el ámbito constructivo. Para esto, es necesario incluir la definición elegida de economía circular, el contexto del sector y los problemas que viene a solucionar estos conceptos, a su vez, como afecta el pensamiento Lean en facilitar las dinámicas mencionadas anteriormente.

Frente a esto, se decide incluir lo siguiente en la guía:

De acuerdo al United Kingdom Green Building Council (2019), economía circular se puede definir como:

“En contraste a una economía lineal de “Tomar-Hacer-Desechar”, una Economía Circular construye una integral salud de los sistemas mediante el desacoplamiento de la actividad económica y del consumo de recursos finitos. Esto debe ser realizado utilizando energías renovables, y se basa en tres principios:

- 1. Diseño de desperdicios y contaminación*
- 2. Mantener productos y materiales en uso*
- 3. Regenerar sistemas naturales”*

Este concepto puede ser adaptado al rubro de la construcción, cambiando uno de los aspectos más contaminantes de esta, utilización de recursos no renovables mediante los concepto que se tratan en esta guía.

Debido a la expuesto anteriormente respecto a la productividad y modernización de la construcción, existen diversas herramientas y cambios de paradigma que intentan resolver estos problemas, tales como: Industrialización, Lean Construction, Integración temprana, Integrated Project Delivery, etc.

Frente a lo anterior, el concepto de economía circular tiene relación con un cambio del modelo de negocios del sector, en el cual los proyectos dejan de tener un fin definido y se promueve el concepto de post venta, utilización de prefabricados, estandarización y planificación temprana. De esta manera, la economía circular de alguna forma utiliza las otras herramientas mencionadas en pos del medio ambiente.

En la presente guía, se utilizan los 11 principios de Lean Construction (Ver tabla 5.1) (Koskela, 1992) que puedan afectar a cada concepto y su implementación. Además se incluyen diversas herramientas Lean para solucionar diversas barreras de implementación que podría encontrar en el camino.

Tabla 5.1: 11 principios de Lean Construction, definidos por Koskela (1992)

N°	Principio Lean
1	Reducir las actividades que no añaden valor
2	Aumentar el valor del Output mediante la evaluación sistemática de los requisitos del cliente
3	Reducir variabilidad
4	Reducir tiempos de ciclo
5	Simplificar mediante la reducción del número de pasos, partes y vínculos
6	Aumentar la flexibilidad del Output
7	Aumentar la transparencia en los procesos
8	Enfocar el control en el proceso completo
9	Integrar el mejoramiento continuo en el proceso
10	Balancear el mejoramiento del flujo con el mejoramiento de la transformación
11	Realizar Benchmarking

5.4. Índice de medición y seguimiento

Para la guía es necesario incluir el índice diseñado de manera simple y concisa. Para esto, se decide incluir lo siguiente.

Cada vez que se intenta implementar un nuevo sistema o proceso, es útil y necesario establecer un método de seguimiento y control para vislumbrar y entender el avance y efectividad de la implementación.

El índice propuesto por esta guía medirá el nivel de conocimiento e implementación de las distintos conceptos que se presentan más adelante. Para esto, el proyecto se dividirá en 3 áreas: Organización, equipo de diseño y construcción. También se evaluará el proyecto por cada una de estas áreas en tres etapas del proyecto, estas son: Etapa de diseño, etapa de construcción y etapa de mantenimiento, estas se presentan en la figura 4.4.

Cada una de las áreas debe evaluar el desempeño de acuerdo a la siguiente escala, ver figura 4.3.

En el anexo de esta guía se incluyen las definiciones de la evaluación (Tablas 4.3, 4.4 y 4.5) y un reporte que puede ser de apoyo para la comunicación de las evaluaciones de las distintas áreas.

Estas mediciones deben ser tomadas por un responsable de cada área y luego ser recolectadas por el representante del área de organización. A continuación se proponen distintos actores que pueden ser el responsable del área.

Tabla 5.2: Cargos propuestos para ser el responsable de su área en la medición del índice.

Área	Posible responsable
Diseño	Jefe de Proyecto
	Ingeniero Ayudante
	Ingeniero en terreno
Construcción	Encargado de Calidad
	Administrador de Contrato
	Jefe Oficina Técnica
	Control de Documentos
Organización	Project Manager
	Recursos Humanos
	Encargado Mejora Continua

Finalmente, el puntaje por las distintas etapas debe ser promediado para obtener el puntaje por área, y el puntaje final será el promedio del puntaje de todas las áreas, siguiendo el diagrama mostrado.

5.5. Conceptos y sus estrategias

Esta sección corresponde a la parte central de la guía, en esta se presenta cada uno de los conceptos a implementar. En cada uno de estos se debe explicar los siguientes aspectos:

1. Definición: En esta sección se entrega una pequeña definición del concepto. Esta puede ser la especificada en la sección de anexos.
2. Objetivo: Esta sección busca mostrar sus influencias en temas de sustentabilidad, costos, plazo y calidad.
3. Estrategias: Esta sección incluye las distintas maneras en las cuales se puede introducir el concepto en el proyecto. En esta sección se mencionan los principios Lean que ayudarán a la implementación.
4. Barreras a la implementación: Se presenta una tabla con las posibles barreras a enfrentar en la implementación y recomendaciones para superarlas.
5. Casos de estudio (Si aplica): Se incluye algún ejemplo de utilización de este concepto para investigación posterior por parte del lector. En esta sección se busca privilegiar iniciativas nacionales, sin embargo, también se incluyen casos internacionales.

5.5.1. Reutilizar

5.5.1.1. Definición

El término reutilizar hace alusión a evitar generar obras de construcción, mediante la utilización total o parcial de estructuras existentes, destinándolas a un uso igual o similar

que la estructura existente.

También se considera la expansión de las dependencias existentes para ampliar su uso. Este concepto es esencial cuando se habla de estructuras patrimoniales.

5.5.1.2. Objetivos

Dentro de los objetivos que busca este principio se encuentran:

- Reducir materiales utilizados
- Reducir impactos y emisiones asociadas a la construcción
- Minimizar desechos por demolición
- Ahorro de costos y plazo debido a la ausencia de obras
- Mantener estructuras patrimoniales

5.5.1.3. Estrategias

Las distintas acciones y estrategias recomendadas para implementar este concepto son las siguientes:

- Realizar peritajes de la estructura existente y su historia, de manera de entender la vida útil de sus componentes y su capacidad de reutilización. Esta acción tiene directa relación con el octavo principio de Lean Construction, ya que enfoca el control en el proceso completo; incluso cuando se trata de los estudios previos
- En la etapa de prefactibilidad se deben elaborar estudios comparativos en términos de plazos y costos de la demolición de la estructura existente y construcción desde cero, y la reutilización de la misma considerando los peritajes estructurales. De esta forma podremos reducir, de manera temprana, las actividades que no añadirán valor al producto. Por lo que esta medida busca aplicar el primer principio Lean
- Revisar encuestas de satisfacción de la estructura, con el objetivo de comprender lo que funciona y no funciona de la estructura. De esta manera, utilizamos el segundo principio Lean, evaluando el cumplimiento de los requisitos del cliente
- Adjudicación del proyecto a equipos que tenga experiencia o estén comprometidos con el concepto de reutilizar lo más posible de la estructura existente. Esto se puede lograr incluyendo requisitos en el proyecto/licitación. Esto sale directamente del intento de reducir la variabilidad del resultado.

5.5.1.4. Barreras a la implementación

A continuación, se presenta la tabla que se incluirá en la guía con respecto a las barreras a la implementación del concepto de reutilizar.

Tabla 5.3: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de reutilizar la estructura existente

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Problemas con normativas estructurales y/o urbanismo	Contratar consultores especialistas a la hora del estudio de factibilidad
Poca información con respecto a las capacidades del edificio (Capacidad sísmica, estructural, aislación, resistencia al fuego, etc)	Incluir presupuesto para realizar ensayos no destructivos a la estructura de las distintas especialidades asociadas.
Equipo de arquitectura no considera la estructura por estética	Considerar esquemas de incentivos para el equipo de arquitectos y diseño, que considere beneficios mientras más de la estructura existente se ocupe en el diseño. Incluir desde un principio el criterio de reutilizar la estructura existente en los requisitos
La estructura está cerca de cumplir su vida útil	Proponer incentivos al equipo de diseño estructural para extender la vida útil de la estructura o sus partes
La estructura existente no es estéticamente atractiva para el nuevo proyecto de vivienda	Implementar recubrimientos que cambien la estética Combinar con elementos contemporáneos Ocultar o adaptar elementos que puedan ser considerados de mal gusto Reparar o reemplazar elementos en mal estado
Los equipos asociados no se comprometen con el cambio	Fomentar la capacitación en temas ambientales, economía circular en construcción y cambios de paradigma a mejores prácticas Establecer incentivos para fomentar la implementación Especificar inicialmente la aplicación de la reutilización de la estructura como un requisito

5.5.1.5. Casos de estudio

1. La memoria de título de Valentina Osorio (2006) propone la reutilización de la estructura industrial de silos abandonados en la antigua fábrica de silos ECA en Santiago, para la construcción de viviendas en altura dentro de los mismos silos.
2. En Argentina, un antiguo complejo industrial, construido el 1921, denominado Silos de Dorrego fue recuperado y reciclado en 1993 para ser utilizado como edificio de lujosas viviendas y oficinas (Dujovne y cols., 2020).
3. El Mercado municipal de Providencia se encuentra en un plan de recuperación, en el cual la estructura principal corresponde a un inmueble de conservación histórica. Debido a lo anterior, el nuevo proyecto corresponde a la renovación y ampliación de la estructura, otorgando una nueva vida útil al inmueble (Maiztegui, 2020).

5.5.2. Recuperar

5.5.2.1. Definición

Este concepto tiene relación con la reutilización de elementos de la estructura existente, con el objetivo de darle un uso similar o distinto al que tenía inicialmente. Implica la demolición selectiva de la estructura existente.

5.5.2.2. Objetivos

Dentro de los objetivos de aplicar este concepto se encuentran:

- Reducir los materiales utilizados
- Reducir deshechos por demolición
- Reducción de la huella de carbono de la obra y estructura
- Ahorrar en costos de materiales y mano de obra
- Rescate de elementos históricos o patrimoniales

5.5.2.3. Estrategias

Las distintas acciones recomendadas para la implementación de este concepto son:

- Se debe realizar peritajes de la estructura existente por un equipo de expertos (Ingeniero estructural, experto de demolición, arquitecto). Mediante esto podemos aumentar la transparencia entre los distintos actores de los procesos. Además esto puede influir en el mejoramiento de la planificación del futuro de la estructura

- Se debe proponer un estándar en los requisitos, especificando un porcentaje de la estructura a rescatar. Esta estrategia sigue los lineamientos de la evaluación sistemática de los requisitos del cliente. Esta acción debe tener un seguimiento y ser actualizados constantemente
- Pedir los planos “As Built” de la estructura y de esta forma poder identificar elementos rescatables
- Incentivar a los equipos de diseño a la búsqueda e inclusión de elementos rescatados en el proyecto. Esta estrategia puede ser realizada con mayor facilidad si es que se tiene implementado las dinámicas BIM en la organización.
- Si algunos materiales no pueden ser utilizados en el proyecto, es posible rescatarlos y utilizarlos en otros proyectos de la cartera de proyectos, o a su vez, efectuar compartición de materiales con obras locales.
- Como último recurso, los materiales pueden ser rescatados con el objetivos de ser reciclados o ser usados para la producción de energía o compostaje. De esta manera, agregamos valor a lo que de otra manera, correspondería a desechar los materiales.

5.5.2.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.4: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de recuperar los elementos de la estructura existente

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Normativa nacional no permite la recuperación y reutilización	Consultar a expertos y contactar a responsables de plan Construye2025 para evaluar las nuevas iniciativas nacionales y factibilidad del proyecto
Obra gruesa alcanzó su vida útil	Considerar recuperación de otros elementos no estructurales. Tales como puertas, ventanas y tabiquerías.
No existe espacio para inventario extra	Implementar un plan de manera temprana, que considere la recuperación y utilización inmediata (Ver concepto de “Compartición de materiales entre obras”) Considerar repartir los elementos recuperados entre las integrantes de la obra o proyecto. Implementar herramientas Lean como 5S para optimizar los espacios de bodega y terreno. Implementar esquemas de Just In Time (JIT) y producción PULL. De esta manera, se reduce el inventario de la obra, mediante el concepto de producción ajustada
Equipo especialista no se hacen responsables por el desempeño de los elementos recuperados	Proponer un plan de muestreo y ensayo, ojalá no destructivo, para asegurar su calidad

Tabla 5.5: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de recuperar los elementos de la estructura existente (Continuación)

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Es excesivamente complicado integrar los elementos reutilizados en el nuevo proyecto	<p>Juntar equipos comprometidos con implementar economía circular de manera temprana</p> <p>Establecer incentivos para utilizar elementos recuperados</p> <p>Buscar con arquitectos maneras de integrar las estéticas de las estructuras existentes con las del nuevo proyecto.</p>
Los equipos asociados no se comprometen con el cambio	<p>Fomentar la capacitación en temas ambientales, economía circular en construcción y cambios de paradigma a mejores prácticas</p> <p>Establecer incentivos para fomentar la implementación</p> <p>Implementar herramientas colaborativas de solución de problemas, tales como A3 para encontrar la manera de generar compromiso con los equipos</p> <p>Especificar inicialmente la aplicación de la reutilización de la estructura como un requisito</p>

5.5.2.5. Casos de estudio

1. La memoria realizada por Juan Ramos (2017) evalúa el potencial de reciclaje de diversos materiales de construcción presentes en los edificios chilenos. Este documento puede ser una primera guía para ideas de reciclaje.
2. En México el equipo de arquitectos T3arc diseñó el hotel “TuboHotel”, el cual fue ideado en base a unos tubos de hormigón de 2.44 metros de diámetro por 3.5 metros de largo (Arquitectura, 2011).

5.5.3. Compartición de materiales entre obras

5.5.3.1. Definición

Este concepto tiene como finalidad el complemento del concepto anterior, en donde los elementos que tengan vida útil de la estructura existente, pero no tengan cabida en el proyecto, pueden ser compartidos a otras obras locales.

5.5.3.2. Objetivos

- Reducción de huella de carbono del proyecto

- Promover la cultura de la reutilización y economía circular en otros proyectos
- Refuerzo de relaciones con distintas empresas
- Reducción de deshechos de demolición
- Reducción de costos en materiales, transportes y espacio en botaderos

5.5.3.3. Estrategias

- Incluir al especialista en demolición en los equipos de manera temprana. De esta manera generar transparencia en el proceso de rescate de materiales y efectuar los inventarios pertinentes
- Habilitar canales de comunicación entre obras para el traspaso de materiales. Estos canales pueden ser formados mediante o para la realización de Benchmarking
- Ofrecer elementos ornamentales, tales como maderas, glorietas, adoquines, etc. Al personal en obra. Esto genera mejores relaciones con el personal, en donde estos materiales o estructuras pueden ser considerados como incentivos
- Considerar reciclaje de materiales, tales como hormigones y acero.

5.5.3.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.6: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de compartir materiales y elementos con otras obras

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
No existen canales de comunicación entre obras	Utilizar los canales de redes sociales existentes entre contactos del mismo equipo y organización Invertir en el desarrollo de un canal virtual o página web, la cual presente los elementos a compartir/vender.
Poca información sobre elementos dificulta la aprobación para otros proyectos	Realizar ensayos no estructurales para poder asegurar integridad estructural Privilegiar rescate y compartición de elementos no estructurales
No existe confianza por parte de otros actores de obras similares	Especificar claramente los atributos y capacidades de los elementos recuperados Realizar esfuerzos por conseguir la trazabilidad de los elementos rescatados
La estructura está cerca de cumplir su vida útil	Proponer incentivos al equipo de diseño estructural para extender la vida útil de la estructura o sus partes
No existen obras o proyectos cercanos que puedan recibir elementos	Buscar organizaciones de reciclaje o reutilización de manera temprana, de forma de elaborar un plan en conjunto para la reutilización de estos

5.5.3.5. Casos de estudio

1. La plataforma Globechain provee un mercado virtual para reducir el desperdicio de diversas empresas. Esta plataforma corresponde a un ejemplo concreto de herramientas virtuales que pueden servir de puente para la compartición

5.5.4. Diseñar por flexibilidad

5.5.4.1. Definición

El diseño por flexibilidad consiste en el definir de manera temprana, el balance de las necesidades del hoy, con las necesidades futuras que debe solucionar la estructura. De esta forma, se reduce el desperdicio del cambio de uso futuro.

Una de las maneras más comunes de aplicar este concepto, es en generar elementos no estructurales que puedan ser removidos y redistribuidos en el inmueble.

Este concepto tiene directa relación número seis de los principios de Lean Construction de la tabla 5.1. Este concepto incentiva a las organizaciones a otorgar flexibilidad en el producto

o output.

5.5.4.2. Objetivos

- Reducir costos de infraestructura futuros
- Reduce los desechos asociados a demolición posterior de elementos estructurales
- Reducir costos en estudios de ingeniería posterior
- Permite dinamismo del producto final
- El producto es más atractivo para futuros dueños, mejorando la post venta

5.5.4.3. Estrategias

- Definir las posibles necesidades futuras del cliente (Flexibilidad ante nuevas tecnologías, nuevas maneras de obtener energía y posibilidad de movimiento de elementos no estructurales).
- Proyectar plantas libres en los proyectos. En el caso de viviendas, otorgar espacios suficiente para cambiar el uso de los espacios
- Privilegiar el uso de materiales livianos, que puedan ser modificados con el pasar del tiempo

5.5.4.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.7: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de diseñar por flexibilidad

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Diseñar por flexibilidad puede tener influencias en el plazo a causa del estudio de las necesidades futuras	Esto denota la importancia de la planificación temprana y de involucrar a los distintos equipos y stakeholders antes. Herramientas como PULL Planing pueden ser de utilidad para efectuar una planificación efectiva
No se puede definir necesidades futuras en el ámbito de viviendas	Referirse al concepto de diseñar por adaptabilidad La flexibilidad también puede ser otorgada por el plan estratégico a largo plazo de la organización

5.5.4.5. Casos de estudio

1. Debido al contexto de pandemia, la crisis económica y el ascenso del teletrabajo, existe una tendencia mundial de cambiar el uso de las oficinas a viviendas unifamiliares. En

este aspecto, es importante considerar que uno de los aspectos principales de las oficinas, que es la presencia de plantas libres, corresponde a uno de los aspectos más importantes de la arquitectura flexible.

2. En un caso más académico, Rashmi Shahu (2017) analiza el costo/beneficio de implementar enfoque a sustentabilidad en 3 casos de estudios asociados a distintos edificios de un universidad de ingeniería en Nagpur. En este se llega a la conclusión de que el costo de aplicar el enfoque flexible a estructuras es mucho menor que el costo de cambios inesperados

5.5.5. Diseño para la adaptabilidad

5.5.5.1. Definición

El diseño por adaptabilidad consiste en la reducción del uso de materiales mediante la extensión de la vida útil del uso del inmueble. Es importante que la construcción fuera de obra (Off-Site Construction) puede jugar un gran rol en el diseño por adaptabilidad.

Este concepto implica el diseño del producto, satisfaciendo las necesidades actuales, sin embargo, existe la capacidad de satisfacer potenciales necesidades futuras, mediante la ampliación o cambio de elementos no estructurales.

5.5.5.2. Objetivos

- Reducción de huella de carbono del proyecto
- Retención del valor de la estructura al poder ser remodelada y mejorada
- Retención del cliente a lo largo de la vida útil del cliente
- Reducciones de costos para la remodelación para el cliente

5.5.5.3. Estrategias

- Diseñar exigiendo modularidad en las estructuras
- Ofrecer un servicio de mejoramiento continuo de la vivienda
- Especificar espacios amplios y personalizables
- Especificar materiales de alta longevidad
- Enfocar esfuerzos en la etapa de planificación
- Implementar en conjunto con “Estandarización y modularización” y “Diseño para el desarme”

5.5.5.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.8: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de diseñar por adaptabilidad

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Restricciones normativas (Tales como la sísmica) no permite o encarece mucho la utilización de plantas libres	Favorecer el uso de materiales más livianos, tales como hormigones livianos o explorar el uso de madera estructural Explicitar las intenciones de adaptabilidad de la estructura al equipo de arquitectos e ingenieros. Incentivar la búsqueda de soluciones creativas. También puede ser pertinente contratar a grupos especialistas en cambio de uso de estructuras de acuerdo al caso
Existe baja posibilidad de generar espacios libres o con partes no estructurales móviles	Revisar conceptos de modularización y estandarización. Estos pueden otorgar soluciones para generar adaptabilidad fuera de la estructura principal

5.5.5.5. Casos de estudio

1. En Brasil se ha desarrollado una tendencia en los círculos de arquitectos, en los cual se ha privilegiado el uso de mobiliario móvil, otorgando diversas soluciones, como la instalación de rieles o mobiliario con ruedas. Un ejemplo de este es el “Departamento AMRA7” en Sao Paolo, este toma varias características de la construcción resiliente y entrega rieles de madera en los cuales gran parte del mobiliario puede deslizarse, cambiando la distribución interior del departamento (Ghisleni, 2020)

5.5.6. Diseño para el desarme y recuperación

5.5.6.1. Definición

Este tiene directa relación con las obras industrializadas, las cuales tienen un fuerte componente de prefabricación y ensamblaje. Consiste en el diseño del EoL de la estructura, en la cual debe existir un procedimiento de desarme de la misma, con tal de que los componentes que mantengan su vida útil, puedan ser recuperadas y reutilizadas. También se puede efectuar un seguimiento de los componentes individuales de la estructura, reemplazando los que tengan una menor vida útil.

5.5.6.2. Objetivos

- Permitir reemplazar elementos que alcancen su vida útil de manera temprana mucho más fácil
- Aportar flexibilidad para el ciclo de vida de la estructura

- Mantener al cliente conectado a la empresa
- Reducir el tiempo de construcción en obra y fomentar las actividades de montaje
- Generar ahorros en gastos generales del proyecto
- Eliminar el concepto de demolición de estructuras

5.5.6.3. Estrategias

- Utilizar herramientas BIM para visualizar de mejor manera el encaje y funcionalidad de las piezas. También puede servir para llevar una trazabilidad de cada pieza individual. De esta manera es posible enfocarse en el proceso completo (Octavo principio Lean)
- Especificar la capacidad de desarme y recuperación como un requisito para el equipo de diseño, siguiendo el segundo principio Lean
- Definir conexiones mecánicas estándar. De esta manera es posible aumentar la flexibilidad del producto. A su vez, sigue el tercer, quinto y sexto principio Lean, reduciendo la variabilidad del output, reduciendo el número de pasos del proyecto y aumentando la flexibilidad

5.5.6.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.9: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de diseñar para el desarme y recuperación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
La reglamentación dificulta la especificación de conexiones mecánicas o no monolíticas	Comprometer al equipo de diseño de manera temprana, de manera que puedan encontrar soluciones que aseguren un desempeño correcto de la conexión
No existe experiencia en el ámbito del desarme de la estructura	En conjunto con la preparación de la especificaciones técnicas y procedimientos de montaje de la estructura, se debe preparar un procedimiento estándar de desarme. Este documento debe ser adjunto a los documentos As Built del proyecto
No existe claridad con respecto a las instalaciones de las distintas especialidades (Agua potable, electricidad, etc)	Comprometer a las distintas especialidades de manera temprana, de esta manera definir las soluciones para las singularidades del proyecto Utilizar dinámicas BIM para evitar interferencias y asegurar la correcta conexión de fittings y conectores

5.5.6.5. Casos de estudio

1. En Chile, la empresa **Unimod** presenta una propuesta modular para varios tipos de viviendas y bodegas, tanto para el ámbito unifamiliar o industrial. Esta propuesta contempla el armado y transporte sin la necesidad del uso de maquinaria o herramientas especiales.
2. Las estructuras de acero con conexiones apernadas han sido extensamente utilizadas en el ámbito industrial. Sin embargo, estas conexiones son de fácil instalación y desarme, además de ser reciclables, por lo que pueden ser una buena opción si son combinadas con otros materiales constructivos para camuflar la estética del acero.

5.5.7. Estandarización y modularización

5.5.7.1. Definición

Este concepto tiene directa relación con el ámbito de industrialización. Corresponde a la especificación de elementos y estructuras estándar, las cuales son más fáciles de producir en serie, reduciendo el trabajo en obra y aumentando las faenas de montaje. A esto se puede adicionar la modularización, que se dice de estructuras que funcionan por “bloques”, los cuales, en el caso de vivienda, sirven para ampliar la estructura sin cambiar la estructura existente.

5.5.7.2. Objetivos

- Reducir costos y plazos de la etapa de construcción
- Reducir la variabilidad del producto
- Reducir el desperdicio de materiales
- Mejorar la implementación y control de la mejora continua
- Acercar conceptos de la industria manufacturera a la construcción

5.5.7.3. Estrategias

- Especificar proyectos mediante bloques similares, pero orientados en distintas formas. De esta manera se pueden producir piezas o elementos estándar, los cuales pueden generar un producto único. Esta estrategia persigue el sexto principio Lean, el cual busca aumentar la flexibilidad del output
- Establecer requisitos de porcentaje de piezas especiales, reduciendo la variabilidad y alejando la producción de la obra. Esta estrategia toca varios principios Lean; La reducción de la variabilidad (Tercer principio), Integrar el mejoramiento continuo en el proceso (Integrar el mejoramiento continuo en el proceso) y balancear el mejoramiento del flujo con el mejoramiento de la transformación (Décimo principio)
- Trabajar en conjunto con los equipos y de manera temprana. Es necesario comunicar y generar transparencia para aprovechar el talento del equipo. A su vez, reduce pasos en

etapas futuras del proyecto. Un trabajo colaborativo y temprano también toca distintos principios Lean, tales como el segundo, tercer, quinto y séptimo (Ver tabla 5.1).

5.5.7.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.10: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de estandarizar y modularización

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Pérdida de originalidad y atractivo del producto	Motivar al equipo de arquitectos a ver el proyecto como un desafío, generando módulos sustentables y actualizables. Mostrar al equipo casos de estudio de “Estandarización personalizada”, y así promover el concepto.
Especificar productos prefabricados encarece el proyecto.	Tomar en cuenta el ahorro en costo directo de construcción y ahorros en plazo Cuantificar el riesgo asociado a obras in situ y Off-Site Construction Enfocar el aumento del Know how en proyectos sustentables y estandarizables al largo plazo.

5.5.7.5. Casos de estudio

1. En japon existen diversas empresas de construcción industrializada de hogares. Entre ellas destaca **Sekisui House**, la cual, mediante técnicas de personificación y responsabilidad de la obra, pueden entregar productos altamente personificables realizados en planta.
2. La empresa **TecnoFast Home** ofrece diversas cápsulas de viviendas, las cuales pueden ser ordenadas y compradas en el orden que uno requiera. Estas cápsulas pueden ser descargadas en su página, de manera que el cliente pueda recortarlas y poder visualizar la planta deseada de su vivienda.

5.5.8. Utilización de materiales de bajo impacto

5.5.8.1. Definición

Consiste en la utilización de materiales de bajo impacto en las estructuras de manera de reducir su impacto al medio ambiente o en la salud de las personas durante la totalidad del ciclo de vida.

5.5.8.2. Objetivos

- Reducir la huella de carbono de las estructuras

- Aumentar la posibilidad de reciclaje o reutilización de los materiales en el EoL del edificio
- Buscar nuevas capacidades para las estructuras de viviendas (Mejor aislación térmica y acústica, mejor resistencia al fuego, etc.)
- Reducir los desperdicios en obra

5.5.8.3. Estrategias

- Referirse a listas de instituciones como Cradle to Cradle, estas poseen materiales permitidos y no permitidos para su utilización en productos certificados. Puede ser un requisito para la etapa de diseño
- Preferir materiales renovables y biológicos. En este caso, la madera ha demostrado ser un elemento estructural muy capaz para proyectos estructurales.
- Privilegiar el uso de materiales reciclados para la generación de nuevos materiales. Ejemplos de esto puede ser el uso de áridos reciclados o el reciclaje del acero de la estructura existente
- Utilizar materiales obtenidos en áreas cercanas al proyecto, evitando contaminación por transporte y promoviendo la economía local.

5.5.8.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.11: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de utilizar materiales de bajo impacto

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
El uso de nuevos materiales pueden incurrir en costos adicionales al proyecto.	Comprometer a los proveedores de manera temprana, de forma de encontrar soluciones en términos de costo y plazo Existen casos de estudios en donde el uso de materiales de bajo impacto puede ser incluso más barato que los materiales convencionales Incluir el uso de materiales no convencionales como una característica asociada a lujo Buscar certificaciones como BREEM o LEED para agregar valor a la estructura
Existe un mayor riesgo al usar materiales no convencionales en zonas estructurales	Utilizar materiales de bajo impacto en zonas de bajos esfuerzos o no estructurales. Para esto es necesario integrar al equipo de diseño de manera temprana y comprometida
Existe un impacto en la estética de las estructuras	Comprometer al equipo de arquitectos y mostrar como un desafío la inclusión de estos materiales.

5.5.8.5. Casos de estudio

1. El edificio “Torre Peñuelas”, ubicado en Rancagua, corresponde al edificio más alto de latinoamérica construido en madera. Este sienta las bases para fomentar y estudiar las posibilidades estructurales de la madera como una opción sustentable y segura.
2. En China es posible ver distintas estructuras hechas en bambú. En particular, los andamios de construcción son realizados en este material. Materiales como el bambú son materiales muy renovables e incluso compostables una vez cumplen su vida útil. A su vez, también existen estructuras realizadas en este material.

5.5.9. Utilización de materiales reciclados o secundarios

5.5.9.1. Definición

La utilización de materiales secundarios o reciclados corresponde a la reducción de la actividad extractiva y el aumento de vida útil del material ya circulante.

5.5.9.2. Objetivos

- Reducir la extracción de materias primas
- Reducir la huella de carbono del proyecto
- Aumentar la rentabilidad del proyecto al no considerar compra de material nuevo
- Reducir la cantidad de residuos de la estructura anterior o nueva
- contribuye al ámbito de sustentabilidad en esquemas de Benchmarking

5.5.9.3. Estrategias

- Exigir en los requisitos del proyecto porcentajes de elementos reciclados en materiales estructurales por ejemplo, hormigón con 20 % de áridos reciclados. Esto deberá ser requerido continuamente y consultado cada vez que se encuentre la oportunidad de utilizar materiales reciclado, siguiendo así el segundo principio Lean (tabla 5.1)
- Utilizar sistemas de aislación, vidrios, maderas u otros materiales reciclables de la estructura antigua. De esta manera es posible reducir la cantidad de material virgen en obra, esto sigue el quinto principio Lean
- Privilegiar proveedores que declaren el reciclaje de materiales en sus productos y procesos. A su vez, es necesario transparentar los materiales utilizados a sus clientes, aumentando la transparencia

5.5.9.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.12: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de utilizar materiales secundarios o reciclados

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Es difícil encontrar materiales reciclados o en su segundo uso debido a la inexistencia de estructura en el terreno del proyecto	Contactar a empresas gestoras de desperdicios para orientar respecto a materiales no convencionales que se puedan utilizar Contactar a otros proyectos del sector y poder recuperar materiales reciclables
Baja complicidad normativa en base a porcentaje de agregados reciclados	Utilizar lo máximo permitido por las normas/reglas del lugar De ser posible, contactar a las autoridades locales para gestionar un cambio
Es difícil recuperar materiales de demolición o sobrantes de la obra	Evaluar de manera temprana soluciones de ordenamiento de los componentes una vez ejecutada la demolición y mantener silos demarcados para los sobrantes de cada material de construcción que pueda ser aprovechada Utilizar herramienta 5S para ordenar las operaciones

5.5.9.5. Casos de estudio

1. En Chile el reciclaje de pavimentos ha sido extensamente utilizado en carreteras de alto tráfico, tales como la Ruta 68, que conecta la ciudad de Santiago con Viña del Mar.
2. También es importante considerar elementos de la estructura que puedan ser utilizados a futuro. En este aspecto, el hormigón tiene la desventaja que su reciclaje genera un producto de menor calidad, por lo que no es recomendable su uso. Preferir elementos como madera o albañilería.

5.5.10. Diseño de desechos

5.5.10.1. Definición

Consiste en identificar de manera temprana los distintos desperdicios y basura de todas las etapas del proyecto. De esta manera se puede aprovechar o reducir estos desperdicios de manera temprana.

Este concepto tiene directa relación con los conceptos anteriores, ya que todos estos buscan la reutilización o reciclaje de los elementos disponibles del proyecto. A su vez, este concepto cabe dentro de la definición de la filosofía Lean, ya que una correcta gestión y diseño de desperdicios es el primer paso para reducirlos y eliminarlos,

5.5.10.2. Objetivos

- Reducción de los desperdicios en el proyecto
- Ahorro de costos por concepto de transporte de desperdicios
- Reducción de la huella de carbono del proyecto
- Mejorar la planificación del proyecto, incluyendo el EoL

5.5.10.3. Estrategias

- Aplicar Diseño para la reutilización y la recuperación
- Aplicar Diseño para la deconstrucción, flexibilidad y adaptabilidad
- Utilizar materiales reciclables o recuperables
- Diseñar la estructura con cargas mayores a la solicitante para evitar demoliciones o cambios al cambio de uso
- Optimizar en obra la reutilización de sobrantes (Por ejemplo enfierraduras)
- Aplicar Lean Construction en todos los aspectos de la organización y proyecto, ya que el principio base de esta filosofía reside en la reducción de desperdicios
- Mantener orden en todas las etapas del proyecto. Herramientas Lean tales como 5S pueden ayudar bastante a ordenar la obra o las oficinas involucradas.
- Utilizar desechos de demolición y/o excavación en obras de paisajismo

5.5.10.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.13: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto del diseño de desechos

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Legislación vigente no facilita la implementación de los distintos conceptos	Intentar combinar distintos conceptos en la medida que la legislación lo permita Contactar a autoridades locales de manera temprana
Uso de agregado reciclado puede comprometer la calidad del hormigón estructural	Elegir materiales no convencionales, tales como la madera o albañilería Especificar agregados reciclados en elementos poco solicitados
Es difícil recuperar materiales de demolición o sobrantes de la obra	Evaluar de manera temprana soluciones de ordenamiento de los componentes una vez ejecutada la demolición y mantener silos demarcados para los sobrantes de cada material de construcción que pueda ser aprovechada Utilizar herramienta 5S para ordenar las operaciones

5.5.10.5. Casos de estudio

1. El edificio Ortus en el Reino Unido contempla el reemplazo de la energía utilizada por el hormigón, mediante el diseño de aislamiento altamente eficiente en la estructura de hormigón (CementGroup, 2017).

5.5.11. Reducción del impacto de la construcción

5.5.11.1. Definición

Distintas técnicas y consideraciones asociadas a la reducción de desperdicios y a la correcta gestión de los residuos de la construcción.

Es importante considerar que estas medidas y especificaciones pueden venir desde la etapa de diseño y de la gestión en la etapa de construcción.

5.5.11.2. Objetivos

- Reducir los desperdicios asociados a la etapa de construcción
- Reducir el costo de transporte a botadero
- Aprovechar materiales en obra y reducir compras

- Aumentar la sustentabilidad del proyecto

5.5.11.3. Estrategias

- Generar un diseño de desperdicios desde la etapa de diseño, especificando ideas y planes para minimizar los desperdicios
- Establecer protocolos de separación y reciclaje de desechos de construcción y demolición. Herramientas como 5S pueden ayudar a ordenar el proceso y el inventario
- Aumentar la cantidad de uso de prefabricados, disminuyendo los residuos en obra. Reduciendo las actividades que no añaden valor y reduciendo la variabilidad
- Comprometer a los subcontratistas a generar gestión de residuos mediante la instauración de requisitos
- En el caso chileno, adaptar las operaciones a la norma NCh3562 (INN, 2019) con respecto a la gestión de residuos de construcción y demolición
- Preferir proveedores locales, evitando emisiones por transportes excesivos

5.5.11.4. Barreras a la implementación

Tabla 5.14: Barreras a la implementación y soluciones propuestas para implementar el concepto de reducción del impacto de la construcción

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
No existe espacio para almacenar desechos de demolición o repuntes que pueden ser utilizados más adelante	Mantener un inventario ordenado y etiquetado. Aumentando el espacio disponible y facilitando la utilización posterior. 5S es una herramienta muy útil para generar estos espacios Contactar de manera temprana a organizaciones que se encarguen de la gestión de residuos Considerar modelos PULL y Just In Time, de esta manera reducir inventarios y utilizar materiales de manera eficiente Aplicar conceptos de compartición de material entre obras.
Subcontratistas no poseen cultura o competencias asociadas al reciclaje y reutilización	Especificar en los requerimientos del contrato la necesidad de aplicar estas dinámicas Generar desde la etapa de diseño distintos procedimientos que incluyan la gestión de residuos Capacitar a los subcontratistas y al personal en gestión de residuos y en la reutilización de los componentes

5.5.11.5. Casos de estudio

1. Diversas organizaciones han aparecido en Chile con el objetivo de generar conciencia y aplicar planes para mejorar la gestión de residuo en el aspecto de la construcción. Entre estos destaca [Fundación Basura](#)
2. El plan Construye2025 (2020a) tiene diversas iniciativas a nivel nacional que buscan reducir el impacto en la construcción y la implementación de economía circular. Este plan es transversal a los distintos estratos del país, desde la gobernanza a pymes y emprendimientos

5.6. Conclusiones

La poca evolución del sector construcción en Chile es un tópico preocupante para la sociedad y economía. Es de gran importancia dar el puntapié inicial a nuevas técnicas y paradigmas que permitan aumentar la productividad, calidad y mejorar la sustentabilidad del

sector. Es por esto que los modelos que proponen la economía circular y Lean Construction son de gran valor para la evolución de la industria, apuntando a un sector más productivo, eficiente y sustentable.

Los principios anteriores deben ser un objetivo estratégico de las empresas afines, generando dinámicas de planificación temprana e integrativa de los actores de los proyectos.

A su vez, Lean Construction demuestra ser un puente importante para que proyectos industrializados alcancen modelos circulares mediante la reducción de desperdicios y, por ende, aumento de la productividad e incluso la rentabilidad de estos. También esta filosofía entrega distintas herramientas que servirán a solucionar posibles problemas a la implementación de economía circular.

Los conceptos presentados en esta guía corresponden a lo que la literatura indica que se aplica para lograr un modelo circular. Sin embargo, es importante que estos conceptos se adapten al contexto de la organización y proyecto, de manera que estos evolucionen y aprovechen las distintas capacidades del personal y las ventajas competitivas de los actores.

Finalmente, esta guía busca dar a conocer los aspectos estratégicos de la implementación de economía circular, relacionándolos con los principios y herramientas de Lean Construction, de manera de formar una simbiosis de los dos modelos y cambiar el paradigma y pensamiento de los equipos.

5.7. Diseño gráfico de la guía

A continuación, se presentan algunas de las plantillas utilizadas para el documento final.

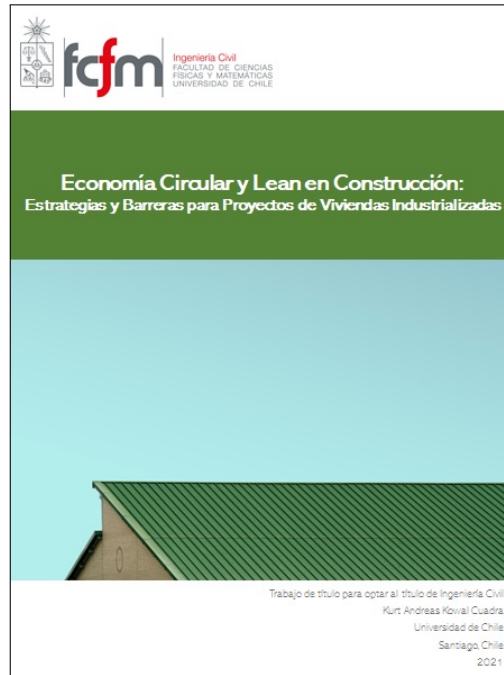


Figura 5.1: Portada para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”

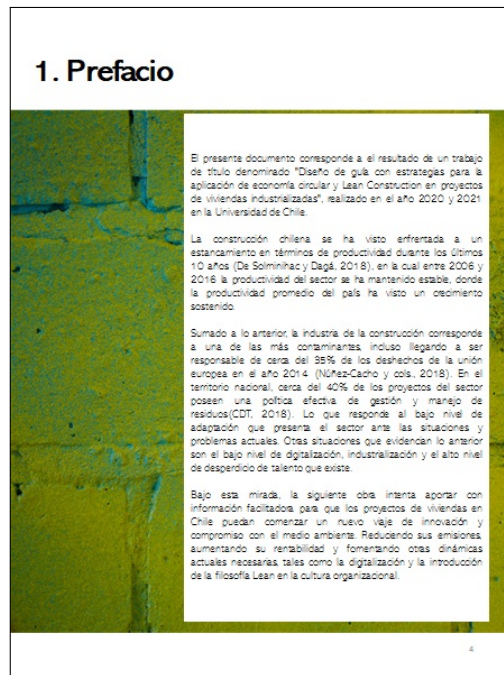


Figura 5.2: Prefacio para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”



Figura 5.3: Alcance para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”

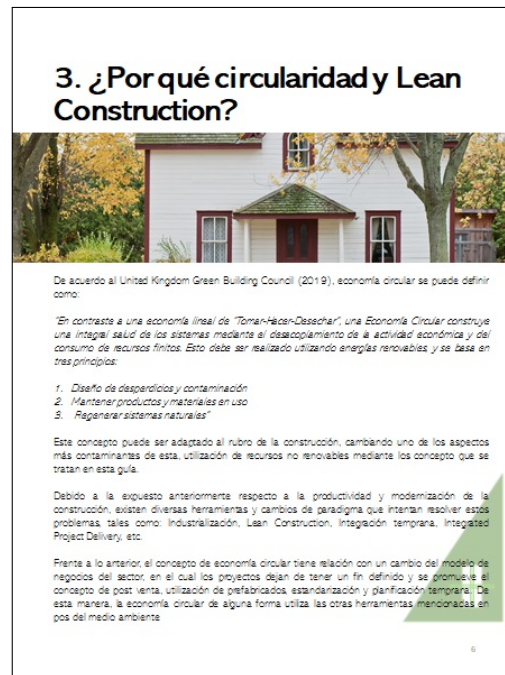


Figura 5.4: Plantillo del tercer capítulo para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”

5. Conceptos y sus estrategias

5.1 Reutilizar

Definición:
El término reutilizar hace alusión a evitar generar obras de construcción, mediante la utilización total o parcial de estructuras existentes destinándolas a un uso igual o similar que la estructura existente. También se considera la expansión de las dependencias existentes para ampliar su uso.
Este concepto es esencial cuando se habla de estructuras patrimoniales.

Objetivos:

- Reducir materiales utilizados
- Reducir impactos y emisiones asociadas a la construcción
- Minimizar desechos por demolición
- Ahorro de costos y plazo debido a la ausencia de obras
- Mantener estructuras patrimoniales

Estrategias:

- Realizar peritajes de la estructura existente y su historia, de manera de entender la vida útil de sus componentes y su capacidad de reutilización. Esta acción tiene directa relación con el octavo principio de Lean Construction, ya que enfoca el control en el proceso completo, incluso cuando se trata de los estudios previos.
- En la etapa de prefactibilidad se deben elaborar estudios comparativos en términos de plazos y costos de la demolición de la estructura existente y construcción desde cero, y la reutilización de la misma considerando los peritajes estructurales. De esta forma podremos reducir de manera temprana, las actividades que no añaden valor al producto. Por lo que esta medida busca aplicar el primer principio Lean.
- Revisar encuestas de satisfacción de la estructura, con el objetivo de comprender lo que funciona y no funciona de la estructura. De esta manera, utilizamos el segundo principio Lean, evaluando el cumplimiento de los requisitos del cliente.
- Adjudicación del proyecto a equipos que tenga experiencia o estén comprometidos con el concepto de reutilizar lo más posible de la estructura existente. Esto se puede lograr incluyendo requisitos en el proyecto/capitación. Esto sale directamente del intento de reducir la variabilidad del resultado.



Figura 5.5: Plantilla de uno de los conceptos para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”

5. Conceptos y sus estrategias

5.1 Reutilizar (Continuación)

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
<p>Barreras a la implementación</p> <p>Pequeños con normativas estructurales y/o soluciones.</p> <p>(Para información con respecto a las capacidades del edificio (Capacidad sísmica, estructural, aislamiento, resistencia al fuego, etc.)</p>	<p>Consultar condiciones específicas a la hora de evaluar la factibilidad.</p> <p>Incluir presupuesto para realizar ensayos no destructivos a la estructura de los distintos elementos asociados.</p>
<p>Fleque de arquitectura no coincide la estructura por estética.</p>	<p>Considerar esquemas de tratamientos para el fleque de arquitectura y diseño, que considere beneficios mientras más de la estructura existente se ocupe en el diseño.</p> <p>Incluir desde un principio el criterio de reutilizar la estructura existente en los esquemas.</p>
<p>La estructura está en área de cumplir su vida útil.</p>	<p>Proponer incentivos al equipo de diseño estructural para entender la vida útil de la estructura o sus partes.</p>
<p>La estructura existente no es estructuralmente adecuada para el nuevo proyecto de vivienda.</p>	<p>Implementar recubrimientos que cambien la estética.</p> <p>Combinar con elementos contemporáneos.</p> <p>Quitar o adaptar elementos que puedan ser considerados de mal gusto.</p> <p>Reparar o reemplazar elementos en mal estado.</p>
<p>Los equipos asociados no se comprometen con el cambio.</p>	<p>Fomentar la capacidad en temas ambientales, economía circular en construcción y cambios de paradigma a regiones rurales.</p> <p>Establecer incentivos para fomentar la implementación.</p> <p>Justificar inicialmente la aplicación del reutilización de la estructura como un requisito.</p>

Casos de estudio

1. La memoria de título de Valentina Osorio (2006) propone la reutilización de la estructura industrial de silos abandonados en la antigua fábrica de silos BCA en Santiago para la construcción de viviendas en altura dentro de los mismos silos.
2. En Argentina, un antiguo complejo industrial, construido el 1921, denominado Sidos de Domingo fue recuperado y reciclado en 1999 para ser utilizado como edificio de Luissas viviendas y oficinas (Dujana y cols. 2020).
3. El Mercado municipal de Providencia se encuentra en un plan de recuperación en el cual la estructura principal corresponde a un inmueble de conservación histórica. Debido a lo anterior, el nuevo proyecto corresponde a la renovación y ampliación de la estructura, otorgando una nueva vida útil al inmueble. (Maittegui, 2020)

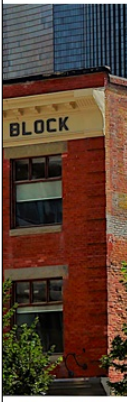


Figura 5.6: Continuación de plantilla de concepto para el documento “Economía Circular en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas”

Capítulo 6

Validación de la guía

En el presenta capítulo se presentan los resultados de una encuesta realizada en distintos profesionales relacionados al área de construcción de viviendas prefabricadas. Los perfiles de los encuestados se encuentra en la sección de anexos.

En esta encuesta se evalúa el nivel de conocimiento de la aplicación de economía circular y Lean Construction en el área, y a su vez, se pregunta la aplicabilidad y utilidad de cada uno de lo conceptos, mediante una escala de Likert. Finalmente, se evalúa la percepción del profesional hacia el indicador de circularidad diseñado.

Esta encuesta tiene como objetivo evaluar el cumplimiento de los objetivos definidos en este trabajo de título mediante la experiencia de profesionales afines.

6.1. Resultados

A continuación se entregan los resultados del promedio de los resultados de cada pregunta de la encuesta.

Tabla 6.1: Promedio de respuestas en primera parte de la encuesta realizada

Promedio Respuestas	
Parte 1 (Evaluación de conocimientos previos)	
Preguntas	Promedio
La guía permitió adquirir conocimientos sobre economía circular en construcción	De acuerdo
La guía permitió adquirir conocimientos sobre Lean Construction y sus herramientas en favor del medio ambiente	De acuerdo

Tabla 6.2: Promedio de respuestas en segunda parte de la encuesta realizada

Parte 2 (Aplicación de los conceptos)	
El concepto de la fila es aplicable:	
Conceptos	Promedio
Reutilizar	Neutral
Recuperar	Neutral
Compartición de materiales entre obras	Neutral
Diseñar por flexibilidad	Neutral
Diseñar por adaptabilidad	De acuerdo
Diseño para el desarme y recuperación	Muy de acuerdo
Estandarización y modularización	Muy de acuerdo
Utilización de materiales de bajo impacto	Muy de acuerdo
Utilización de materiales reciclados o secundarios	Muy de acuerdo
Diseño de desechos	De acuerdo
Reducción del impacto de la construcción	De acuerdo

Tabla 6.3: Promedio de respuestas en tercera parte de la encuesta realizada

Parte 3 (Utilidad de los conceptos)	
El concepto de la fila es útil para la aplicación de economía circular	
Preguntas	Promedio
Reutilizar	Muy de acuerdo
Recuperar	Muy de acuerdo
Compartición de materiales entre obras	De acuerdo
Diseñar por flexibilidad	En desacuerdo
Diseñar por adaptabilidad	Neutral
Diseño para el desarme y recuperación	Muy de acuerdo
Estandarización y modularización	De acuerdo
Utilización de materiales de bajo impacto	De acuerdo
Utilización de materiales reciclados o secundarios	Neutral
Diseño de desechos	De acuerdo
Reducción del impacto de la construcción	De acuerdo
Reducción del impacto de la construcción	Muy de acuerdo

Tabla 6.4: Promedio de respuestas en cuarta parte de la encuesta realizada

Parte 4 (Utilidad del índice)	
Preguntas	Promedio
El índice propuesto en la guía es aplicable	De acuerdo

Finalmente, si bien muchos conceptos demuestran ser aplicables y útiles en la realidad de la construcción industrializada chilena, la muestra de gente encuestada es muy baja como para afirmar una validación. Se propone para trabajos futuros la continuación de las encuestas y la aplicación de los conceptos de esta guía en un proyecto industrializado de viviendas real.

Capítulo 7

Conclusiones

En esta memoria se presenta el proceso de investigación y creación de una guía enfocada a la facilitación de la implementación de economía circular, mediante Lean Construction, para proyectos de viviendas industrializadas.

El modelo circular en construcción presenta distintas ventajas de acuerdo a la literatura en virtud de el desacoplamiento de la actividad económica de un proyecto de construcción, y la extracción de recursos naturales para este. Para lograr un modelo circular es importante mantener la mayor cantidad de materiales en uso, planificar el uso de los desechos desde etapas tempranas del proyecto y comprometer a los distintos actores presentes en los proyectos, sin importar la etapa en los que estos se desempeñen.

En la actualidad, el sector construcción chileno se encuentra estancada en términos de productividad y digitalización frente a otros sectores del país. Este retraso es de suma importancia para un sector que concentra cerca del 6% del PIB nacional y cerca del 10% de los trabajos. Para esto es necesario implementar nuevas técnicas de gestión y operación, de manera de modernizar los proyectos, aumentando rentabilidad e incluso la calidad de vida de los trabajadores. Para esto, Lean Construction se presenta como una filosofía de gestión que presenta principios y herramientas afines para lograr estos objetivos.

De este trabajo podemos decir que existen varios puntos de encuentro entre el modelo circular y los principios de Lean Construction, los cuales esta guía busca explotar para generar una implementación de economía circular mediante una transformación Lean gradual. Esto requiere la integración temprana en proyectos industrializados para lograr una implementación satisfactoria y fructífera.

Con respecto a los objetivo principal de esta memoria, es posible decir que se cumple en su totalidad, ya que, como se encuentra en el anexo, se realiza una guía que contiene las estrategias para aplicar los conceptos disponibles en la literatura sobre economía circular en construcción de viviendas industrializadas. Sin embargo, esta se adjunta en versión borrador, debido a la posibilidad de continuar la investigación mediante la implementación en obras pilotos o contribuciones de expertos.

Con respecto a los objetivos secundarios, la revisión bibliográfica es realizada en su totalidad, considerando documentos oficiales del ámbito nacional e internacional.

El sistema de medición en base a un índice, es generado de acuerdo a lo mencionado en la literatura y es modificado para adecuar a la construcción chilena. Por lo anterior, podemos decir que se cumple los objetivos relacionados al índice y su aplicación.

Las estrategias incluidas en la guía adjunta han sido adaptadas para el contexto de la industria de construcción de viviendas industrializadas y el mercado chileno. A su vez, estas han sido relacionadas con las herramientas y principios de la filosofía Lean, entregando distintas soluciones y efectos de la aplicación de los conceptos en la organización. De esta manera, se puede decir que se cumplen los objetivos secundarios relacionados a las distintas estrategias a generar.

Con respecto a la validación de los conceptos de la guía, si bien se muestra que la guía es un buen material para aumentar el conocimiento sobre economía circular en construcción, algunos conceptos podrían no ser fácilmente aplicables. Sin embargo, la muestra de la validación realizada en este trabajo es muy baja, por lo que se requiere más información para poder hacer más afirmaciones.

Finalmente, queda como trabajo posterior a este trabajo de título la continuación de la validación y aplicación de los conceptos de la guía en proyectos reales. De manera de poder medir su efectividad y beneficios.

Bibliografía

- [1] Arquitectura, P. (2011). *Tubohotel/t3arc*. Descargado 2020-01-02, de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-97634/tubohotel-t3arc>
- [2] CDT. (2018). *Informe final - diagnóstico gestión de residuos en la construcción*. CORFO-Construye2025.
- [3] CementGroup, H. H. (2017). *Ortus learning and events centre, denmark hill, southwark*. Descargado 2021-01-08, de <https://www.hanson.co.uk/en/case-study/ortus-learning-and-events-centre>
- [4] Construye2025. (2020a). *Hoja de ruta rcd, economía circular en construcción*. Santiago, Chile: CORFO.
- [5] Construye2025. (2020b). *Programa estratégico nacional productividad y construcción sustentable - construye2025*. CORFO.
- [6] Definición.de. (2014). *Definición de prefacio*. Descargado 2020-11-26, de <https://definicion.de/prefacio/>
- [7] de Solminihac, H., y Dagá, J. (2018). *Productividad laboral en la construcción en Chile: Comparación internacional*. Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales.
- [8] Dujovne, B., Hirsch, S., Manteola, F., y Gómez, J. S. (2020). *Silos de dorrego*. Descargado 2020-12-01, de <https://www.modernabuenosaires.org/obras/90s/silos-de-dorrego>
- [9] Elia, V., Gnoni, M. G., y Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2017(142), 2741-2751. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>
- [10] Ghisleni, C. (2020). *Interiores en Brasil: 8 proyectos con mobiliario flexible - plataforma arquitectura*. Descargado 2020-01-03, de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/952693/interiores-en-brasil-8-proyectos-con-mobiliario-flexible>
- [11] Huovila, P., y Koskela, L. (1998). Contribution of the principles of lean construction to meet the challenges of sustainable development. *IGLC*, 1(1), 1-11. doi: https://www.researchgate.net/publication/228706368_Contribution_of_the_principles_of_lean_construction_to_meet_the_challenges_of_sustainable_development
- [12] INN. (2019). Nch3562 - gestión de residuos - residuos de construcción y demolición (rcd) - clasificación y directrices para el plan de gestión. , 1-16.

- [13] Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Center For Integrated Facility Engineering, Universidad de Stanford.
- [14] Maiztegui, B. (2020). *Cómo será la recuperación del mercado de providencia en chile - plataforma arquitectura*. Descargado 2020-01-02, de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/932364/como-sera-la-recuperacion-del-mercado-de-providencia-en-chile>
- [15] MGI. (2017). *Reinventing construction: A route to higher productivity*. Mckinsey & Company.
- [16] Minunno, R., O'Grady, T., y Morrison, G. (2018). Strategies for applying the circular economy to prefabricated buildings. *MDPI*, 125(8), 1-14. doi: 10.3390
- [17] Nahmens, I., y H.Ikuma, L. (2012). Effects of lean construction on sustainability of modular homebuilding. *Journal of Architectural engineering ASCE*, June 2012(2012.18:155-163.), 155-161. doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000054.
- [18] Núñez-Cacho, P., Górecki, J., y Molina, V. (2018). New measures of circular economy thinking in construction companies. *Journal of EU research in Business*, 2018(909360), 1-16. doi: 10.5171/2018.909360
- [19] Osorio, V., y Gil, P. (2006). *Reciclaje y renovación urbana silos santiago [memoria de título]*. Santiago de Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad de Chile. Descargado de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/aq-osorio_v/pdfAmont/aq-osorio_v.pdf
- [20] Polanco, A. (2020). *Apuntes de clase - unidad 3: Planificación integral planificación del alcance, clase 9*. Universidad de Chile.
- [21] Ramos, J., Araneda, P., Bornard, J., y Wragg, W. (2017). *Evaluar el potencial de reciclaje de los materiales de construcción de edificios en chile [memoria de título]*. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas - Universidad de Chile. Descargado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/149546/Evaluar-el-potencial-de-reciclaje-de-los-materiales-de-construccion-de-edificios-en-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [22] Salvatierra, J. L. (2020). *Introducción al pensamiento lean - seminario: Lean construction*. Universidad de Chile.
- [23] Salvatierra, J. L., y Pasquire, C. (2012). The first and last value model: Sustainability as a first value delivery of lean construction practice. *Department of Civil and Building Engineering*, 1-10.
- [24] Sanchez, B., y Haas, C. (2018). Capital project planning for a circular economy. *Taylor Francis Online*, 2018(1), 1-10. doi: 10.1080/01446193.2018.1435895
- [25] Shahu, R. (2017). Flexibility in construction building structures - a case study. *Industrial Engineering and Management*, 1-8. doi: 10.4172/2169-0316.10002

- [26] Tebbatt, K., y Osmani, M. (2017). Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. *Institution of Civil Engineers publishing, 170*(WR1), 15-24. doi: <http://dx.doi.org/10.1680/jwarm.16.00011>
- [27] UKGBC. (2019). *Circular economy guidance for construction clients: How to practically apply circular economy principles at the project brief stage*. London, UK: United Kingdom Green Building Council.
- [28] USGS. (2020). *20 largest earthquakes in the world*. Descargado 2020-10-07, de https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/20-largest-earthquakes-world?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Anexos

Conceptos de economía circular asociados a construcción

A continuación, se presentan los distintos conceptos de economía circular que la literatura menciona como apropiados o aplicables en la construcción. En el siguiente listado se menciona el nombre que se utilizará en el texto y una descripción de lo que implica su implementación.

- **Reutilizar:** Consiste en la reutilización de la totalidad, o parte de la infraestructura para un uso similar o igual al de la estructura inicial. Esto busca no construir infraestructura si es que la infraestructura existente puede satisfacer las nuevas necesidades. Como opciones se puede considerar la demolición de partes de la estructura existente o la expansión de esta. Desde el punto de vista de la preservación de infraestructura patrimonial, este principio es esencial.
- **Recuperar:** Consiste en la reutilización de cualquier elemento, o parte de este, con el objetivo de darle un uso similar o distinto al que tenía inicialmente. El fin último de este concepto es evitar el deshecho de materiales, evitando costos de nuevos materiales y el retiro a botadero de materiales utilizados. También tiene una implicancia en costos de demolición, reducción de ruidos y polvo asociados a esta.
- **Compartición de materiales entre obras:** Si es que no se puede utilizar los dos conceptos anteriores, es posible rescatar materiales y/o productos del sitio de demolición, con el objetivo de utilizarlos en otro proyecto distinto. Nuevamente el objetivo consiste en la reducción de desechos de demolición y recuperar la huella de CO2 de la producción de nuevos materiales.
- **Diseñar por longevidad:** Esta es una de las primeras medidas que se pueden ejecutar en la etapa de diseño de proyecto. Consiste en el diseño temprano de la estructura con el objetivo de lograr la mayor cantidad de vida útil y dinamismo en su utilización posible. Esta implica planificar mantenencias desde las etapas tempranas en el proyecto para aumentar la vida útil de este.
- **Diseño por flexibilidad:** Este concepto tiene relación con la definición temprana de las necesidades futuras del proyecto, la diferencia que mantiene con el diseño por longevidad es que este tiene un enfoque más al tipo de uso de la infraestructura, por esto define espacios más grande, los cuales se puedan modificar los elementos no estructurales, generando así, una nueva distribución que pueda generar una nueva dinámica para el trabajo.

- **Diseño para la adaptabilidad:** El proyecto se diseña para satisfacer las necesidades del presente, sin embargo, se tiene en mente posibles modificaciones. A diferencia del diseño por flexibilidad, el diseño por adaptabilidad se refiere a que se intenta lograr que la estructura PUEDA recibir modificaciones a futuro, sin diseñarlas a priori.
- **Diseño para el desarme y recuperación:** Este tiene directa relación con las obras industrializadas, las cuales tienen un fuerte componente de prefabricación y ensamblaje. Consiste en el diseño del EoL de la estructura, en la cual debe existir un procedimiento de desarme de la misma, con tal de que los componentes que mantengan su vida útil, puedan ser recuperadas y reutilizadas. También se puede efectuar un seguimiento de los componentes individuales de la estructura, reemplazando los que tengan una menor vida útil.
- **Estandarización y modularización:** Esto es uno de los conceptos más interesantes hoy en día en la construcción, sobre todo en el ambiente Lean. Este dice la utilización de elementos o estructuras estándar, las cuales puedan ser producidas en serie, dejando distintas ventajas sobre la construcción in situ o de estructuras tradicionales. A este concepto se le puede añadir la modularización, la cual también atiende a los conceptos de diseño para la adaptabilidad y flexibilidad.
- **Post venta y leasing:** Consiste en el cambio de "vender productos.^a "vender servicios.^{en} los cuales, al cliente solo se le cobra por lo que utilice de la estructura, esto implica un seguimiento del uso de estos servicios, por lo que puede necesitar un trabajo intensivo del área de explotación del proyecto. Ejemplos de estos servicios pueden ser ascensores, iluminación, calefacción e incluso fachadas y elementos no estructurales.
- **Utilización de materiales de bajo impacto:** Consiste en la investigación, por parte del equipo de diseño, del impacto ambiental que tendrán los elementos de la estructura. Para esto existen diversas organizaciones (siendo Cradle to Cradle una de las más mencionadas en la literatura) que ofrecen listas de materiales que no deberían ser utilizados, debido a su gran carga contaminante.
- **Utilizar materiales reciclados o secundarios:** La utilización de materiales reciclados o secundarios tiene el objetivo de reducir la actividad extractiva, aumentando así la eficiencia material en la construcción. Un ejemplo de esto puede ser la utilización de áridos reciclados en hormigones.
- **Diseño de deshechos:** Este concepto es uno de los más importantes dentro de la economía circular. Se refiere a que a lo largo del ciclo de vida de la estructura, en la etapa de diseño se debe especificar y reducir los tipos y cantidades de residuos generados en cada etapa. Esto es fundamental, ya que al reconocerlos, se puede tener una idea de como tratarlos correctamente, aprovecharlos o eliminarlos de raíz.
- **Reducción del impacto de la construcción:** Corresponden a distintas técnicas asociadas a la reducción de los desperdicios de la obra misma, sin embargo, el diseño de estas soluciones debe venir tanto desde la etapa de diseño, como de un esfuerzo en la obra por efectuar esta reducción en contaminantes.

Perfiles de profesionales

En la siguiente sección se entregan los perfiles de los profesionales que respondieron la validación de la guía.

Perfil profesional N°1

Arquitecto de la Universidad Católica y estudiante de PhD en la Universidad de Cambridge. Es miembro del Consejo de Construcción Industrializada con 4 años de experiencia en proyectos industrializados.

Perfil profesional N°2

Jefe de Ingeniería y Diseño en empresa especializada en viviendas industrializadas. Ingeniero civil estructural de la Universidad Católica, con 6 años de experiencia en proyectos industrializados, en los que destaca el proyecto “Horizonte del Pacífico”

7.1. Respuestas individuales de la encuesta

A continuación, se adjuntan las respuestas individuales de cada uno de los profesionales encuestados. Para esto se usó una escala Likert, en donde a puntaje 1 se asigna el valor “Muy en desacuerdo”, al puntaje 5 el valor “Muy de acuerdo” y al valor 3 como “Neutral”. Los valores intermedios (2 y 4) corresponden a los valores “En desacuerdo” y “De acuerdo” respectivamente.

Respuestas profesional N°1

Tabla 7.1: Respuesta del profesional N°1 a parte 1 de la encuesta

Profesional 1					
Parte 1 (Evaluación de conocimientos previos)					
Preguntas	1	2	3	4	5
La guía permitió adquirir conocimientos sobre economía circular en construcción				X	
La guía permitió adquirir conocimientos sobre Lean Construction y sus herramientas en favor del medio ambiente				X	

Tabla 7.2: Respuesta del profesional N°1 a parte 2 de la encuesta

Parte 2 (Aplicación de los conceptos)					
Preguntas	1	2	3	4	5
Reutilizar			X		
Recuperar			X		
Compartición de materiales entre obras	X				
Diseñar por flexibilidad					X
Diseñar por adaptabilidad				X	
Diseño para el desarme y recuperación					X
Estandarización y modularización					X
Utilización de materiales de bajo impacto				X	
Utilización de materiales reciclados o secundarios				X	
Diseño de desechos			X		
Reducción del impacto de la construcción			X		

Tabla 7.3: Respuesta del profesional N°1 a parte 3 de la encuesta

Parte 3 (Utilidad de los conceptos)					
Preguntas	1	2	3	4	5
Reutilizar				X	
Recuperar				X	
Compartición de materiales entre obras				X	
Diseñar por flexibilidad					X
Diseñar por adaptabilidad				X	
Diseño para el desarme y recuperación					X
Estandarización y modularización					X
Utilización de materiales de bajo impacto				X	
Utilización de materiales reciclados o secundarios			X		
Diseño de desechos			X		
Reducción del impacto de la construcción				X	

Tabla 7.4: Respuesta del profesional N°1 a parte 4 de la encuesta

Parte 4 (Utilidad del índice)					
Preguntas	1	2	3	4	5
EL índice propuesto en la guía es aplicable				X	

Respuestas profesional N°2

Tabla 7.5: Respuesta del profesional N°2 a parte 1 de la encuesta

Profesional 2					
Parte 1 (Evaluación de conocimientos previos)					
Preguntas	1	2	3	4	5
La guía permitió adquirir conocimientos sobre economía circular en construcción				X	
La guía permitió adquirir conocimientos sobre Lean Construction y sus herramientas en favor del medio ambiente				X	

Tabla 7.6: Respuesta del profesional N°2 a parte 2 de la encuesta

Parte 2 (Aplicación de los conceptos)					
Preguntas	1	2	3	4	5
Reutilizar			X		
Recuperar			X		
Compartición de materiales entre obras				X	
Diseñar por flexibilidad				X	
Diseñar por adaptabilidad				X	
Diseño para el desarme y recuperación					X
Estandarización y modularización					X
Utilización de materiales de bajo impacto					X
Utilización de materiales reciclados o secundarios					X
Diseño de desechos				X	
Reducción del impacto de la construcción					X

Tabla 7.7: Respuesta del profesional N°2 a parte 3 de la encuesta

Parte 3 (Utilidad de los conceptos)					
Preguntas	1	2	3	4	5
Reutilizar					X
Recuperar					X
Compartición de materiales entre obras				X	
Diseñar por flexibilidad		X			
Diseñar por adaptabilidad		X			
Diseño para el desarme y recuperación					X
Estandarización y modularización		X			
Utilización de materiales de bajo impacto		X			
Utilización de materiales reciclados o secundarios					X
Diseño de desechos					X
Reducción del impacto de la construcción					X

Tabla 7.8: Respuesta del profesional N°2 a parte 4 de la encuesta

Parte 4 (Utilidad del índice)					
Preguntas	1	2	3	4	5
EL índice propuesto en la guía es aplicable				X	

Guía final del trabajo



Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Economía Circular y Lean en Construcción: Estrategias y Barreras para Proyectos de Viviendas Industrializadas

VERSIÓN BORRADOR



Trabajo de título para optar al título de Ingeniería Civil

Kurt Andreas Kowal Cuadra

Universidad de Chile

Santiago, Chile

2021

Nota:

El siguiente documento es parte de un estudio en desarrollo del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, queda prohibida la distribución total o parcial de su contenido

VERSIÓN BORRADOR

Índice

Capítulo	Pág.
1. Prefacio	4
2. Alcance	5
3. ¿Por qué circularidad y Lean Construction?	6
3.1 Principios de Lean Construction a utilizar	7
4. Índice de medición y seguimiento	8
5. Conceptos y sus estrategias	10
5.1. Reutilizar	10
5.2. Recuperar	12
5.3. Compartición de materiales entre obras	14
5.4. Diseñar por flexibilidad	16
5.5. Diseño por adaptabilidad	18
5.6. Diseño para el desarme y recuperación	20
5.7. Estandarización y modularización	22
5.8. Utilización de materiales de bajo impacto	24
5.9. Utilización de materiales reciclados o secundarios	26
5.10. Diseños de desechos	28
5.11. Reducción del impacto de la construcción	30
6. Conclusiones	32
7. Anexos	33
Referencias	37

1. Prefacio

El presente documento corresponde a el resultado de un trabajo de título denominado "Diseño de guía con estrategias para la aplicación de economía circular y Lean Construction en proyectos de viviendas industrializadas", realizado en el año 2020 y 2021 en la Universidad de Chile.

La construcción chilena se ha visto enfrentada a un estancamiento en términos de productividad durante los últimos 10 años (De Solminihaç y Dagá, 2018), en la cual entre 2006 y 2016 la productividad del sector se ha mantenido estable, donde la productividad promedio del país ha visto un crecimiento sostenido.

Sumado a lo anterior, la industria de la construcción corresponde a una de las más contaminantes, incluso llegando a ser responsable de cerca del 35% de los desechos de la unión europea en el año 2014 (Núñez-Cacho y cols., 2018). En el territorio nacional, cerca del 40% de los proyectos del sector poseen una política efectiva de gestión y manejo de residuos (CDT, 2018). Lo que responde al bajo nivel de adaptación que presenta el sector ante las situaciones y problemas actuales. Otras situaciones que evidencian lo anterior son el bajo nivel de digitalización, industrialización y el alto nivel de desperdicio de talento que existe.

Bajo esta mirada, la siguiente obra intenta aportar con información facilitadora para que los proyectos de viviendas en Chile puedan comenzar un nuevo viaje de innovación y compromiso con el medio ambiente. Reduciendo sus emisiones, aumentando su rentabilidad y fomentando otras dinámicas actuales necesarias, tales como la digitalización y la introducción de la filosofía Lean en la cultura organizacional.

2. Alcance



El presente documento tiene como público objetivo a personas involucradas en proyectos de viviendas industrializadas en las etapas tempranas del mismo. Esto implica que los proyectos de la empresa poseen características de la construcción industrializada, lo que facilitaría la implementación de los conceptos a tocar en la guía debido a las dinámicas de OSC (Off-Site Construction), estandarización o modularización. Sin embargo, los conceptos ofrecidos en esta guía pueden ser extrapolados y adaptados a otros contextos asociados con construcción.

Es importante mencionar que este documento corresponde a recomendaciones generales, basadas en la revisión bibliográfica de distintas instancias nacionales e internacionales, las cuales requieren de una adaptación al contexto empresa/país y una cultura de mejora continua y seguimiento.

El objetivo de la guía corresponde a expandir el conocimiento de la posibilidad de implementar conceptos provenientes de la industria manufacturera, como lo son la economía circular y Lean Management, en la industria de la construcción. Promoviendo el desarrollo y la modernización del sector.

Este documento propone un índice de conocimiento y aplicación de las estrategias a presentar, sin embargo, este es una propuesta básica, con el objetivo de que los responsables de la implementación lo adapten en camino al desarrollo de un índice que otorgue una dinámica de mejoramiento continuo

3. ¿Por qué circularidad y Lean Construction?



De acuerdo al United Kingdom Green Building Council (2019), economía circular se puede definir como:

“En contraste a una economía lineal de “Tomar-Hacer-Desear”, una Economía Circular construye una integral salud de los sistemas mediante el desacoplamiento de la actividad económica y del consumo de recursos finitos. Esto debe ser realizado utilizando energías renovables, y se basa en tres principios:

- 1. Diseño de desperdicios y contaminación*
- 2. Mantener productos y materiales en uso*
- 3. Regenerar sistemas naturales”*

Este concepto puede ser adaptado al rubro de la construcción, cambiando uno de los aspectos más contaminantes de esta, utilización de recursos no renovables mediante los concepto que se tratan en esta guía.

Debido a la expuesto anteriormente respecto a la productividad y modernización de la construcción, existen diversas herramientas y cambios de paradigma que intentan resolver estos problemas, tales como: Industrialización, Lean Construction, Integración temprana, Integrated Project Delivery, etc.

Frente a lo anterior, el concepto de economía circular tiene relación con un cambio del modelo de negocios del sector, en el cual los proyectos dejan de tener un fin definido y se promueve el concepto de post venta, utilización de prefabricados, estandarización y planificación temprana. De esta manera, la economía circular de alguna forma utiliza las otras herramientas mencionadas en pos del medio ambiente

3.1 Principios de Lean Construction a utilizar



En la presente guía se utilizan los 11 principios de Lean Construction (Ver la siguiente tabla) (Koskela, 1992) que puedan afectar a cada concepto y su implementación. Además se incluyen diversas herramientas Lean para solucionar diversas barreras de implementación que podría encontrar en el camino

Nº	Principio Lean
1	Reducir las actividades que no añaden valor
2	Aumentar el valor del Output mediante la evaluación sistemática de los requisitos del cliente
3	Reducir variabilidad
4	Reducir tiempos de ciclo
5	Simplificar mediante la reducción del número de pasos, partes y vínculos
6	Aumentar la flexibilidad del Output
7	Aumentar la transparencia en los procesos
8	Enfocar el control en el proceso completo
9	Integrar el mejoramiento continuo en el proceso
10	Balancear el mejoramiento del flujo con el mejoramiento de la transformación
11	Realizar Benchmarking



4. Índice de medición y seguimiento



Cada vez que se intenta implementar un nuevo sistema o proceso, es útil y necesario establecer un método de seguimiento y control para vislumbrar y entender el avance y efectividad de la implementación.

El índice propuesto por esta guía medirá el nivel de conocimiento e implementación de los distintos conceptos que se presentan más adelante. Para esto, el proyecto se dividirá en 3 áreas: Organización, equipo de diseño y construcción. También se evaluará el proyecto por cada una de estas áreas en tres etapas del proyecto, estas son: Etapa de diseño, etapa de construcción y etapa de mantenimiento.



Cada una de las áreas debe evaluar el desempeño de acuerdo a la siguiente escala

100%	Se conocen y se relacionan todos los esfuerzos de esta etapa en generar e implementar dinámicas que favorezcan a un modelo circular
90%	
80%	
75%	Se tiene conocimiento de la aplicación de economía circular y existen medidas para implementarla
70%	
60%	
50%	El personal tiene conocimiento de economía circular pero existen pocas medidas para implementarla. O en su defecto, existe poco incentivo para la aplicación
40%	
30%	
25%	Existe escaso conocimiento o capacitación al personal en esta etapa del proyecto. No existe incentivo para aplicar nuevas prácticas
20%	
10%	
0%	Nunca se ha escuchado el término de economía circular enfocada a la construcción.

4. Índice de medición y seguimiento (continuación)

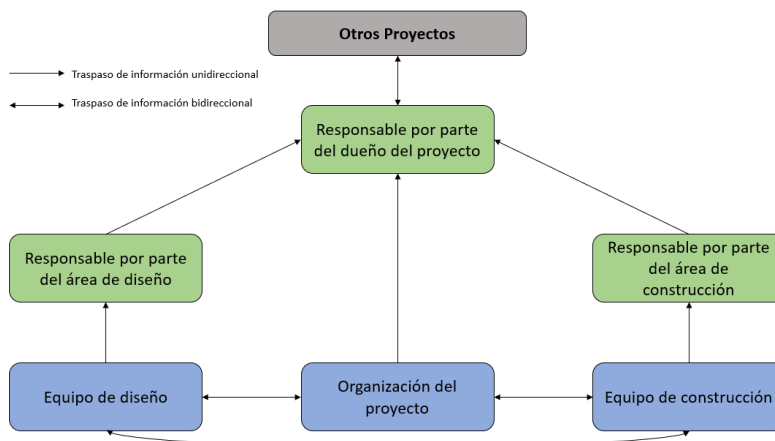
En el anexo de esta guía se incluyen las definiciones de la evaluación y un reporte que sirve de plantilla de apoyo para la comunicación de las evaluaciones de las distintas áreas.

Estas mediciones deben ser tomadas por un responsable de cada área y luego ser recolectadas por el representante del área de organización.

A continuación se proponen distintos actores que pueden ser responsables del área

Área	Posible responsable
Diseño	Jefe de Proyecto
	Ingeniero Ayudante
	Ingeniero en terreno
Construcción	Encargado de Calidad
	Administrador de Contrato
	Jefe Oficina Técnica
	Control de Documentos
Organización	Project Manager
	Recursos Humanos
	Encargado Mejora Continua

En el cual, el flujo de información y medición debe ser el siguiente:



5. Conceptos y sus estrategias

5.1 Reutilizar

Definición

El término reutilizar hace alusión a evitar generar obras de construcción, mediante la utilización total o parcial de estructuras existentes, destinándolas a un uso igual o similar que la estructura existente.

También se considera la expansión de las dependencias existentes para ampliar su uso.

Este concepto es esencial cuando se habla de estructuras patrimoniales

Objetivos

- Reducir materiales utilizados
- Reducir impactos y emisiones asociadas a la construcción
- Minimizar desechos por demolición
- Ahorro de costos y plazo debido a la ausencia de obras
- Mantener estructuras patrimoniales

Estrategias

- Realizar peritajes de la estructura existente y su historia, de manera de entender la vida útil de sus componentes y su capacidad de reutilización. Esta acción tiene directa relación con el octavo principio de Lean Construction, ya que enfoca el control en el proceso completo; incluso cuando se trata de los estudios previos
- En la etapa de prefactibilidad se deben elaborar estudios comparativos en términos de plazos y costos de la demolición de la estructura existente y construcción desde cero, y la reutilización de la misma considerando los peritajes estructurales. De esta forma podremos reducir, de manera temprana, las actividades que no añadirán valor al producto. Por lo que esta medida busca aplicar el primer principio Lean
- Revisar encuestas de satisfacción de la estructura, con el objetivo de comprender lo que funciona y no funciona de la estructura. De esta manera, utilizamos el segundo principio Lean, evaluando el cumplimiento de los requisitos del cliente
- Adjudicación del proyecto a equipos que tenga experiencia o estén comprometidos con el concepto de reutilizar lo más posible de la estructura existente. Esto se puede lograr incluyendo requisitos en el proyecto/licitación. Esto sale directamente del intento de reducir la variabilidad del resultado



5. Conceptos y sus estrategias

5.1 Reutilizar (Continuación)



Barreras a la implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Problemas con normativas estructurales y/o urbanismo	Contratar consultores especialistas a la hora del estudio de factibilidad
Poca información con respecto a las capacidades del edificio (Capacidad sísmica, estructural, aislación, resistencia al fuego, etc)	Incluir presupuesto para realizar ensayos no destructivos a la estructura de las distintas especialidades asociadas.
Equipo de arquitectura no considera la estructura por estética	Considerar esquemas de incentivos para el equipo de arquitectos y diseño, que considere beneficios mientras más de la estructura existente se ocupe en el diseño. Incluir desde un principio el criterio de reutilizar la estructura existente en los requisitos
La estructura está cerca de cumplir su vida útil	Proponer incentivos al equipo de diseño estructural para extender la vida útil de la estructura o sus partes
La estructura existente no es estéticamente atractiva para el nuevo proyecto de vivienda	Implementar recubrimientos que cambien la estética Combinar con elementos contemporáneos Ocultar o adaptar elementos que puedan ser considerados de mal gusto Reparar o reemplazar elementos en mal estado
Los equipos asociados no se comprometen con el cambio	Fomentar la capacitación en temas ambientales, economía circular en construcción y cambios de paradigma a mejores prácticas Establecer incentivos para fomentar la implementación Especificar inicialmente la aplicación de la reutilización de la estructura como un requisito

Casos de estudio

1. La memoria de título de Valentina Osorio (2006) propone la reutilización de la estructura industrial de silos abandonados en la antigua fábrica de silos ECA en Santiago, para la construcción de viviendas en altura dentro de los mismos silos.
2. En Argentina, un antiguo complejo industrial, construido el 1921, denominado Silos de Dorrego fue recuperado y reciclado en 1993 para ser utilizado como edificio de lujosas viviendas y oficinas (Dujovne y cols., 2020).
3. El Mercado municipal de Providencia se encuentra en un plan de recuperación, en el cual la estructura principal corresponde a un inmueble de conservación histórica. Debido a lo anterior, el nuevo proyecto corresponde a la renovación y ampliación de la estructura, otorgando una nueva vida útil al inmueble (Maiztegui, 2020)

5. Conceptos y sus estrategias

5.2 Recuperar

Definición

Este concepto tiene relación con la reutilización de elementos de la estructura existente, con el objetivo de darle un uso similar o distinto al que tenía inicialmente. Implica la demolición selectiva de la estructura existente.

Objetivo

- Reducir los materiales utilizados
- Reducir deshechos por demolición
- Reducción de la huella de carbono de la obra y estructura
- Ahorrar en costos de materiales y mano de obra
- Rescate de elementos históricos o patrimoniales

Estrategias

- Se debe realizar peritajes de la estructura existente por un equipo de expertos (Ingeniero estructural, experto de demolición, arquitecto). Mediante esto podemos aumentar la transparencia entre los distintos actores de los procesos. Además esto puede influir en el mejoramiento de la planificación del futuro de la estructura
- Se debe proponer un estándar en los requisitos, especificando un porcentaje de la estructura a rescatar. Esta estrategia sigue los lineamientos de la evaluación sistemática de los requisitos del cliente. Esta acción debe tener un seguimiento y ser actualizados constantemente
- Pedir los planos "As Built" de la estructura y de esta forma poder identificar elementos rescatables

Incentivar a los equipos de diseño a la búsqueda e inclusión de elementos rescatados en el proyecto. Esta estrategia puede ser realizada con mayor facilidad si es que se tiene implementado las dinámicas BIM en la organización.

- Si algunos materiales no pueden ser utilizados en el proyecto, es posible rescatarlos y utilizarlos en otros proyectos de la cartera de proyectos, o a su vez, efectuar compartición de materiales con obras locales
- Como último recurso, los materiales pueden ser rescatados con el objetivos de ser reciclados o ser usados para la producción de energía o compostaje. De esta manera, agregamos valor a lo que de otra manera, correspondería a desechar los materiales.



5. Conceptos y sus estrategias

5.2 Recuperar



Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Normativa nacional no permite la recuperación y reutilización	Consultar a expertos y contactar a responsables de pla Construye2025 para evaluar las nuevas iniciativas nacionales y factibilidad del proyecto
Obra gruesa alcanzó su vida útil	Considerar recuperación de otros elementos no estructurales. Tales como puertas, ventanas y tabiquerías.
No existe espacio para inventario extra	<p>Implementar un plan de manera temprana, que considere la recuperación y utilización inmediata (Ver concepto de "Compartición de materiales entre obras")</p> <p>Considerar repartir los elementos recuperados entre las integrantes de la obra o proyecto.</p> <p>Implementar herramientas Lean como 5S para optimizar los espacios de bodega y terreno.</p> <p>Implementar esquemas de Just In Time (JIT) y producción PULL. De esta manera, se reduce el inventario de la obra, mediante el concepto de producción ajustada</p>
Equipo especialista no se hacen responsables por el desempeño de los elementos recuperados	Proponer un plan de muestreo y ensayo, ojalá no destructivo, para asegurar su calidad
Es excesivamente complicado integrar los elementos reutilizados en el nuevo proyecto	<p>Juntar equipos comprometidos con implementar economía circular de manera temprana</p> <p>Establecer incentivos para utilizar elementos recuperados</p> <p>Buscar con arquitectos maneras de integrar las estéticas de las estructuras existentes con las del nuevo proyecto.</p>
Los equipos asociados no se comprometen con el cambio	<p>Fomentar la capacitación en temas ambientales, economía circular en construcción y cambios de paradigma a mejores prácticas</p> <p>Establecer incentivos para fomentar la implementación</p> <p>Implementar herramientas colaborativas de solución de problemas, tales como A3 para encontrar la manera de generar compromiso con los equipos</p> <p>Especificar inicialmente la aplicación de la reutilización de la estructura como un requisito</p>

Casos de estudio

1. La memoria realizada por Juan Ramos (2017) evalúa el potencial de reciclaje de diversos materiales de construcción presentes en los edificios chilenos. Este documento puede ser una primera guía para ideas de reciclaje
2. En México el equipo de arquitectos T3Arc diseñó el hotel "TuboHotel", el cual fue ideado en base a tubos de hormigón de 2.44 metros de diámetro por 3.5 metros de largo (Arquitectura, 2011)

5. Conceptos y sus estrategias

5.3 Compartición de materiales entre obras

Definición

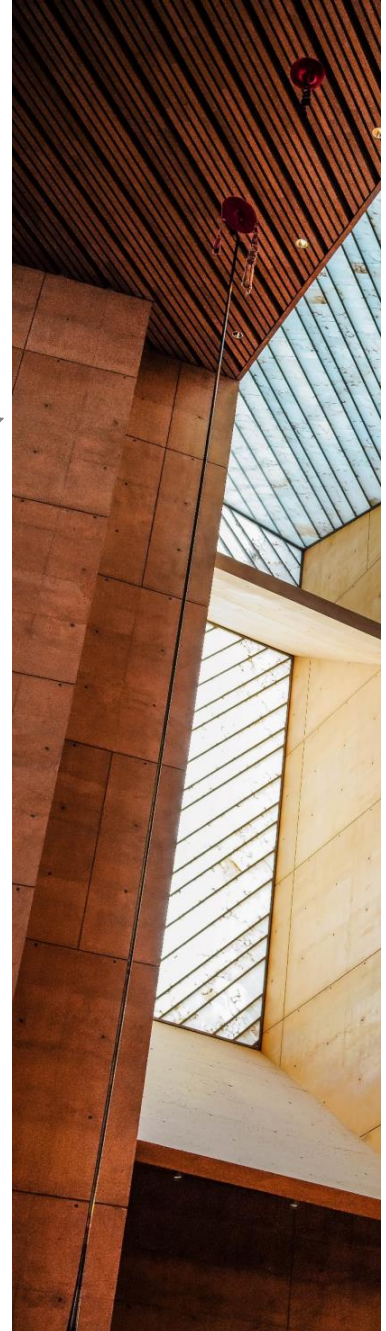
Este concepto tiene como finalidad el complemento del concepto anterior, en donde los elementos que tengan vida útil de la estructura existente, pero no tengan cabida en el proyecto, pueden ser compartidos a otras obras locales.

Objetivos

- Reducción de huella de carbono del proyecto
- Promover la cultura de la reutilización y economía circular en otros proyectos
- Refuerzo de relaciones con distintas empresas
- Reducción de desechos de demolición
- Reducción de costos en materiales, transportes y espacio en botaderos

Estrategias

- Incluir al especialista en demolición en los equipos de manera temprana. De esta manera generar transparencia en el proceso de rescate de materiales y efectuar los inventarios pertinentes
- Habilitar canales de comunicación entre obras para el traspaso de materiales. Estos canales pueden ser formados mediante o para la realización de Benchmarking
- Ofrecer elementos ornamentales, tales como maderas, glorietas, adoquines, etc. Al personal en obra. Esto genera mejores relaciones con el personal, en donde estos materiales o estructuras pueden ser considerados como incentivos
- Considerar reciclaje de materiales, tales como hormigones y acero.



5. Conceptos y sus estrategias



5.3 Compartición de materiales entre obras

Barreras a la implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
No existen canales de comunicación entre obras	Utilizar los canales de redes sociales existentes entre contactos del mismo equipo y organización Invertir en el desarrollo de un canal virtual o página web, la cual presente los elementos a compartir/vender.
Poca información sobre elementos dificulta la aprobación para otros proyectos	Realizar ensayos no estructurales para poder asegurar integridad estructural Privilegiar rescate y compartición de elementos no estructurales
No existe confianza por parte de otros actores de obras similares	Especificar claramente los atributos y capacidades de los elementos recuperados Realizar esfuerzos por conseguir la trazabilidad de los elementos rescatados
La estructura está cerca de cumplir su vida útil	Proponer incentivos al equipo de diseño estructural para extender la vida útil de la estructura o sus partes
No existen obras o proyectos cercanos que puedan recibir elementos	Buscar organizaciones de reciclaje o reutilización de manera temprana, de forma de elaborar un plan en conjunto para la reutilización de estos

Casos de estudio

1. La plataforma Globechain provee un mercado virtual para reducir el desperdicio de diversas empresas. Esta plataforma corresponde a un ejemplo concreto de herramientas virtuales que pueden servir de puente para la compartición.

5. Conceptos y sus estrategias

5.4 Diseñar por flexibilidad

Definición

El diseño por flexibilidad consiste en el definir de manera temprana, el balance de las necesidades del hoy, con las necesidades futuras que debe solucionar la estructura. De esta forma, se reduce el desperdicio del cambio de uso futuro.

Una de las maneras más comunes de aplicar este concepto, es en generar elementos no estructurales que puedan ser removidos y redistribuidos en el inmueble.

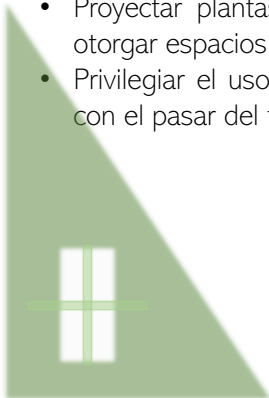
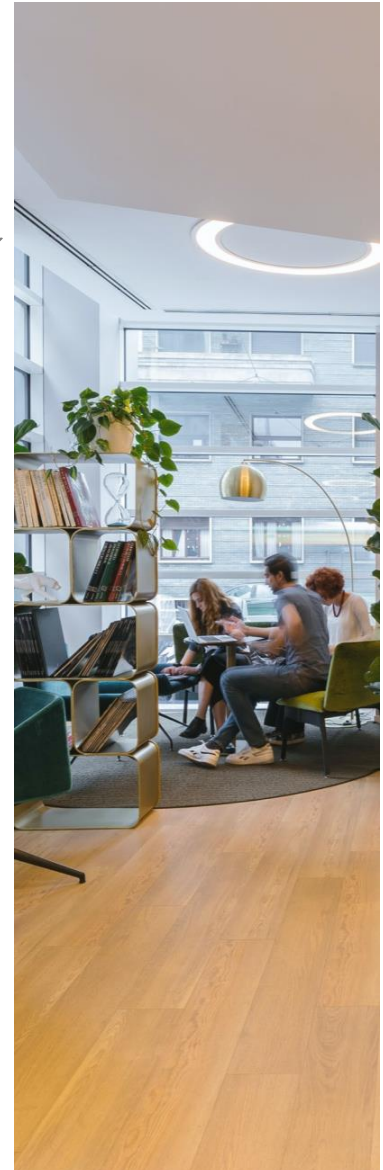
Este concepto tiene directa relación número seis de los principios de Lean Construction. Este concepto incentiva a las organizaciones a otorgar flexibilidad en el producto u output.

Objetivo

- Reducir costos de infraestructura futuros
- Reduce los desechos asociados a demolición posterior de elementos estructurales
- Reducir costos en estudios de ingeniería posterior
- Permite dinamismo del producto final
- El producto es más atractivo para futuros dueños, mejorando la post venta

Estrategias

- Definir las posibles necesidades futuras del cliente (Flexibilidad ante nuevas tecnologías, nuevas maneras de obtener energía y posibilidad de movimiento de elementos no estructurales).
- Proyectar plantas libres en los proyectos. En el caso de viviendas, otorgar espacios suficiente para cambiar el uso de los espacios
- Privilegiar el uso de materiales livianos, que puedan ser modificados con el pasar del tiempo



5. Conceptos y sus estrategias

5.4 Diseñar por flexibilidad



Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Diseñar por flexibilidad puede tener influencias en el plazo a causa del estudio de las necesidades futuras	Esto denota la importancia de la planificación temprana y de involucrar a los distintos equipos y stakeholders antes. Herramientas como PULL Planing pueden ser de utilidad para efectuar una planificación efectiva
No se puede definir necesidades futuras en el ámbito de viviendas	Referirse al concepto de diseñar por adaptabilidad La flexibilidad también puede ser otorgada por el plan estratégico a largo plazo de la organización

Casos de estudio

1. Debido al contexto de pandemia, la crisis económica y el ascenso del teletrabajo, existe una tendencia mundial de cambiar el uso de las oficinas a viviendas unifamiliares. En este aspecto, es importante considerar que uno de los aspectos principales de las oficinas, que es la presencia de plantas libres, corresponde a uno de los aspectos más importantes de la arquitectura flexible
2. En un caso más académico, Rashmi Shahu (2017) analiza el costo/beneficio de implementar enfoque a sustentabilidad en 3 casos de estudios asociados a distintos edificios de un universidad de ingeniería en Nagpur. En este se llega a la conclusión de que el costo de aplicar el enfoque flexible a estructuras es mucho menor que el costo de cambios inesperados



5. Conceptos y sus estrategias

5.5 Diseño por adaptabilidad

Definición

El diseño por adaptabilidad consiste en la reducción del uso de materiales mediante la extensión de la vida útil del uso del inmueble. Es importante que la construcción fuera de obra (Off-Site Construction) puede jugar un gran rol en el diseño por adaptabilidad.

Este concepto implica el diseño del producto, satisfaciendo las necesidades actuales, sin embargo, existe la capacidad de satisfacer potenciales necesidades futuras, mediante la ampliación o cambio de elementos no estructurales. Esto sigue el segundo principio de Lean Construction de aumentar el valor mediante la evaluación sistemática de los requisitos del cliente.

Objetivo

- Reducción de huella de carbono del proyecto
- Retención del valor de la estructura al poder ser remodelada y mejorada
- Retención del cliente a lo largo de la vida útil del cliente
- Reducciones de costos para la remodelación para el cliente

Estrategias

- Diseñar exigiendo modularidad en las estructuras
- Ofrecer un servicio de mejoramiento continuo de la vivienda
- Especificar espacios amplios y personalizables
- Especificar materiales de alta longevidad
- Enfocar esfuerzos en la etapa de planificación
- Implementar en conjunto con “Estandarización y modularización” y “Diseño para el desarme”



5. Conceptos y sus estrategias

5.5 Diseño por adaptabilidad



Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Restricciones normativas (Tales como la sísmica) no permite o encarece mucho la utilización de plantas libres	Favorecer el uso de materiales más livianos, tales como hormigones livianos o explorar el uso de madera estructural Explicitar las intenciones de adaptabilidad de la estructura al equipo de arquitectos e ingenieros. Incentivar la búsqueda de soluciones creativas
Existe baja posibilidad de generar espacios libres o con partes no estructurales móviles	Revisar conceptos de modularización y estandarización. Estos pueden otorgar soluciones para generar adaptabilidad fuera de la estructura principal

Casos de estudio

- En Brasil se ha desarrollado una tendencia en los círculos de arquitectos, en los cual se ha privilegiado el uso de mobiliario móvil, otorgando diversas soluciones, como la instalación de rieles o mobiliario con ruedas. Un ejemplo de este es el "Departamento AMRA7" en Sao Paolo, este toma varias características de la construcción resiliente y entrega rieles de madera en los cuales gran parte del mobiliario puede deslizarse ,cambiando la distribución interior del departamento (Ghisleni, 2020)



5. Conceptos y sus estrategias

5.6 Diseño para el desarme y recuperación

Definición

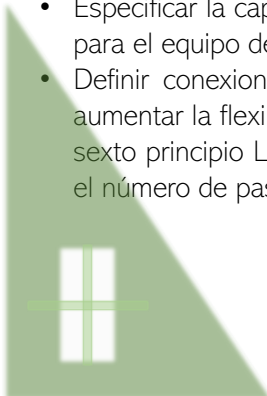
Este tiene directa relación con las obras industrializadas, las cuales tienen un fuerte componente de prefabricación y ensamblaje. Consiste en el diseño del EoL de la estructura, en la cual debe existir un procedimiento de desarme de la misma, con tal de que los componentes que mantengan su vida útil, puedan ser recuperadas y reutilizadas. También se puede efectuar un seguimiento de los componentes individuales de la estructura, reemplazando los que tengan una menor vida útil.

Objetivo

- Permitir reemplazar elementos que alcancen su vida útil de manera temprana más fácil
- Aportar flexibilidad para el ciclo de vida de la estructura
- Mantener al cliente conectado a la empresa
- Reducir el tiempo de construcción en obra y fomentar las actividades de montaje
- Generar ahorros en gastos generales del proyecto
- Eliminar el concepto de demolición de estructuras

Estrategias

- Utilizar herramientas BIM para visualizar de mejor manera el encaje y funcionalidad de las piezas. También puede servir para llevar una trazabilidad de cada pieza individual. De esta manera es posible enfocarse en el proceso completo (Octavo principio Lean)
- Especificar la capacidad de desarme y recuperación como un requisito para el equipo de diseño, siguiendo el segundo principio Lean
- Definir conexiones mecánicas estándar. De esta manera es posible aumentar la flexibilidad del producto. A su vez, sigue el tercer, quinto y sexto principio Lean, reduciendo la variabilidad del output, reduciendo el número de pasos del proyecto y aumentando la flexibilidad



5. Conceptos y sus estrategias

5.6 Diseño para el desarme y recuperación

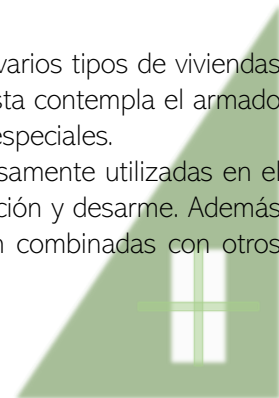


Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
La reglamentación dificulta la especificación de conexiones mecánicas o no monolíticas	Comprometer al equipo de diseño de manera temprana, de manera que puedan encontrar soluciones que aseguren un desempeño correcto de la conexión
No existe experiencia en el ámbito del desarme de la estructura	En conjunto con la preparación de la especificaciones técnicas y procedimientos de montaje de la estructura, se debe preparar un procedimiento estandar de desarme. Este documento debe ser adjunto a los documentos As Built del proyecto
No existe claridad con respecto a las instalaciones de las distintas especialidades (Agua potable, electricidad, etc)	Comprometer a las distintas especialidades de manera temprana, de esta manera definir las soluciones para las singularidades del proyecto Utilizar dinámicas BIM para evitar interferencias y asegurar la correcta conexión de fittings y conectores

Casos de estudio

1. En Chile, la empresa Unimod presenta una propuesta modular para varios tipos de viviendas y bodegas, tanto para el ámbito unifamiliar o industrial. Esta propuesta contempla el armado y transporte sin la necesidad del uso de maquinaria o herramientas especiales.
2. Las estructuras de acero con conexiones apernadas han sido extensamente utilizadas en el ámbito industrial. Sin embargo, estas conexiones son de fácil instalación y desarme. Además de ser reciclables, por lo que pueden ser una buena opción si son combinadas con otros materiales constructivos para camuflar la estética del acero



5. Conceptos y sus estrategias

5.7 Estandarización y modularización

Definición

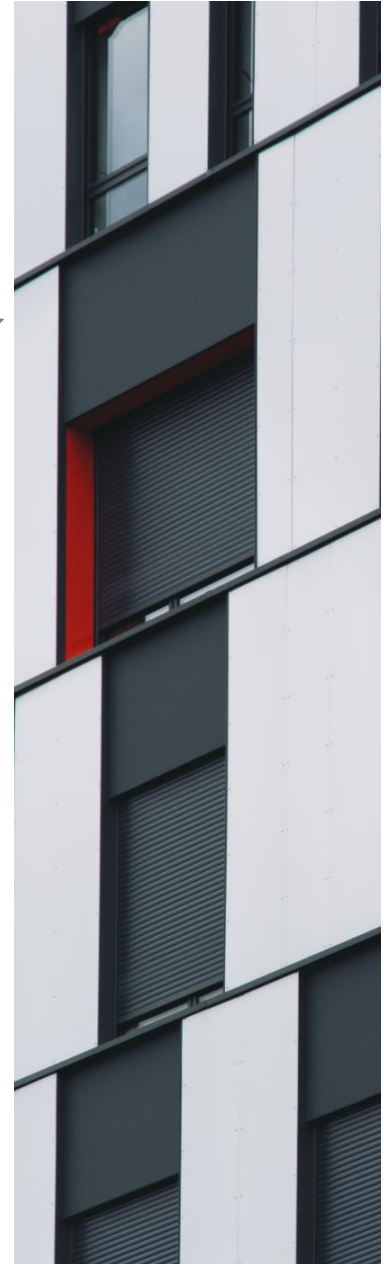
Este concepto tiene directa relación con el ámbito de industrialización. Corresponde a la especificación de elementos y estructuras estándar, las cuales son más fáciles de producir en serie, reduciendo el trabajo en obra y aumentando las faenas de montaje. A esto se puede adicionar la modularización, que se dice de estructuras que funcionan por "bloques", los cuales, en el caso de vivienda, sirven para ampliar la estructura sin cambiar la estructura existente

Objetivo

- Reducir costos y plazos de la etapa de construcción
- Reducir la variabilidad del producto
- Reducir el desperdicio de materiales
- Mejorar la implementación y control de la mejora continua
- Acercar conceptos de la industria manufacturera a la construcción

Estrategias

- Especificar proyectos mediante bloques similares, pero orientados en distintas formas. De esta manera se pueden producir piezas o elementos estándar, los cuales pueden generar un producto único. Esta estrategia persigue el sexto principio Lean, el cual busca aumentar la flexibilidad del output
- Establecer requisitos de porcentaje de piezas especiales, reduciendo la variabilidad y alejando la producción de la obra. Esta estrategia toca varios principios Lean; La reducción de la variabilidad (Tercer principio), Integrar el mejoramiento continuo en el proceso (Integrar el mejoramiento continuo en el proceso) y balancear el mejoramiento del flujo con el mejoramiento de la transformación (Décimo principio)
- Trabajar en conjunto con los equipos y de manera temprana. Es necesario comunicar y generar transparencia para aprovechar el talento del equipo. A su vez, reduce pasos en etapas futuras del proyecto. Un trabajo colaborativo y temprano también toca distintos principios Lean, tales como el segundo, tercer, quinto y séptimo



5. Conceptos y sus estrategias

5.7 Estandarización y modularización



Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Pérdida de originalidad y atractivo del producto	Motivar al equipo de arquitectos a ver el proyecto como un desafío, generando módulos sustentables y actualizables. Mostrar al equipo casos de estudio de "Estandarización personalizada", y así promover el concepto.
Especificar productos prefabricados encarece el proyecto.	Tomar en cuenta el ahorro en costo directo de construcción y ahorros en plazo Cuantificar el riesgo asociado a obras in situ y Off-Site Construction Enfocar el aumento del Know how en proyectos sustentables y estandarizables al largo plazo.

Casos de estudio

1. En Japón existen diversas empresas de construcción industrializada de hogares. Entre ellas destaca Sekisui House, la cual, mediante técnicas de personificación y responsabilidad de la obra, pueden entregar productos altamente personificables realizados en planta.
2. La empresa TecnoFast Home ofrece diversas cápsulas de viviendas, las cuales pueden ser ordenadas y compradas en el orden que uno requiera. Estas cápsulas pueden ser descargadas en su página, de manera que el cliente pueda recortarlas y poder visualizarla planta deseada de su vivienda.



5. Conceptos y sus estrategias

5.8 Utilización de materiales de bajo impacto

Definición

Consiste en la utilización de materiales de bajo impacto en las estructuras de manera de reducir su impacto al medio ambiente o en la salud de las personas durante la totalidad del ciclo de vida.

Objetivo

- Reducir la huella de carbono de las estructuras
- Aumentar la posibilidad de reciclaje o reutilización de los materiales en el EoL de la estructura
- Buscar nuevas capacidades para las estructuras de viviendas (Mejor aislación térmica y acústica, mejor resistencia al fuego, etc.)
- Reducir los desperdicios en obra

Estrategias

- Referirse a listas de instituciones como Cradle to Cradle, estas poseen materiales permitidos y no permitidos para su utilización en productos certificados. Puede ser un requisito para la etapa de diseño
- Preferir materiales renovables y biológicos. En este caso, la madera ha demostrado ser un elemento estructural muy capaz para proyectos estructurales.
- Privilegiar el uso de materiales reciclados para la generación de nuevos materiales. Ejemplos de esto puede ser el uso de áridos reciclados o el reciclaje del acero de la estructura existente
- Utilizar materiales obtenidos en áreas cercanas al proyecto, evitando contaminación por transporte y promoviendo la economía local.



5. Conceptos y sus estrategias



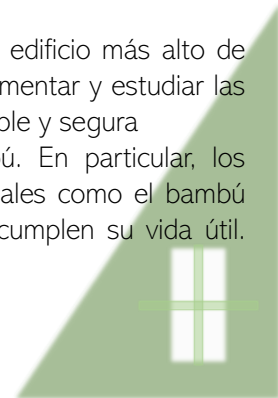
5.8 Utilización de materiales de bajo impacto

Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
El uso de nuevos materiales pueden incurrir en costos adicionales al proyecto.	Comprometer a los proveedores de manera temprana, de forma de encontrar soluciones en términos de costo y plazo Existen casos de estudios en donde el uso de materiales de bajo impacto puede ser incluso más barato que los materiales convencionales
Existe un mayor riesgo al usar materiales no convencionales en zonas estructurales	Incluir el uso de materiales no convencionales como una característica asociada a lujo Buscar certificaciones como BREEM o LEED para agregar valor a la estructura
Existe un impacto en la estética de las estructuras	Utilizar materiales secundarios en zonas de bajos esfuerzos o no estructurales. Para esto es necesario integrar al equipo de diseño de manera temprana y comprometida Comprometer al equipo de arquitectos y mostrar como un desafío la inclusión de estos materiales.

Casos de estudio

1. El edificio "Torre Peñuelas", ubicado en Rancagua, corresponde al edificio más alto de Latinoamérica construido en madera. Este sienta las bases para fomentar y estudiar las posibilidades estructurales de la madera como una opción sustentable y segura
2. En China es posible ver distintas estructuras hechas en bambú. En particular, los andamios de construcción son realizados en este material. Materiales como el bambú son materiales muy renovables e incluso compostables una vez cumplen su vida útil. Asu vez, también existen estructuras realizadas en este material



5. Conceptos y sus estrategias

5.9 Utilización de materiales reciclados o secundarios

Definición

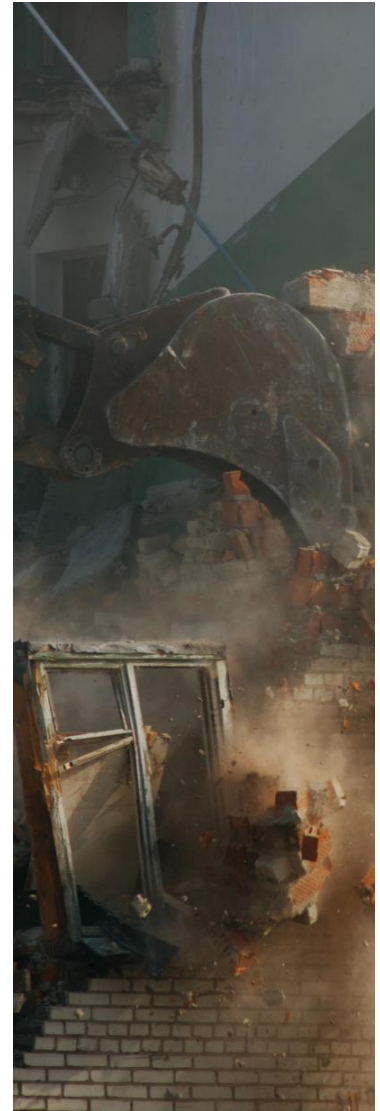
La utilización de materiales secundarios o reciclados corresponde a la reducción de la actividad extractiva y el aumento de vida útil del material ya circulante

Objetivo

- Reducir la extracción de materias primas
- Reducir la huella de carbono del proyecto
- Aumentar la rentabilidad del proyecto al no considerar compra de material nuevo
- Reducir la cantidad de residuos de la estructura anterior o nueva
- Contribuye al ámbito de sustentabilidad en esquemas de Benchmarking

Estrategias

- Exigir en los requisitos del proyecto porcentajes de elementos reciclados en materiales estructurales por ejemplo, hormigón con 20 % de áridos reciclados. Esto deberá ser requerido continuamente y consultado cada vez que se encuentre la oportunidad de utilizar materiales reciclado, siguiendo así el segundo principio Lean
- Utilizar sistemas de aislación, vidrios, maderas u otros materiales reciclables de la estructura antigua. De esta manera es posible reducir la cantidad de material virgen en obra, esto sigue el quinto principio Lean
- Privilegiar proveedores que declaren el reciclaje de materiales en sus productos y procesos. A su vez, es necesario transparentar los materiales utilizados a sus clientes, aumentando la transparencia.



5. Conceptos y sus estrategias

5.9 Utilización de materiales reciclados o secundarios



Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Es difícil encontrar materiales reciclados o en su segundo uso debido a la inexistencia de estructura en el terreno del proyecto	Contactar a empresas gestoras de desperdicios para orientar respecto a materiales no convencionales que se puedan utilizar Contactar a otros proyectos del sector y poder recuperar materiales reciclables
Baja complejidad normativa en base a porcentaje de agregados reciclados	Utilizar lo máximo permitido por las normas/reglas del lugar De ser posible, contactar a las autoridades locales para gestionar un cambio
Es difícil recuperar materiales de demolición o sobrantes de la obra	Evaluar de manera temprana soluciones de ordenamiento de los componentes una vez ejecutada la demolición y mantener silos demarcados para los sobrantes de cada material de construcción que pueda ser aprovechada Utilizar herramienta 5S para ordenar las operaciones

Casos de estudio

1. En Chile el reciclaje de pavimentos ha sido extensamente utilizado en carreteras de alto tráfico, tales como la Ruta 68, que conecta la ciudad de Santiago con Viña del Mar.
2. También es importante considerar elementos de la estructura que puedan ser utilizados a futuro. En este aspecto, el hormigón tiene la desventaja que su reciclaje genera un producto de menor calidad, por lo que no es recomendable su uso. Preferir elementos como madera o albañilería.

5. Conceptos y sus estrategias

5.10 Diseño de desechos

Definición

Consiste en identificar de manera temprana los distintos desperdicios y basura de todas las etapas del proyecto. De esta manera se puede aprovechar o reducir estos desperdicios de manera temprana.

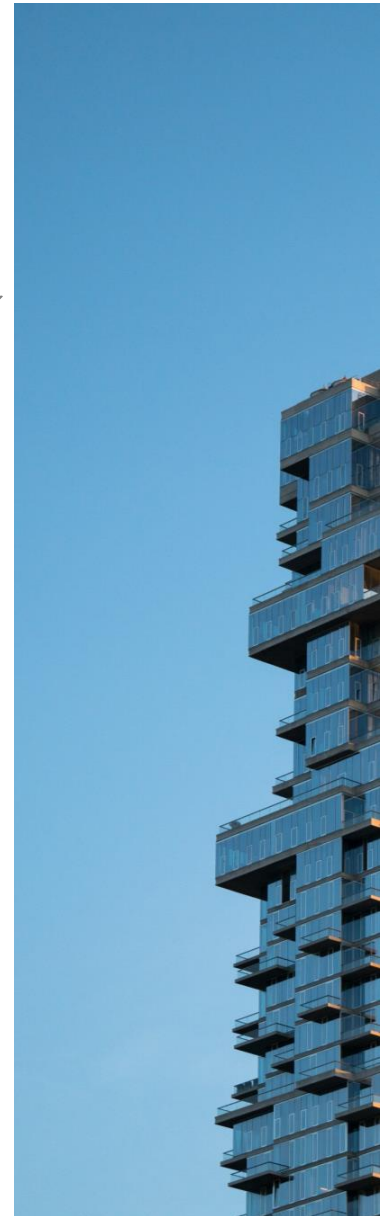
Este concepto tiene directa relación con los conceptos anteriores, ya que todos estos buscan la reutilización o reciclaje de los elementos disponibles del proyecto. A su vez, este concepto cabe dentro de la definición de la filosofía Lean, ya que una correcta gestión y diseño de desperdicios es el primer paso para reducirlos y eliminarlos.

Objetivo

- Reducción de los desperdicios en el proyecto
- Ahorro de costos por concepto de transporte de desperdicios
- Reducción de la huella de carbono del proyecto
- Mejorar la planificación del proyecto, incluyendo el EoL.

Estrategias

- Aplicar Diseño para la reutilización y la recuperación
- Aplicar Diseño para la deconstrucción, flexibilidad y adaptabilidad
- Utilizar materiales reciclables o recuperables
- Diseñar la estructura con cargas mayores a la solicitante para evitar demoliciones o cambios al cambio de uso
- Optimizar en obra la reutilización de sobrantes (Por ejemplo enfierraduras)
- Aplicar Lean Construction en todos los aspectos de la organización y proyecto, ya que el principio base de esta filosofía reside en la reducción de desperdicios
- Mantener orden en todas las etapas del proyecto. Herramientas Lean tales como 5S pueden ayudar bastante a ordenar la obra o las oficinas involucradas
- Utilizar desechos de demolición y/o excavación en obras de paisajismo



5. Conceptos y sus estrategias

5.10 Diseño de desechos



Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
Legislación vigente no facilita la implementación de los distintos conceptos	Intentar combinar distintos conceptos en la medida que la legislación lo permita
	Contactar a autoridades locales de manera temprana
Uso de agregado reciclado puede comprometer la calidad del hormigón estructural	Elegir materiales no convencionales, tales como la madera o albañilería
	Especificar agregados reciclados en elementos poco solicitados
Es difícil recuperar materiales de demolición o sobrantes de la obra	Evaluar de manera temprana soluciones de ordenamiento de los componentes una vez ejecutada la demolición y mantener silos demarcados para los sobrantes de cada material de construcción que pueda ser aprovechada
	Utilizar herramienta 5S para ordenar las operaciones

Casos de estudio

1. El edificio Ortus en el reino unido contempla el reemplazo de la energía utilizada por el hormigón, mediante el diseño de aislamiento altamente eficiente en la estructura de hormigón (CementGroup, 2017)



5. Conceptos y sus estrategias

5.11 Reducción del impacto de la construcción

Definición

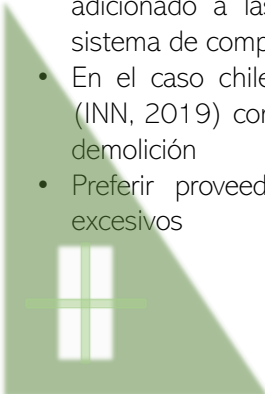
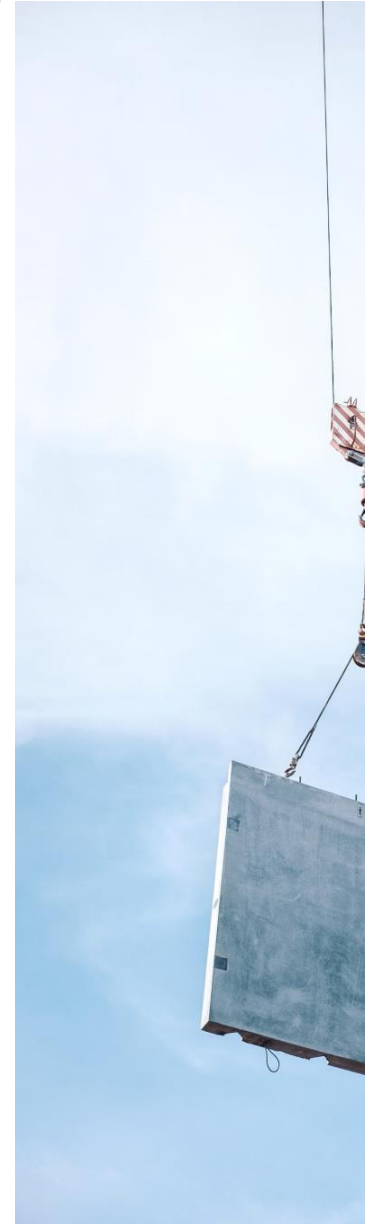
Distintas técnicas y consideraciones asociadas a la reducción de desperdicios y a la correcta gestión de los residuos de la construcción. Es importante considerar que estas medidas y especificaciones pueden venir desde la etapa de diseño y de la gestión en la etapa de construcción

Objetivo

- Reducir los desperdicios asociados a la etapa de construcción.
- Reducir el costo de transporte a botadero
- Aprovechar materiales en obra y reducir compras
- Aumentar la sustentabilidad del proyecto

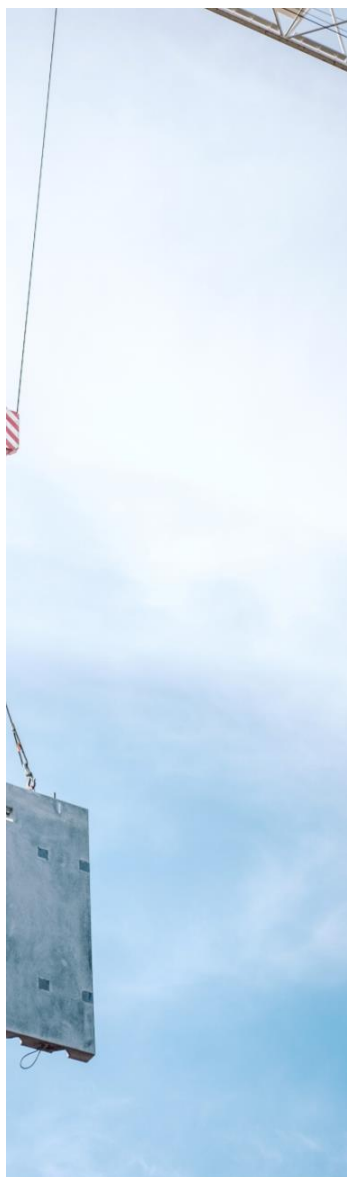
Estrategias

- Generar un diseño de desperdicios desde la etapa de diseño, especificando ideas y planes para minimizar los desperdicios
- Establecer protocolos de separación y reciclaje de desechos de construcción y demolición. Herramientas como 5S pueden ayudar a ordenar el proceso y el inventario
- Aumentar la cantidad de uso de prefabricados, disminuyendo los residuos en obra.
- Reduciendo las actividades que no añaden valor y reduciendo la variabilidad
- Comprometer a los subcontratistas a generar gestión de residuos mediante la instauración de requisitos. Esto también puede ser adicionado a las dinámicas de Last Planner System, mediante el sistema de compromisos Kanban
- En el caso chileno, adaptar las operaciones a la norma NCh3562 (INN, 2019) con respecto a la gestión de residuos de construcción y demolición
- Preferir proveedores locales, evitando emisiones por transportes excesivos



5. Conceptos y sus estrategias

5.11 Reducción del impacto de la construcción



Barreras de implementación

Barreras a la implementación	Posibles soluciones
No existe espacio para almacenar desechos de demolición o repuntes que pueden ser utilizados más adelante	Mantener un inventario ordenado y etiquetado. Aumentando el espacio disponible y facilitando la utilización posterior. 5S es una herramienta muy útil para generar estos espacios Contactar de manera temprana a organizaciones que se encargen de la gestión de residuos Considerar modelos PULL y Just In Time, de esta manera reducir inventarios y utilizar materiales de manera eficiente Aplicar conceptos de compartición de material entre obras.
Subcontratistas no poseen cultura o competencias asociadas al reciclaje y reutilización	Especificar en los requerimientos del contrato la necesidad de aplicar estas dinámicas Generar desde la etapa de diseño distintos procedimientos que incluyan la gestión de residuos Capacitar a los subcontratistas y al personal en gestión de residuos y en la reutilización de los componentes

Casos de estudio

1. Diversas organizaciones han aparecido en Chile con el objetivo de generar conciencia y aplicar planes para mejorar la gestión de residuo en el aspecto de la construcción. Entre estos destaca Fundación Basura
2. El plan Construye2025 (2020a) tiene diversas iniciativas a nivel nacional que buscan reducir el impacto en la construcción y la implementación de economía circular. Este plan es transversal a los distintos estratos del país, desde la gobernanza a pymes y emprendimientos

6. Conclusiones

La poca evolución del sector construcción en Chile es un tópico preocupante para la sociedad y economía. Es de gran importancia dar el puntapié inicial a nuevas técnicas y paradigmas que permitan aumentar la productividad, calidad y mejorar la sustentabilidad del sector. Es por esto que los modelos que proponen la economía circular y Lean Construction son de gran valor para la evolución de la industria, apuntando a un sector más productivo, eficiente y sustentable.

Los principios anteriores deben ser un objetivo estratégico de las empresas afines, generando dinámicas de planificación temprana e integrativa de los actores de los proyectos.

A su vez, Lean Construction demuestra ser un puente importante para que proyectos industrializados alcancen modelos circulares mediante la reducción de desperdicios y, por ende, aumento de la productividad e incluso la rentabilidad de estos. También esta filosofía entrega distintas herramientas que servirán a solucionar posibles problemas a la implementación de economía circular.

Los conceptos presentados en esta guía corresponden a lo que la literatura indica que se aplica para lograr un modelo circular. Sin embargo, es importante que estos conceptos se adapten al contexto de la organización y proyecto, de manera que estos evolucionen y aprovechen las distintas capacidades del personal y las ventajas competitivas de los actores.

Finalmente, esta guía busca dar a conocer los aspectos estratégicos de la implementación de economía circular, relacionándolos con los principios y herramientas de Lean Construction, de manera de formar una simbiosis de los dos modelos y cambiar el paradigma y pensamiento de los equipos.

7. Anexos

Esquemas de evaluación por áreas

Área de organización

Área	Etapas	Evaluación	Descripción
Organización	ED	Se especifican y exige al equipo de diseño que incluyan conceptos de economía circular en el proyecto.	En este caso, la calificación más alta corresponde a una especificación que considera un proyecto y modelo de negocios totalmente circular, mientras que la más baja considera un desconocimiento sobre economía circular y, por ende, una especificación sin atributos de un modelo circular.
	CO	Se considera la historia medioambiental del contratista para su contratación. A su vez, se exige capacidad de gestionar desperdicios y utilización de materiales secundarios.	En este aspecto, la calificación más alta corresponde a la elección de un contratista familiarizado con dinámicas circulares o comprometidas con el medio ambiente, en su defecto, se puede capacitar al contratista y comprometerlo mediante las bases de licitación a aplicar estos conceptos. La menos calificación corresponde a la elección de un contratista meramente por su oferta económica, sin ninguna capacitación de por medio.
	ME	Se construye un servicio de mantenimiento y post venta orientado al cliente y a mantener los materiales en uso.	La nota más alta en esta categoría correspondería a la utilización de un modelo circular, en donde el contacto entre la organización y el cliente sea permanente. Produciendo dinámicas de actualización de la vivienda mediante la modularización, compra y reutilización de los componentes, etc. La menor calificación correspondería al nulo contacto entre la organización y el cliente, en donde al final de la vida útil de la estructura, probablemente se demuela.

7. Anexos

Esquemas de evaluación por áreas

Área de equipo de diseño

Área	Etapas	Evaluación	Descripción
Equipo de Diseño	ED	El equipo se compromete a elaborar un proyecto circular, ocupando los conceptos de esta guía y considerando las necesidades futuras de la organización.	Se deben utilizar distintas técnicas, como "<5% de piezas especiales", reutilización al máximo de las estructuras existentes, uso de BIM para el seguimiento de componentes, etc.
	CO	Se facilita la logística circular para el equipo de construcción. Para esto se especifican piezas prefabricadas, el diseño de los residuos y su tratamiento y otorgan una respuesta rápida y confiable ante preguntas en obra.	En este aspecto, es clave un diseño de calidad, en la cual se realicen pocos cambios en el periodo de construcción, y esos cambios sean realizados mediante canales de comunicación expeditos y ágiles.
	ME	Se diseña considerando las necesidades de la post venta, realizando diseños dinámicos y flexibles para el usuario.	En este principio se consideran los conceptos de post venta, diseño por flexibilidad, modularización y seguimiento de las piezas utilizadas para mantención.



7. Anexos

Esquemas de evaluación por áreas

Área de construcción

Área	Etapa	Evaluación	Descripción
Construcción	ED	Se mantienen comunicaciones expeditas con el equipo de diseño y se aporta con ideas para la circularización del proyecto a la organización	Es importante considerar al área de la construcción como un sujeto activo en la búsqueda de la circularidad del proyecto entero. En esta evaluación la nota más alta denota una constructora comprometida con el medio ambiente y el modelo económico de economía circular.
	CO	La empresa constructora cumple los requisitos de circularidad comprometidos con el mandante y equipo de diseño, y además considera la búsqueda de la sustentabilidad como su propio objetivo	Es importante que la constructora no solo cumpla con los requisitos propuestos por el dueño o equipo de diseño, sino también un compromiso de esta misma a lograr la circularidad en el modelo y la reducción de sus emisiones contaminantes
	ME	La empresa constructora se compromete a la facilitación de trabajadores para el servicio de post venta, ensamblaje de nuevos módulos y recuperación de elementos que hayan alcanzado su vida útil	En esta evaluación es importante considerar que estas dinámicas pueden generar un aumento de rentabilidad al largo plazo para la constructora. Ya que a medida que pase el tiempo, la incertidumbre del costo de ensamblar o modificar una vivienda se reduciría. Finalmente, una calificación alta en esta categoría denotaría una empresa responsable con sus clientes y dispuesta a compromisos a largo plazo.



7. Anexos

Forma de protocolo estándar para evaluación del índice

REPORTE DE EVALUACIÓN MENSUAL DE ECONOMÍA CIRCULAR			
Responsable:		Fecha:	
Área:		N° Mes:	

A continuación, complete la siguiente evaluación otorgando un porcentaje al desempeño de su área con respecto a la interacción con las otras áreas/etapas del proyecto. Este puntaje debe ser acorde a los parámetros establecidos en las tablas XX del procedimiento XX

Área/Etapa	Puntaje Asignado	Comentario
ED		
CO		
ME		

Con respecto a el mes anterior, ¿Existe alguna mejora con respecto a la circularidad de los procesos?

Detalle compromisos para mejorar los índices al próximo mes de evaluación. Indique responsables y medidas concretas

Referencias

- [1] Arquitectura, P. (2011). Tubohotel/t3arc. Descargado 2020-01-02, de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-97634/tubohotel-t3arc>
- [2] CDT. (2018). Informe final - diagnóstico gestión de residuos en la construcción. CORFO-Construye2025.
- [3] CementGroup, H. H. (2017). Ortus learning and events centre, denmark hill, southwark. Descargado 2021-01-08, de <https://www.hanson.co.uk/en/case-study/ortus-learning-and-events-centre>
- [4] Construye2025. (2020a). Hoja de ruta rcd, economía circular en construcción. Santiago, Chile: CORFO.
- [5] Construye2025. (2020b). Programa estratégico nacional productividad y construcción sustentable - construye2025. CORFO.
- [6] Definición.de. (2014). Definición de prefacio. Descargado 2020-11-26, de <https://definicion.de/prefacio/>
- [7] de Solminihaç, H., y Dagá, J. (2018). Productividad laboral en la construcción en Chile: Comparación internacional. Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales.
- [8] Dujovne, B., Hirsch, S., Manteola, F., y Gómez, J. S. (2020). Silos de dorrego. Descargado 2020-12-01, de <https://www.modernabuenosaires.org/obras/90s/silos-de-Dorrego>
- [9] Elia, V., Gnoni, M. G., y Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. Journal of Cleaner Production, 2017(142), 2741-2751. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>
- [10] Ghisleni, C. (2020). Interiores en Brasil: 8 proyectos con mobiliario flexible - plataformaarquitectura. Descargado 2020-01-03, de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/952693/interiores-en-brasil-8-proyectos-con-mobiliario-flexible>
- [11] Huovila, P., y Koskela, L. (1998). Contribution of the principles of lean construction to meet the challenges of sustainable development. IGLC, 1(1), 1-11. doi: https://www.researchgate.net/publication/228706368_Contribution_of_the_principles_of_lean_construction_to_meet_the_challenges_of_sustainable_development
- [12] INN. (2019). Nch3562 - gestión de residuos - residuos de construcción y demolición (rcd) - clasificación y directrices para el plan de gestión. , 1-16.

Referencias

- [13] Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. Center For Integrated Facility Engineering, Universidad de Stanford.
- [14] Maiztegui, B. (2020). Cómo será la recuperación del mercado de Providencia en Chile - plataforma arquitectura. Descargado 2020-01-02, de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/932364/como-sera-la-recuperacion-del-mercado-de-providencia-en-chile>
- [15] MGI. (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity. McKinsey & Company.
- [16] Minunno, R., O'Grady, T., y Morrison, G. (2018). Strategies for applying the circular economy to prefabricated buildings. MDPI, 125(8), 1-14. doi: 10.3390
- [17] Nahmens, I., y H. Ikuma, L. (2012). Effects of lean construction on sustainability of modular homebuilding. Journal of Architectural Engineering ASCE, June 2012 (2012.18:155-163.), 155-161. doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000054.
- [18] Núñez-Cacho, P., Górecki, J., y Molina, V. (2018). New measures of circular economy thinking in construction companies. Journal of EU research in Business, 2018(909360), 1-16. doi: 10.5171/2018.909360
- [19] Osorio, V., y Gil, P. (2006). Reciclaje y renovación urbana silos Santiago [memoria de título]. Santiago de Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad de Chile. Descargado de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/aq-osorio_v/pdfAmont/aq-osorio_v.pdf
- [20] Polanco, A. (2020). Apuntes de clase - unidad 3: Planificación integral planificación del alcance, clase 9. Universidad de Chile.
- [21] Ramos, J., Araneda, P., Bornard, J., y Wragg, W. (2017). Evaluar el potencial de reciclaje de los materiales de construcción de edificios en Chile [memoria de título]. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas - Universidad de Chile. Descargado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/149546/Evaluar-el-potencial-de-reciclaje-de-los-materiales-de-construccion-de-edificios-en-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [22] Salvatierra, J. L. (2020). Introducción al pensamiento lean - seminario: Lean construction. Universidad de Chile.

Referencias

- [23] Salvatierra, J. L., y Pasquire, C. (2012). The first and last value model: Sustainability as a first value delivery of lean construction practice. Department of Civil and Building Engineering, 1-10.
- [24] Sanchez, B., y Haas, C. (2018). Capital project planning for a circular economy. Taylor Francis Online, 2018(1), 1-10. doi: 10.1080/01446193.2018.1435895
- [25] Shahu, R. (2017). Flexibility in construction building structures - a case study. Industrial Engineering and Management, 1-8. doi: 10.4172/2169-0316.10002
- [26] Tebbatt, K., y Osmani, M. (2017). Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. Institution of Civil Engineers publishing, 170(WR1), 15-24. doi:http://dx.doi.org/10.1680/jwarm.16.00011
- [27] UKGBC. (2019). Circular economy guidance for construction clients: How to practically apply circular economy principles at the project brief stage. London, UK: United Kingdom Green Building Council.
- [28] USGS. (2020). 20 largest earthquakes in the world. Descargado 2020-10-07, de https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/20-largest-earthquakes-world?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects70