



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Propuesta de indicadores Lean2Cradle® en fases de Uso y Deconstrucción

Trabajo realizado por:

Solange Enma Vera Cornejo

Dirigido por:

Núria Forcada Matheu

Pedro Júdez Muñoz

Máster en:

Ingeniería Estructural y de la Construcción

Barcelona, **octubre del 2020**

Departamento de Ingeniería de Proyectos y
de la Construcción

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

DEDICATORIA

De manera especial dedico este trabajo a la memoria de mi padre Pedro. Él fue la persona que me motivó toda mi vida a seguir mis sueños, nunca rendirme y gracias a él me encuentro hoy aquí. Con sus palabras de aliento desde lejos di los primeros pasos para este trabajo y ahora todo esto es por él. Desde el cielo estás feliz por mí y yo intentaré de que siempre lo estés.

Del mismo modo, este trabajo lo dedico a mi familia. A mi madre Enma, por el apoyo y amor incondicional que siempre me ofrece, soy la persona más afortunada al tenerla conmigo. Y a mis hermanos Gildo y Liv, por estar siempre conmigo dándome fuerzas para seguir adelante. Ellos han sido mi motor durante el transcurso de mis estudios. Nunca dejaré de agradecerles por todo lo que hacen por mí.

Quiero dedicar por último este trabajo a mis amigos que desde lejos han estado pendientes de mí, brindándome su apoyo en todo momento. Y a los amigos que hice durante todo este tiempo de estudios, ahora más que amigos son hermanos. Todos ellos son especiales en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han contribuido en la realización de este trabajo, ellos me han apoyado tanto académica como personalmente. Su contribución ha sido excelente para finalmente yo poder culminar este documento.

Mi más eterna gratitud va hacia mi padre. Por estar conmigo siempre, por alentarme a seguir adelante, por sus consejos, por sus enseñanzas, por su amor, por haberme permitido poder estar ahora aquí... por haber sido mi padre. No me alcanzan las palabras para agradecer todo lo que hizo por mí. Hoy ya no está aquí, pero su esencia siempre permanecerá conmigo.

A mi familia desde siempre mil gracias, sin ellos no estaría aquí. A mi madre que siempre está pendiente mío, agradezco y valoro el esfuerzo que día a día hace por mi familia, es mi ejemplo a seguir y siempre estaré para ella. Y a mis hermanos, gracias por nunca dejarme sola, por escucharme siempre y contribuir a que yo siga alcanzando mis sueños.

Muchas gracias a mis tutores de este trabajo: Núria Forcada y Pedro Júdez. En principio por haber aceptado dirigir mi TFM en el enfoque que yo seguía, su amplio conocimiento sobre el tema fue la base para el comienzo y desarrollo de mi trabajo. Igualmente, agradezco su disposición y apoyo, ellos saben las dificultades que se me presentaron, me plantearon soluciones. Gracias por eso.

Un especial agradecimiento a las empresas Construcía y Eco Intelligent Growth. A Arturo Fernández por permitirme realizar una aportación al trabajo de la empresa, y a Gemma Canals por su disposición plena y por compartirme sus conocimientos que fueron importantes para el desarrollo de este trabajo. A ellos también van mis felicitaciones por el trabajo que hacen, el de desarrollar proyectos que contribuyen a tener un mundo mejor.

Finalmente, gracias a todos mis amigos y familiares que siempre están a lado mío, son personas a quienes quiero y deseo lo mejor siempre.

RESUMEN

Son muchos los problemas que el sector de la construcción trae consigo, ellos pueden ser internos porque afectan a la organización o externos que afectan al entorno. De ese modo resulta de gran interés solucionarlos, es por eso que muchas empresas vienen innovando su gestión con nuevos planes, modelos y métodos de trabajo. Esos métodos son basados principalmente en los sistemas o enfoques de producción que muchos países incluyen en sus normativas para aplicarlos.

Construcúa es una de las empresas que adopta el reto por el cambio. Recientemente ha creado una nueva metodología de trabajo llamado Lean2Cradle® (L2C®), enfocada en la economía circular. L2C® plantea estrategias alineadas a los pensamientos *Lean Construction* (LC) y *Cradle to Cradle*™ (C2C); la primera para eliminar y reducir todo aquello que no agregue valor a las actividades en la fase de ejecución; y la segunda como modelo de diseño de materiales y productos, que pretende su reutilización al final de su ciclo de vida evitando su eliminación por el vertedero.

En Construcúa surgió la necesidad de medir y evaluar la implementación de L2C® en sus proyectos, por lo cual desarrollaron una guía llamada L2C Scorecard. Esta guía establece indicadores para medir diferentes aspectos del proyecto en las primeras fases del ciclo de vida: inicio, diseño y ejecución; y luego obtener una clasificación L2C® según ciertos parámetros. No obstante, aún no tiene establecidos indicadores para las fases de uso y deconstrucción. Por lo que el objetivo de este trabajo es proponer indicadores para esas fases en base a los principios que tiene L2C®.

Iniciando con un análisis de la situación actual de la aplicación de LC en las fases de estudio y también de cómo el sector de la construcción va adquiriendo el enfoque de economía circular; se pudo identificar 30 indicadores a ser medidos y evaluados en determinados periodos de tiempo. Luego, con el fin de demostrar la aplicación de la propuesta se realizó un caso de estudio. En dicho caso se midieron indicadores en base a datos reales e hipotéticos, para finalmente obtener la clasificación L2C®.

Como parte final de este trabajo se analizaron los resultados de los indicadores aplicados al caso de estudio y mediante su clasificación L2C® se pudo demostrar el valor de estos indicadores en la evaluación de L2C®. Además, para complementar esta demostración, se interpretaron y analizaron todos los indicadores para dar a conocer la importancia de su uso dentro de la guía L2C Scorecard.

Palabras clave: Economía Circular, Cradle to Cradle, Lean Construction, Lean2Cradle, Indicadores, Sostenibilidad, Deconstrucción.

ABSTRACT

There are many problems the construction sector brings with it, they can be internal because they affect the organization or external that affect the environment. In this way it is of great interest to solve them, that's the reason why many companies have been innovating their management with new plans, models, and working methods. These methods are mainly based on the production systems or approaches that many countries include in the regulations to apply them.

Construcía is one of the companies that accept the challenge of change. It has recently created a new work methodology called Lean2Cradle® (L2C®), focused on the circular economy. L2C® proposes strategies aligned with the thoughts of Lean Construction (LC) and Cradle to Cradle™ (C2C); the first to eliminate and reduce everything that does not add value to the activities in the execution phase; and the second as a model for the design of materials and products, which aims to be reused at the end of their life cycle, avoiding their disposal by landfill.

In Construcía the need arose to measure and evaluate the implementation of L2C® in their projects, for which they developed a guide called L2C Scorecard. This guide establishes indicators to measure different aspects of the project in the first phases of the life cycle: initiation, design, and execution; and then obtain an L2C® classification according to certain parameters. However, it has not yet established indicators for the use and deconstruction phases. Therefore, the objective of this work is to propose indicators for these phases based on the principles of L2C®.

Based on an analysis of the current situation of the application of LC in the study phases and also how the construction sector is acquiring the circular economy approach; 30 indicators were identified to be measured and evaluated in certain periods. Then, to demonstrate the application of the proposal, a case study was conducted. In this case, the indicators were measured based on real and hypothetical data, to finally obtain the L2C® classification.

As a final part of this work, the results of the indicators applied to the case study were analyzed and through their L2C® classification it was possible to demonstrate the value of these indicators in the L2C® evaluation. Likewise, to complement this demonstration, all the indicators were interpreted and analyzed to show the importance of their use within the L2C Scorecard guide.

Keywords: Circular economy, Cradle to Cradle, Lean Construction, Lean2Cradle, Indicators, Sustainability, Deconstruction.

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.4. ALCANCE	3
1.5. ESTRUCTURA DEL TRABAJO	3
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	5
2.1. FILOSOFÍA LEAN	5
2.1.1. Lean Production	5
2.1.2. Lean Construction	7
2.2. CRADLE TO CRADLE	9
2.2.1. Tipos de materiales según Cadle to Cradle	11
2.2.2. Principios Cradle to Cradle	13
2.2.3. Cradle to Cradle Certified	15
2.3. INDICADORES	16
2.4. SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y CERTIFICACIÓN	18
2.4.1. LEED	18
2.4.2. DGNB	18
2.4.3. BREEAM	20
2.4.4. WELL	20
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	21
CAPÍTULO 4: CONSTRUCCIÓN	22
4.1. DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍAS DE TRABAJO	22
4.2. LEAN2CRADLE®	22

4.2.1. Principios y metodología L2C®	23
4.2.2. Procesos y estrategias L2C®	25
4.2.2.1. Diseño Circular	25
4.2.2.2. Estrategias Lean Construction	28
4.2.2.3. Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción.....	29
4.2.2.4. Vías de Ciclaje de los Materiales.....	30
4.3. L2C SCORECARD	31
4.3.1. Indicadores según Transformación Industrial	32
4.3.2. Indicadores según Comodidad y Biodiversidad	33
4.3.3. Indicadores según Diseño ecológico y Saludable.....	33
4.3.4. Indicadores según Maximizar uso de Energías Renovables.....	33
CAPÍTULO 5: INDICADORES L2C® PARA FASE DE USO Y DECONSTRUCCIÓN ..34	
5.1. LEAN CONSTRUCCIÓN EN FASE DE USO Y DECONSTRUCCIÓN	35
5.2. ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CONSTRUCCIÓN	38
5.3. FASE USO	39
5.3.1. TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL	39
Costes de operación	40
Inspección de edificios.....	41
5.3.2. COMODIDAD Y BIODIVERSIDAD	43
Consumo total de agua.....	43
Agua reutilizada.....	44
Calidad del aire interior.....	46
Confort térmico	49
Iluminación interior	51
Ruido Exterior	52
Encuesta de satisfacción de los ocupantes	54
5.3.3. DISEÑO ECOLÓGICO Y SALUDABLE	56
Política de Adquisiciones (uso oficinas).....	56
Manejo de Desechos	58
Disposición de desechos sólidos.....	59
5.3.4. MAXIMIZAR EL USO DE ENEGÍAS RENOVABLES	61
Consumo de energía no renovable.....	61
Emisiones de Huella de Carbono.....	63
Uso de energías renovables	66

Ahorro de emisiones de Huella de Carbono.....	68
5.4. FASE DECONSTRUCCIÓN	69
5.4.1. TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL.....	69
Tiempo total de deconstrucción.....	70
Costes de deconstrucción	71
Valor residual del edificio.....	72
Uso de funcionalidades BIM	74
Uso de herramientas Lean Construction	76
Facilidad de desensamblado de componentes	77
5.4.2. COMODIDAD Y BIODIVERSIDAD	79
Protección del trabajador	79
Aplicación de medidas de salud y seguridad.....	80
5.4.3. DISEÑO ECOLOGICO Y SALUDABLE	82
Rotación de productos o sistemas.....	82
Tasa de recuperación por reutilización del hormigón prefabricado.....	84
Tasa de recuperación por reutilización de materiales identificados	86
Tasa de recuperación por vías de ciclaje de materiales identificados	87
Tasa de eliminación de materiales peligrosos identificados.....	88
5.4.4. MAXIMIZAR EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	90
Reducción de emisiones de CO ₂ por uso de energía renovable	90
CAPÍTULO 6: CASO DE ESTUDIO “EDIFICIO GONSI SÓCRATES”	92
6.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	92
6.2. INDICADORES DE CONSUMO DE ENERGÍA EN LA FASE DE USO	94
Emisiones de Huella de Carbono	96
Uso de energías renovables	97
Ahorro de emisiones de Huella de Carbono	98
6.3. INDICADORES DE CIRCULARIDAD DE MATERIALES EN LA FASE DE DECONSTRUCCIÓN.....	99
Tasa de recuperación por reutilización del hormigón prefabricado	99
Tasa de recuperación por vías de ciclaje de materiales identificados	100
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	106
7.1. EVALUACIÓN DE INDICADORES DEL CASO DE ESTUDIO	106
7.2. INTERPRETACIÓN DE LOS INDICADORES PROPUESTOS PARA L2C®..	107
7.2.1. INDICADORES EN FASE DE USO.....	107



7.2.2. INDICADORES EN FASE DE DECONSTRUCCIÓN	109
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES	112
CONCLUSIONES GENERALES	112
CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS	113
LIMITACIONES	115
LINEAS DE INVESTIGACIÓN	115
REFERENCIAS.....	116
ANEJOS.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4.1: Estrategias Lean Construction en la fase de construcción para Lean2Cradle® (Construcúa).....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4.2: Estrategias Lean Construction usados para Deconstrucción (Construcúa and Eco Intelligent Growth, 2019a).....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5.1: Puntos identificados para desarrollar de cada indicador (Elaboración propia).....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5.2: Estrategias Lean Construction en la fase de deconstrucción para L2C® (Construcúa & Elaboración Propia).....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5.3: Ejemplos de caudales de ventilación recomendados para edificios no residenciales para tres categorías de contaminación del propio edificio (AENOR, 2008).....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 5.4: Descripción de la aplicabilidad de las categorías utilizadas (AENOR, 2008).....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 5.5: Ejemplos de diseño de nivel de presión sonora (AENOR, 2008).....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 5.6: Factores de emission (FE) por fuentes de combustibles.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 7.1: Resultados de los indicadores aplicados para la fase de uso para el Caso de Estudio del “Bio-Edificio Bio-Gonsi Sócrates” (Elaboración Propia).....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 7.2: Resultados de los indicadores aplicados para la fase de deconstrucción para el Caso de Estudio del “Bio-Edificio Gonsi Sócrates” (Elaboración Propia).....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 8.1: Cantidad y distribución de indicadores propuestos para L2C Scorecard (Elaboración Propia).....</i>	<i>112</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Casa del sistema de producción Toyota (Hernández Matías and Vizán Idoipe, 2013)	5
Figura 2.2 Producción como un proceso de flujo (Koskela, 1992)	7
Figura 2.3. Herramientas de Lean Construction (Velasco Ruiz, 2018)	7
Figura 2.4: Estructuración del sistema de planificación tradicional (Ballard, 2000)	8
Figura 2.5: Estructuración del sistema de planificación LPS (Ballard, 2000)	8
Figura 2.6 Economía lineal y Economía circular (Construcía, 2020b)	10
Figura 2.7: Tipos de metabolismos en el planeta (McDonough and Braungart, 2002)	11
Figura 2.8: Diagrama de Economía Circular con ciclos biológicos y técnicos (Ellen MacArthur Foundation, 2017a)	12
Figura 2.9: Principios Cradle2Cradle (Minkov, Bach and Finkbeiner, 2018)	13
Figura 2.10: Pasos hacia la eco-efectividad (McDonough and Braungart, 2002)	13
Figura 2.11: Criterios para la certificación Cradle2Cradle de un producto (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020)	15
Figura 2.12: Clasificación de los indicadores (Betancourt, 2017)	16
Figura 2.13: Visión sistemática de indicadores de gestión (Silva Matiz, 2012)	17
Figura 2.14: Certificaciones DGNB por cada fase de un proyecto de edificación (DGNB, 2020b)	19
Figura 2.15: Conceptos para evaluación del sistema DGNB (DGNB, 2020d)	19
Figura 4.1 Principios Lean2Cradle® (KPMG, Construcía and Eco Intelligent Growth, 2019)	24
Figura 4.2: Modelo Lean2Cradle® (Construcía, 2018)	24
Figura 4.3: Procesos y Herramientas L2C® (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)	25
Figura 4.4: Procesos y herramientas Lean2Cradle® en las fases del ciclo de vida de un proyecto de edificación (KPMG, Construcía and Eco Intelligent Growth, 2019)	25
Figura 4.5: Ciclos de rotación de materiales en un edificio (W. McDonough + Partners sobre la idea de S. Brand)	26
Figura 4.6: Niveles de los materiales y productos (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2019a)	29
Figura 4.7: Estrategias de recuperación para el ciclo técnico (Ellen MacArthur Foundation)	31
Figura 4.8: Fases y sub-fases del proyecto considerados según L2C Scorecard (Construcía)	32
Figura 5.1: Clasificación de los Principios Lean (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019)	36
Figura 5.2: Confort térmico en función de la temperatura del aire y la humedad relativa (Blender, 2015)	50
Figura 6.1: Sistemas utilizados para Bio-Edificio Gonsi Sócrates (KPMG, Construcía and Eco Intelligent Growth, 2019)	93
Figura 6.2: Diagrama de flujo de aprovechamientos de energías en Bio-Edificio Gonsi Sócrates (PichArchitects, 2020)	94

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 6.1 Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Aldo Amoretti)</i>	93
<i>Fotografía A.1: Montaje de pilares del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Pich-Aguilera and Batlle, 2020)</i>	130
<i>Fotografía A.2: Estructura del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)</i>	130
<i>Fotografía A.3: Fachada del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (PICHarchitects_Pich-Aguilera)</i> ..	130
<i>Fotografía A.4: Techo del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)</i>	131
<i>Fotografía A.5: Carpintería y cerrajería exterior del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)</i>	131
<i>Fotografía A.6 Escalera exterior metálica del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)</i>	131
<i>Fotografía A.7: Divisorias del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Aldo AMoretti)</i>	132
<i>Fotografía A.8: Pérgola del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Aldo Amoretti)</i>	132
<i>Fotografía A.9: Cubierta transitable del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)</i>	132
<i>Fotografía A.10 Paneles fotovoltaicos del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)</i>	133
<i>Fotografía A.11: Ascensores del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)</i>	133
<i>Fotografía A.12 Luminarias del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Aldo Amoretti)</i>	133

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector de la construcción representa una de las actividades más productivas a nivel mundial. Su contribución resulta especial para el comportamiento del PIB en un país. Es así que, como parte de una estrategia para elevar la economía de un país, es fundamental que las compañías pertenecientes a este sector adopten metodologías de gestión para hacer más eficientes sus procesos. Uno de los problemas en este sector, principalmente en la ejecución, ha sido la baja productividad que se ve reflejado en el aumento de costes, plazos de entrega y baja calidad del producto final. A raíz de ello (Koskela, 1992) desarrolló una nueva filosofía de producción llamada Lean Construction a partir del sistema de producción original de la compañía automovilística Toyota. Este sistema de trabajo actualmente es adoptado por muchas compañías del sector, principalmente para eliminar o reducir todo aquello que no agrega valor al producto final por medio de herramientas.

Otra problemática que viene con las actividades propias y relacionadas al sector construcción es el impacto que genera al medio ambiente, en realidad, por muchos sectores económicos. Desde la Revolución Industrial del siglo XIX las grandes industrias de estos sectores basaron su sistema de producción en lo que se denomina economía lineal. Es lineal, ya que la producción y utilización de bienes sin duda genera gran cantidad de residuos que terminan en vertederos, incineradoras, lagos u océanos. Este actual sistema está generando agotamiento de los recursos y de materias primas y, también, graves impactos al planeta como la extinción de especies de flora y fauna, contaminación y el cambio climático.

El sector de la construcción, diseñado en torno al modelo lineal, según indica (World Economic Forum, 2016) a nivel mundial representa el 36% del uso final de energía y casi el 40% de las emisiones de CO₂. Esto quiere decir que para la recolección y producción de materiales de construcción se consume energía relativamente alta, lo que genera CO₂ y otros gases de efecto invernadero que intensifican el calentamiento global. Para los materiales de construcción se hace un gran uso de materias primas dependientes de recursos naturales, lo que conlleva al sector a ser responsable de más de un tercio del consumo mundial de estos recursos (Acharya, Boyd and Finch, 2020). También, a nivel mundial el sector es responsable del 60% de los residuos producidos (World Economic Forum, 2016). Si bien es cierto no todo va hacia el vertedero, actualmente existe concienciación sobre el reciclaje. No obstante, este reciclaje no es el más óptimo, más bien se refiere al concepto de *infraciclaje*, que es un proceso para gestión de residuos que consiste en lograr el mismo producto con similares características iniciales, pero haciendo uso de energía adicional y de más materias primas, por lo que el problema no se elimina.

Como alternativa para evitar los problemas mencionados, no sólo en el sector de la construcción, sino también en otros sectores, existe el sistema de *economía circular*. El modelo implica separar la actividad económica del consumo de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema desde el diseño, haciendo uso de fuentes renovables de energía. (Ellen MacArthur Foundation, 2020)

Para impulsar la economía circular, William McDonough y Michael Braungart propusieron un nuevo enfoque de diseño circular llamado *Cradle to Cradle*TM (C2C). Los preceptos C2C buscan que todo producto sea diseñado desde el principio para que vuelva a ser utilizado,

eliminando el concepto de residuos; con enfoque en la salud de las personas, maximización de energías renovables y la diversidad. Son muchas compañías de diferentes sectores las que adaptaron el enfoque de Economía Circular en la elaboración de sus productos, el sector de la construcción está incluido.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Construcía, empresa constructora española, identificó los problemas expuestos y como consecuencia desarrolló una metodología de ejecución de proyectos de edificación basados en los dos enfoques mencionados: *Lean Construction* (LC) y *Cradle to Cradle* (C2C). El primero orientado a la producción eliminando desperdicios, y el segundo a la reutilización de todos los materiales utilizados en la fabricación de los productos y el uso de sustancias saludables.

LEAN2CRADLE by Construcía (L2C®) es la nueva metodología que aplica a sus proyectos, consiste en diseñar y construir edificios de forma diferente. A los objetivos tradicionales del proyecto, que son coste, plazo y calidad, se suman los valores en los que se fundamenta L2C®: salud, ciclabilidad de materiales, valor residual y productividad.

Resulta necesario saber cuáles son los resultados de lo implementado para entender mejor y realizar un aprendizaje y mejoramiento continuo, aspecto importante dentro de la filosofía Lean. Por eso, Construcía desarrolló mediante su equipo colaborador de investigación Eco Intelligent Growth (EIG) una guía para conocer el nivel de implementación de la metodología L2C® en sus proyectos. Lo denominaron *L2C Scorecard*, en el cual fijaron indicadores que se miden desde la fase inicio hasta que finaliza la construcción del proyecto de edificación, es decir culminación de la fase de ejecución. Sin embargo, al ser L2C® una metodología reciente, aún no se tienen identificados indicadores para evaluar los beneficios que genera la metodología en el comportamiento del edificio en las fases de Uso y Deconstrucción.

1.3. OBJETIVOS

Proponer indicadores basados en los principios L2C® para un proyecto de edificación en las fases de uso y deconstrucción.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Documentar la metodología L2C® de la empresa Construcía.
- Analizar bibliografía sobre las prácticas de Lean Construction en las fases de uso y deconstrucción.
- Definir indicadores L2C® para la fase de uso y deconstrucción.
- Aplicar los indicadores definidos en un caso de estudio y obtener la clasificación L2C®.
- Analizar el resultado de la aplicación de los indicadores en el caso de estudio.
- Analizar e interpretar los indicadores propuestos para L2C®.

1.4. ALCANCE

En la presente investigación se proponen indicadores para la guía *L2C Scorecard* basados en los principios L2C®, con el fin de medir el desempeño de la implementación de la metodología en las fases de Uso y Deconstrucción de un proyecto de edificación. Estos indicadores serán identificados y descritos para una correcto entendimiento y facilidad de uso. Los identificadores son establecidos según cada principio de L2C®.

Adicionalmente se analiza un caso de estudio de un proyecto de edificación: el Bio-Edificio “Gonsi Sócrates”, que está ubicado en la ciudad de Viladecans y actualmente se encuentra concluida su fase de ejecución. La evaluación se hace con los indicadores propuestos, con datos reales e hipotéticos debido a que aún el proyecto no se encuentra en fase Uso. Todos los datos reales son proporcionados por Construcía – Eco Intelligent Growth, y mediante información recopilada de la página web de la empresa que realizó la arquitectura Picharchitects. En consecuencia, con los valores obtenidos de la evaluación y la clasificación L2C® final, se conoce la eficiencia de la propuesta de indicadores desarrollada.

1.5. ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El presenta trabajo se divide en ocho capítulos:

Capítulo 1 **Introducción**, se plantea el problema principal del sector de la construcción que conlleva la necesidad a la empresa Construcía de desarrollar una nueva metodología de trabajo que sea capaz de reducir los impactos negativos que generan sus proyectos de edificación. Ya introducida esta nueva metodología L2C®, se menciona una de sus herramientas que es el L2C® Scorecard, el cual establece indicadores de medición al proyecto en las tres primeras fases del ciclo de vida, existiendo aún la falta de indicadores en las fases de uso y deconstrucción motivo por el cual se hace la investigación. Luego, se plantean objetivos y alcance de la investigación.

Capítulo 2. **Estado del Arte**, primero se recopila información acerca de los sistemas base para L2C®, que son la *Filosofía Lean*, donde se explica tanto Lean Production como Lean Construction, el primero es la metodología inicial, desarrollada inicialmente para el sector industrial, y la segunda es una filosofía utilizada únicamente por el sector construcción; y *Cradle to Cradle*, que es un modelo de diseño basado en la economía circular. Luego se hace una descripción del concepto de Indicadores, se menciona los principales tipos y la finalidad de cada una de ellas. Por último, se muestran los principales *Sistemas de evaluación y certificación de edificios*, se hace un análisis de cada uno de ellos según los criterios que tienen para su evaluación, también se describe que tipo de uso de edificios puede evaluar la certificación y finalmente la clasificación que se puede obtener.

Capítulo 3. **Metodología**, donde se indica cómo se ha realizado la investigación.

Capítulo 4, **Construcía**, aquí se describe más a fondo a la empresa *Construcía* y su metodología de trabajo L2C®, esto incluye sus principios, método, estrategias. Luego también se desarrolla la herramienta de evaluación del comportamiento del edificio *L2C Scorecard* y un

resumen de la descripción de los indicadores ya identificados en las tres primeras fases del proyecto.

Capítulo 5, **Indicadores L2C® para fase de uso y deconstrucción**, aquí se desarrolla la solución para lograr el objetivo principal de la investigación. Primero se hace un análisis de la implementación actual de la filosofía Lean Construction en la construcción para las fases de uso y deconstrucción, del mismo modo para la economía circular en el sector construcción. Una vez desarrollados estos dos análisis, se procede a la propuesta de indicadores en base a bibliografía existente como también propuestas del investigador.

Capítulo 6, **Caso de estudio**, para comprobar la solución desarrollada en base a la propuesta de indicadores se desarrolla un caso de estudio. La evaluación se hace a un proyecto de edificación ejecutado por Construcúa. Por consiguiente, se obtiene una clasificación L2C® para el caso definido.

Capítulo 7, **Análisis de resultados**, se analizan los resultados obtenidos del caso de estudio y se hace una interpretación de cada uno de los indicadores propuestos y sus metas fijadas en base a L2C®.

Capítulo 8, **Conclusiones**, se desarrollan las conclusiones obtenidas a lo largo del presente trabajo y se proponen futuras líneas de investigación que pueden ser de gran interés.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

Antes de realizar el trabajo de investigación se debe comprender el origen de la nueva metodología Lean2Cradle®. Es por ello que en este capítulo los dos primeros apartados se enfocan a los 2 pilares de L2C®: *Lean Construction* y *Cradle to Cradle*. En ambos bloques se resume su teoría, principalmente respecto a su origen, conceptos básicos, principios fundamentales y herramientas. En el apartado 3 se describe lo que es la metodología Lean2Cradle®, como su definición, objetivos, principios, metodología y herramientas principales. Para terminar, se describen los principales sistemas de evaluación y certificación internacionales de edificios sostenibles en el apartado 4, porque ciertos requisitos o criterios usados por estos sistemas de certificación son tomados como referencia para esta investigación.

2.1. FILOSOFÍA LEAN

2.1.1. Lean Production

Esta idea de producción surge a raíz de un nuevo sistema de producción denominado Toyota Production System (TPS). Este sistema fue creado por la compañía automovilística Toyota en Japón en los 1950's y desarrollado por Eiji Toyoda y Taiichi Ohno. Fueron muchos los que adoptaron y promovieron la nueva filosofía de producción. Por los años 1980's un grupo de investigadores del *Instituto Tecnológico de Massachusetts* estudiaron más a fondo el sistema de producción japonés antes mencionado y lo denominaron *Lean Production*. (Womack, Jones and Roos, 1990)

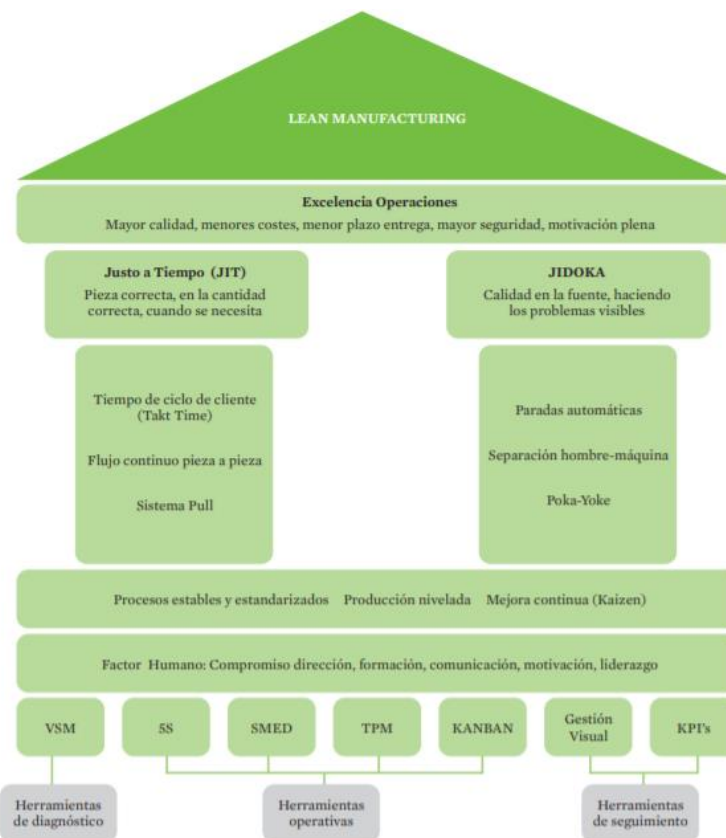


Figura 2.1. Casa del sistema de producción Toyota (Hernández Matías and Vizán Idoipe, 2013)

La figura 2.1. muestra de manera resumida lo que establece el sistema de producción Lean. Las metas que se pretenden lograr al aplicar la filosofía son: lograr mayor calidad, menores costes, menor plazo de entrega, mayor seguridad y motivación plena. Como soportes para lograr esos objetivos se tiene a los sistemas JIT y Jidoka:

- Just In Time (JIT): cuya idea es reducir o eliminar inventarios con nuevas técnicas, una de ellas es el método de producción “Pull” cuyo proceso comienza por una actual demanda, es decir sólo cuando el cliente lo solicita. JIT se refiere mucho al concepto de desperdicios o “mudas”, éstos se pretenden eliminar o reducir, fueron identificados en TPS por Ohno y son: sobreproducción, esperas, transporte, sobreprocesamiento, inventarios, movimiento y productos defectuosos.
- Jidoka: consiste en dar la habilidad a los operadores de detener las operaciones cuando se presencia anomalías en el proceso. Luego determinar la causa raíz y eliminarlo.

La base o cimiento de la filosofía se basa en 3 sistemas: la estandarización de los procesos, el heijunka o nivelación de la producción y la aplicación de la mejora continua o *Kaizen*. Aquí también se tiene como valor clave al factor humano.

Existen muchos otros sistemas, técnicas y herramientas que emergen y evolucionan constantemente. Normalmente dependiendo de los objetivos de una organización, se debe elaborar un plan de implementación con aproximación al pensamiento Lean.

Los principios en los que se basa la filosofía Lean para mejorar la eficiencia de los procesos de flujo en el diseño, control y mejora, como (Koskela, 1992) indica son:

- Reducir la proporción de actividades que no añaden valor.
- Incrementar el valor de salida a través de la consideración sistemática de los requisitos del cliente.
- Reducir la variabilidad.
- Reducir el tiempo de ciclo.
- Simplificar minimizando el número de pasos, partes y enlaces.
- Incrementar la flexibilidad de salida.
- Incrementar la transparencia del proceso.
- Centrar el control en el proceso completo.
- Construir mejoras continuas en el proceso.
- Equilibrar la mejora de flujo con la mejora de conversión.
- Benchmark.

Según (Womack, Jones and Roos, 1990) *Lean Production* es “ajustada” ya que al ser comparado con la producción en masa, ésta primera utiliza menos de todo (tiempo, inversión, esfuerzo humano, lugar de trabajo) en comparación con la segunda para lograr un nuevo producto. También se refiere a menos existencias y defectos que produce una mayor y creciente variedad de productos.

El modelo de producción de esta filosofía, como indica (Koskela, 1992) es definido como un flujo de material y/o información desde la materia prima hasta el producto final, como se indica en la figura 2.2. este flujo se procesa, se inspecciona, está esperando o está en movimiento. Esas actividades pueden representarse por dos aspectos: de conversión (procesamiento) y de flujo (inspección, espera, movimiento). Ambas actividades gastan costes y consumen tiempo, mientras

tanto, solo las de conversión agregan valor al material o pieza de información que se transforma en un producto.

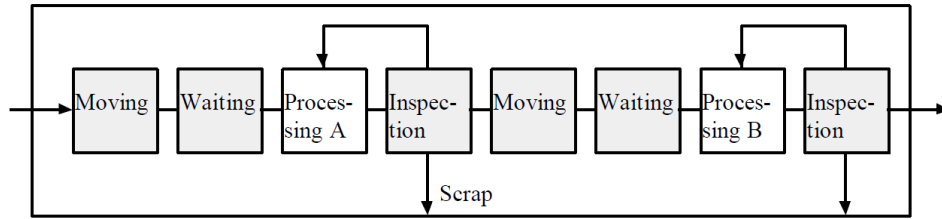


Figura 2.2 Producción como un proceso de flujo (Koskela, 1992)

Normalmente las compañías evalúan el rendimiento de sus procesos por medio de indicadores de productividad y sólo se centran en las actividades de conversión, es decir las que añaden valor, y las de flujo no son controladas o mejoradas. Sin embargo, bajo la filosofía Lean las de conversión deben ser más eficientes y las de flujo se deben reducir o eliminar.

2.1.2. Lean Construction

Para la aplicación Lean al sector de la construcción se realizaron diversas investigaciones por profesionales e investigadores en arquitectura, ingeniería y construcción (AEC). (Koskela, 1992) fue pionero en la implementación de la filosofía al sector construcción. Más adelante, en el año 1997 Glenn Ballard y Greg Howell crearon el *Lean Construction Institute*.

Los principios y métodos son similares a los obtenidos inicialmente para el sector industrial. Es así que LC busca mejorar continuamente el rendimiento de los procesos de construcción mediante la optimización de las actividades que añaden valor (conversión) y la minimización o eliminación de desperdicios en tiempo u otros recursos (flujo).

Existen muchas herramientas y técnicas LC que son tomadas de la filosofía Lean, así como también aquellas creadas específicamente para el sector construcción. Según sea la necesidad y el fin de las actividades las herramientas pueden ser aplicadas de manera separada o conjunta. La siguiente figura muestra algunas herramientas Lean aplicadas al campo de la construcción.

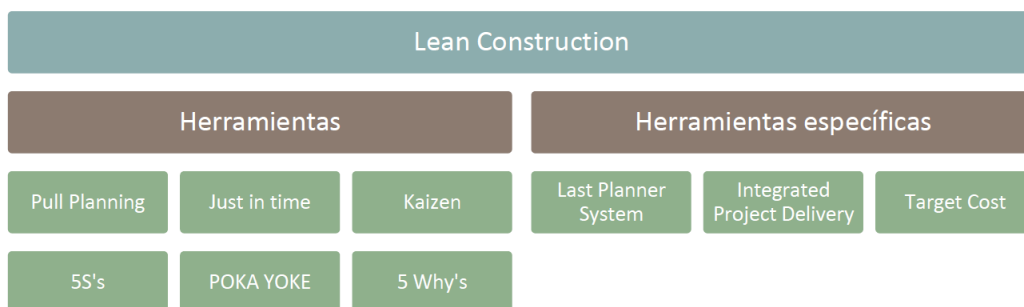


Figura 2.3. Herramientas de Lean Construction (Velasco Ruiz, 2018)

Las más utilizadas se describen a continuación:

- Last Planner System:

Es un sistema creado por (Ballard, 2000) que controla la productividad mediante procedimientos y técnicas. Según este sistema, en la construcción debe existir alguien (individuo o grupo) que decide las tareas específicas que se van a realizar al día siguiente, es llamado *Last Planner* o *Último Planificador*. Estas tareas son dirigidas a un equipo de trabajo creándose un compromiso entre todos los involucrados de las tareas para su cumplimiento. Entonces lo que SE HARÁ mañana es el resultado de un proceso de planificación (tomando en cuenta algunas restricciones), junto con lo que SE DEBE hacer, y dentro de las limitaciones o restricciones de lo que SE PUEDE (figura 2.5). Se diferencia del sistema tradicional que únicamente considera lo que SE DEBE hacer (figura 2.4).

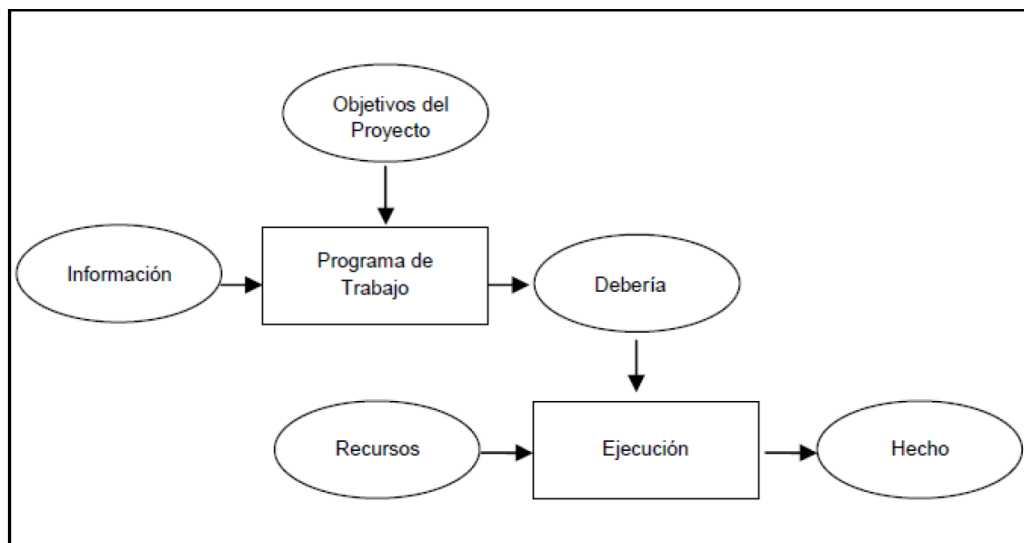


Figura 2.4: Estructuración del sistema de planificación tradicional (Ballard, 2000)

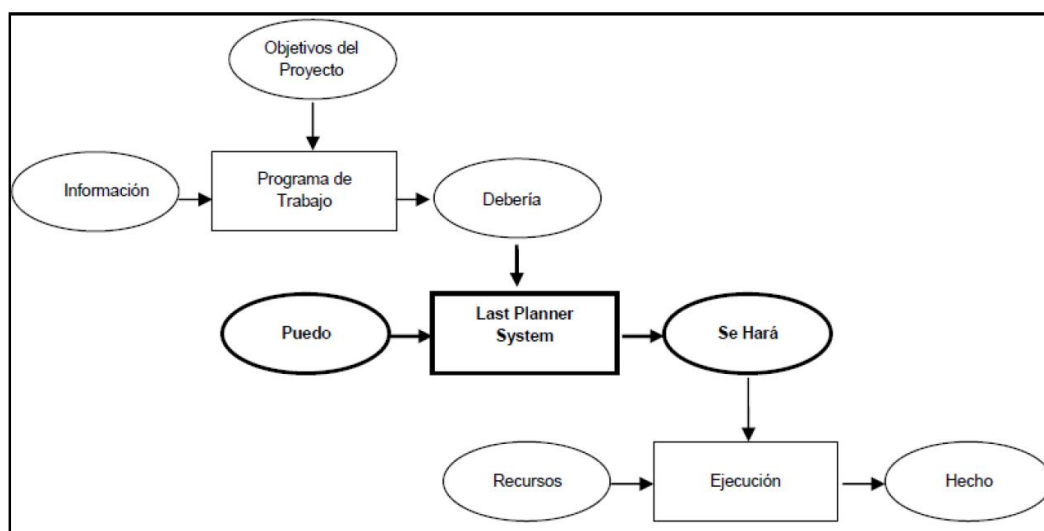


Figura 2.5: Estructuración del sistema de planificación LPS (Ballard, 2000)

Según (Ballard, 2000), creador del sistema, como se mencionó en el párrafo anterior, todas las tareas tienen tres categorías: deben, pueden y se harán. Estas reflejan cada nivel de planificación como sigue: el programa maestro indica lo que se debe realizar, el programa

intermedio prepara el trabajo y realiza la revisión de las restricciones y el plan semanal programa una serie de actividades que pueden ejecutarse con el compromiso de los agentes del programa.

- Integrated Project Delivery - IPD

Este modelo de ejecución de proyecto, a diferencia del tradicional que usa como ruta: diseño-licitación-construcción, define el trabajo en un proyecto como uno colaborativo, donde las personas que intervienen comparten el éxito o fracaso del proyecto. El cliente, proyectista y contratista general trabajan en un entorno colaborativo desde las fases iniciales hasta el inicio de la construcción del proyecto.

Al aplicar LC en el modelo, se obtiene LPDS (Lean Project Delivery System). El cual toma lo mejor de IPD y LC para alinear personas, sistemas, procesos de negocio y prácticas. Tiene la finalidad de aprovechar los talentos e ideas de los participantes para optimizar valor para el cliente, reducir residuos y maximizar la eficacia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción. (Ballard and Howell, 2003)

- Mapa de Flujo de valor (Value Flow Map)

Es un tipo de diagrama de flujo, el cual tiene como fin analizar y mejorar los pasos para entregar el producto. Verifica los procesos y la información desde su origen hasta la entrega al cliente. Del mismo modo son útiles para encontrar y eliminar desperdicios. VSM abordó todo el flujo del proceso en un método de tres pasos: en el que primero se produce un diagrama que muestra los flujos reales de material e información o el estado actual sobre cómo funciona el proceso real. Y, en segundo lugar, se produce un mapa del Estado Futuro para identificar las causas fundamentales de los desperdicios y, a través de mejoras en el proceso que podrían dar un gran impacto financiero al proceso, un flujo de proceso eficiente. (Rahani and Al-Ashraf, 2012)

2.2. CRADLE TO CRADLE

Cradle to Cradle™ (C2C) o “de la Cuna a la Cuna”, es una filosofía de diseño que impulsa la *economía circular*. Propuesto por William McDonough y Michael Braungart, de profesiones arquitecto y químico. Mediante su libro “*Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*”, (McDonough and Braungart, 2002) proponen el paradigma C2C para diseñar y lograr un producto el cual al final de su ciclo de vida pueda ser reutilizado, evitando llegar al vertedero y que no contenga componentes nocivos para la salud. De esta manera llegue a ser segura para las personas y el medio ambiente.

C2C surge como consecuencia del impacto que genera el sistema de producción actual al medio ambiente. El sistema actual de economía es *lineal*, es decir en un solo sentido o “*de la cuna a la tumba*”, ya que se extraen los recursos “*de la cuna*”, se transforman en productos (producir), se venden (consumir), y al final se eliminan (desechar) a algún tipo de “*tumba*” que es normalmente un basurero, vertedero o una planta incineradora (figura 2.6) y en el peor de los casos acaban en los mares o lagos. Ese sistema lineal está vinculado con un modelo ecológico tradicional que es la *eco-eficiencia*, es el más utilizado con éxito por muchas industrias. Consiste en el uso eficiente de los recursos y busca menos contaminación y residuos, que sean sobre todo renovables y que minimicen los impactos negativos sobre las personas y el medio ambiente. Aunque, para C2C este

modelo es amigable, no ataca directamente a las raíces. En la mayoría de los casos se fabrican los productos con el fin de:

- Reducir para el producto la cantidad de emisiones peligrosas generadas y materias primas extraídas. Sin embargo, reducir no acaba con el agotamiento y la destrucción, solo los ralentiza, haciendo que ocurran en pequeñas cantidades a lo largo de un periodo más largo de tiempo.
- Reutilizar los residuos generados. Pero, en muchos casos, estos residuos, y cualquier tóxico y producto contaminante que contengan, son sólo trasladados a otro sitio.
- Reciclar el producto. No obstante, para la fabricación de un nuevo producto obtenido del antiguo y lograr uno con las mismas propiedades y características se necesitan procesos complicados y otros productos. El material reciclado pierde sustancialmente su calidad con el tiempo. A esto se llama *infraciclar*.

Lo propuesto por C2C, como ya se mencionó, se basa en el sistema de *economía circular*, cuyo modelo es la *eco-efectividad*, lo que significa llegar a la ciclabilidad con materiales saludables, es decir mantener el valor de todos los componentes de un producto para que no existan residuos, a través del reuso, reparación, redistribución, refabricación, etc. Es diseñar el producto con una visión de este modelo desde el principio, desde su concepción, así aprovechar al máximo todas sus características al final de su ciclo de vida.

“Eliminar el concepto de residuo significa diseñar las cosas -los productos, los embalajes y los sistemas- desde su puro origen, pensando que no existe el residuo”.
 (McDonough and Braungart, 2002)

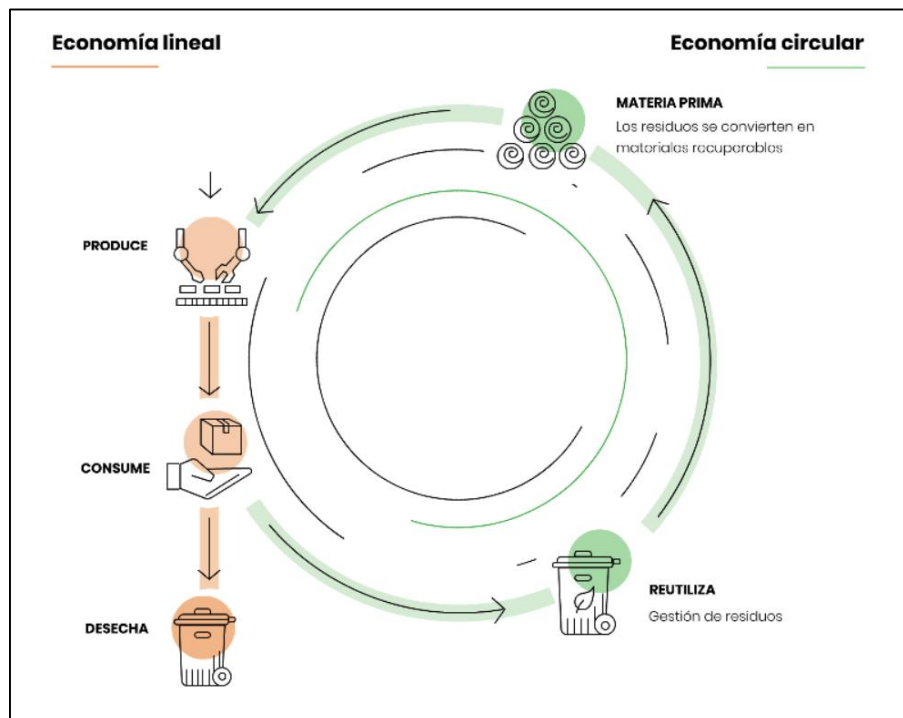


Figura 2.6: Economía lineal y Economía circular (Construcía, 2020b)

2.2.1. Tipos de materiales según Cadle to Cradle

Para esta filosofía de diseño el planeta posee dos metabolismos discretos: el biológico y el técnico.

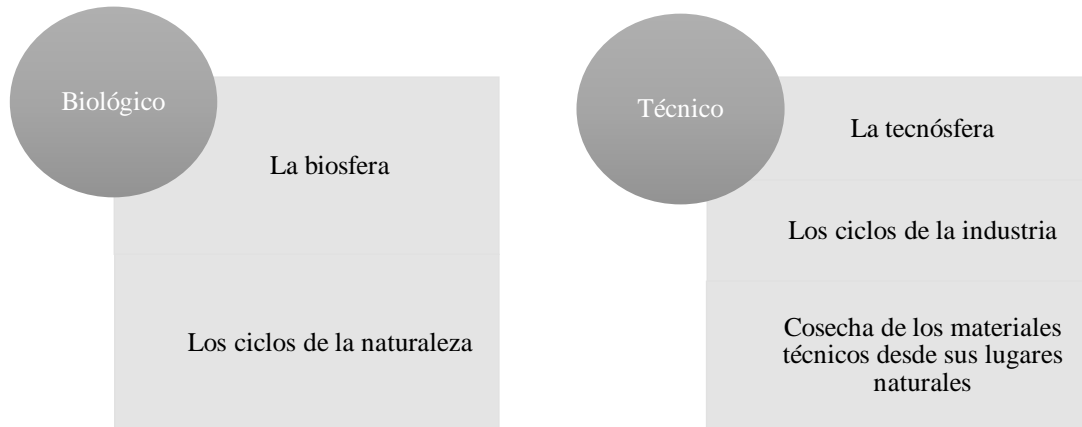


Figura 2.7: Tipos de metabolismos en el planeta (McDonough and Braungart, 2002)

Desde siempre, el hombre ha tomado sustancias de la tierra como materias primas, las cuales luego de ser extraídas, alteradas y procesadas se convierten en cantidades de materiales que normalmente, en el sistema de economía actual, no son devueltos a la tierra sin perjudicarla. Mientras tanto, con un diseño adecuado, todo lo producido por las industrias podría alimentar de forma segura a ambos metabolismos de la tierra. C2C pretende lograr eso, que los materiales que componen los productos no se contaminen mutuamente, para que logren o bien perderse en la biosfera como nutrientes biológicos o, permanecer en los bucles de los ciclos técnicos de las industrias como nutrientes técnicos (McDonough and Braungart, 2002).

Esto quiere decir que los materiales son como:

- Nutriente biológico: material o producto diseñado para volver a los ciclos naturales, o, mejor entendido como ser consumido por los microorganismos del suelo o por los animales, es decir sean biodegradables de forma saludable tras su uso.
- Nutriente técnico: material o producto diseñado para volver al ciclo técnico, al metabolismo industrial en el que se originó.

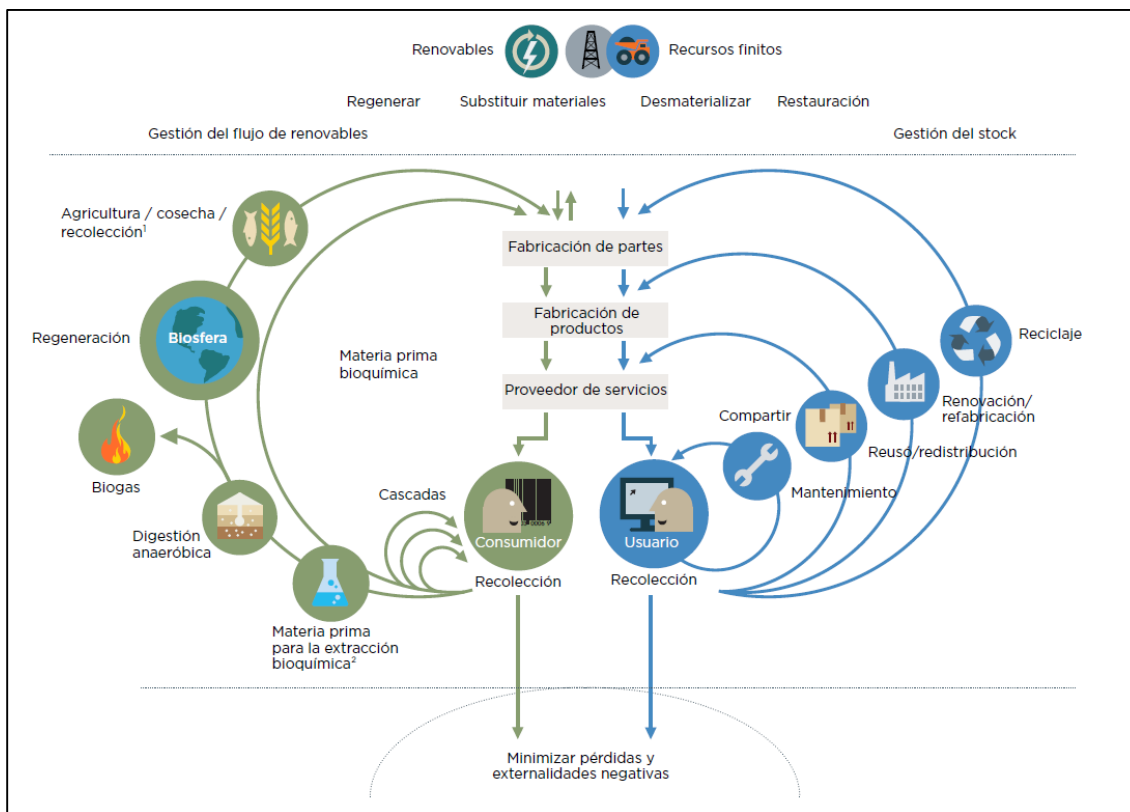


Figura 2.8: Diagrama de Economía Circular con ciclos biológicos y técnicos (Ellen MacArthur Foundation, 2017a)

Debido a que los materiales técnicos deben volver al ciclo industrial, una propuesta de C2C lleva al concepto de *producto de servicio*. Bajo este concepto, un producto podría ser concebido no como una posesión total para luego desecharlo, sino como un servicio por un periodo de tiempo establecido, así no se pagaría por materiales complejos que no sean capaces de reutilizarse una vez finalizada la vida del producto. Cuando se haya terminado con el producto, el fabricante pasaría a recogerlo, desensamblarlo para luego reutilizar los materiales técnicos y hacer nuevos productos. Y finalmente el cliente, podría adquirir otro producto por otro tiempo establecido y a un menor coste. Actualmente existe un marco legal en la Unión Europea conocido como Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP), el cual forma parte de su política de residuos. Este marco indica que los productores están obligados a la organización de la gestión de sus productos una vez se conviertan en residuos. RAP sería una normativa relacionada a *producto como servicio*.

Algunos materiales no pueden ser incorporados a ninguno de los metabolismos mencionados, esto es porque contienen materiales peligrosos. Se les conoce como invendibles. Estos deberían ser diferenciados por los fabricantes, y apartados o almacenados en lugares seguros hasta llegar a ser tratados por diferentes tecnologías y así eliminar su toxicidad.

2.2.2. Principios Cradle to Cradle

C2C posee 3 principios en los que fundamenta su diseño circular:

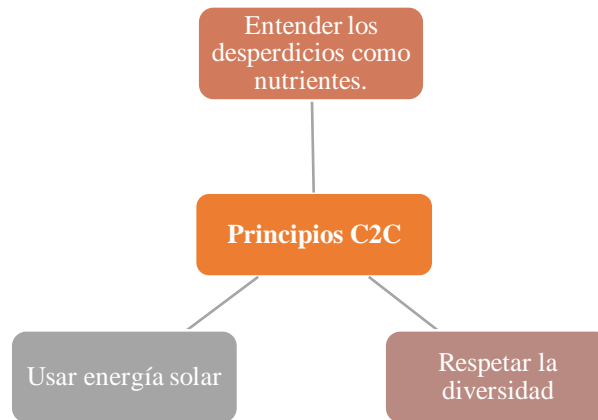


Figura 2.9: Principios Cradle2Cradle (Minkov, Bach and Finkbeiner, 2018)

Como ya se mencionó antes, C2C busca que no existan residuos, para ello se debe diseñar un producto o proceso que permita que este se descomponga logrando obtener los materiales como nutrientes individuales y que estos sean alimento para un metabolismo. Así mismo, para este modelo el sol es una potente fuente, con la cual la sociedad puede ser diseñada para cosechar ingresos solares como energía solar, calor solar, luz natural, energía eólica, etc. (Minkov, Bach and Finkbeiner, 2018). Por último C2C plantea diseñar el producto respetando la diversidad, esto se relaciona a la diversidad de los lugares y de las culturas, de los deseos y las necesidades de todos aquellos elementos exclusivamente humanos (McDonough and Braungart, 2002).

Para la transición del sistema lineal “de la cuna a la tumba” uno debe ser consciente que estos cambios implicarán esfuerzo, compromiso, constancia y cambio de mentalidad. Como referencia para los fabricantes de productos que quieren hacer este cambio hacia el modelo de eco-efectividad propuesto por C2C, se pueden utilizar los siguientes 5 pasos indicados por sus pioneros:

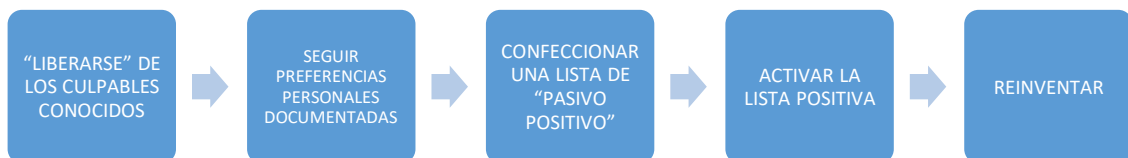


Figura 2.10: Pasos hacia la eco-efectividad (McDonough and Braungart, 2002)

“LIBERARSE” DE LOS CULPABLES CONOCIDOS

También es conocido como “filtro de diseño”, es decir que desde el inicio del diseño se debe eliminar las sustancias dañinas. Puede que no siempre se logren eliminar en su totalidad, pero se debe pensar que algunas sustancias como PVC, cadmio, plomo y mercurio producen daños conocidos que siempre librarse de ellos es un paso positivo.

SEGUIR PREFERENCIAS PERSONALES DOCUMENTADAS

No siempre se podrá saber si un producto es o no del todo inofensivo para el medio ambiente. En estos casos es importante saber tomar buenas decisiones para usar un material en el diseño de algo. A continuación, tres puntos de preferencia para ayudar con la elección de materiales:

- Preferir la inteligencia ecológica. Por ejemplo, aquellos que posean certificaciones ambientales, aquellos que sean devueltos al fabricante y desensamblados, productos que liberen a la atmósfera lo menos posible.
- Preferir el respeto. Simplemente se basa en preferir aquellos materiales o productos en el cual su producción haya respetado a las personas que lo hicieron, comunidades cerca de las fábricas, personas que manejan y transportan, y finalmente al cliente.
- Preferir el deleite, la celebración y la satisfacción. Sensaciones que debe producir la elección de un producto en cuanto a su diseño.

CONFECIONAR UNA LISTA DE “PASIVO POSITIVO”

Con la información disponible del contenido de un producto, se realiza un inventario detallado de los materiales empleados para ese producto y las sustancias que se pueden liberar durante su fabricación y uso. Se hace un análisis de esas sustancias distribuyéndose en las siguientes listas:

- La lista X: incluye sustancias problemáticas o con sospecha de ellas (se adopta el principio de precaución), es decir aquellas que sean dañinas para la salud humana y ecológica. Estas sustancias deben tener la máxima prioridad para erradicarlos completamente del producto, o si es posible poder sustituirlos.
- La lista gris: consta de sustancias problemáticas cuya erradicación no es tan urgente. También de aquellas sustancias problemáticas que son esenciales para la fabricación y que no dispone por el momento de sustitutos viables.
- La lista P: es la “*lista positiva*”, que contiene sustancias saludables y seguras para su uso.

Luego se podrá hacer un rediseño del producto. Simplemente es analizar el producto y sus componentes e intentar erradicar o sustituir las sustancias dañinas, esto con el objetivo de que la mayor cantidad de sustancias provengan de la lista P.

ACTIVAR LA LISTA POSITIVA

Al lograr sustituir o eliminar algunos componentes y usar solamente los que sean saludables y seguros lleva a desarrollar una nueva línea de productos que eviten los problemas del producto anterior. Aquí es donde el diseño completo comienza, consiste en diseñar productos que se conviertan en nutrientes a los metabolismos biológicos o técnicos, ya no pensar en la sustitución.

Con un diseño inicial del producto enfocado hacia la eco-efectividad, que llevaría a su desensamblaje, se tendría un válido conocimiento de sus componentes. Con eso se crea el concepto de “*pasaporte de supraciclado*”, que da información de los componentes del producto para que las futuras generaciones conozcan y sepan cómo pueden utilizar los materiales y las sustancias que las componen como nutrientes una vez haya terminado su ciclo de vida.

REINVENTAR

Este paso no es el final absoluto. Pero va más allá de sólo diseñar un producto para que sus componentes al final sean nutrientes biológicos o técnicos. Se trata de diseñar para que en el tiempo de uso contribuya de manera positiva al medio que lo rodea.

Los pasos mencionados conducen a poder cambiar de mentalidad como se diseñan los productos. Empezando por aplicar la lista positiva a las cosas ya existentes, luego imaginar y crear nuevas cosas. C2C pretende abrir la imaginación y crear cosas nuevas, basadas en las necesidades del cliente en un contexto evolutivo, técnico y cultural. (McDonough and Braungart, 2002)

2.2.3. Cradle to Cradle Certified

Para fortalecer los pensamientos de esta filosofía de diseño, se crea CRADLE TO CRADLE CERTIFIED™, que es un estándar de calidad reconocido globalmente que gestiona el “*Cradle to Cradle Products Innovation Institute*” (C2CPII), una entidad independiente y sin ánimo de lucro. La certificación evalúa y certifica a los productos para ser seguros y sostenibles de acuerdo a criterios de economía circular, que son:



Figura 2.11: Criterios para la certificación Cradle2Cradle de un producto (*Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020*)

Un producto puede obtener una clasificación: Básico, Bronce, Plata, Oro o Platino, en cada criterio antes mencionado. La clasificación final que otorga esta certificación a los productos es la más baja de los 5 criterios.

2.3. INDICADORES

Es importante entender el concepto de *indicador* al ser usado como propósito en la presente investigación. Existen varias definiciones sobre el término, básicamente se puede definir como aquella información, expresión o dato que ayuda a conocer o valorar las características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una o varias variables. La característica principal del indicador es que tiene que ser medible.

Las ventajas que ofrece el indicador es la objetividad y la comparabilidad y deben ser contruidos con un claro criterio de utilidad y asegurar la disponibilidad de los recursos que se necesitan para su medición (Billorou, Pacheco and Vargas, 2011).

Como es el caso de esta investigación, los indicadores son muy utilizados por las organizaciones o compañías y son llamados indicadores de gestión. Estos permiten medir un proceso, evento o fenómeno para controlarlo, dando como resultado datos e información que son utilizados para plantear o ejecutar acciones que conducen a una mejora (Betancourt, 2017).

Hay muchos tipos de indicadores que surgen de diferentes perspectivas. La figura 2.12 muestra su clasificación:

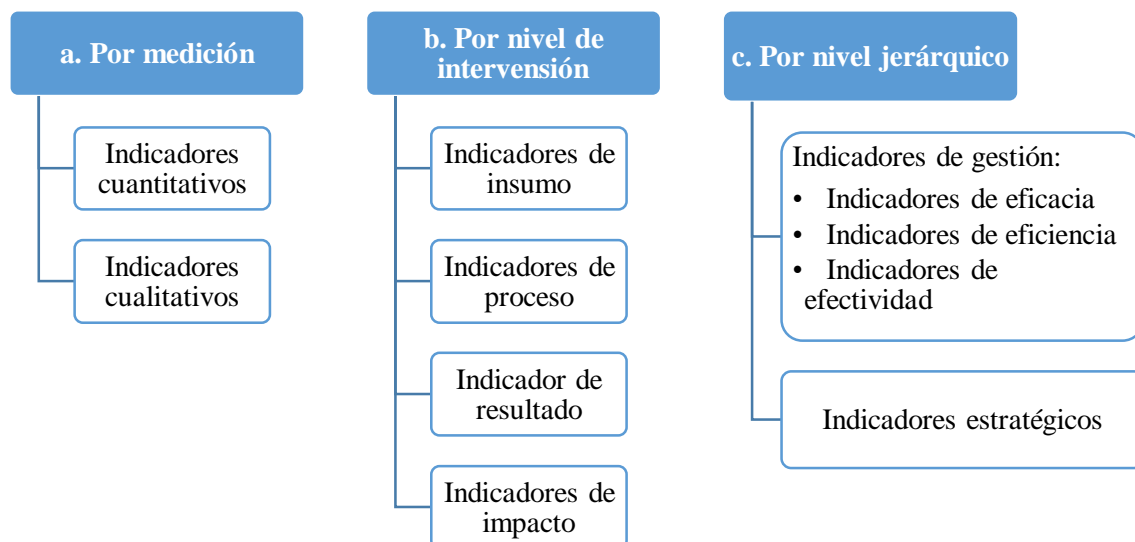


Figura 2.12: Clasificación de los indicadores (Betancourt, 2017)

- a. Los indicadores más conocidos son aquellos clasificados **por el nivel de medición**:
- Indicadores cuantitativos: representación numérica o medida de cantidad.
 - Indicadores cualitativos: la medida nos resulta un valor no numérico. Ellos consiguen demostrar, describir o medir algo que ha sucedido.

Los indicadores que se utilizan en las organizaciones son los categorizados **por el nivel de intervención** y **por el nivel jerárquico**. Los indicadores se utilizan según el nivel o jerarquía de la organización o el tipo de resultados que se espera: si son más o menos estratégicos.

- b. En la categoría de indicadores **por nivel de intervención**, los indicadores muestran resultados que se utilizan según el nivel estratégico que tenga la organización:
- Indicadores de insumo: miden los recursos disponibles y su utilización.
 - Indicador de proceso: muestra cómo se están realizando las actividades.

- Indicadores de resultado: mide las salidas de proceso determinando si se logró o no el objetivo.
 - Indicadores de impacto: miden el cambio o comportamiento a largo plazo.
- c. Los indicadores dentro de las clasificaciones **por nivel jerárquico** son los **indicadores de gestión** y los **indicadores estratégicos**, estos tipos de indicadores son utilizados dentro de una organización para mejorar, monitorear o conocer el impacto de algún proceso.
- **Indicadores de gestión**, son utilizados con fines internos dentro de la organización, puede ser para conocer el comportamiento de alguna nueva metodología, como es el caso de esta investigación, y se encuentran a nivel de las gerencias o departamentos. Miden la relación entre los insumos y los procesos que permite analizar el comportamiento y desempeño. Dentro de este tipo se encuentran los indicadores de (Betancourt, 2017):
 - Eficiencia: mide el rendimiento de recursos e insumos para conseguir objetivos, examina el aprovechamiento de los recursos para lograr lo propuesto previamente.
 - Eficacia: mide la relación entre los objetivos a alcanzar y lo conseguido realmente, es decir, este indicador mide lo que se entrega contra lo que se espera que lograr.
 - Efectividad: junta las dos definiciones anteriores, mide la consecución de objetivos con el mayor aprovechamiento de recursos:
 - A través del tiempo: Se compara diferentes períodos de tiempo.
 - A través de otro: Se compara con la competencia o con los datos del sector al que pertenece.

Los indicadores de gestión se pueden sistematizar (figura 2.13), se observa que la eficiencia tiene como entrada a los recursos y los procesos para su evaluación, mientras que la eficacia evalúa los productos, que es lo que realmente se ha conseguido, respecto a las necesidades de los clientes, es decir los objetivos. Por consiguiente, ambos se dirigen a evaluar la productividad real de los procesos que conlleva a la efectividad.

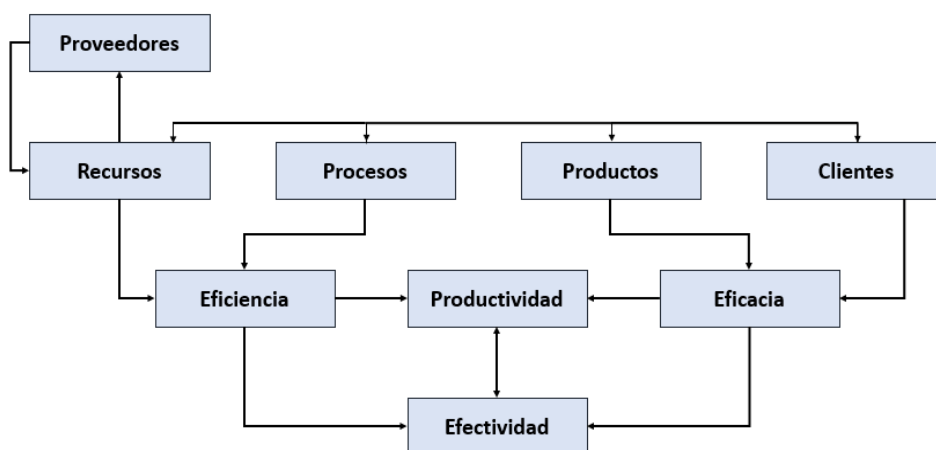


Figura 2.13: Visión sistemática de indicadores de gestión (Silva Matiz, 2012)

- **Indicadores estratégicos**: es la evaluación de productos, efectos o impactos de la organización haciendo que su enfoque se encuentre en niveles altos de estrategias, por ejemplo, para una visión institucional dentro del país o a nivel internacional.

2.4. SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y CERTIFICACIÓN

Actualmente se cuenta con varios sistemas de evaluación y certificación de sostenibilidad de edificios, estas pueden ser herramientas muy importantes para el diseño, construcción, funcionamiento y deconstrucción de los edificios. Tienen como finalidad disminuir el impacto negativo que el sector de la construcción genera sobre el medio ambiente, también ayudan con la productividad, la comodidad, la salud y el bienestar de los ocupantes. Establecen estrategias para cumplir diferentes criterios propuestos y luego evalúan su cumplimiento, brindando al edificio un nivel de clasificación final.

2.4.1. LEED

Leadership in Energy and Environmental Design, es un sistema de evaluación y clasificación de edificios ecológicos otorgada por el USGBC (U.S. Green Building Council) desarrollado en Estados Unidos.

Ofrece clasificación a todos los tipos de edificios, también incluyen nuevas construcciones, acondicionamiento interior y núcleo y fachada (*core and shell*), en todas sus fases de ciclo de vida. Existen diferentes sistemas LEED en función del tipo y uso del edificio. La última actualización hasta el momento es la versión V4.1. Se ha extendido internacionalmente, por lo que existe flexibilidad para abordar las estrategias según el país donde sea aplicado.

Este sistema está enfocado en la **sostenibilidad y la eficiencia energética** donde busca los más altos estándares en las siguientes categorías:

1. Proceso integrador
2. Ubicación y transporte
3. Sitios sustentables y ubicación.
4. Eficiencia de agua.
5. Energía y atmosfera.
6. Materiales y recursos.
7. Calidad ambiental interior.
8. Innovación.
9. Prioridades regionales.

Este sistema posee cuatro niveles de clasificación (Platinum, Gold, Silver y Certified) que dependen del puntaje obtenido. Se pueden obtener hasta un total de 100+10 puntos.

2.4.2. DGNB

La certificación “*DGNB System*” es un sistema de evaluación de edificios desarrollado por el DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen o German Sustainable Building Council) en Alemania.

Ofrece su clasificación a edificios, distritos e interiores en diferentes usos.

El sistema DGNB toma en cuenta todo el ciclo de vida del proyecto, puede certificar un edificio desde la planificación hasta la deconstrucción. Una ventaja del sistema es que las estrategias propuestas en cada fase se pueden tomar como herramientas o métodos de

construcción sostenible integral. La figura 2.14. muestra un diagrama de las fases de un proyecto de edificación y las certificaciones que se pueden obtener.

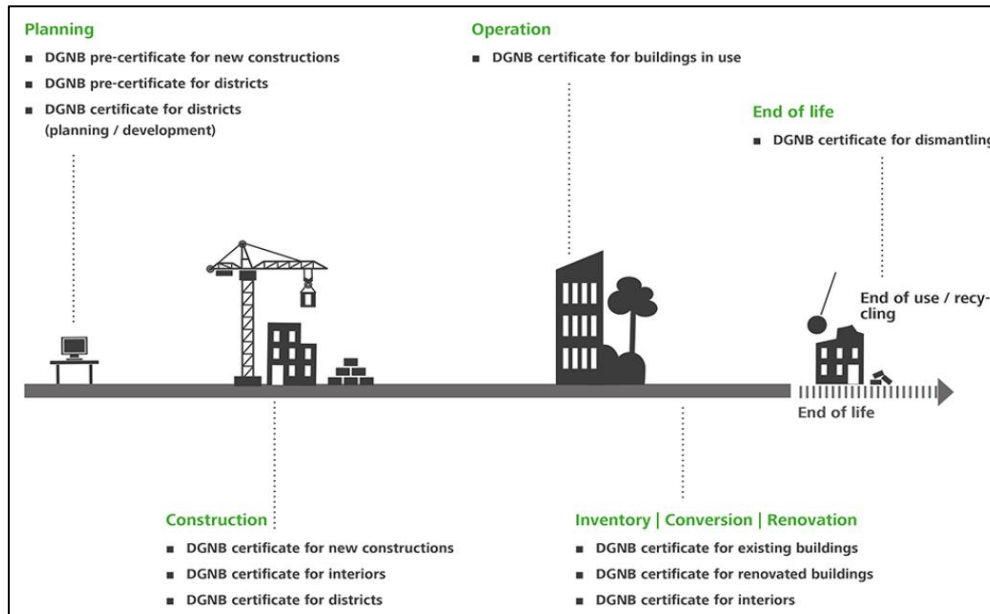


Figura 2.14: Certificaciones DGNB por cada fase de un proyecto de edificación (DGNB, 2020b)

Es sistema está basado en normas y estándares europeos, también tiene un enfoque internacional ya que los criterios de estas normas pueden ser adaptables a cualquier parte del mundo. Este enfoque es añadido con mayor fuerza en su última versión *DGNB System Version 2020 International* y reúne estándares tanto alemanes, europeos como internacionales.

El sistema DGNB está basado en los siguientes valores:

1. Enfoque de las personas
2. Economía circular
3. Diseño de calidad
4. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)
5. Protección del clima
6. Innovación

La **economía circular** está considerada en el sistema desde su versión del 2018 principalmente en la evaluación del ciclo de vida del edificio, para la elección consciente de los productos de construcción respecto a su composición y origen y la facilidad de recuperación y reciclaje.

El sistema DGNB para la evaluación, toma en cuenta por igual **aspectos sostenibles: ecológicos, económicos y socioculturales**, incluidos en los siguientes criterios que se evalúan de manera diferente según el uso de la edificación:



Figura 2.15: Conceptos para evaluación del sistema DGNB (DGNB, 2020d)

El sistema de calificación DGNB se mide según el porcentaje de desempeño alcanzado en cada criterio. Inicialmente se fijan valores objetivo para cada uno de ellos según el uso del edificio. Se pueden obtener las calificaciones Platinum, Gold, Silver y Bronze.

2.4.3. BREEAM

BREEAM® (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) es un sistema de evaluación y certificación de edificaciones, desarrollado por la organización BRE Global de Reino Unido.

El sistema puede ser aplicado tanto a infraestructuras, desarrollos urbanísticos como la construcción de nuevos edificios de todo tipo. Edificios ocupados y en uso también están incluidos. Evalúa en distintas fases del ciclo de vida desde el diseño y construcción hasta el uso y la renovación. SU más reciente versión es la V

BREEAM evalúa el desempeño de la **sostenibilidad ambiental, social y económica** de un activo, en función de un sistema de créditos en las siguientes categorías: Gestión, Salud y bienestar, Energía, Transporte, Agua, Materiales, Residuos, Uso del suelo, Contaminación e Innovación

Cada una de estas categorías aborda factores como el diseño de bajo impacto y la reducción de las emisiones de carbono, diseño de durabilidad y resiliencia, adaptación al cambio climático y valor ecológico y protección de la biodiversidad. Esos factores también dependen de las distintas tipologías edificatorias y su uso. BREEAM adopta conceptos de economía circular con respecto a los deshechos y materiales.

2.4.4. WELL

WELL Building Standard es un sistema de calificación de edificios desarrollada por el IWBI (International WELL Building Institute PBC). Certifica todo tipo de edificios, espacios interiores y comunidades. Cuenta con su más reciente versión, la segunda, que es WELL v2.

WELL está enfocado exclusivamente en la **salud y bienestar de las personas**, basándose en diez conceptos para la evaluación: Aire, Agua, Alimentación, Iluminación, Movimiento, Confort térmico, Sonido, Materiales, Mente y Comunidad.

Existen cuatro niveles de clasificación WELL (Platinum, Gold, Silver y Bronze) que dependen del puntaje obtenido, en la cual 100 es el máximo puntaje. Son 10 puntos adicionales por el concepto de Innovación.

Estudios desarrollados por el IWBI concluyen que la implantación de medidas de bienestar en las empresas mediante la certificación WELL, no sólo reduce los costes a través de la disminución del estrés y el absentismo laboral, sino que también mejora la productividad, contribuyendo a la retención del talento y aumentando la moral de los empleados.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La metodología empleada inicia con la identificación del problema, que se tiene a partir de las necesidades de la empresa Construcía de desarrollar proyectos de edificación que generen un impacto positivo en las personas y en el entorno, y también solucionar los problemas típicos internos de la organización. A partir de ello nace la nueva metodología Lean2Cradle® y con ello L2C Scorecard para medir su desempeño al ser aplicado a los proyectos.

Para comprender la nueva metodología L2C®, se describen sus dos pilares: Lean Construction y Cradle to Cradle, en base a fuentes bibliográficas de tesis doctorales, libros, blogs en línea y artículos científicos. Adicionalmente se mencionan aspectos relevantes de sistemas de certificación de edificios sostenibles por medio de sus páginas webs y de otros organismos acreditados por ellos, y blogs en línea. Construcía también toma de referencia estas certificadoras para identificar algunos indicadores para la guía L2C Scorecard.

Luego se describe a la empresa Construcía y su metodología de trabajo. Como parte de su metodología se incluye todo lo necesario para conocer y comprender las estrategias que tiene L2C®. Se hace esta documentación según información proporcionada por Construcía, entre ellos se encuentra documentación propia de la empresa como procedimientos de trabajo, fichas de información de la metodología, casos de estudio de dos proyectos que incluyen informes de valor real del edificio, análisis de valor residual, pasaporte de materiales y manual de deconstrucción. Para complementar las bases que L2C® adopta, se amplía información mediante análisis bibliográfico de diferentes libros, artículos y casos de estudios de edificios sostenibles. Para terminar, se describe la guía L2C Scorecard, a través del documento proporcionado por Construcía, donde se muestran los indicadores ya establecidos.

Previamente a la propuesta de indicadores, se pretende dar a conocer cuál es el estado actual de la implementación de LC en las fases de estudio, para ello se hizo análisis y consulta bibliográfica de artículos científicos. Adicionalmente se mencionó cómo la economía circular está siendo aplicada al sector de la construcción, esto mediante fuentes bibliográficas de informes de planes estratégicos desarrollados para ciudades, países, etc.; y algunas normativas relacionadas a la sostenibilidad en edificios. Una vez analizado LC y la economía circular, se hace la propuesta de indicadores según cada principio que tiene L2C®. Cada indicador se desarrolló de tal manera que pueda ser comprendido y aplicado fácilmente. Los indicadores son creados para esta investigación en base a normativas, artículos de investigación, publicaciones como guías o manuales, y algunos requisitos que aplican las certificadoras de edificios.

Como demostración del uso de los indicadores propuestos se realiza un caso de estudio de un edificio realizado por Construcía. Se realiza el cálculo de indicadores relacionados con el consumo de energía y la ciclabilidad de materiales con datos obtenidos del Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción proporcionado por Eco Intelligent Growth, también de información obtenida de la página web de la empresa encargada de la arquitectura del edificio y finalmente datos hipotéticos del desempeño del edificio.

Con los resultados obtenidos de los indicadores utilizados para el caso de estudio se obtiene una clasificación L2C®, la cual es analizada. Luego se hace la interpretación de todos los indicadores propuestos, analizando su efectividad para evaluación de L2C.

Por último, se redactaron las conclusiones obtenidas a lo largo de la investigación y las futuras líneas de investigación que podrían desarrollarse.

CAPÍTULO 4: CONSTRUCCIÓN

En el presente capítulo, en el apartado 1 se describe a Construcción, empresa constructora tomada como estudio para la presente investigación. Su metodología Lean2Cradle® se describe en el apartado 2. Esta metodología cuenta con procedimientos y guías que establecen tareas a seguir en las diferentes fases del proyecto, uno de ellos es L2C Scorecard, que es una guía utilizada para medir el desempeño de la metodología en los proyectos a lo largo de su ciclo de vida, esto se describe en el apartado 3.

4.1. DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍAS DE TRABAJO

Construcción es una empresa privada española perteneciente al sector construcción. Empezó con sus servicios en el año 2002 con la construcción de edificios para diferentes usos.

En el 2012 empezó a aplicar la filosofía Lean Construction en sus proyectos, con la finalidad de lograr mayor eficiencia en sus procesos constructivos, lo que generó beneficios en el aumento de la productividad y reducción de costes operativos. Luego, en el año 2013 la empresa adoptó los principios del modelo de diseño circular Cradle to Cradle en la ejecución de sus proyectos, eligiendo materiales saludables que puedan volver a la tierra una vez utilizados, o reutilizarse indefinidamente en el ciclo técnico. Lean2Cradle® fue desarrollada durante varios años, siendo en el año 2018 la primera vez que se aplicó a un proyecto constructivo. Es una metodología innovadora de construcción circular que permite la sostenibilidad a la vez que la rentabilidad en un proyecto. Construcción es por hoy una organización pionera en España en el diseño y construcción de edificios basados en la economía circular.

Una organización que tenga el compromiso de contribuir con una economía circular será aquella que busque lograr un beneficio económico, un beneficio social y, al mismo tiempo, contribuir con la sostenibilidad global reduciendo la dependencia de combustibles fósiles, incrementando fuentes de energía renovables y reduciendo las emisiones, la cantidad de residuos y el impacto sobre las personas (Ruiz, Canales and García, 2019). Es por ello que Construcción tiene un propósito: transformar el sector de la construcción hacia un modelo circular que impacte positivamente en las personas, la sociedad y el ecosistema, a la vez que genera valor económico (Construcción, 2020c).

4.2. LEAN2CRADLE®

Lean2Cradle® (L2C®) es una metodología propia de Construcción que combina los beneficios de Lean Construction y Cradle to Cradle. L2C® diseña, planifica y gestiona el proceso de construcción, así como la renovación de espacios y la deconstrucción del edificio para preservar y maximizar el valor de los materiales con el fin de garantizar la salud y el bienestar de los ocupantes y la protección del medio ambiente. Para lograr esos objetivos es importante la erradicación de dos impactos negativos del sector de la construcción que son la toxicidad de los materiales y la generación de residuos (Construcción, 2020b).

Es una metodología enfocada en el pensamiento de diseño C2C basado en la economía circular que es el primer pilar de L2C®. Se plantea inicialmente utilizar materiales sin sustancias tóxicas y luego, en la fase de diseño identificar cómo serán utilizados después de su primera vida útil. De esta manera el edificio, una vez llegue a su fin de uso, no generará residuos, entonces, también se conoce al edificio como ecológico. El edificio se concibe como un banco de materiales, en el cual todos los materiales, en el fin de uso, pueden volver a ser utilizados. Debido a esto, el

edificio debe mantener el mismo valor de activos de los materiales mientras está en la fase de uso. Estos activos se pueden extraer para obtener un alto valor de reventa cuando se eliminan de su uso actual o cuando un edificio se renueva o finalmente se deconstruye (Stopwaste and Arup, 2018). Al final de la deconstrucción, la suma de los valores de todos los activos (materiales extraídos) se conoce como valor residual del edificio.

La aplicación de la perspectiva de C2C en la construcción también genera un tipo diferente de valor, como indica (KPMG, Construcción and Eco Intelligent Growth, 2019) los ocupantes del edificio se benefician a través de mayores niveles de productividad, mayores niveles de confort y un entorno de trabajo más saludable. También, la sociedad se beneficia de una menor huella de carbono. En un escenario de construcción circular se podría reducir las emisiones globales de carbono de los materiales de construcción en un 38% en el año 2050, debido a una reducción de demanda de acero, aluminio, cemento y plástico (Ellen MacArthur Foundation, 2019). En consecuencia, el medio ambiente se beneficia de menores impactos de toxicidad en el ciclo de vida del edificio.

Para cumplir con los principios C2C se debe hacer uso de materiales diseñados según los preceptos de circularidad y que no emitan sustancias tóxicas. Aquellos usados para los proyectos con la metodología L2C® en lo posible deben poseer la certificación *Cradle to Cradle Certified™*. Por otro lado, una desventaja en eso es que el precio de estos materiales puede aumentar al ser diseñados diferente a la forma tradicional.

Lean Construction es beneficioso para las prácticas tradicionales y, a su vez, también tiene una influencia positiva en las prácticas ecológicas (Dües, Tan and Lim, 2013). Al usar LC como segundo pilar, se pueden compensar los mayores costes mencionados en el párrafo anterior ya que según estudios (McKinsey & Company, 2012) al aplicar LC, los proyectos logran reducciones del 10 al 30% en el tiempo de finalización esperado y ahorros de costes del 10 al 25 %; cambios como éstos pueden ofrecer mejoras de VAN del 5 al 10%. Entonces LC optimiza los procesos del proyecto, eliminando aquellos que no agregan valor al producto final y reduce riesgos en los sobrecostes, plazos de entrega y recursos humanos.

El sector construcción con sistema de economía circular debe considerar la circularidad en todas las fases del ciclo de vida del edificio, como punto de partida en las fases de inicio y diseño (Huovila, Iyer-Raniga and Maity, 2019), no sólo hacia el final de la vida útil en las fases de uso o deconstrucción. De esta manera L2C® para la vida útil de un edificio diferencia las fases de: Inicio o Conceptualización, Diseño, Ejecución, Uso o Post Ocupación y Deconstrucción o Desmantelamiento.

4.2.1. Principios y metodología L2C®

L2C® combina los principales objetivos de LC y los principios de C2C para basar los fundamentos de su metodología. Principalmente se alinea en generar menos impacto al medio ambiente y lograr mayores niveles de confort y protección de la salud de las personas que habitan los edificios. Y finalmente conseguir beneficios económicos que deben generarse para los principales interesados del proyecto en la construcción (fase de inicio, diseño y ejecución), la

gestión de instalaciones o *facility management* (fase de uso) y la deconstrucción. Los principios son los siguientes:

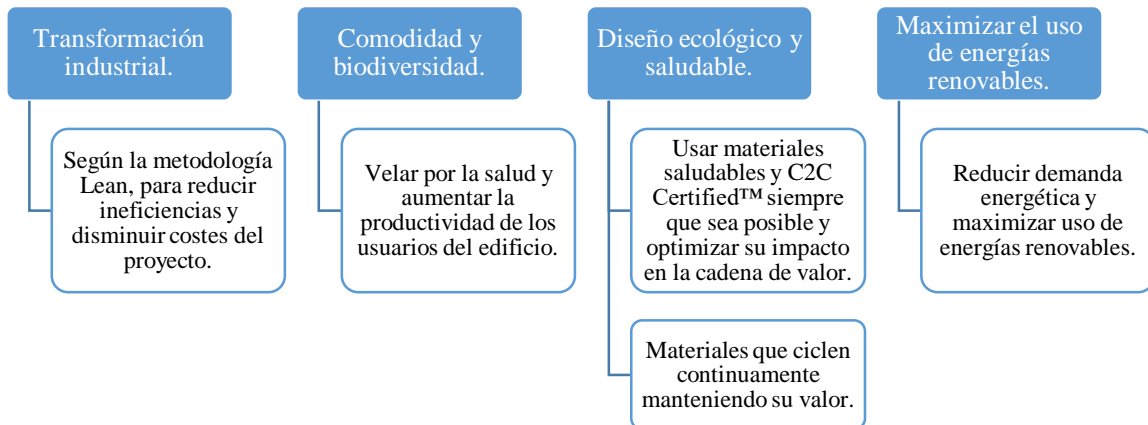


Figura 4.1 Principios Lean2Cradle® (KPMG, *Construcción and Eco Intelligent Growth*, 2019)

La metodología L2C® desarrolla estrategias y adopta herramientas para alinear sus procesos a esos cuatro principios o lineamientos, y de esta manera conseguir los resultados esperados.

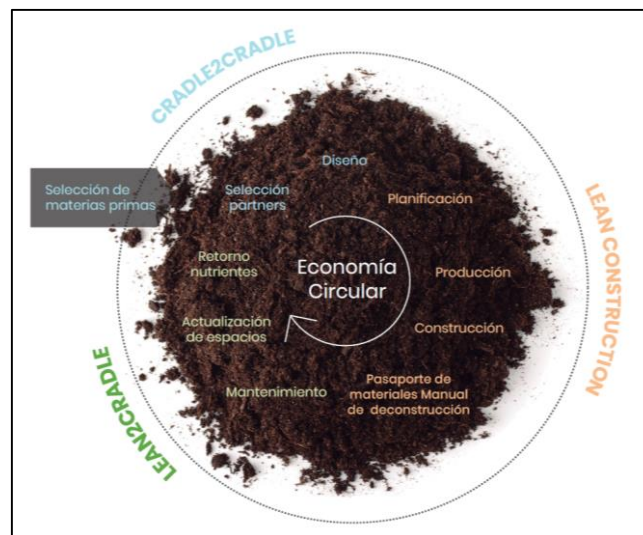


Figura 4.2: Modelo Lean2Cradle® (Construcción, 2018)

La figura 4.2. muestra como es la actuación de los sistemas C2C, LC y L2C® en el ciclo de vida de un proyecto de edificación. En las primeras fases es importante: seleccionar proveedores y otros colaboradores que trabajen bajo el enfoque circular C2C, por ejemplo, los proveedores seleccionados de materiales deben en lo posible contar con la certificación C2C en sus productos; y en el diseño del edificio tener un enfoque C2C, lo que es pensar siempre en que los materiales deben volver al ciclo técnico o biológico, evitando desechos en los vertederos y por ello deben ser instalados de manera que permitan su fácil recuperación. La filosofía LC principalmente actúa la ejecución o construcción para aumentar la productividad y agregar valor al producto final. Por último, la gestión de los procesos de la fase de uso, como el mantenimiento, la actualización de espacios (rotación de materiales conservando su valor de activo) y retorno de nutrientes (materiales recuperados) es realizada mediante L2C®.

4.2.2. Procesos y estrategias L2C®

Los procesos y estrategias utilizados para L2C® se basan en sus dos pilares:



Figura 4.3: Procesos y Herramientas L2C® (Construcción and Eco Intelligent Growth, 2020)

Si los consideramos secuencialmente dentro de las fases del ciclo de vida del proyecto se tiene lo siguiente:

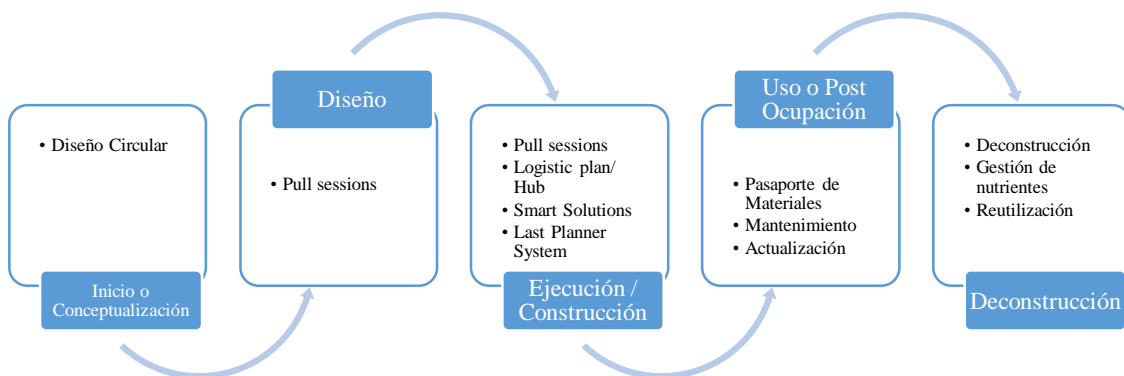


Figura 4.4: Procesos y herramientas Lean2Cradle® en las fases del ciclo de vida de un proyecto de edificación (KPMG, Construcción and Eco Intelligent Growth, 2019)

A continuación, se explican las principales estrategias y herramientas de L2C® que los hace diferente de una construcción tradicional.

4.2.2.1. Diseño Circular

La base de L2C® es conceptualizar el proyecto como circular, esto es empezar con un diseño circular con el fin de extraer los materiales al término de su vida útil conservando su máximo valor para poder ser recuperado. Normalmente un edificio dependiendo de su uso está diseñado para durar varias décadas. Aun cuando, los sistemas internos y muchos materiales interiores necesitan ser reemplazados en periodos de tiempo más reducidos. Los componentes estructurales

pueden durar tanto como el edificio, o ser parcialmente reemplazados o modificados cuando el edificio sufra un cambio significativo como alteraciones en su capacidad estructural o la durabilidad del material se vea afectado. En estos casos, una elección de diseño y métodos de construcción pueden aumentar la probabilidad de reutilización de componentes al final de su vida útil (Stopwaste and Arup, 2018).

El diseño circular para el edificio se debe realizar en la etapa inicial del proyecto. Este proceso es la clave para la forma en que se usan, el impacto que tienen en su entorno y cuánto tiempo permanecen en forma para su propósito (Acharya, Boyd and Finch, 2020). Para lograr esos fines, L2C® adopta la estrategia de diseño circular más conocida en el sector, se conoce como “el modelo de capas de corte” o “construcción en capas” (Brand, 1995).

Ese modelo de diseño circular indica que los edificios están hechos de capas separadas y entrelazadas (figura 4.5), cada uno con diferente tiempo de vida útil. Esto resulta innovador, es diferente a los métodos de construcción actuales, donde la recuperación de materiales valiosos de los edificios no es económicamente viable (Circle economy, Odijk and Bovene, 2014).

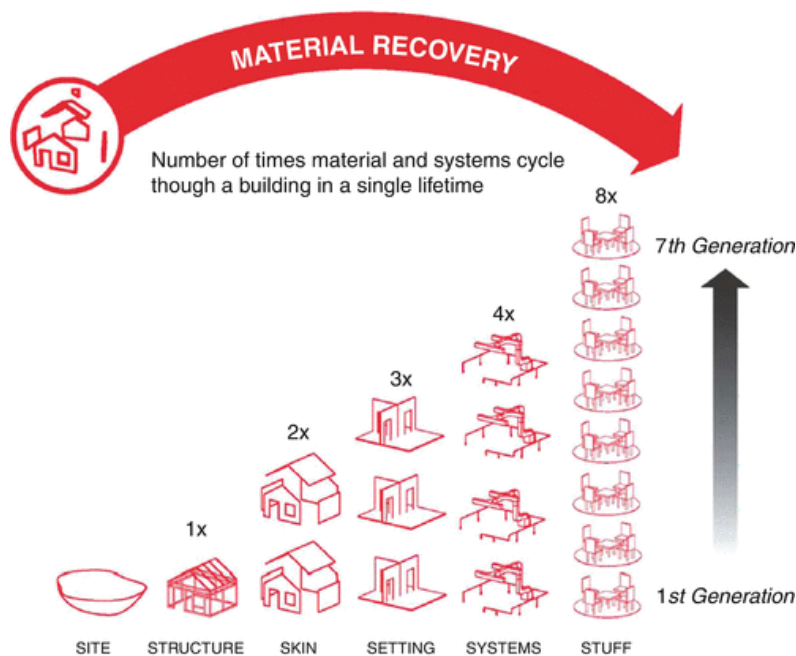


Figura 4.5: Ciclos de rotación de materiales en un edificio (W. McDonough + Partners sobre la idea de S. Brand)

- Site (sitio): es la ubicación fija del edificio.
- Structure (estructura): es el esqueleto del edificio, incluidos los cimientos y los elementos de carga.
- Skin (piel): es la fachada y el exterior.
- Setting (distribución): equipamiento interno sólido, incluye paredes, pisos, techo y puertas.
- Systems (sistemas): son los sistemas de tuberías, cableado de comunicación y electricidad, energía, calefacción, ventilación y partes móviles como ascensores y escaleras mecánicas.
- Stuff (cosas): resto del equipamiento: internet, mobiliario, iluminación y TIC

Entendiéndose un edificio como un sistema dinámico en capas, permite que los elementos con diferentes ciclos de uso puedan separarse y luego recuperar. Esto significa que los elementos de mayor duración pueden permanecer en uso incluso si aquellos elementos con menor vida útil requieran ser reemplazados en una o más ocasiones, resultando beneficioso ya que no afecta todo el edificio. De esta manera facilita la reutilización, remanufactura y reciclaje; evita el desperdicio de activos a gran escala; reduce el uso de recursos y otros impactos ambientales y; elimina la necesidad de construir edificios y activos completamente nuevos (Acharya, Boyd and Finch, 2020).

A partir de un diseño circular se garantiza el desmontaje o deconstrucción del edificio. La deconstrucción es el desensamblado del edificio en partes reutilizables, reparables o remanufacturables que a diferencia de la demolición que genera desechos cuyo valor sólo puede recuperarse a través de procesos de reciclaje, la deconstrucción permite mayor acceso a valiosos materiales de construcción listos para servir en su próxima vida útil, de esta manera reduce la mano de obra y las emisiones de huella de carbono relacionados con el procesamiento de los materiales reciclados (Stopwaste and Arup, 2018). Es por ello que L2C® incluye el diseño de la deconstrucción desde las fases iniciales del diseño del proyecto, lo que es modificable en el tiempo con los cambios y actualizaciones del proyecto. La deconstrucción del edificio debe basarse en los ciclos de rotación de los materiales que lo constituyen, esta puede ser parcial o integral y siempre secuencial (Construcción and Eco Intelligent Growth, 2019a).

Considerando la deconstrucción en el diseño del edificio se debe incluir el desarrollo de ensamblajes, componentes, materiales, técnicas de construcción y sistemas de información y administración. Algunas estrategias para el diseño circular enfocado a una deconstrucción son (Guy and Ciarimboli, 2008):

- Utilizar materiales reutilizados de alta calidad que fomenten los mercados para la recuperación de materiales.
- Minimizar los diferentes tipos de materiales lo que reduce la complejidad y número de procesos de separación.
- Evitar los materiales tóxicos y peligrosos que aumentan los posibles impactos en la salud humana y ambiental y el posible coste futuro del manejo.
- Evitar los materiales compuestos y hacer productos inseparables del mismo material que luego sean más fácil de recuperar.
- Evitar materiales que puedan cubrir conexiones dificultando la localización de los puntos de conexión.
- Minimizar el número de diferentes tipos de componentes para aumentar las cantidades de componentes recuperables similares.
- Separar la estructura del revestimiento para permitir una mayor adaptabilidad y separación de los componentes estructurales con los no estructurales.
- Proporcionar tolerancias adecuadas para permitir el desmontaje con el fin de minimizar la necesidad de métodos destructivos que impacten los componentes adyacentes.
- Permitir el desmontaje paralelo para reducir el tiempo en el sitio del proceso de deconstrucción.

Las estrategias mencionadas de deconstrucción son utilizadas para el diseño que L2C® plantea en sus proyectos. Por lo que debe existir un plan de deconstrucción integral que asegure

que los elementos de construcción reutilizables se recuperarán según lo previsto. El manual debe asegurar las siguientes tareas (Guy and Ciarimboli, 2008):

- Declaración de la estrategia de diseño de deconstrucción.
- Lista de elementos de construcción (Material Passport).
- Instrucciones de como deconstruir: descripción de la metodología de deconstrucción que depende del tipo de materiales que conforman los sistemas constructivos y su conexión con los demás, la secuencia, el manejo y procedimiento de retiro de materiales

Como se puede comprender, la deconstrucción está enfocada a una economía circular al buscar materiales que no impacten al medio ambiente ni a las personas en la fase de uso, que sean de alta calidad y puedan ser recuperados manteniendo un alto valor residual. Del mismo modo, busca evitar desperdicios de tiempo en el proceso, mediante el uso de conexiones que garanticen una fácil separación de componentes, lo que también está relacionado con los principios de LC de eliminar o reducir actividades que no agreguen valor.

4.2.2.2. Estrategias Lean Construction

Lean Construction es utilizado para optimizar la productividad en los procesos tanto en el diseño y ejecución como en la deconstrucción.

En la fase de diseño se utiliza la estrategia de las Pull sessions, que son reuniones grupales colaborativas entre todos los interesados del proyecto para definir de manera clara los requisitos del proyecto y darle una visión de circularidad. La ejecución del proyecto, se centra en el máximo rendimiento y minimización de costes, por eso la aplicación de estrategias LC permite construir un producto con menos pasos de ejecución, acumular menos inventario, requerir menos embalaje o espacio de almacenamiento, para de esta manera generar menos residuos. L2C® tiene identificado aplicar una o más de las 4 siguientes estrategias:

Pilares Fundamentales	Estrategias / Herramientas	Documentos
1. Planificación detallada	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación grupal colaborativa (Pull sessions) • Last Planner System 	Estudio logístico Zonas de trabajo Planificación diaria Planos avance diario
2. Entregas de material “Just In Time”	<ul style="list-style-type: none"> • Almacén logístico • Hub de materiales 	Plan logístico
3. Prefabricación	<ul style="list-style-type: none"> • Smart Solutions • Innovación • Ingeniería de Valor 	Guía prefabricaciones
4. Aprendizaje y mejora	<ul style="list-style-type: none"> • Clúster de proveedores 	Archivo de datos Actualización procesos Reuniones conclusiones

Tabla 4.1: Estrategias Lean Construction en la fase de construcción para Lean2Cradle® (Construcción)

- Planificación detallada: se utiliza el sistema Last Planner.
- Entregas de material “Just In Time”: se cuenta con un Almacén Logístico o Hub, donde acopian la mercancía anticipadamente y luego se gestiona para hacer entregas diarias a obra en el momento que se necesita para que no se mantengan inventarios.

- Prefabricación: “Smart Solutions” para reducir tiempo en obra, se hace uso en lo posible de sistemas pre construidos para que en obra sólo se pueda ensamblar.
- Aprendizaje y mejora continua: se almacena información y gestiona el conocimiento.

LC es utilizado también para optimizar los procesos de la fase de deconstrucción, para lo cual se tienen identificadas las siguientes estrategias:

Estrategias	Herramientas	Temas a tratar
1. Planificación detallada	. Planificación grupal colaborativa (Pull sessions)	. Alcance de deconstrucción y los elementos a deconstruir. . Tiempo y medidas necesarias para la ejecución. . Solapamientos y medidas de seguridad necesarias para proteger y gestionar los materiales correctamente.
2. Cronograma de la deconstrucción	. Last Planner System	. Zonas de trabajo. . Planificación diaria.

Tabla 4.2: Estrategias Lean Construction usados para Deconstrucción (Construcúa and Eco Intelligent Growth, 2019a)

En el Capítulo 5 se hará un mayor análisis de cómo la filosofía LC puede ser aplicado en la fase de desconstrucción del proyecto.

4.2.2.3. Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción

Una vez concluida la ejecución del edificio, es importante tener la información de todos los materiales que componen el edificio. El *Pasaporte de Materiales* o *Material Passport* y el *Manual de Deconstrucción*, conceptos del pensamiento de diseño C2C, son documentos que se obtienen luego de finalizada la fase de ejecución del proyecto.

El **Pasaporte de Materiales** es un documento que reúne todos los materiales a distintos niveles que componen el edificio y muestra toda la información disponible para que puedan ser identificados, cuantificados y ubicados en el edificio, también las materias primas de las que está compuesto, caracterización y si son saludables o no (ver modelo de Caracterización del Espacio por un Pasaporte de Materiales en Anejo 1). Los sistemas constructivos (figura 4.6.) están compuestos de varios productos y materiales unidos entre sí. Al conocer cómo se han unido y cuáles son sus materiales básicos permite evaluar mejor su destino de recuperación o llamado también vía de ciclaje (Ver apartado 4.2.2.4. Vías de Ciclaje de los Materiales).

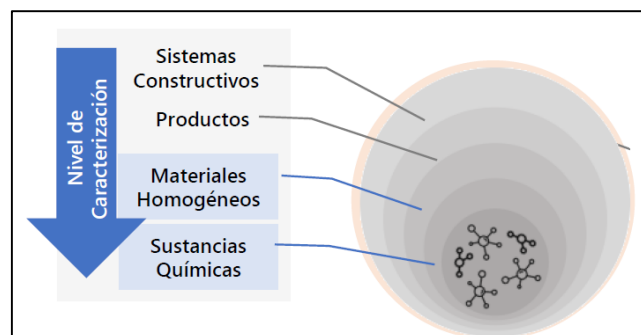


Figura 4.6: Niveles de los materiales y productos (Construcúa and Eco Intelligent Growth, 2019a)

Los datos que alimentan este documento se basan en la información contenida en el estado de mediciones, planos del proyecto y fichas técnicas de los productos proporcionados por los proveedores. El contexto ideal para la realización de un Pasaporte de Materiales es un proyecto digitalizado y colaborativo. Es así que L2C® recoge información del proyecto diseñado y modelado mediante la aplicación del sistema BIM (Building Information Modelling).

En síntesis, como herramienta principal para la construcción circular, el Pasaporte de Materiales tiene los siguientes beneficios (Construcía, 2020b):

- El edificio se convierte en un banco de materiales que podrán ser reutilizados indefinidamente, con la máxima calidad posible.
- Se evitan los residuos.
- Se reduce la extracción de materias primas.
- Se previenen problemas asociados a la toxicidad de los materiales y a cambios en las regulaciones futuras.
- Mantiene el valor de los materiales, productos y componentes a lo largo del tiempo.
- Incentiva a la cadena de suministro a producir materiales y productos de construcción sostenibles y circulares.
- Facilita a promotores y directores la elección de materiales de construcción sostenibles y circulares.
- Favorece la logística inversa y la recuperación de productos, materiales y componentes.

Por último, esta herramienta también muestra el valor económico o residual de cada material según las diferentes vías de ciclaje establecidas en el Manual de Deconstrucción.

En el **Manual de Deconstrucción** el diseño circular juega también un papel importante para su confección, éste ayuda a conocer de que están formados los sistemas, dónde están ubicados, el valor actual y valor futuro de los sistemas, ciclo de rotación y las estrategias o vías de ciclaje, para que de esta manera se identifique los procesos de renovación o deconstrucción del edificio en el futuro (ver modelo de Ficha de Resumen de Sistemas a Deconstruir del Manual de Deconstrucción en Anejo 2).

4.2.2.4. Vías de Ciclaje de los Materiales

El principio máximo de la economía circular es “Safe, then Circular”, es decir cualquier producto que no sea saludable no debe ser reciclado, se debe retirar del sistema (Ellen MacArthur Foundation, 2017b). Y como ya se explicó en el modelo de *eco-efectividad* de C2C, la ciclabilidad se refiere a que el material o producto permanezca en su ciclo perpetuamente.

Para garantizar la recuperación de materias primas y su valor, tanto económico, social como ambiental se establecen vías de ciclaje según las características y estado del material. Una vía de ciclaje de un material, producto o sistema, es el camino que garantiza su forma más adecuada de recuperación con el fin de generar el menor impacto posible al medio ambiente.

Establecer adecuadas vías de ciclaje es la base para los procesos de Actualización y Gestión de Nutrientes. La actualización se refiere a la rotación o sustitución de los materiales dentro de la fase de Uso del edificio. Como ya se mencionó en el punto 2.3.2.1. Diseño Circular, los materiales identificados dentro de cada capa del edificio tienen diferentes tiempos de vida útil y se pueden separar, lo que permite su extracción y luego recuperación como nutriente. L2C® busca que la recuperación llegue al ciclo biológico o técnico. Lo mismo ocurre con la Gestión de Nutrientes, pero es en la fase final del edificio, cuando todos los materiales, productos y sistemas deben ser

desensamblados y recuperados. La gestión del material al final de su tiempo útil se realiza según la vía de ciclaje que es identificado y aparece en el Manual de Deconstrucción.

Ciclar un producto o material puede realizarse por diferentes estrategias, como la reutilización, reparación, refabricación, remanufactura, reciclaje, etc (ver Anejo 1). Para identificar la vía de gestión óptima de recuperación se aplica el *Criterio del Inner Circle* (Ciclo más Interno). El criterio establece el orden de preferencia para la recuperación, según el tipo de nutriente que sea el material.

Si el material es previsto de retornar al ciclo técnico, se debe dar preferencia a aquella opción que permita mantener su valor por más tiempo:

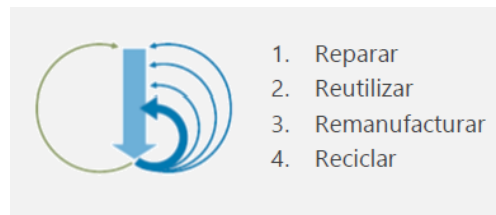


Figura 4.7: Estrategias de recuperación para el ciclo técnico (Ellen MacArthur Foundation)

Para materiales con retorno al ciclo biológico, se debe dar preferencia para usar los materiales en usos que se ajusten a su calidad, puede ser compostaje, cascada de nutrientes o digestión anaeróbica (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020).

Por lo que las vías para maximizar el impacto positivo de la recuperación de nutrientes en el espacio que considera L2C® son (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2019a):

- **Take Back System:** en el cual el fabricante se responsabiliza de la gestión del producto y permite la recuperación del material, puede escoger cualquier vía de ciclaje para recuperar al máximo su producto evitando el vertedero o incineración. *Take Back System* se refiere al concepto de obtener un producto como servicio que establece C2C.
- **Reciclaje:** los materiales entran en el sistema de reciclaje convencional, se evita el destino final de vertedero o incineración. El porcentaje de recuperación será menor que en un escenario *Take Back System*, y limitado por las prestaciones y limitaciones del sistema actual.
- **Ciclo Biológico:** al final de su vida, el material saludable y apto para el ciclo biológico, se devuelve al suelo como fuente de carbono orgánico, imitando a la naturaleza. Por Cascada de Nutrientes, Compostaje o Digestión Anaeróbica.
- **Retirada:** los materiales problemáticos o tóxicos serán retirados de manera segura de la circulación de materiales evitando que genere un impacto negativo.

El proyecto finaliza con la adecuación del espacio para los nuevos usuarios. Incluye la limpieza del espacio y la actualización del Pasaporte de Materiales si es el caso de una remodelación del espacio.

4.3. L2C SCORECARD

Existen diferentes razones por las que una empresa quiere medir la contribución de sus acciones para conocer si están avanzando favorablemente hacia el logro de sus objetivos. En este

caso Construcía, con el fin de conocer el valor de las iniciativas establecidas por L2C® hacia una construcción circular cuenta con un sistema de evaluación. Esta evaluación va más allá de conocer el comportamiento sostenible del edificio, pretende establecer decisiones estratégicas a nivel empresarial para mejorar y así aplicarlos en futuros proyectos, y también conocer su contribución con 9 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 del Organismo de las Naciones Unidas (Construcía, 2020a).

Construcía ha comenzado a medir el desempeño de sus estrategias L2C® en algunos proyectos mediante una guía o marco de seguimiento que es llamado *L2C Scorecard*. Esta cuenta con una serie de indicadores basados en marcos normativos, investigaciones existentes como también en la experiencia de su equipo técnico.

Los indicadores son identificados dentro de cada principio L2C® para finalmente obtener el nivel de desempeño que alcanzó la metodología en el proyecto. Los niveles de evaluación final, considerados del más alto al más bajo son:

- Platium
- Gold
- Silver
- Bronze
- Basic

Estos indicadores con los que cuenta L2C Scorecard hasta el momento solo fueron identificados para evaluar el proyecto dentro de las primeras tres fases de su ciclo de vida. Para dar mayor exactitud al momento en el que deben realizarse las evaluaciones se dividen las fases como se muestra en la figura 4.8.

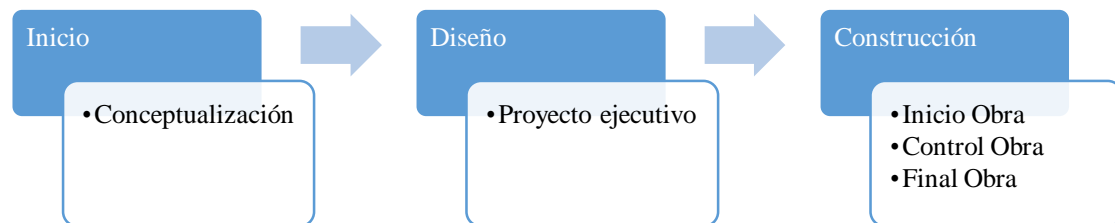


Figura 4.8: Fases y sub-fases del proyecto considerados según L2C Scorecard (Construcía)

Los indicadores califican el comportamiento de las estrategias L2C® al final del *proyecto ejecutivo, inicio de obra, control de obra y final de obra*.

A continuación, se hace una breve descripción de los indicadores establecidos por Construcía en las fases mencionadas. A partir de las cuales se propone nuevos indicadores en el Capítulo 5.

4.3.1. Indicadores según Transformación Industrial

Se tiene identificados indicadores relacionados a los principales objetivos del proyecto que son **Tiempo total del proyecto** y **Coste Total**, estos pretenden mostrar resultados en porcentaje que indican la reducción que se tuvo respecto a los valores previstos iniciales. Según la filosofía LC, como se mencionó antes, L2C® plantea el uso de 4 estrategias, por tal motivo se plantea un indicador relacionado al número de estrategias aplicadas: **Nivel de Implementación de Lean**. L2C® tiene identificados proveedores e industriales que conocen de la metodología y trabajan según ello, por lo cual mediante su indicador **Homologación Industrial L2C®** miden la cantidad de industriales y proveedores que tienen dicha homologación frente al total que participa en el

proyecto. La plataforma digital colaborativa **BIM** se evalúa según el grado de uso, se desea lograr su uso como herramienta de diseño. El grado de satisfacción de las personas es primordial para L2C®, por eso se establece el indicador **Calidad- Grado de satisfacción**, donde por medio de herramientas se desea conocer las diferentes percepciones en los trabajos realizados en obra, de los empleados, subcontratistas, cliente/inversor y usuario. Por último, se evalúa la **Idoneidad del equipo** de trabajo según la verificación de 3 parámetros identificados.

4.3.2. Indicadores según Comodidad y Biodiversidad

Se hace la evaluación de aspectos relacionados a la **Implementación de estrategias para integrar el espacio en el entorno** y **Diseño activo** donde establecen un número de estrategias a cumplir y califican su aplicación. El nivel de comodidad de las personas es fundamental, por eso los indicadores como **Promover la luz natural** y **Vistas al exterior** evalúan la superficie (m²) del edificio ocupada que se ve beneficiada con esas características. Del mismo modo **Mejoras acústicas** evalúa características exigidas por la normativa y lograr ser superiores. Por último, la **Gestión del agua** evalúa estrategias aplicadas más allá de los requisitos normativos.

4.3.3. Indicadores según Diseño ecológico y Saludable

Se desarrollan indicadores referentes a los materiales, productos y sistemas utilizados para el edificio. **Productos Cradle to Cradle Certified™** que evalúa el porcentaje de la cantidad de materiales con esta certificación, **Materiales con bajas emisiones COVs** (compuestos orgánicos volátiles) que evalúan la cantidad de materiales utilizados con certificaciones que avalen las bajas emisiones. **Calidad del aire interior** que evalúa la aplicación de estrategias para mejorar la calidad del aire. **Flexibilidad** evalúa la superficie ocupada que ha diseñado para ser transformable, adaptable a necesidades cambiantes en el tiempo.

Un diseño circular garantiza la recuperación de los materiales evitando su eliminación en los vertederos, es por eso que **Residuos en obra** evalúa la cantidad de residuos enviados al vertedero. Finalmente se tienen indicadores que evalúan las cantidades de materiales utilizados para el edificio como **Material Passport**, como cantidad de materiales correctamente identificados en el documento, **Material Ciclable**, como productos identificados para ser reciclados o compostados y **Plan de Deconstrucción** que evalúa la cantidad de material que es incluida y analizada en el documento.

4.3.4. Indicadores según Maximizar uso de Energías Renovables

En este principio los indicadores identificados evalúan el **Uso de energía de origen renovable**. Así mismo se desea una reducción de la energía consumida, para ello identifican dos indicadores: **Minimizar consumo de energía respecto al valor recomendado** según el diferente uso del proyecto. Y en último lugar **Minimizar consumo asociado a la iluminación artificial respecto a valores de referencia establecidos**.

CAPÍTULO 5: INDICADORES L2C® PARA FASE DE USO Y DECONSTRUCCIÓN

En el presente capítulo se proponen indicadores para las fases de Uso y Deconstrucción de un proyecto de edificación. Estos indicadores serán utilizados para evaluar el desempeño de la metodología L2C® en un proyecto de edificación al aplicar sus estrategias. Los indicadores propuestos formarían parte de la guía L2C Scorecard.

Los indicadores propuestos son clasificados según los principios de la metodología L2C®: transformación industrial, comodidad y biodiversidad, diseño ecológico y saludable y, maximizar el uso de energías renovables (ver Lista de Indicadores en Anejo 3).

El resultado obtenido de cada indicador cualitativo o cuantitativo es clasificado dentro de un Nivel L2C® luego de haber sido calculado o evaluado. Se clasifica al valor obtenido del indicador dentro del nivel “Basic” aquellos valores de 0, es decir que no aplicaron para ese caso; valores permitidos por las normativas de referencia; valores considerados como si estuvieran en el caso de una economía lineal; o en algunos casos juicio propio.

Los valores de “Basic” a “Platinum” se consideran dentro de la sostenibilidad; los valores “Basic” van creciendo o mejorando hasta alcanzar el nivel “Platinum”, este último con valores excelentes de desempeño que representan un cambio hacia el logro de los objetivos de L2C® dentro de la economía circular.

Para poder ser aplicados y entendidos fácilmente, que son características que debe tener el indicador, se realizó la propuesta siguiendo los siguientes ítems o puntos:

Ítem	Descripción
Indicador	Nombre del indicador
Relevancia	Se coloca información relevante sobre el indicador, como el motivo por el que debe ser aplicado para cumplir objetivos de L2C®. En ocasiones se menciona teoría para una mejor comprensión.
Unidad	Se coloca la unidad de medición del indicador.
Frecuencia de cálculo	Periodo de medición. Para la fase de uso es según determinado tiempo y para la fase de deconstrucción es único.
Descripción	Aquí se plantea la fórmula que se debe usar para medir los indicadores, los datos necesarios para el cálculo, la fuente de los datos y la frecuencia de recolección de los datos.
Responsable y Beneficiario	Se menciona que agente de la edificación es el responsable de medir el indicador y quien es el beneficiario de los resultados. Esta definición se hizo en base al esquema de trabajo tradicional que tiene la empresa Construcúa.
Meta	Se plantea la meta que el indicador debe conseguir. Al llegar a esta meta se estaría avanzando en lograr los objetivos que L2C® pretende, para proponer una meta básicamente se basa en algunas normativas, estudios realizados, o juicio propio. En ocasiones, cuando lo amerite el indicador, también se plantea el sentido esperado de los resultados, esto es principalmente en los indicadores de la fase de uso, puesto que su principal fin es monitorear los resultados.
Clasificación L2C Scorecard	Según el resultado del indicador se obtiene la clasificación L2C®. Los parámetros propuestos para lograr los niveles de clasificación: Basic,

	Bronze, Silver, Gold y Platinum se realizaron en base a normativas, estudios o investigaciones, parámetros que existen en L2C Scorecard en indicadores similares o juicio propio.
Referencias	Se menciona la fuente bibliográfica consultada para el desarrollo del indicador.
Fuente del indicador	Se menciona la fuente del origen del indicador, es decir de dónde procede su formulación. La gran mayoría de los indicadores propuestos son elaboración propia.

Tabla 5.1: Puntos identificados para desarrollar de cada indicador (Elaboración propia)

Los indicadores de evaluación para la metodología L2C® deben medir su desempeño al ser comparados con una meta, considerando el enfoque C2C basado en economía circular y la filosofía LC. Actualmente existen marcos normativos, investigaciones, criterios de certificadoras (para edificios sostenibles), estrategias de desarrollo, y otros estándares en España y en muchos países a nivel mundial que proponen indicadores para medir el desempeño de los proyectos de edificación en todo su ciclo de vida y también el avance de las empresas hacia una economía circular, aunque, no existe un marco de referencia ideal. Para establecer uno, depende del nivel de ambición, de madurez, del sector y de la tipología de la empresa (Ruiz, Canales and García, 2019). En lo referente a LC, la aplicación de esta filosofía no es muy utilizado en las fases en estudio (uso y deconstrucción). Esta filosofía es mayormente utilizada en la fase de ejecución o construcción por sus beneficios de coste y tiempo. No obstante, existen estudios que evalúan la aplicación de sus principios en esas fases.

5.1. LEAN CONSTRUCCIÓN EN FASE DE USO Y DECONSTRUCCIÓN

En la elaboración de un proyecto con enfoque de sostenibilidad (pensamiento ecológico) existen investigaciones sobre la aplicación de la filosofía Lean Construction. No obstante, muy pocas son las que han explorado el campo del uso y la deconstrucción. L2C® al utilizar la filosofía LC, utiliza en todas las fases de su ciclo de vida sus principios.

A continuación, se mencionan algunas prácticas Lean para las fases en estudio, algunos ya identificados por L2C®. En base a eso se proponen indicadores que están dentro del principio L2C® “Transformación industrial” debido a que genera principalmente beneficios económicos al proyecto.

La filosofía Lean puede influir y generar beneficios en ciertos aspectos dentro del desarrollo de una construcción ecológica. Los aspectos son (Dües, Tan and Lim, 2013):

- Técnicas de reducción de residuos.
- Personas y organización.
- Reducción del tiempo de entrega.
- Relación de la cadena de suministro.
- Herramientas y prácticas.

Entonces, las prácticas LC pueden influir principalmente en aquellas fases del ciclo de vida del edificio que involucren los aspectos mencionados anteriormente. El principal aspecto son los residuos. LC ve a los residuos de forma diferente que una construcción ecológica, aunque, ambos se dirigen a la eliminación del exceso. LC identifica 7 residuos o desperdicios en la producción,

como aquellas que no agregan valor y una construcción ecológica o sostenible apunta a eliminar los residuos que perjudican al medio ambiente. L2C® se adapta de esa manera.

En el campo de la deconstrucción LC no es muy aplicado, sin embargo, sus principios pueden ser utilizados de manera similar a la fase de ejecución. Realizar el proceso de deconstrucción con principios LC es posible en un enfoque de economía circular (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019).

La deconstrucción al tener procesos similares al de la construcción o ejecución, puede utilizar también sistema *Just in time* (JIT). Ya se vio que en las herramientas L2C®, las prácticas LC están presentes en la cadena de suministro del proyecto. En un enfoque circular, esta cadena abarca desde el diseño hasta el final de la vida útil del producto, es decir finalizar según su identificada vía de reciclaje, la cadena también incluye devoluciones por desperfectos. Entonces, los principios LC también pueden estar dentro de las fases de uso y deconstrucción del edificio.

JIT funciona como un sistema “*make to order*”, es decir pedir o fabricar cuando solamente exista demanda. En un ambiente L2C® la etapa de ejecución funciona de acuerdo a este sistema, lo que logra mantener poco inventario y espacio en los almacenes. Si consideramos la deconstrucción con un sistema JIT se debe pensar en dismantelar las partes del edificio cuando exista demanda de los elementos, es decir se debe conocer cómo se recuperará y por quien. De esta manera el Pasaporte de Materiales es la base para el inicio de las actividades de deconstrucción, ya que permite saber el destino de los materiales y productos cuando estos son extraídos del edificio. Conocer el destino de los materiales antes de empezar la fase de deconstrucción y estar en contacto con el proveedor (si el producto fue contratado como servicio “*Take Back System*”), o la entidad encargada del reciclaje, compostaje u otra gestión por ser material peligroso, a medida que se desmantele el edificio asegura el principio LC, de esta manera también se evita que el material llegue al vertedero.

Para hacer una comparación y evaluación de cómo pueden utilizarse los principios LC dentro de la planificación y realización de la deconstrucción se muestran los principios LC en la figura 5.1. divididos en dos categorías: gestión estratégica y planificación operativa.

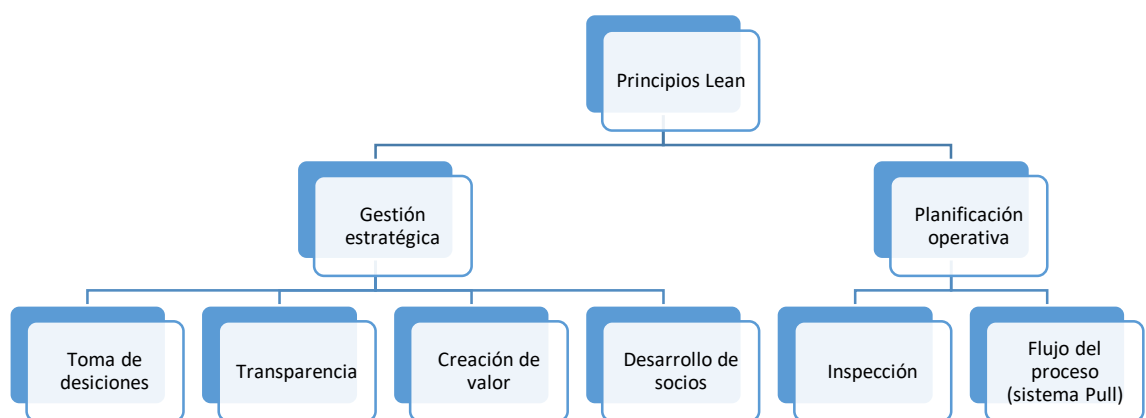


Figura 5.1: Clasificación de los Principios Lean (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019)

Como se mencionó, cada uno de los principios puede ser enfocado a la deconstrucción. En la gestión estratégica, por ejemplo, la definición de la metodología de deconstrucción se debe realizar en la fase de diseño del proyecto, la toma de decisiones se hará considerando un enfoque

circular, también deben estar involucrados las partes interesadas, como son el diseñador, constructor, el cliente, y los proveedores de materiales y demás servicios.

Los procesos deben ser transparentes, eso significa que todos los involucrados del proyecto deben tener acceso a la información sobre la deconstrucción y sus procesos. Esto involucra poder contar con una plataforma de integración, que a través de sus funcionalidades pueda también ser una herramienta de visualización que permita mantener la calidad de los elementos a obtener en la deconstrucción. La plataforma BIM, usado desde la fase de diseño, se puede utilizar para obtener información para la planificación de la deconstrucción y también monitorear su progreso en su ejecución. Por otro lado, se tiene que tener especial atención al modelo en la fase de uso, ya que los edificios tienen muchas renovaciones y modificaciones; también los elementos que lo componen (en diferentes capas) tienen diferentes ciclos de vida útil. Las incertidumbres involucradas en las prácticas actuales se pueden reducir utilizando herramientas y procesos BIM (Hübner et al., 2017).

En la deconstrucción la generación de valor de los procesos que lo componen, viene de la correcta deconstrucción del edificio dentro de la secuencia planificada, siendo compatible con la línea base. La deconstrucción según sea el tipo de metodología puede llevarse a cabo por fases. En L2C® según el diseño circular de *Construcción por Capas* se puede realizar iniciando con la capa que tiene elementos con menor tiempo de vida útil, hasta llegar finalmente al de mayor duración, que es el sistema estructural. La generación de valor también está vinculado a la recuperación de todos los materiales y productos del edificio por las vías de ciclaje descritas en el Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción.

El método “Pull” también puede ser utilizado en la deconstrucción para planificar, sin embargo, a comparación de la construcción se pueden tener algunas modificaciones y adiciones de más conceptos debido a las variaciones que existen entre estas dos fases (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019). En la deconstrucción se puede usar este método de planificación, y se trata el proceso como un proceso “*Make to Order*”, la necesidad del cliente en este caso viene de la necesidad de recuperar los materiales y mantener su valor, esto promueve el mercado para la cadena de suministro invertida en construcción (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019).

L2C® para la planificación detallada en la ejecución del proyecto hace uso de estrategias y herramientas, lo mismo se puede aplicar en la deconstrucción, siendo el sistema *Last Planner* (LPS) viable. Se permite la colaboración de todos los involucrados del proceso, que son la(s) empresa(s) que realizará(n) el desmantelamiento, los proveedores quienes tienen el contrato de producto como servicio (Take Back System), o las compañías de reciclaje o compostaje encargadas de los materiales destinados a esos fines. Al igual que en la construcción, el LPS se debe realizar mediante una Pull Session inicial, donde se obtiene la planificación maestra con el compromiso de todos los involucrados y se fijan las actividades que deben realizarse. Según sean las necesidades de la empresa, la magnitud del edificio y la duración total, puede haber reuniones cada cierto periodo de tiempo y analizar las restricciones de las tareas que pueden realizarse. En consecuencia, deben fijarse reuniones semanales a fin de ver el avance de esa semana, calcular el PPC (porcentaje de plan cumplido) y programar las tareas que se harán.

Para reducir la variabilidad en los procesos señalados para la deconstrucción, según LC es posible utilizar la herramienta *Value Stream Mapping*, en donde se analizan los flujos de materiales e información que se necesitan para obtener el producto, en este caso obtener los elementos a deconstruir (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019). Las variaciones en el proceso pueden obtenerse por cambios en la vía de ciclaje de los materiales o productos del edificio, por

eso es necesario asegurar los pasos de desmantelamiento de los materiales antes de iniciar con las tareas de deconstrucción.

En resumen, las estrategias que se pueden aplicar en la fase de deconstrucción, según el análisis previamente realizado y las estrategias ya identificadas por L2C®, según los principios de la filosofía LC son:

Estrategias	Acciones o Herramientas	Documentos
1. Planificación Pull	<ul style="list-style-type: none"> - Definición de las vías de ciclaje (Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción) - Planificación grupal colaborativa (Pull sessions) - Last Planner System 	<ul style="list-style-type: none"> Estudio logístico Zonas de trabajo Plan maestro Planificación semanal Planos avance diario
2. Extracción “Just In Time”	<ul style="list-style-type: none"> - Contacto con proveedores o fabricantes. - Contacto con entidades para reciclaje, compostaje o tratamiento de materiales peligrosos. 	<ul style="list-style-type: none"> Plan logístico
3. Reducir la variabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Value Stream Mapping 	<ul style="list-style-type: none"> Mapa de valor
4. Aprendizaje y mejora	<ul style="list-style-type: none"> - Clúster de proveedores 	<ul style="list-style-type: none"> Archivo de datos Actualización procesos Reuniones conclusiones

Tabla 5.2: Estrategias Lean Construction en la fase de deconstrucción para L2C® (Construcción & Elaboración Propia)

5.2. ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CONSTRUCCIÓN

A nivel mundial el enfoque de economía circular en la producción de bienes está siendo cada vez más desarrollado y adoptado por más empresas y organizaciones públicas y privadas en muchos países. Como consecuencia, algunas normas y planes de desarrollo relacionados a la sostenibilidad de edificios han incluido este enfoque en su contenido. Para esta investigación se hizo la revisión bibliográfica de normas españolas e internacionales; estrategias de desarrollo de ciudades, países, organizaciones; artículos de investigación; y certificadoras de edificios, como base para medir el desempeño y fijar indicadores para la metodología L2C®.

La UE a través del Plan de Acción de Economía Circular, dentro de los propósitos del Pacto Verde Europeo (European Commission, 2020c) para lograr un futuro sostenible y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2017), dentro del sector de la construcción promueve algunos principios de circularidad en todo el ciclo de vida de los edificios. Para evaluar el desempeño de esos principios utiliza la herramienta Level(s) (European Commission, 2020a) que es un marco común de la UE que contiene indicadores de sostenibilidad para edificios residenciales y de oficinas, estos se pueden medir a lo largo de su ciclo de vida. También analiza otros aspectos como la salud y bienestar, el coste del ciclo de vida y los posibles riesgos para el buen comportamiento del edificio. Esta herramienta es muy utilizada como referencia para diseñar y construir edificios sostenibles. Del mismo modo, Level(s) junto con otras normas de la Unión Europea e internacionales son utilizadas para confeccionar guías de aplicación y estrategias de desarrollo, con enfoque a una transición a economía circular, en organizaciones, municipios, gobiernos, etc. Esos documentos son consultados también para la investigación.

Los sistemas de certificación de edificios también se basan en el marco Level(s) y otras normativas internacionales de sostenibilidad para asegurarse que sus criterios reflejen aquellas propiedades más importantes para alcanzar la sostenibilidad y dentro de ello también la economía circular, que es un concepto que toma más interés últimamente. De este modo, para la propuesta de indicadores también se tomaron como referencia a los sistemas de certificaciones de edificios sostenibles; los cuales, actualmente, son utilizados también como referencias en las fases de conceptualización, diseño y construcción de los proyectos construidos con la metodología L2C®.

El sistema LEED es referencia en la elección de indicadores en la fase de uso, más no deconstrucción. La calificación: *LEED para Operaciones y Mantenimientos de edificios* (LEED O + M: Edificios existentes) es el sistema escogido como base para la elección de indicadores, se refiere a los edificios que están en pleno funcionamiento y ocupados al menos un año. También, ya se mencionó que una ventaja del sistema de certificación DGNB es que evalúa un edificio sostenible en todo su ciclo de vida, esto incluye la fase final que es la deconstrucción en un proyecto L2C®, por esa razón el DGNB también es seleccionado como referencia para las propuestas de indicadores en las fases de uso y deconstrucción, los sistemas son “*DGNB para edificios en uso*” y “*DGNB para demolición de edificios*”.

5.3. FASE USO

La fase de uso tiene el mayor impacto negativo en comparación con las otras. Cuando se trata del uso de energía, el rendimiento energético promedio del suministro existente de viviendas y edificios es la causa principal de los altos costes. El mayor impacto de un edificio proviene de la electricidad, la calefacción y el uso del agua, así como la producción de aguas residuales y cantidad de residuos que son más elevadas (Circle economy, Odijk and Bovene, 2014).

Una oportunidad del sector construcción para beneficiar al medio ambiente, es conocer el funcionamiento de un edificio en uso y minimizar su impacto. Básicamente el diseño de un edificio L2C® reduce el consumo de energía operacional y por consiguiente las emisiones de huella de carbono; también reduce el uso del agua y generación de residuos. Por otro lado, un buen ambiente interior estimula a los ocupantes, aumentando sus niveles de productividad, confort y salud. Por lo mencionado, es importante una buena gestión de los procesos en la fase de uso para tomar decisiones correctas y cumplir los objetivos planteados, lo que resulta en beneficios económicos para el propietario del edificio.

A continuación, se propone indicadores para la fase de uso, clasificados según los principios de la metodología L2C®. Estos indicadores pueden ser medidos mensual, bimestral, semestral o anualmente durante el funcionamiento del edificio. Para su clasificación final L2C® se propone hallar la media de todos los valores calculados del indicador en cada periodo de medición, al final del uso del edificio, es decir cuando se encuentre totalmente desocupado.

5.3.1. TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL

Costes de operación	
Relevancia:	
Los costes operativos representan una proporción significativa de los costes totales en el ciclo de vida de un edificio. En el escenario de construcción circular, al usar materiales y productos duraderos y de calidad, los costes de mantenimiento disminuyen. Del mismo modo los costes de operación y mantenimiento del edificio serán mucho más bajos que un edificio tradicional y también más reducidos que un edificio sostenible clásico.	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	
Este indicador se mide como el porcentaje de reducción de los costes operativos anuales con respecto al coste de operación previsto.	
<p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{CO_{previsto} - CO_{real}}{CO_{previsto}} * 100\%$ $CO_{real} = CS + CL + CM + CR - CA$ <ul style="list-style-type: none"> • CO_{real} = Coste de operación del edificio real. (€) • $CO_{previsto}$ = Coste de operación del edificio previsto. (€) • CS = Costes de suministro y eliminación: incluye el suministro de agua, energía, combustibles, aguas residuales y disposición de residuos. (€) • CM = Operación, inspección y servicio: inspección y mantenimiento de productos o sistemas, es decir, incluye el mantenimiento de los productos o sistemas que no tienen acuerdo con los proveedores o fabricantes para el servicio (take back system). (€) • CL = Limpieza y mantenimiento de edificio: incluye la limpieza tanto ambientes interiores como exteriores del edificio. (€) • CR = Costes de reparación: reparaciones estructurales o sistemas técnicos, es decir, incluye la reparación de los productos o sistemas que no tienen acuerdo con los proveedores o fabricantes para el servicio (Take Back System). (€) • CA = Renta o alquiler: incluye el ingreso económico generado por el arriendo de los espacios. (€) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los datos de los diferentes costes para la obtención del coste operativo real del edificio son obtenidos por medio de las facturas de los servicios mencionados. Es necesario conocer que tipo de costes son y no son aplicables al total de costes de operación según el beneficiario del indicador. • El coste operativo previsto o esperado se obtiene del informe de <i>Análisis Financiero Diferencial (Real Value Estate)</i> desarrollado para los proyectos L2C® una vez terminado la fase de ejecución. <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>Cada vez que se conozca el valor del coste indicado en las facturas de los servicios.</p>	

Meta:															
<p>1. Meta: El objetivo de este indicador es monitorear los costes operativos anuales del edificio. Se pretende que el indicador este por encima del 0% lo que indica que existe reducción de costes operativos.</p> <p>2. Sentido de resultados esperado: Se espera que los valores medidos anualmente se proyecten de forma ascendente hasta llegar a la meta L2C de una clasificación Platinum.</p>															
Responsable y beneficiario del indicador:															
R y B: Propietario del edificio.															
Clasificación L2C Scorecard:															
Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">NIVEL</th> </tr> <tr> <th>BASIC</th> <th>BRONZE</th> <th>SILVER</th> <th>GOLD</th> <th>PLATINUM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 0 % (incrementa coste)</td> <td>0 – 4 %</td> <td>5 - 8 %</td> <td>9 – 12 %</td> <td>> 12 %</td> </tr> </tbody> </table>	NIVEL					BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM	< 0 % (incrementa coste)	0 – 4 %	5 - 8 %	9 – 12 %	> 12 %
NIVEL															
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM											
< 0 % (incrementa coste)	0 – 4 %	5 - 8 %	9 – 12 %	> 12 %											
Referencias utilizadas:															
Sistema de certificación DGNB (DGNB, 2020c)															
Fuente de indicador:															
Elaboración propia.															

Indicador:	Inspección de edificios
Relevancia:	Al gestionar el estado del edificio de forma proactiva, se obtiene información para la operación del edificio y para su gestión de riesgos. De esta manera, la información sobre el estado del edificio permitirá tomar decisiones apropiadas, a través de las cuales se puede evitar la incertidumbre de varios riesgos económicos y para los habitantes, por ejemplo, riesgos de costes a través de la operación del edificio, aumento de los costes operativos debido a servicios de construcción ineficientes, daños a la salud debido a sustancias peligrosas, o aumento de costes debido a la presión del tiempo en la reparación de deficiencias y defectos (DGNB, 2020c).
Unidad:	Und.
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	Este indicador evalúa la eficacia de la inspección del edificio que se debe realizar por lo menos una vez al año. La inspección debe basarse en una revisión visual in situ por parte de una empresa especializada, debe considerar las siguientes criterios de actuación (DGNB, 2020c):

1. El estado estructural del edificio y los sistemas técnicos. Esta evaluación se utiliza para determinar los costes de mantenimiento y reparación posteriores y las recomendaciones para las medidas de reparación.
2. Estado del edificio y sistemas técnicos en términos de energía.
3. Estado de la seguridad contra incendios: La condición de seguridad contra incendios del edificio se evalúa en función de los métodos técnicos adecuados según los datos de edificios e inspecciones de edificios.
4. Sustancias nocivas en el edificio: Los riesgos potenciales de contaminantes se evalúan con base en métodos técnicos apropiados mediante los datos de construcción disponibles e inspecciones de edificios.
5. Uso de refrigerantes: Se documenta la información sobre el tipo, la cantidad de llenado y la tasa de fugas de los sistemas con uso de refrigerante.

El indicador es la cantidad de puntos de actuación que fueron considerados en la inspección.

1. Fórmula:

$$\text{Indicador} = \text{N}^\circ \text{ criterios desarrollados}$$

2. Fuente de datos:

La inspección del edificio debe ser realizada como un servicio ya sea por la empresa contratada con el sistema Take Back System para el producto o sistema, o por otra especializada. Según eso se toma registro de las inspecciones realizadas.

3. Frecuencia de recolección:

Cuando ocurra la inspección.

Responsable y beneficiario del indicador:

R y B: Propietario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
1 o 0	2	3	4	5

Referencias:

Sistema de certificación DGNB (DGNB, 2020c)

Fuente de indicador:

Elaboración propia.

5.3.2. COMODIDAD Y BIODIVERSIDAD

<i>Indicador:</i>	Consumo total de agua
Relevancia:	
Cada vez más la escasez del agua va en aumento, esto debido especialmente a los efectos del calentamiento global. Por tal motivo en un edificio es de gran importancia la correcta gestión de este recurso para detectar aspectos potenciales para su optimización, lo que conlleva a desarrollar medidas para reducir el consumo del agua potable que podrían incluir el reemplazo de accesorios, el uso de agua de lluvia para regar las superficies exteriores, uso de aguas grises, concienciación de los usuarios, etc.	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Semestral
Descripción:	
El indicador evalúa el consumo de agua potable total en el periodo de tiempo establecido. Se mide como porcentaje de la cantidad de agua potable consumida frente a la cantidad de consumo de agua potable para el indicador inmediato anterior.	
<p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{CA}{CA_{ant}} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • CA : agua potable consumida (m³/ocup o m² /m³) • CA_{ant} : agua potable consumida para el indicador anterior (m³/ocup o m² /m³) 	
<p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los datos del consumo real de agua potable son obtenidos a través de lecturas de los contadores según las facturas emitidas por la entidad encargada. Es recomendable que se recopile datos de consumo desde el primer momento en que el edificio pueda considerarse plenamente ocupado, para garantizar más predicción en los patrones de consumo, así la cantidad de ocupantes permanece constante. • El dato de la cantidad anterior de agua potable consumida se obtiene de la medición del indicador en el periodo anterior. • En la primera medición, al no disponer del dato de consumo de agua potable anterior se puede utilizar el dato de consumo previsto para el diseño del sistema de agua y saneamiento del edificio que se debe obtener de los documentos de diseño. O también puede utilizar el dato de consumo de agua, por un edificio con características similares, que preferentemente haya obtenido una clasificación superior por alguna certificadora de edificios sostenibles 	
<p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>La cantidad total del consumo de agua potable se obtiene de manera mensual o según la periodicidad de emisión de las facturas.</p>	
Meta:	
<p>1. Meta:</p> <p>El objetivo de este indicador es lograr un valor igual o menor al 100% en cada medición, lo que indicará una reducción del consumo de agua en ese periodo de medición.</p>	

2. Sentido de resultado esperado:

Se espera que los valores medidos semestralmente se mantengan constantes proyecten de forma descendente.

Responsable y beneficiario del indicador:

R y B: Propietario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
>100 %	95-99 %	90-94 %	85-89 %	<85 %

Fuente de indicador:

Elaboración propia.

Indicador: Agua reutilizada

Relevancia:

El uso del agua debe ser optimizada constantemente, en un edificio u otra infraestructura en constante uso de agua potable. Al utilizar agua de lluvia, aguas grises y otras tecnologías innovadoras, el consumo de agua potable se puede minimizar. Denominamos agua gris bruta a aquellas aguas grises, habitualmente procedentes de bañeras, duchas y lavamanos, excluyendo la de pilas de cocina, inodoros y urinarios. Una vez recogida, tratada y almacenada de forma adecuada pasamos a denominarla agua gris reciclada (AQUA España, 2016) .

Unidad: Porcentaje (%)

Frecuencia de cálculo: Semestral

Descripción:

Este indicador evalúa la eficiencia del uso de agua reciclada en el edificio.

Se mide como porcentaje de la cantidad de agua gris reciclada consumida frente al total de agua consumida (potable consumida + reciclada consumida).

1. Fórmula:

$$\text{Indicador} = \frac{CAr}{CA + CAr} * 100\%$$

- **CA** = agua potable consumida (m3)
- **CAr** = agua gris reciclada consumida (m3)

2. Fuente de datos:

- Los datos de agua potable consumida son obtenidos a través de lecturas de los contadores del consumo del servicio según las facturas emitidas por la entidad encargada.
- Los datos de agua gris reciclada consumida son obtenidos a través de lecturas de los contadores del consumo instaladas en zonas, principalmente su consumo será para el tanque de los inodoros como para el riego de jardines.

3. Frecuencia de recolección:

De manera mensual o según la periodicidad de emisión de las facturas.

Meta:

1. Meta:

El objetivo de este indicador es monitorear el consumo de agua gris reciclada. Se puede reducir un 40% de consumo de agua apta para el consumo humano en edificios haciendo uso de esta tecnología (AQUA España, 2016). Por lo que, tratándose de L2C® en un enfoque de economía circular, se propone superar ese valor, con una meta de un valor igual o superior al 50%.

2. Sentido de resultado esperado:

Se espera que los valores medidos semestralmente se proyecten de forma ascendente.

Responsable y beneficiario del indicador:

R y B: Propietario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
No existe sistema	0 – 16 %	17 – 34 %	35 – 50 %	> 50 %

Fuente de indicador:

Elaboración propia.

Indicador:	Calidad del aire interior
Relevancia:	
<p>Los ocupantes del edificio corren riesgo de estar expuestos a una serie de emisiones al aire de compuestos orgánicos volátiles y cancerígenos por algunos productos y materiales de construcción. En el diseño y funcionamiento del edificio, las fuentes contaminantes deberían identificarse, eliminarse o reducirse mediante cualquier medio posible, puede ser mediante extractores locales y una ventilación adecuada; de esta manera la ventilación controla la acumulación de contaminantes químicos y biológicos. Sin duda, el bienestar y el rendimiento de los ocupantes de un edificio se vería mejorado por un buen ambiente interior que incluye una buena calidad del aire interior y agradables niveles de temperatura.</p>	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	
<p>Dos factores importantes para evaluar la calidad del aire interior son la tasa de ventilación y las concentraciones de CO₂, ambos ofrecen un suministro de aire en interiores saludables y cómodos para los ocupantes.</p> <p>Este indicador evalúa el índice de ventilación en un ambiente interior, que es el comportamiento del caudal de ventilación real en relación al valor de ventilación para su diseño.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{q_{real}}{q_{diseño}} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • q_{real} = caudal de ventilación real. (l/s por m² o l/s por pers) • $q_{diseño}$ = caudal de ventilación de diseño. (l/s por m² o l/s por pers) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La recogida de datos del q_{real} de un edificio se realiza mediante la evaluación del caudal del aire de una muestra representativa*. En el caso de un sistema de ventilación mecánico, el caudal de aire que discurre por un conducto es proporcional a la sección de ese conducto y a la velocidad del aire que fluye a lo largo del mismo. La sección es conocida, para la obtención de la velocidad de aire se debe realizar contratos de servicios de ensayos in situ, los métodos más empleados son el ensayo del tubo de Pitot y el método del hilo caliente. Para una ventilación natural este valor se puede conseguir por medio del efecto del viento y de la temperatura. <p>*Como indica Level(s) (Dodd <i>et al.</i>, 2017) la evaluación del comportamiento y las zonas a evaluar del edificio se puede realizar de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si es un edificio de un solo uso (oficinas, residencial, apartamentos, etc) el objeto de la investigación puede ser una muestra representativa por tipología del uso en lugar de todo el edificio. • En caso de uso mixto se evalúa los espacios interiores en relación con cada uso, y se puede hacer la ponderación en proporción con la superficie de suelo que ocupa cada uso. 	

- El $q_{diseño}$ requerido para los sistemas de ventilación debe especificarse en los documentos de diseño del sistema de ventilación, basándose en los requisitos nacionales. Caso contrario se puede utilizar el método descrito a continuación, según la norma UNE-EN 15251, el cual indica el caudal requerido de ventilación por persona o por metro cuadrado de suelo construido:

a) Caudal de aire:

La tabla 5.3 muestra el caudal requerido por persona o por metro cuadrado de área de suelo:

Categoría	Caudal de aire por persona l/s/pers	Caudal de aire por contaminantes emitidos por el edificio (l/s/m ²)		
		Edificio muy poco contaminado	Edificio poco contaminado	Edificio no poco contaminado
I	10	0,5	1	2
II	7	0,35	0,7	1,4
III	4	0,2	0,4	0,8

Tabla 5.3: Ejemplos de caudales de ventilación recomendados para edificios no residenciales para tres categorías de contaminación del propio edificio (AENOR, 2008)

La elección de la categoría del edificio y el nivel de materiales contaminantes del edificio se detalla a continuación:

b) Categoría de edificio:

Se debe categorizar el edificio según se muestra en la siguiente tabla:

Categoría	Explicación
I	Alto nivel de expectativa, recomendado para espacios ocupados por personas débiles y sensibles con requisitos especiales, como disminuidos, enfermos, niños muy pequeños y ancianos
II	Nivel normal de expectativa; debería utilizarse para edificios nuevos y renovados
III	Aceptable y moderado nivel de expectativa; puede utilizarse en edificios ya existentes
IV	Valores fuera de los criterios de las categorías anteriores. Esta categoría sólo debería aceptarse durante una parte limitada del año

Tabla 5.4: Descripción de la aplicabilidad de las categorías utilizadas (AENOR, 2008)

c) Nivel de contaminantes en el edificio:

Es necesario establecer si el edificio emite poco o muy poco contaminantes, según los requisitos que se menciona:

- Poco contaminante: si el edificio posee pocos contaminantes, esto incluye los materiales naturales tradicionales, como la piedra y el vidrio, que son conocidos por su seguridad respecto a las emisiones, y materiales que cumplen los siguientes requisitos:
 - La emisión de compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC) es inferior a 0,2 mg/m²h.
 - La emisión de formaldehidos es inferior a 0,05 mg/m²h.
 - La emisión de amoniaco es inferior a 0,03 mg/m²h.
 - La emisión de compuestos carcinogénicos (IARC) es inferior a 0,005 mg/m²h.
 - El material no es oloroso (insatisfacción con el olor es inferior al 15%)
- Muy poco contaminante: si todos los materiales son muy poco contaminantes y nunca se ha fumado y no está permitido. Incluye los materiales naturales tradicionales como la

piedra, vidrio y metales que son conocidos por su seguridad respecto a emisiones, y materiales que cumplen los siguientes requisitos:

- La emisión de compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC) es inferior a 0,1 mg/m²h.
- La emisión de formaldehidos es inferior a 0,02 mg/m²h.
- La emisión de amoniaco es inferior a 0,01 mg/m²h.
- La emisión de compuestos carcinogénicos (IARC) es inferior a 0,002 mg/m²h.
- El material no es oloroso (insatisfacción con el olor es inferior al 10%)

3. Frecuencia de recolección:

Los datos de caudal de ventilación real de las zonas identificadas serán obtenidos una vez al año para la evaluación del indicador.

Meta:

1. Meta:

El objetivo de este indicador es lograr un valor por encima del 100%, lo que indicará que el caudal de ventilación actual está funcionando según lo estipulado para su diseño.

2. Sentido de resultado esperado:

Se recomienda que los valores del indicador para cada periodo de medición sean ascendentes o constantes.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Propietario del edificio.

B: Usuario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
< 90 %	90-100 %	101-110 %	111-120 %	> 120 %

Referencias:

UNE-EN 15251 Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. (AENOR, 2008)

Level(s) (Dodd *et al.*, 2017)

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador:	Confort térmico
Relevancia:	
El bienestar, la salud y el rendimiento de los ocupantes de un edificio se ve mejorado por un buen ambiente interior que son la calidad en el aire interior y una agradable sensación de confort térmico. Este último depende de muchos factores (temperatura del aire, humedad relativa del aire, movimientos del aire, vestimenta de las personas) y una función de un edificio L2C® es proveer ambientes interiores que sean térmicamente confortables. El edificio debe satisfacer las necesidades de factores ambientales para un buen confort térmico en los ocupantes.	
Unidad:	-
Frecuencia de cálculo:	Estacional
Descripción:	
<p>Para la evaluación del confort térmico se hace uso de dos indicadores absolutos: la temperatura del aire y la humedad relativa del aire. Según ello se hará una aproximación de la calidad de confort térmico que existe en el ambiente.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador1} = t \quad ; \quad \text{Indicador2} = p$ <ul style="list-style-type: none"> • t = temperatura de una zona representativa del edificio (°C) • p = humedad relativa del aire de una zona representativa del edificio (%) <p>2. Fuente de datos:</p> <p>Los datos de temperatura y humedad del aire serán recopilados por medio de mediciones de muestras representativas del edificio*.</p> <p>*Como indica Level(s) (Dodd <i>et al.</i>, 2017) la evaluación del comportamiento y las zonas a evaluar del edificio se puede realizar de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si es un edificio de un solo uso (oficinas, residencial, apartamentos, etc) el objeto de la investigación puede ser una muestra representativa por tipología del uso en lugar de todo el edificio. • En caso de uso mixto se evalúa los espacios interiores en relación con cada uso, y se puede hacer la ponderación en proporción con la superficie de suelo que ocupa cada uso. <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>Los datos serán recopilados por medio de mediciones de la temperatura y humedad relativa del aire de manera mensual durante toda la estación de invierno y verano.</p>	
Meta:	
<p>1. Meta:</p> <p>El objetivo de este indicador es monitorear el valor de la temperatura y la humedad relativa en los ambientes interiores del recinto o edificio. Para ello se debe comparar los datos, dependiendo de la estación de invierno o verano. Los rangos para temperatura y humedad relativa del aire recomendados por el RITE (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2013) son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura: En verano entre 23°C y 25°C y en invierno entre 21°C y 23°C. • Humedad: En verano entre 45 y 60% y en invierno entre 40 y 50%. 	

2. Sentido de resultado esperado:

Se recomienda que los valores del indicador estén dentro de los rangos de temperatura y humedad relativa del aire mencionados.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Propietario del edificio.

B: Usuario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Con los indicadores de temperatura y humedad relativa obtenidos se obtiene la calificación L2C® de confort térmico según la relación que muestra la figura 5.2. Esta relación basada en la investigación de (Blender, 2015).

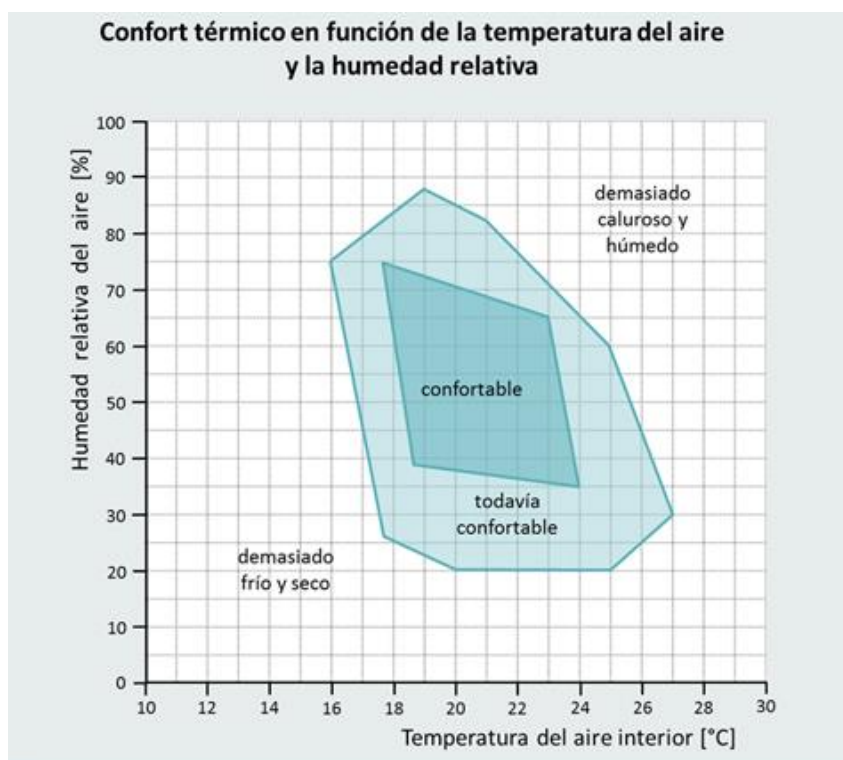


Figura 5.2: Confort térmico en función de la temperatura del aire y la humedad relativa (Blender, 2015)

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
-	-	Demasiado frío y seco / Demasiado calor y humedad	Todavía confortable	Confortable

Referencias:

RITE (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2013).

Level(s) (Dodd *et al.*, 2017)

Fuente del indicador:

El confort térmico (Blender, 2015).

<i>Indicador:</i>	Iluminación interior
Relevancia:	
La calidad de la iluminación en los ambientes interiores del edificio es un requisito básico para lograr un buen nivel de bienestar en los ocupantes y contribuir con la productividad laboral ya que permite desarrollar tareas visuales eficientemente y con exactitud.	
Unidad:	Und.
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa la iluminación interior de los espacios de los ocupantes mediante el cumplimiento de requisitos que deben implementarse.</p> <p>El indicador es cualitativo, se mide una única vez y se calcula como porcentaje de la cantidad de las estrategias cumplidas frente al total de estrategias para el control de la iluminación por los ocupantes. Estos requisitos son basados en lo propuesto por el sistema de certificación LEED.</p> <p>Controles de iluminación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contar con controles de iluminación individuales para al menos el 50% de los espacios de ocupantes individuales que permitan a los ocupantes ajustar la iluminación para adaptarla a sus tareas y preferencias individuales, ofreciendo al menos tres posibilidades (encendido, apagado y nivel medio). El nivel medio va del 30% al 70% del nivel máximo de iluminación (sin incluir la aportación de la luz natural). • En espacios compartidos por varios ocupantes, contar con sistemas de control multizona que permitan a los ocupantes ajustar la iluminación para satisfacer las necesidades y preferencias grupales, ofreciendo al menos tres posibilidades (encendido, apagado y nivel medio). • En espacios compartidos por varios ocupantes, la iluminación para cualquier presentación o muro para proyección debe ser controlada de manera independiente. • En espacios compartidos por varios ocupantes, los interruptores o controles manuales deben ubicarse en el mismo espacio que las luminarias que controlan. La persona que opera los controles debe tener línea directa de visión a las luminarias que se controlan. <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = N^{\circ} \text{ de requisitos cumplidos}$ <p>2. Fuente de datos:</p> <p>Los datos de la cantidad de requisitos cumplidos serán recopilados luego de inspeccionar y verificarlos.</p> <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>Los datos serán recopilados una única vez, antes del inicio de las actividades realizadas por el cliente que ocupará los ambientes.</p>	
Responsable y beneficiario del indicador:	
<p>R: Propietario del edificio.</p> <p>B: Usuario del edificio.</p>	

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
0	1	2	3	4

Referencias y fuente del indicador:

Sistema de certificación LEED (USGBC, 2018).

Indicador:	Ruido Exterior
Relevancia:	
El impacto del ruido del edificio y del ambiente exterior puede generar molestias en los ocupantes del edificio, reducir aquello puede mitigar esos impactos y lograr niveles de productividad más elevados.	
Unidad:	Decibelio (dB)
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	
El nivel de presión sonora equivalente (que incluye los periodos en los que las ventanas están abiertas y el recinto está expuesto al ruido exterior) se utiliza para evaluar el ruido en el caso de edificios que necesiten ventilación natural que depende de la apertura de ventanas, y también en el caso exista ventilación mecánica y enfriamiento donde la cantidad requerida de aire conlleva a niveles inaceptables de ruido de ventiladores.	
El indicador absoluto evalúa el nivel de ruido exterior a través del nivel de presión sonora equivalente.	
1. Fórmula:	
$\text{Indicador} = L_{p,A}$	
<ul style="list-style-type: none"> $L_{p,A}$ = nivel de presión del sonido A-ponderado (dB(A)) 	
2. Fuente de datos:	
Los datos de nivel de presión sonora se obtienen por mediciones cuantitativas con aparatos para tal fin, con diferentes muestras en diferentes sistemas de tratamiento de aire, zonas y ventanas de una muestra representativa*.	
*Como indica Level(s) (Dodd <i>et al.</i> , 2017) la evaluación del comportamiento y las zonas a evaluar del edificio se puede realizar de la siguiente manera:	
<ul style="list-style-type: none"> Si es un edificio de un solo uso (oficinas, residencial, apartamentos, etc) el objeto de la investigación puede ser una muestra representativa por tipología del uso en lugar de todo el edificio. En caso de uso mixto se evalúa los espacios interiores en relación con cada uso, y se puede hacer la ponderación en proporción con la superficie de suelo que ocupa cada uso. 	

3. Frecuencia de recolección:

Los datos serán recopilados cuando se presenten problemas de insatisfacción de los ocupantes en zonas específicas, caso contrario una vez por año.

Meta:

1. Meta:

El objetivo de este indicador es monitorear el nivel de sonido que existen en los espacios. Para ello se debe comparar el valor de nivel de sonido real con los valores de niveles de sonido requeridos en los documentos de diseño de la ventilación mecánica (si es el caso de problemas en la ventilación). También se pueden comparar con los valores de nivel de sonido recomendados por la norma UNE-EN 15251:

Edificio	Tipo de espacio	Nivel de presión sonora [dB(A)]	
		Rango típico	Valor de diseño por defecto
Residencial	Sala de estar	de 25 a 40	32
	Dormitorio	de 20 a 35	26
Instituciones de cuidado de niño	Escuelas infantiles	de 30 a 45	40
	Guarderías diurnas	de 30 a 45	40
Lugares de reunión	Auditorios	de 30 a 35	33
	Bibliotecas	de 28 a 35	30
	Cines	de 30 a 35	33
	Salas de juzgado	de 30 a 40	35
	Museos	de 28 a 35	30
Comerciales	Tiendas al por menor	de 35 a 50	40
	Grandes almacenes	de 40 a 50	45
	Supermercados	de 40 a 50	45
	Salas de ordenadores, grandes	de 40 a 60	50
	Salas de ordenadores, pequeñas	de 40 a 50	45
Hospitales	Pasillos	de 35 a 45	40
	Quirófano	de 30 a 48	40
	Salas	de 25 a 35	30
	Dormitorios nocturnos	de 20 a 35	30
	Dormitorios diurnos	de 25 a 40	30
Hoteles	Recepción	de 35 a 45	40
	Salas de recepción	de 35 a 45	40
	Habitaciones del hotel (de noche)	de 25 a 35	30
	Habitaciones del hotel (de día)	de 30 a 40	35
Oficinas	Oficinas pequeñas	de 30 a 40	35
	Salas de conferencias	de 30 a 40	35
	Oficinas diáfanas	de 35 a 45	40
	Cubículos de oficina	de 35 a 45	40

Tabla 5.5: Ejemplos de diseño de nivel de presión sonora (AENOR, 2008)

2. Sentido de resultado esperado:

Se recomienda que los valores del indicador estén dentro de los rangos de nivel de presión del sonido mencionados en la tabla 5.5.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Propietario del edificio.

B: Usuario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
Valor dentro del rango típico	Valor de diseño por defecto ± 3 dB	Valor de diseño por defecto ± 2 dB	Valor de diseño por defecto ± 1 dB	Valor de diseño por defecto

Referencias y fuente del indicador:

UNE-EN 15251 Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. (AENOR, 2008)

Indicador:	Encuesta de satisfacción de los ocupantes
Relevancia:	
Los usuarios del edificio se convierten en agentes importantes a considerar para los procesos de monitoreo en la metodología L2C®. Cada ocupante es una fuente de información para la valoración de la calidad del entorno en el que desarrollan sus labores por medio de su satisfacción.	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	
Las evaluaciones por medio de encuestas suelen llevarse a cabo después de un año como mínimo de ocupación plena del edificio. Se deben realizar para recopilar respuestas anónimas y lograr cierta puntuación sobre aspectos cualitativos relacionados con los indicadores del comportamiento del edificio:	
<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del aire interior. • Confort térmico. • Iluminación. • Ruido exterior. 	
El indicador se mide según ponderación del puntaje obtenido de los ocupantes participantes entre el máximo puntaje de satisfacción que se puede lograr.	
1. Fórmula:	
$\text{Indicador} = \frac{\text{Punt}_1 + \text{Punt}_2 + \dots + \text{Punt}_n}{\text{Punt}_{total}} \times 100\%$	
<ul style="list-style-type: none"> • n = Número de personas que participan en la encuesta. • $\text{Punt}_1, \text{Punt}_2, \dots$ = Puntaje obtenido por la persona 1, persona 2, ... • Punt_{total} = Puntaje máximo de una encuesta que indica el máximo nivel de satisfacción. 	

2. Fuente de datos:

Se debe realizar la encuesta y tomar respuestas de un muestreo representativo de los ocupantes del edificio que constituya al menos el 30% del total de los ocupantes por uso del edificio, si es uso mixto se hace la ponderación mediante proporción de superficie de suelo que ocupa. Para esta investigación se propone un modelo de ENCUESTA DE SATISFACCIÓN obtenido en base al modelo de encuesta que propone el sistema de certificación DGNB (Ver Anejo 4).

3. Frecuencia de recolección:

Las encuestas se deben realizar por lo menos una vez al año.

Responsable y beneficiario del indicador:

R y B: Puede ser tanto el propietario como el usuario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
< 40 %	40 - 55 %	56 – 70 %	71 - 85 %	> 85 %

Referencias:

Sistema de certificación DGNB (DGNB, 2020c).

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

5.3.3. DISEÑO ECOLÓGICO Y SALUDABLE

Indicador:	Política de Adquisiciones (uso oficinas)
Relevancia:	
Las adquisiciones de materiales y productos en la fase de uso del edificio en un enfoque de economía circular también debe seguir sus principios, tener un buen comportamiento frente al medio ambiente es fundamental durante su tiempo de vida útil, de igual forma una adecuada gestión al final de su vida.	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Mensual/ Semestral/ Anual
Descripción:	
<p>El indicador evalúa el cumplimiento de requisitos identificados para cada tipo de compra de los ocupantes de un edificio con uso como oficinas. Los requisitos propuestos por el sistema de certificación LEED, están relacionados al manejo de las adquisiciones o compras de materiales o productos. Para ello se diferencian dos tipos de compras:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Compras continuas: <ul style="list-style-type: none"> • Papel, cartuchos de tóner, carpetas, baterías y accesorios de escritorio. • Lámparas (interiores y exteriores, así como dispositivos instalados y portátiles). • Alimento y bebidas. ✚ Compras de bienes duraderos: <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de oficinas y audiovisual y electrodomésticos • Equipamiento eléctrico <p>Los criterios son mencionados a continuación:</p> <p>a) Para las compras continuas: (no incluidos alimentos y bebidas) el indicador se calcula como porcentaje del coste de los productos o materiales que cumplan con al menos un criterio propuesto a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso extendido. Las baterías deben ser recargables. Los cartuchos de tóner para impresoras láser deben remanufacturarse. • Productos de base biológica. • Productos de papel y madera, certificados por el Forest Stewardship Council o un equivalente. • Reutilización de materiales, incluye productos recuperados, reacondicionados o reutilizados. • Responsabilidad ampliada del productor. También productos o materiales con contrato con el proveedor por el sistema <i>Take Back System</i>. • Certificado Cradle to Cradle. <p>b) Para alimentos y bebidas: el indicador se calcula como porcentaje del coste de las compras combinadas de alimentos y bebidas que cumplan con al menos un criterio propuesto a continuación. Excluir las compras de vino, cerveza y licores.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Agricultura sostenible.</i> La comida o bebida debe estar etiquetada como Orgánica USDA, Certificada por Food Alliance, Rainforest Alliance Certified, Protected Harvest Certified, Fair Trade o Marine Stewardship Council's Blue Eco-Label, o etiquetada con el logotipo de Producción Orgánica de la Comunidad Europea. 	

- *Abastecimiento local.* La comida o bebida debe contener materias primas recolectadas y producidas dentro de las 100 millas (160 kilómetros) del sitio del proyecto de edificación.
- c) **Para compras de equipos electrónicos:** el indicador se calcula como porcentaje del coste de los equipos electrónicos que cumplan con al menos un criterio propuesto a continuación:
- *Clasificación EPEAT:* sistema de clasificación “Herramienta de Evaluación Ambiental de Productos Electrónicos” o similar.
 - *Calificación ENERGY STAR:* o similar.

1. Fórmula:

$$\text{Indicador} = \left(0.45 * \frac{CC_{\text{criterio}}}{CC_{\text{tot}}} + 0.15 * \frac{AB_{\text{criterio}}}{AB_{\text{tot}}} + 0.40 * \frac{CEe_{\text{criterio}}}{CEe_{\text{tot}}} \right) \times 100\%$$

- CC_{tot} = Coste de Compras Continuas total.
- CC_{criterio} = Coste de Compras Continuas que cumplen al menos con un criterio.
- AB_{tot} = Coste de Compras de Alimentos y Bebidas total.
- AB_{criterio} = Coste de Compras de Alimentos y Bebidas que cumplen al menos con un criterio.
- CEe_{tot} = Coste de Compras de Equipos Electrónicos total.
- CEe_{criterio} = Coste de Compras de Equipos Electrónicos que cumplen al menos con un criterio.

2. Fuente de datos:

Los datos de costes serán obtenidos del departamento de Compras, Adquisiciones o similar.

3. Frecuencia de recolección:

Cada vez que se realice la compra de un producto o material se debe identificar si cumple o no con alguno de los criterios mencionados, de ser el caso que si registrar el coste en una base de datos para la posterior evaluación del indicador.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Usuario del edificio

B: Usuario y propietario del edificio

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
< 40 %	40 - 55 %	56 – 70 %	71 - 85 %	> 85 %

Referencias:

Sistema de certificación LEED (USGBC, 2018).

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador:	Manejo de Desechos
Relevancia:	
Con el fin de reducir el impacto ambiental en la fase de uso es importante la existencia de un plan de manejo de desechos generados.	
Unidad:	Und.
Frecuencia de cálculo:	Semestral
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa el cumplimiento de criterios relacionados al manejo de los desechos generados en la fase de uso. Estos criterios son basadas en lo propuesto por el sistema de certificación LEED, y son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer ubicaciones de almacenamiento para materiales reciclables que incluyan papel, cartón corrugado, vidrio, plásticos y metales. • Establecer áreas de almacenamiento seguro para baterías y lámparas que contengan mercurio. • Contar con un plan de gestión de desechos sólidos preferentes medioambientalmente que abarque la reutilización, el reciclaje o el compostaje de productos comprados en el transcurso de las operaciones regulares del edificio. Se debe identificar programas con los proveedores o Take Back Services para la gestión final de los desechos obtenidos de los productos que proveen. Debe diferenciar los tipos de desechos: <ul style="list-style-type: none"> a) Desechos continuos: <ul style="list-style-type: none"> • Papel, cartón, accesorios de escritorio. • Alimentos y bebidas. b) Desechos de bienes duraderos: <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de oficinas y audiovisual y electrodomésticos. • Equipamiento eléctrico. c) Desechos peligrosos: <ul style="list-style-type: none"> • Eliminación segura de baterías y lámparas (interiores y exteriores, así como dispositivos instalados y portátiles) 	
1. Fórmula:	
$Indicador = N^{\circ} \text{ criterios cumplidos}$	
2. Fuente de datos:	
Para la recolección de los datos, se debe haber realizado la inspección y validado cuales de los criterios mencionados se cumplen.	
3. Frecuencia de recolección:	
La recolección de datos se debe hacer luego de la inspección realizada de manera semestral. De ser el caso, antes del comienzo de las actividades laborales de los ocupantes.	
Responsable y beneficiario del indicador:	
R: Propietario del edificio	
B: Usuario y propietario del edificio	

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
-	0	1	2	3

Referencias y fuente del indicador:

Sistema de certificación LEED (USGBC, 2018).

Indicador:

Disposición de desechos sólidos

Relevancia:

Como parte del manejo de desechos se debe analizar la cantidad y el tipo de desperdicio para desarrollar medidas y reducir los residuos generados y también preferir la adquisición de productos que puedan ser reutilizables, reciclables o compostables. Las medidas de optimización podrían incluir campañas de información para llamar la atención sobre la prevención de residuos, de igual forma los ajustes de los procesos internos de compras (USGBC, 2018). Según la metodología L2C® basado en la circularidad, se debe lograr que los desechos no terminen en vertederos o plantas incineradoras.

Unidad:

Porcentaje (%)

Frecuencia de cálculo:

Anual

Descripción:

Los desechos sólidos generados en la fase de uso pueden diferenciarse en dos tipos:

- a) Desechos continuos:
 - Papel, cartón, accesorios de escritorio.
 - Alimentos y bebidas.
- b) Desechos de bienes duraderos:
 - Equipo de oficinas y audiovisual y electrodomésticos.
 - Equipamiento eléctrico.

Este indicador evalúa la cantidad en peso de los desechos sólidos que son reutilizados, reciclados o compostados.

1. Fórmula:

$$\text{Indicador} = \left(0.40 * \frac{DC_r}{DC_{tot}} + 0.60 * \frac{DBd_r}{DBd_{tot}} \right) \times 100\%$$

- DC_{tot} : Desechos continuos total (lb, kg, ton)
- DC_r : Desechos continuos reutilizados, reciclados o compostados (lb, kg, ton)
- DBd_{tot} : Desechos de bienes duraderos total (lb, kg, ton)
- DBd_r : Desechos de bienes duraderos reutilizados, reciclados o compostados (lb, kg, ton)

2. Fuente de datos:

La recopilación de datos de las cantidades de residuos se recoge de las facturas e información por parte de las empresas de gestión de residuos. También se puede obtener según las cantidades de productos que son devueltos al fabricante o proveedor (Take Back System). En ambos casos se debe diferenciar la vía de disposición final del material.

3. Frecuencia de recolección:

Periodos mensuales.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Usuario del edificio

B: Usuario y propietario del edificio

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
< 40 %	40 - 55 %	56 – 70 %	71 - 85 %	> 85 %

Referencias:

Sistema de certificación LEED (USGBC, 2018).

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

5.3.4. MAXIMIZAR EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Indicador:	Consumo de energía no renovable
Relevancia:	
<p>La demanda energética durante la fase de uso suele ser responsable de la mayor parte del consumo de energía del ciclo de vida del edificio. Si bien es cierto, actualmente el uso de energías se inclina hacia las fuentes renovables, existe aún la dependencia del uso de fuentes no renovables como es el caso de la electricidad generada en termoeléctricas donde se utilizan combustibles fósiles que básicamente genera agotamiento de recursos y cantidades excesivas de emisiones de CO₂. Mediante un control del consumo de estas fuentes de energía se pueden tomar acciones para una mejor gestión a fin de reducir los daños ambientales y económicos asociados con su uso, que conduce también a lograr la eficiencia energética del edificio.</p>	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	
<p>El indicador evalúa el uso eficiente de la energía (electricidad) de origen no renovable que es suministrada por una comercializadora de electricidad al edificio para satisfacer los usos internos que pueden ser calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente doméstica, iluminación.</p> <p>Se mide como porcentaje del valor de consumo de energía frente al valor de consumo de energía para el indicador inmediato anterior.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{C_{Enr}}{C_{Enr_{ant}}} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • C_{Enr} : consumo de energía (electricidad) por fuentes no renovables (kWh/ocup o kWh/m²) • C_{Enr_{ant}} : consumo de energía (electricidad) de fuentes no renovables para el indicador anterior (kWh/ocup o kWh/m²) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los datos de C_{Enr} se obtienen por medio de facturas emitidas por comercializadoras de electricidad. Es necesario conocer cómo se obtuvo electricidad, en el caso sea por fuentes renovables no incluir el consumo para la medición del indicador. Es recomendable que se recopile datos de consumo real desde el primer momento en que el edificio pueda considerarse plenamente ocupado, para garantizar más predicción en los patrones de consumo, así la cantidad de ocupantes permanece constante. • El dato del C_{Enr_{ant}} se obtiene de la medición del indicador del periodo anterior. • En la primera medición, al no disponer del dato de C_{Enr_{ant}} se puede utilizar el dato de consumo de energía, por un edificio con características similares, que preferentemente haya obtenido una clasificación superior por alguna certificadora de edificios sostenibles. O también el dato previsto de consumo de energía que se obtiene en la fase de diseño según las exigencias del CTE en el DBHE Ahorro de energía. 	

3. Frecuencia de recolección:

La cantidad del consumo de electricidad se obtiene de manera mensual o según la periodicidad de emisión de las facturas.

Meta:

1. Meta:

El objetivo de este indicador es monitorear la reducción del consumo del agua según frecuencia señalada, hasta alcanzar el consumo de energía no renovable 0. Es decir, lo que se quiere es un consumo de energía solamente de origen renovable.

2. Sentido de resultado esperado:

Se espera que los valores medidos semestralmente se proyecten de forma descendente.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Usuario del edificio

B: Propietario del edificio

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
>100 %	95-100 %	90-94 %	85-89 %	< 85 %

Referencias:

Documento Básico HE Ahorro de Energía (Ministerio de Fomento, 2019)

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador:	Emisiones de Huella de Carbono
Relevancia:	
<p>Es conocido que en los últimos años los gases del efecto invernadero (GIE) han aumentado, hasta alcanzar niveles peligrosos que impactan en el medio ambiente, lo que conlleva a un calentamiento global excesivo y otros efectos para el clima. En un edificio durante el ciclo de vida, una gran parte de las emisiones de GEI o huella de carbono se debe a un alto consumo de energía operativa durante la etapa de uso. Los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo de energía y el 36% de emisiones de CO₂ en la Unión Europea (DGNB, 2020c). El consumo de energía en la operación del edificio puede y debe reducirse sustancialmente con tecnologías disponibles y las medidas en la organización, con el fin de reducir las emisiones de GEI.</p> <p>Los gases que se indican en el Protocolo de Kioto como máximos responsables del efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global son: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido de nitrógeno (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PFCs), el hexafluoruro de azufre (SF₆) y, el trifluoruro de nitrógeno (NF₃). Sin embargo, el CO₂ es el GEI que influye en mayor medida al calentamiento del planeta, y es por ello que las emisiones de GEI se miden en función de este gas (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018).</p>	
Unidad:	(g, kg, ton) de CO ₂ eq.
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa las emisiones de huella de carbono que genera el edificio al usar energía de origen no renovable.</p>	
<p>Es un indicador absoluto de las emisiones de huella de carbono.</p>	
<p>1. Fórmula:</p>	
$\text{Indicador} = HC_{real} = C_{Enr} * FE$	
<ul style="list-style-type: none"> • HC_{real}: huella de carbono real por uso de energía de fuentes no renovables. * • C_{Enr}: consumo de energía por uso de fuentes no renovables. ** • FE: factores de emisión: cantidad de GEI emitidos por cada unidad de energía según la fuente no renovable (gr,kg,ton de CO₂eq/ unidad de cantidad de consumo de energía). 	
<p>* La unidad del resultado de la fórmula de HC es la cantidad (g, kg, ton, etc) determinada de carbono equivalente (CO₂ eq) por unidad de cantidad de consumo de energía por cada fuente.</p>	
<p>** La unidad de medida del consumo de energía varía según la fuente de energía, por ejemplo, para electricidad es kWh, para consumos de combustibles son kWh, l, kg.</p>	
<p>2. Fuente de datos:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Se debe establecer las fuentes de energía que existe en el edificio que emiten CO₂ al medio ambiente. Las fuentes no renovables que pueden abastecer de energía un edificio principalmente son la electricidad (generado en termoelectricas) y el gas natural, pueden existir otros. 	

- Los datos de **CEnr** se obtienen por medio de facturas emitidas de empresas que comercializan los servicios.
- Para la obtención de los factores de emisión de CO₂ existen muchas fuentes de información, para esta investigación, al ser la empresa constructora Construcía de origen español, se propone el uso de los factores de emisión identificados por el (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). Los datos a tomar de **FE** para el cálculo de la huella de carbono del consumo de energía que tiene origen en combustibles se obtienen de la tabla 5.6. y actualmente se cuenta con la más reciente actualización del año 2019.

Combustible (Unidades FE)	Factores de emisión (FE)												
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Gasolina (kgCO ₂ /l) ⁽¹⁾	2,295	2,295	2,295	2,295	2,205	2,201	2,205	2,205	2,205	2,196	2,180	2,157	-
Gasóleo A (kgCO ₂ /l) ⁽¹⁾	2,653	2,653	2,653	2,653	2,493	2,467	2,544	2,544	2,544	2,539	2,520	2,493	-
Gasóleo B (kgCO ₂ /l) ⁽²⁾	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708	2,708
Gasóleo C (kgCO ₂ /l)	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868
E5 (kgCO ₂ /l)	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180
E10 (kgCO ₂ /l)	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065
E85 (kgCO ₂ /l)	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344
E100 (kgCO ₂ /l)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B7 (kgCO ₂ /l)	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467
B10 (kgCO ₂ /l)	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387
B20 (kgCO ₂ /l)	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122
B30 (kgCO ₂ /l)	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857
B100 (kgCO ₂ /l)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
XTL (kgCO ₂ /l)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gas natural (kgCO ₂ /kWh) ⁽³⁾	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,183	0,183	0,182
LNG (kgCO ₂ /kWh) ⁽³⁾	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,183	0,183	0,182
CNG (kgCO ₂ /kWh) ⁽³⁾	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,183	0,183	0,182
LPG (kgCO ₂ /l)	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671
H2 (kgCO ₂ /kg)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gas butano (kgCO ₂ /kg)	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964
Gas propano (kgCO ₂ /kg)	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938
Fuelóleo (kgCO ₂ /kg)	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127
Carbón nacional (kgCO ₂ /kg)	2,297	2,297	2,297	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,006	2,227	2,227	1,914
Carbón de importación (kgCO ₂ /kg)	2,527	2,527	2,527	2,579	2,579	2,579	2,579	2,579	2,579	2,430	2,444	2,444	2,429
Coque de petróleo (kgCO ₂ /kg)	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169

Tabla 5.6: Factores de emisión (FE) por fuentes de combustibles

- También, como indica (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020), existen **FE** del mix eléctrico de las comercializadoras que operan en España. Por ejemplo, si el proyecto de edificación se encuentra en Cataluña, las comercializadoras de suministro y sus **FE** del año 2019 son:
 - Endesa Energía XXI, S.L.U.: 0.27 kg CO₂/kWh.
 - EDP Comercializadora de Último Recurso, S.A.: 0.23 kg CO₂/kWh.
 - E.ON Comercializadora de Último Recurso, S.L.: 0.34 kg CO₂/kWh (año 2015).
 - Naturgy Iberia: 0.30 kg CO₂/kWh.
 - Iberdrola Comercialización de Último Recurso, S.A.U.: 0.20 kg CO₂/kWh.

Se debe tener en cuenta el origen de la electricidad, si corresponde a energías renovables la emisión de huella de carbono será nula.

3. Frecuencia de recolección:

La recolección de datos de **CEnr** se hará de forma mensual o según periodicidad de entrega de facturas de las empresas de servicios públicos.

Meta:

1. Meta:

El objetivo de este indicador es monitorear las emisiones de huella de carbono del edificio. Se debe lograr en cada medición un valor menor a la medición anterior, lo que indicará que el consumo de energía con origen no renovable está reduciendo. Para el caso de la primera medición no se puede clasificar.

2. Sentido de resultado esperado:

Se espera que los valores del indicador sean descendentes.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Usuario del edificio

B: Propietario del edificio

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
(>100%) de indicador anterior	(96 a 100%) de indicador anterior	(91 a 95%) de indicador anterior	(85 a 90%) de indicador anterior	(< 85%) de indicador anterior

Referencias y fuente del indicador:

“Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización” (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018)

Factores de emisión (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020)

Indicador:	Uso de energías renovables
Relevancia:	
<p>L2C® tiene como principio utilizar al máximo las energías renovables, por tanto es fundamental utilizar estas fuentes en los edificios, más aun cuando se sabe que estos consumen gran cantidad de energía con respecto a la cantidad total consumida a nivel mundial: los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo de energía en la Unión Europea (DGNB, 2020c).</p> <p>Las energías renovables no generan emisiones de CO₂ y son provenientes de fuentes no fósiles, como la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa, de este modo, no generan agotamiento de recursos. Los edificios para ser más sostenibles integran sistemas tecnológicos de generación de energía, a partir del aprovechamiento de las fuentes no fósiles renovables mencionadas.</p>	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa la utilización de energías de fuentes renovables.</p> <p>Se mide como porcentaje del valor de consumo total de energía renovable (electricidad) frente al valor total de consumo de energía, es decir de fuentes renovables y no renovables.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{CEr}{CEnr + CEr} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • CEr : consumo de electricidad total generada por todos los sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables. (kWh/m²) • CEnr : consumo de energía (electricidad) de fuentes no renovables. (kWh/ m²) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los datos de CEr se obtienen por medio de los medidores de los sistemas instalados para el aprovechamiento de fuentes renovables. • Los datos de CEnr se obtienen por medio de facturas emitidas por comercializadoras de electricidad. Es necesario conocer cómo se obtuvo electricidad, en el caso sea por fuentes renovables incluir la cantidad de consumo en el dato CEr. <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La recolección de datos de la cantidad de CEr se puede obtener de manera mensual, bimestral o semestral. • La recolección de datos de la cantidad de CEnr se obtiene de manera mensual o según la periodicidad de emisión de las facturas. 	
Meta:	
<p>1. Meta:</p> <p>El objetivo de este indicador es lograr un valor de 100%, lo que indicará que solamente el edificio se abastece de fuentes renovables para generar electricidad.</p>	

2. Sentido de resultado esperado:

Se espera que los valores del indicador sean ascendentes hasta alcanzar el 100%

Responsable y beneficiario del indicador:

R y B: Propietario del edificio

Clasificación L2C Scorecard:

Según análisis propio al CTE en el DBHE Ahorro de energía (Ministerio de Fomento, 2019) en un edificio para uso distinto del residencial privado, el consumo máximo de energía de fuentes no renovables con respecto al total de energía primaria es hasta 58%. Esto dependerá de la ubicación geográfica del proyecto, su altitud y la carga interna en el interior del edificio (carga interna es el conjunto de solicitudes generadas en el interior del edificio, debidas, fundamentalmente, a los aportes de energía de las fuentes internas como ocupantes, equipos eléctricos, iluminación, etc (Ministerio de Fomento, 2019)). Los consumos máximos de energía que indica el CTE se deben cumplir con el fin de lograr un consumo de energía casi nulo o nZEB (European Commission, 2020b).

Bajo eso, el consumo de energía renovable debe ser como mínimo 42% del total de las fuentes de energía primaria. Por esa razón se toma como valor mínimo 40% para la clasificación.

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
No uso de energía renovable	<40 %	40-69 %	70-99 %	100 %

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador:	Ahorro de emisiones de Huella de Carbono
Relevancia:	
<p>La finalidad del uso de energías de fuentes renovables es reducir el impacto al medio ambiente que se genera al utilizar fuentes no renovables. También ayuda a no depender y no agotar algunos recursos naturales como es el caso de los combustibles fósiles. Los beneficios del uso de fuentes renovables en un edificio se podrían conocer al evaluar la cantidad de huella de carbono cuya emisión al medio ambiente es evitada.</p>	
Unidad:	(g, kg, ton) de CO ₂ eq.
Frecuencia de cálculo:	Anual
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa el ahorro de las emisiones de huella de carbono que genera el edificio como consecuencia del uso de energía de origen renovable.</p> <p>Es un indicador absoluto de las emisiones de huella de carbono que se ahorra por el uso de energías renovables. Para esta evaluación la energía es la electricidad generada por sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = HC_{\text{ahorro}} = CER * FE$ <ul style="list-style-type: none"> • HC_{ahorro}: ahorro de huella de carbono por el uso de energías renovables. (g, kg, ton) de CO₂ eq. • CER: consumo de electricidad total generada por todos los sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables. (kWh) • FE: factores de emisión: cantidad de GEI emitidos por unidad de energía (g,kg,ton de CO₂eq/kWh). <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los datos de CER se obtienen por medio de los medidores de los sistemas instalados para el aprovechamiento de fuentes renovables. • Como indica (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020), existen datos de FE del mix eléctrico de las comercializadoras que operan en España. Las principales comercializadoras de Cataluña y sus respectivos FE se mencionaron en el indicador “Emisiones de Huella de Carbono”. <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>La recolección de datos de la cantidad de CER se puede obtener de manera mensual, bimestral o semestral.</p>	
Meta:	
<p>1. Meta:</p> <p>El objetivo de este indicador es conocer el ahorro en emisiones de huella de carbono al utilizar energías de fuentes renovables. Se debe lograr en cada medición un valor superior o similar a la medición anterior, lo que indicará que el consumo de energía con origen renovable está siendo aprovechado de manera eficiente. Para el caso de la primera medición no se puede clasificar.</p>	

2. Sentido de resultado esperado:

Se espera que los valores del indicador sean ascendentes.

Responsable y beneficiario del indicador:

R y B: Propietario del edificio

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
(< 85%) de indicador anterior	(85 a 90%) de indicador anterior	(91 a 95%) de indicador anterior	(96 a 100%) de indicador anterior	(>100%) de indicador anterior

Referencias y fuente del indicador:

“Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización” (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018)

Factores de emisión (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020)

5.4. FASE DECONSTRUCCIÓN

Última fase del ciclo de vida de un proyecto de edificación enfocado a la economía circular. Se deben seguir los procesos detallados del desensamblado y la gestión de nutrientes según las vías de ciclaje de los materiales mencionados en el Manual de Deconstrucción del edificio. Se tiene como finalidad cumplir con lo indicado en el documento, para lograr las metas del proyecto L2C®.

La fase de deconstrucción de un edificio, en la mayoría de los casos se realiza cuando los elementos estructurales han finalizado con su vida útil. Por ser un diseño circular el desmontaje del edificio se realizará según las *capas* de las que está compuesta, diseño propuesto por (Brand, 1995).

Para efectos del uso de los indicadores propuestos a continuación, se divide la fase de deconstrucción en sub-fases:

- Planificación de deconstrucción.
- Ejecución y control de deconstrucción.
- Final de deconstrucción.

Cada indicador es propuesto ser medido en la sub-fase de *final de deconstrucción*, salvo en el caso se indique que también podrá ser evaluado en las dos sub-fases anteriores.

5.4.1. TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL

Indicador:		Tiempo total de deconstrucción		
Relevancia:				
La productividad alcanzada en obra mediante el uso de las estrategias L2C® se ven reflejadas en los costes y duración totales reducidos. De esta manera, la evaluación del tiempo real en base a la planificación maestra es fundamental para conocer el rendimiento en las actividades de obra.				
Unidad:	Porcentaje (%)			
Frecuencia de cálculo:	Único			
Descripción:				
Este indicador evalúa la reducción de la duración total de deconstrucción con respecto a la duración definida en el cronograma base de deconstrucción en la etapa de planificación de esta fase.				
1. Fórmula:				
$\text{Indicador} = \frac{D_{base} - D_{real}}{D_{base}} * 100\%$				
<ul style="list-style-type: none"> • D_{real} = Duración total real de las actividades de deconstrucción. (días) • D_{base} = Duración total base de las actividades de deconstrucción. (días) 				
2. Fuente de datos:				
<ul style="list-style-type: none"> • La duración total real se obtiene al finalizar la obra de deconstrucción. • La duración base se obtiene del cronograma de ejecución de deconstrucción en la etapa de planificación de la deconstrucción, por medio de estimaciones de la duración de las actividades y su secuencia de realización. Por ejemplo, se puede estimar estas duraciones en base a información proporcionada por la empresa que se encargará de los trabajos o de las empresas proveedoras de los materiales a dismantelar. 				
3. Frecuencia de recolección:				
<ul style="list-style-type: none"> • Única vez al finalizar la deconstrucción. 				
Meta:				
Se pretende que el indicador resulte en un valor por encima del 0% lo que indica que al finalizar la deconstrucción existe reducción de los días de duración previsto por el cronograma base.				
Responsable y beneficiario del indicador:				
R: Contratista encargado de la deconstrucción.				
B: Contratista encargado de la deconstrucción y propietario del edificio				
Clasificación L2C Scorecard:				
Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:				
NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
< 1 % (mayor duración real)	1 – 5 %	6 - 10 %	11 – 15 %	> 15 %
Fuente del indicador:				
Elaboración propia.				

Indicador:	Costes de deconstrucción
Relevancia:	
<p>Los costes de deconstrucción al igual que los costes de construcción deben generar beneficios para la empresa. En la práctica, a menudo hay poca transparencia sobre la composición de los costes de deconstrucción y sobre la base de los datos en los que se basa el cálculo, ofreciendo al cliente una valoración objetiva de los posibles riesgos. Entonces la seguridad del presupuesto previsto, durante todo el proceso de deconstrucción se hace difícil (DGNB, 2020a). También en la fase de uso puede haber modificaciones del edificio, lo que también generará variabilidad en los costes.</p> <p>Por tal motivo es necesario contar con un presupuesto base de deconstrucción en la etapa de diseño del proyecto para ofrecer al cliente una valoración prevista, y finalmente, luego de la deconstrucción no sólo obtener el coste beneficio, sino también obtener mejoras en lo referente a las estimaciones de los precios fijados inicialmente.</p>	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa la reducción del coste total de deconstrucción con respecto al coste base de deconstrucción en la fase de diseño del proyecto.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{CD_{base} - CD_{real}}{CD_{base}} * 100\%$ $CD_{real} = CDi_{real} + CIn_{real}$ <ul style="list-style-type: none"> • CD_{real} = Coste de deconstrucción real del edificio. (€) • CD_{base} = Coste de deconstrucción base del edificio. (€) • CDi = Costes directos: mano de obra directa, materiales, maquinaria, subcontratistas que estén directamente relacionados con las unidades de obra del desmantelamiento. (€) • CIn = Costes indirectos: mano de obra indirecta, servicios que no están dentro de las unidades de obra. Aquí se incluyen los costes o ingresos obtenidos para la gestión de nutrientes de los materiales según las diferentes vías de ciclaje identificadas en el Manual de deconstrucción. (€) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El CD_{real} se obtiene de los valores de costes reales de la obra finalizada de deconstrucción. • El CD_{base} se obtiene por medio de los costes directos e indirectos, al igual que ocurre para la construcción. Por ejemplo, para la obtención de los costes directos se puede estimar los precios unitarios en base a información proporcionada por empresas que realizan trabajos de desmantelamiento o de proveedoras de los materiales a desmantelar. <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El CD_{real} se obtiene al finalizar la deconstrucción. • El CD_{base} se obtiene en la fase de diseño del proyecto. 	

Meta:				
Se pretende que el indicador resulte en un valor por encima del 0% lo que indicará que existe reducción de costes total de deconstrucción.				
Responsable y beneficiario del indicador:				
R: Contratista encargado de la deconstrucción.				
B: Contratista encargado de la deconstrucción y propietario del edificio				
Clasificación L2C Scorecard:				
Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:				
NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
< 1 % (incrementa coste)	1 – 4 %	5 - 8 %	9 – 12 %	> 12 %
Fuente del indicador:				
Elaboración propia.				

Indicador:	Valor residual del edificio
Relevancia:	
L2C® pretende lograr que al final del tiempo de vida del edificio, este posea un valor residual superior a uno tradicional. En la práctica, normalmente se estima este valor en la fase de diseño o ejecución, para el edificio en un tiempo de vida establecido y en diferentes escenarios, para ofrecer al cliente una valoración prevista.	
El valor residual hace referencia al valor de un activo al término de su vida útil. Desde un punto de vista L2C® es el importe que se desea obtener al extraer todos los componentes del edificio, es decir se debe cuantificar el valor económico de cada uno de los materiales.	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
Este indicador evalúa el valor residual real del edificio.	
Se mide como porcentaje del valor real residual frente al valor residual previsto en el escenario que mejor se adapta al final de la vida útil del edificio.	
1. Fórmula:	
$\text{Indicador} = \frac{VR_{real}}{VR_{previsto}} * 100\%$	
<ul style="list-style-type: none"> • VR_{real} = Valor residual real del edificio. (€) • $VR_{previsto}$ = Valor residual previsto del edificio. (€) 	

2. Fuente de datos:

- El VR_{real} se obtiene luego de extraer o desmantelar todos los materiales o productos en el edificio. Para su cálculo se debe conocer el valor económico de cada uno de los materiales y su disposición final (vía de ciclaje final). El cálculo del valor económico depende del estado en el que se encuentra el material, es decir el grado de similitud con las características iniciales de aspecto y funcionalidad que posee para ese momento, también depende de las regulaciones y el precio de las materias primas que está compuesto el material. No siempre el valor económico resulta positivo, aunque eso es lo que pretende L2C®, ya que depende de la vía de ciclaje que se realizó: si el material es devuelto al ciclo técnico o biológico su valor será positivo y si es eliminado su valor económico será negativo.
- El $VR_{previsto}$ se calcula mediante estimación que dependen de factores intrínsecos a la construcción (diseño para desensamblaje, pasaporte de materiales) y de factores extrínsecos (condiciones de mercado, entorno regulatorio o innovación tecnológica) (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2019b). Mediante los factores extrínsecos se hace el cálculo en posibles escenarios: principalmente debe haber uno conservador, donde la regulación e innovación progresan lentamente y los precios de materiales se mantienen en los crecimientos medios históricos; y uno de transición circular, que sería el más probable, con regulaciones intensas y crecimiento del precio de las materias primas por encima de los crecimientos históricos. Este valor se obtiene del informe de *Análisis Financiero Diferencial (Real Value Estate)* desarrollado para los proyectos L2C® una vez terminado la fase de ejecución y se incluye en el documento *Pasaporte de Materiales*.

3. Frecuencia de recolección:

- El VR_{real} se obtiene luego de extraer o desmantelar todos los materiales o productos en el edificio.
- El $VR_{previsto}$ se obtiene al final de la fase de ejecución del edificio.

Meta:

Se pretende que el indicador resulte en un valor cercano o por encima del 100%, lo que indicará que el VR del edificio fue el esperado, según el escenario escogido por similitud de condiciones para ese momento futuro.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Contratista encargado de la deconstrucción y propietario del edificio

B: Propietario del edificio

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
<85%	85-90%	91-95%	96-100%	>100%

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador:	Uso de funcionalidades BIM
Relevancia:	
<p>El progreso de la deconstrucción debe ser monitoreado y actualizado, es decir se debe hacer un seguimiento del proceso que se hace realmente en comparación con la planificación base de la deconstrucción. La información relevante sobre el proceso de deconstrucción debe estar disponible en una plataforma en formato digital con información puesta a disposición a todos los participantes del proyecto, es decir un entorno colaborativo. Una de las características clave de BIM (Building Information Modeling), como plataforma de integración usada en la construcción, que lo hace adecuado para el proceso de economía circular es su capacidad para acumular información sobre el ciclo de vida de un edificio (Eadie et al., 2013).</p>	
Unidad:	Und.
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
<p>Se han identificado funciones BIM que podrían aplicarse antes de finalizada la deconstrucción, por lo que se propone evaluar este indicador en las siguientes sub-fases:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Planificación de deconstrucción. • Ejecución y control de deconstrucción. 	
<p>Este indicador evalúa el uso de la plataforma BIM mediante la aplicación de ciertas de sus funciones en las sub-fases indicadas. Las funciones se mencionan a continuación.</p>	
<p>En la planificación, BIM permite la “evaluación rápida y simulación de alternativas de deconstrucción”. Se puede sintetizar sus funciones para este proceso como sigue (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019):</p>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Simulación de procesos de deconstrucción con Programación 4D: las capacidades de simulación de BIM puede ser extendido y utilizado en el proceso, lo que puede ayudar a simular las actividades de la deconstrucción, y visualizar posibles escenarios. 2. Escenarios de detección de choques: relacionado con la detección de choques dinámicos en lugares estáticos, es considerado una de las funciones más importantes de BIM en la deconstrucción (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019). Por ejemplo, si se va a desmontar un determinado elemento, la simulación de su camino de desmantelamiento puede detectar los posibles choques cuando se mueve de su lugar original al exterior del edificio. Es por eso que, los elementos críticos que deben ser desmontados se comprueban por diferentes rutas para sacarlos del edificio. 3. Cuantificación de materiales recuperables: a través del cual se puede saber la cantidad de elementos a recuperar como también a demoler, aunque este último no es lo que se busca con la metodología L2C®. 4. Simulación de realidad virtual (VR): la obtención de escenarios simulados de deconstrucción es posible por medio de BIM con uso de herramientas de realidad virtual. 	
<p>Para la ejecución y control de la deconstrucción se identifican funciones BIM que pueden ayudar a ser más eficaces en la productividad (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019):</p>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Visualización del proceso in situ: puede ayudar a los trabajadores a saber en qué punto se encuentran y conocer los procedimientos necesarios para desmantelar los elementos. 	

2. Herramientas de realidad virtual (VR): el uso de estas herramientas también puede ser conveniente para visualizar las tareas sucesoras en el momento de la deconstrucción.
3. Actualización del estado in situ: representa el estado actual de las actividades de deconstrucción, el avance diario de los trabajadores se puede plasmar directamente en el modelo BIM lo que ayuda a los jefes de obra, gerentes, cliente o cualquier otro interesado a ver el estado actual de la producción en el sitio.
4. Integración y actualización de la base de datos: en la deconstrucción se puede sincronizar con las empresas (proveedores Take Back System) identificadas para entragar los materiales, productos o elementos y que ellos dispongan de ellos, por lo que los elementos extraídos que se entregan son actualizados a través del modelo BIM.

1. Fórmula:

$$\text{Indicador} = \text{Bim}$$

- **Bim** = Cantidad de funciones BIM aplicadas con resultado esperado.

2. Fuente de datos:

Al aplicar las funciones BIM si se obtienen los resultados que se desea, se tomará válida como una cantidad de función BIM aplicada.

3. Frecuencia de recolección:

Cuando se obtengan los resultados esperados al aplicar alguna función BIM mencionada.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Contratista encargado de la deconstrucción.

B: Contratista encargado de la deconstrucción y propietario del edificio.

Clasificación L2C® Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

- Planificación de deconstrucción.

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
No uso de BIM	1	2	3	4

- Ejecución y control de deconstrucción.

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
No uso de BIM	1	2	3	4

Referencias:

Lean Deconstruction Approach for Buildings Demolition Processes using BIM (Marzouk, Elmaraghy and Voordijk, 2019)

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador: **Uso de herramientas Lean Construction**

Relevancia:

Para L2C®, al igual que en la construcción, es importante optimizar los procesos de deconstrucción aplicando la filosofía Lean Construction por medio de herramientas para aumentar la productividad y buscar la calidad.

Unidad: Porcentaje (%)

Frecuencia de cálculo: Único

Descripción:

Este indicador evalúa el uso de estrategias Lean Construction en las tres sub-fases (planificación de deconstrucción, ejecución y control de deconstrucción, y final de deconstrucción). Las estrategias Lean son:

Estrategias	Acciones o Herramientas	Documentos
1. Planificación Pull	<ul style="list-style-type: none"> - Definición de las vías de ciclaje (Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción) - Planificación grupal colaborativa (Pull sessions) - Last Planner System 	<ul style="list-style-type: none"> Estudio logístico Zonas de trabajo Plan maestro Planificación semanal Planos avance diario
2. Extracción “Just In Time”	<ul style="list-style-type: none"> - Contacto con proveedores o fabricantes. - Contacto con entidades para reciclaje, compostaje o tratamiento de materiales peligrosos. 	<ul style="list-style-type: none"> Plan logístico
3. Reducir la variabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Value Stream Mapping 	<ul style="list-style-type: none"> Mapa de valor
4. Aprendizaje y mejora	<ul style="list-style-type: none"> - Clúster de proveedores 	<ul style="list-style-type: none"> Archivo de datos Actualización procesos Reuniones conclusiones

1. Fórmula:

$$\text{Indicador} = LC$$

- **LC** = Cantidad de estrategias Lean Construction aplicadas.

2. Fuente de datos:

Conteo de las estrategias aplicadas.

3. Frecuencia de recolección:

Una vez se apliquen las estrategias LC para mejorar procesos.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Contratista encargado de la deconstrucción.

B: Contratista encargado de la deconstrucción y propietario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores para cada sub-fase de deconstrucción:

- Planificación de deconstrucción.
- Ejecución y control de deconstrucción.
- Final de deconstrucción.

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
No uso LC	1	2	3	4

Referencias y fuente del indicador:

Estrategias Lean Construction en la fase de deconstrucción para L2C® (Construcción & Elaboración Propia)

Indicador:

Facilidad de desensamblado de componentes

Relevancia:

Los componentes del edificio, según la capa en la que se encuentren, deben poder ser separados fácilmente según la metodología de deconstrucción planteada. Para lograr lo mencionado por ejemplo se deben evitar conexiones químicas porque aumentan la complejidad de los componentes, retrasan el desmontaje y, por lo tanto, limitan su reutilización. La utilización de diferentes sistemas constructivos, independientes y bien caracterizados desde su puesta en obra, también facilita la sustitución de aquellos elementos que puedan quedar obsoletos, reducen en gran medida las obras a realizar y hacen posible la reutilización o reciclaje fuera del edificio para cerrar sus respectivos ciclos económicos y ecológicos (PichArchitects, 2019). Por lo que para la separación se requiere nuevas soluciones, tecnologías y modelos comerciales en las conexiones

Unidad:

Porcentaje (%)

Frecuencia de cálculo:

Único

Descripción:

Este indicador evalúa el grado de eficacia que se consiguió al ser desensamblado el edificio por medio del sistema de conexión identificado en el diseño del proyecto, principalmente en cuatro *capas del edificio*: **structure, skin, setting y systems**.

Para lograr conocer el indicador, se asemeja al valor que se obtiene de la relación de la duración real de los trabajos de desensamblado de los componentes para cada capa mencionada con su duración prevista en la planificación de deconstrucción. Se asemeja con ese resultado debido a que la duración prevista de cada uno de las actividades es estimada por medio de información de empresas especializadas en el trabajo de desensamblado, y proveedores de materiales o productos destinados a poder ser desensamblados. También la estimación de la duración se podría basar en fuentes bibliográficas que aportan información de metodologías para el desensamblado y la facilidad del proceso.

1. Fórmula:

$$\text{Indicador} = \frac{Des_{Capa 1} + \dots + Des_{Capa 4}}{4}$$

$$Des_{Capa x} = \frac{D_{real_{Capa x}}}{D_{previsto_{Capa x}}} * 100\%$$

- **Capa x:** capa del edificio, para este indicador se tiene:
 - Capa 1: Structure
 - Capa 2: Skin
 - Capa 3: Setting
 - Capa 4: Systems
- **Des_{Capa x}:** nivel de desensamblado de elementos de la capa x. (%)
- **D_{real_{Capa x}}:** duración real de la actividad de desensamblado de elementos de la capa x. (día)
- **D_{previsto_{Capa x}}:** duración prevista de la actividad de desensamblado de elementos de la capa x. (día)

2. Fuente de datos:

- La duración real se obtiene al finalizar los trabajos de desensamblado para determinada capa.
- La duración prevista se obtiene del cronograma de ejecución de deconstrucción en la etapa de planificación de la deconstrucción, por medio de estimaciones de la duración de las actividades.

3. Frecuencia de recolección:

Única vez al finalizar los trabajos de desensamblado de elementos de una determinada capa.

Meta:

Se pretende que el indicador resulte en un valor igual o menor al 100%, lo que indicará que se logró igual o menos tiempo de duración con respecto al estimado concluyendo que el nivel de desensamblado que se pretendía alcanzar tuvo buen desempeño, es decir no hubieron contratiempos en el avance normal de ejecución.

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Propietario del edificio.

B: Contratista encargado de la deconstrucción y propietario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
>100%	96-100%	92-95%	88-91%	<88%

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

5.4.2. COMODIDAD Y BIODIVERSIDAD

<i>Indicador:</i>	Protección del trabajador
Relevancia:	
<p>La perspectiva de protección del trabajador tiene en cuenta identificar el contenido de sustancias peligrosas que permanecen en el edificio, o de los productos y materiales de construcción que serán reutilizados en otros lugares para poder prevenir al trabajador sobre el posible peligro antes de comenzar los trabajos de deconstrucción. Por eso, es necesario realizar una inspección al edificio, mediante contrato de servicio de un tasador quien informa los posibles riesgos sobre la salud, para ello depende de la calidad de la información disponible (antigüedad, construcción etc), de la accesibilidad del edificio, de la construcción y con qué facilidad se puede registrar la situación específica en el sitio (DGNB, 2020a).</p>	
Unidad:	Und.
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa el grado de seguridad y protección a la salud de los trabajadores antes de comenzar los trabajos de deconstrucción del edificio. Las causas o anomalías más comunes que existen en un edificio luego algún tiempo en funcionamiento, según indica el sistema de certificación DGNB (DGNB, 2020a) son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Contaminantes y sitios contaminados (liberación de contaminantes y fibras). 2. Metales pesados en tuberías de agua. 3. Alta contaminación del aire interior (compuestos orgánicos volátiles). 4. Fuertes anomalías en el olor. 5. Daño visible por humedad o aparición de moho. <p>El indicador es la cantidad de causas o anomalías detectadas que pueden generar riesgos a la salud de las personas.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = N^{\circ} \text{ causas de posibles riesgos a la salud}$ <p>2. Fuente de datos:</p> <p>La inspección al edificio debe ser realizada como un servicio por un tasador o perito especializado y basarse en una revisión visual y ensayos in situ. Según eso hace el registro de las causas o anomalías mencionadas.</p> <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>Una vez ocurra la inspección que se realiza antes de comenzar los trabajos de deconstrucción.</p>	
Meta:	
L2C® se enfoca hacia un impacto positivo, por lo que no espera que ninguna causa o anomalía sea encontrada. La meta es siempre un valor de indicador 0.	
Responsable y beneficiario del indicador:	
<p>R: Propietario del edificio.</p> <p>B: Contratista encargado de la deconstrucción.</p>	

Clasificación L2C Scorecard:

Si bien es cierto la meta es 0 anomalías, se propone la siguiente clasificación, con el compromiso luego por generar un cambio de visión hacia un impacto 100% positivo. Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
Más de 4	3	2	1	0

Referencias y fuente del indicador:

Sistema de certificación DGNB para demolición de edificios (DGNB, 2020a).

Indicador:

Aplicación de medidas de salud y seguridad

Relevancia:

En el proceso de deconstrucción se busca la seguridad y protección de la salud del personal encargado de los diferentes procesos de ejecución. Para ello se debe evitar situaciones peligrosas en el lugar de obra mediante una evaluación profunda de los riesgos esperados y peligros potenciales mediante el seguimiento de la implementación de medidas de seguridad como la capacitación de los involucrados en el proceso de deconstrucción. El control de la implementación de medidas relevantes para la seguridad también aumenta la seguridad en la obra.

Unidad:

Und.

Frecuencia de cálculo:

Único

Descripción:

El indicador evalúa la implementación y aplicación de medidas dentro del Plan de Seguridad y Salud para la obra de deconstrucción. Las medidas de seguridad, como indica el sistema de certificación DGNB (DGNB, 2020a) son referentes a:

1. Capacitaciones al personal (incluye trabajadores de subcontratistas) sobre seguridad y salud en obra por parte de la empresa encargada de deconstrucción.
2. Restricción de la accesibilidad del sitio.
3. Sistema de protección contra incendios, rutas de escape y salvamento.
4. Orden y limpieza en el sitio de deconstrucción.

El indicador es la cantidad de medidas implementadas y aplicadas dentro del Plan de Seguridad y Salud para la obra de deconstrucción.

1. Fórmula:

$$\text{Indicador} = N^{\circ} \text{ medidas aplicadas}$$

2. Fuente de datos:

Recopilar información sobre las medidas aplicadas según el Plan de Seguridad y Salud debe ser función del equipo técnico identificado de seguridad y salud.

3. Frecuencia de recolección:

La aplicación de las medidas mencionadas puede realizarse una o varias veces, así para:

1. Capacitaciones a trabajadores: antes de iniciar los trabajos de deconstrucción se tiene que lograr que cada trabajador haya sido debidamente capacitado, esto también cada vez que un trabajador nuevo se incorpore a obra.
2. Restricción de la accesibilidad del sitio: antes de iniciar los trabajos de desconstrucción se tiene que restringir el ingreso a personas ajenas a la obra aplicando acciones, por ejemplo, uso de señalización fuera del sitio e identificar trabajadores cuya función sea el control del ingreso al sitio.
3. Sistema de protección contra incendios, rutas de escape y salvamento: se debe de realizar antes de iniciar los trabajos de desconstrucción.
4. Orden y limpieza en el sitio de deconstrucción: medida a aplicar constantemente mientras se realizan los trabajos de deconstrucción.

Responsable y beneficiario del indicador:

R y B: Contratista encargado de la deconstrucción.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
0	1	2	3	4

Referencias y fuente del indicador:

Sistema de certificación DGNB para demolición de edificios (DGNB, 2020a).

5.4.3. DISEÑO ECOLOGICO Y SALUDABLE

Indicador:	Rotación de productos o sistemas
Relevancia:	
<p>La sustitución o rotación de materiales debe ser realizado según el tiempo de rotación definido en el Manual de Deconstrucción que está basado en la construcción por <i>capas</i> propuesto por (Brand, 1995). Se hace la rotación cuando el material ha alcanzado el mayor tiempo de vida útil sin haber sido afectado en gran medida su valor residual para luego poder ser recuperado, mas no eliminado. Diseñar y construir de tal manera que los materiales en la rotación tengan un valor residual en lugar de un valor negativo (costes de eliminación) hace que la inversión en diseño circular sea útil (Circle economy, Odijk and Bovene, 2014).</p> <p>Cuanto mayor es la rotación de los materiales, mayor es el impacto (positivo o negativo) que estos pueden ocasionar, por eso, la deconstrucción, especialmente de los materiales con ciclos de rotación más cortos tiene gran relevancia (Construcción and Eco Intelligent Growth, 2020).</p>	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa el grado de rotación de productos o sistemas que han cumplido el tiempo de rotación o sustitución identificado en el Manual de Deconstrucción. Se deberá realizar el cálculo para cada <i>capa del edificio</i> en la que se encuentre el producto o sistema.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{\text{Rot}_{\text{Capa 1}} + \dots + \text{Rot}_{\text{Capa 5}}}{5}$ $\text{Rot}_{\text{Capa } x} = \frac{\text{Rot real}_{\text{capa } x}}{\text{Rot prevista}_{\text{capa } x}} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • Capa x: capa del edificio, para este indicador se tiene: <ul style="list-style-type: none"> - Capa 1: Structure - Capa 2: Skin - Capa 3: Setting - Capa 4: Systems - Capa 5: Stuff • Rot_{capa x}: cantidades de rotaciones o sustituciones de productos o sistemas en la capa x. (%) • Rot real_{capa x}: cantidad real de veces que un producto o sistema se ha sustituido o rotado en la capa x. (und.) • Rot prevista_{capa x}: cantidad prevista de veces que un producto o sistema se ha sustituido o rotado en la capa x. (und.) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La Rot_{capa x} según se indica en el Manual de Deconstrucción es: <ul style="list-style-type: none"> - Capa 1 (Estructura): 1 - Capa 2 (Skin): 2 	

- Capa 3 (Services): 3
 - Capa 4 (Space): 4
 - Capa 5 (Stuff): 8
 - La **Rot real_{capa x}** que un producto o sistema ha sido rotado se obtiene por medio del registro de entrada y colocación del nuevo elemento y salida del elemento que ya ha alcanzado su máximo de vida útil con un valor residual considerado, para su posterior gestión por la vía de ciclaje identificada. En general se debe evaluar si la rotación de algún producto supone un impacto negativo para el medio ambiente, por ejemplo, consumo de energía al entrar a un proceso industrial. Así mismo, se debe tener especial atención y calificar como dato o no, si el producto por Take Back System fue recuperado mucho antes de llegar al final del tiempo definido según la capa.
- 3. Frecuencia de recolección:**
Una vez que ocurra la rotación de un producto o sistema.

Meta:

Se pretende que el indicador resulte en un valor igual o menor al 100%, lo que indicará que la cantidad de rotación de los elementos en cada capa del edificio fue igual o menor a lo indicado en el Manual de Deconstrucción, generando menos impacto al medio ambiente al necesitar menos productos (menos producción en las industrias, por tanto, menos emisiones de CO₂).

Responsable y beneficiario del indicador:

R: Usuario y propietario del edificio.
B: Propietario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera el promedio ponderado de los resultados del indicador por cada capa del edificio:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
>100%	96-100%	92-95%	88-91%	<88%

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador:	Tasa de recuperación por reutilización del hormigón prefabricado
Relevancia:	
<p>Es conocido que para los edificios el hormigón es un material muy utilizado como capa de estructura. Una investigación por (Circle economy, Odijk and Bovene, 2014) realizó un análisis de costes y beneficios del reciclaje del hormigón en tres escenarios tomando en cuenta diferentes aspectos a su modelo como las condiciones del mercado, los precios de los recursos y la energía, los costes laborales y los impuestos. Los escenarios de fin de vida útil son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso como granulado para carreteras • Uso como granulado para la producción del hormigón • Uso como bloque de hormigón. <p>El último escenario fue el que obtuvo más beneficios económicos. Desde un punto de vista circular, la reutilización de bloques de hormigón también es más beneficiosa ya que elimina los pasos que requieren energía adicional como el reciclaje, separación de las fracciones recuperables de los materiales peligrosos.</p>	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa la cantidad (en peso o volumen) del hormigón que es reutilizado en su totalidad, es decir en un escenario circular, que es como bloque de hormigón.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{H_{reu}}{H_{tot}} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • H_{reu}: cantidad en peso o volumen de hormigón prefabricado obtenido de la deconstrucción que es reutilizado como bloques de hormigón. (tn, m³) • H_{tot}: cantidad total en peso o volumen de hormigón prefabricado obtenido de la deconstrucción para volver al ciclo técnico. (tn, m³) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de hormigón prefabricado que se obtiene de la deconstrucción se puede obtener de las mediciones que incluyen el presupuesto de construcción o también de deconstrucción del edificio o del Pasaporte de Materiales del edificio. • La cantidad de hormigón prefabricado recuperado se obtiene por medio de la empresa identificada para la gestión de este material, en caso se haya realizado contrato “take back system” el fabricante es quien entrega la información. <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>Una vez que se haya entregado todo el hormigón para su gestión final a la entidad identificada.</p>	
Meta:	
<p>Se toma 40% como valor mínimo, ya que mediante un análisis desarrollado para conocer la recuperación de componentes estructurales por medio de un modelo BIM (Akanbi et al., 2018) de un edificio en un escenario con sistema estructural de hormigón y método de ejecución tradicional (no uso de prefabricados) el hormigón tuvo como resultado un índice de reutilización de 0,42, y 0,56 de reciclabilidad.</p>	

Responsable y beneficiario del indicador:

R y B: Propietario del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
<40%	40-55%	56-70%	71-85%	>85%

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador:	Tasa de recuperación por reutilización de materiales identificados			
Relevancia:				
Según la vía de ciclaje el material puede ser identificado como nutriente técnico y puede ser reutilizado. Esta estrategia de ciclaje es la que se debe preferir ante las demás ya que mantiene el valor del material o producto evitando extracción de materias primas para un nuevo proceso industrial y consumo de energía.				
Unidad:	Porcentaje (%)			
Frecuencia de cálculo:	Único			
Descripción:				
Este indicador evalúa la contribución de los materiales a la economía circular.				
Se calcula mediante el porcentaje del material reutilizado frente al total extraído de la deconstrucción identificado como nutriente técnico.				
<p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{\text{Mat}_{reu}}{\text{Mat}_{tot}} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • Mat_{reu}: cantidad en peso de los materiales extraídos que son reutilizados. (tn) • Mat_{tot}: cantidad total en peso de los materiales identificados como nutrientes técnicos. (tn) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para conocer los datos de cantidad de materiales reutilizados se puede obtener por medio de información de la empresa fabricante o proveedora en un contrato de producto como servicio “Take Back System” quien se responsabiliza de la gestión del producto y garantiza la recuperación del material, desviándolo de vertedero o incineración. • La cantidad de materiales identificados como nutrientes técnicos se obtiene del Pasaporte de Materiales del edificio. <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>Una vez que se haya entregado todos los materiales extraídos del edificio a las empresas identificadas se debe empezar la recolección de datos.</p>				
Responsable y beneficiario del indicador:				
R y B: Propietario del edificio.				
Clasificación L2C Scorecard:				
Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:				
NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
<20%	21-35%	36-50%	51-65%	>65%
Fuente del indicador:				
Elaboración propia.				

Indicador:	Tasa de recuperación por vías de ciclaje de materiales identificados
Relevancia:	
<p>En el Manual de Deconstrucción y Pasaporte de Materiales se indican las vías de ciclaje para maximizar el impacto positivo de la recuperación de nutrientes en el espacio a través de su deconstrucción. La selección de cada vía de ciclaje sigue los principios C2C al ser un material o producto tratado como nutriente, que volverá a los procesos del ciclo técnico o será alimento en el ciclo biológico. En un enfoque de economía circular se debe preferir las vías de reutilización, remanufactura o reparación.</p>	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa la eficiencia de la Gestión de Nutrientes en el proceso de deconstrucción del edificio.</p> <p>Se mide como porcentaje de la cantidad de elementos o materiales recuperados por las vías de ciclaje identificadas frente al total extraído de la deconstrucción identificado como nutriente técnico o biológico. No se incluye los materiales que hayan sido posiblemente identificados como problemáticos o tóxicos para ser eliminados.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{\text{Mat}_{rec}}{\text{Mat}_{tot}} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • Mat_{rec}: cantidad en peso de los materiales extraídos que se han logrado recuperar para reutilización total, reciclaje o ciclo biológico. (tn) • Mat_{tot}: cantidad total en peso de los materiales identificados como nutrientes técnicos y biológicos. (tn) <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para conocer los datos de la cantidad de materiales que han sido recuperados según las vías de ciclaje identificadas, se debe pedir información a las empresas cuya disposición final de los materiales fue encargada. • La cantidad de materiales identificados como nutrientes técnicos y biológicos se obtiene del Pasaporte de Materiales del edificio. <p>3. Frecuencia de recolección:</p> <p>Una vez que se haya entregado todos los materiales extraídos del edificio a las empresas identificadas se debe empezar la recolección de datos.</p>	
Meta:	
Se deben seguir las vías de ciclaje indicadas en el Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción para cada material o producto que se obtenga del desmantelamiento.	
Responsable y beneficiario del indicador:	
R y B: Propietario del edificio.	
Clasificación L2C Scorecard:	

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
<20%	20-40%	41-60%	61-80%	>80%

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

Indicador: Tasa de eliminación de materiales peligrosos identificados

Relevancia:

La gestión de los materiales en la deconstrucción está definida para seguir las vías de ciclaje identificadas, se busca que el material o elemento se recupere en el ciclo técnico mediante estrategias de ciclaje (reutilización, remanufactura, reparación, reciclaje...), y en el ciclo biológico mediante cascada de nutrientes, compostaje o digestión anaeróbica. Sin embargo, también pueden ser identificados materiales que no podrán ser recuperados, estos deben ser eliminados adecuadamente a fin de no generar un impacto negativo.

Unidad: Porcentaje (%)

Frecuencia de cálculo: Único

Descripción:

Este indicador evalúa la eficiencia de la eliminación de materiales identificados como peligrosos o tóxicos a fin de no generar impactos negativos.

Se mide como porcentaje de la cantidad de material peligroso que es eliminado como fue establecido en el Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción.

1. **Fórmula:**

$$\text{Indicador} = \frac{\text{Mat peligroso}_{\text{eliminado}}}{\text{Mat peligroso}_{\text{tot}}} * 100\%$$

- **Mat peligroso_{eliminado}**: cantidad en peso de los materiales extraídos identificados como peligrosos que se han logrado eliminar adecuadamente. (tn)
- **Mat peligroso_{tot}**: cantidad total en peso de los materiales peligrosos identificados. (tn)

2. **Fuente de datos:**

- Para conocer los datos de la cantidad de materiales peligrosos que han sido eliminados adecuadamente, se debe pedir información a las empresas cuya eliminación de los materiales fue encargada.
- La cantidad de materiales peligrosos identificados se obtiene del Pasaporte de Materiales del edificio.

3. Frecuencia de recolección:

Una vez que se hayan extraído los materiales identificados como peligrosos y entregados a una empresa para su eliminación adecuada se debe empezar la recolección de datos.

Meta:

R y B: Propietario del edificio.

Responsable y beneficiario del indicador:

El propietario o cliente del edificio.

Clasificación L2C Scorecard:

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
<20%	20-40%	41-65%	66-85%	>85%

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

5.4.4. MAXIMIZAR EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Indicador:	Reducción de emisiones de CO₂ por uso de energía renovable
Relevancia:	
<p>Conocer la cantidad de emisiones de huella de carbono en la fase de uso del edificio y los ahorros de estas emisiones al utilizar energías de origen renovable es fundamental para ver el desempeño de la metodología L2C® con respecto a este último principio <i>Maximizar el uso de energías renovables</i>, de la misma manera para evaluar el impacto ambiental final del edificio y desarrollar medidas o acciones en caso no se hayan conseguido los objetivos planteados.</p>	
Unidad:	Porcentaje (%)
Frecuencia de cálculo:	Único
Descripción:	
<p>Este indicador evalúa la reducción total de huella de carbono durante toda la fase de uso del edificio, como consecuencia del uso de energía de origen renovable.</p> <p>Se mide como porcentaje del valor de huella de carbono ahorrado por uso de energías renovables frente al valor total de huella de carbono que se produce al usar energía de origen renovable y valor de huella de carbono ahorrado por uso de energías renovables, ambos durante toda la fase de uso del edificio.</p> <p>1. Fórmula:</p> $\text{Indicador} = \frac{HC\ Tot_{ahorro}}{HC\ Tot_{ahorro} + HC\ Tot_{real}} * 100\%$ <ul style="list-style-type: none"> • HC Tot_{ahorro} : ahorro de huella de carbono por el uso de energías renovables. (g, kg, ton) de CO₂ eq. • HC Tot_{real} : huella de carbono real por uso de energía de fuentes no renovables. (g, kg, ton) de CO₂ eq. <p>2. Fuente de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los datos de HC Tot_{ahorro} se obtiene de la sumatoria de los valores de huella de carbono ahorrados en toda la fase de uso del edificio, por uso de energía de fuentes renovables. • Los datos de HC Tot_{real} se obtiene de la sumatoria de los valores de huella de carbono generados en toda la fase de uso del edificio, por uso de energía de fuentes no renovables. <p>3. Frecuencia de recolección: Única vez al finalizar el tiempo de vida útil del edificio.</p>	
Meta:	
<p>El objetivo de este indicador es lograr un valor de 100%, lo que indicará que la energía que utilizó el edificio a lo largo de su vida útil fue de origen renovable.</p>	
Responsable y beneficiario del indicador:	
R y B: Propietario del edificio.	

Clasificación L2C Scorecard:

Según el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Fomento, 2019) el consumo máximo de energía de fuentes no renovables con respecto al total de energía utilizada está alrededor del 40% (depende de la carga interna en el interior del edificio). Bajo eso, el consumo de energía renovable debe ser alrededor del 60% del total de las fuentes de energía primaria. Por esa razón se toma como valor mínimo 60% para la clasificación.

Para la clasificación L2C® se considera los siguientes valores:

NIVEL				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
No uso de energía renovable	<60 %	60-79 %	80-99 %	100 %

Fuente del indicador:

Elaboración propia.

CAPÍTULO 6: CASO DE ESTUDIO “EDIFICIO GONSI SÓCRATES”

Luego de la propuesta de indicadores, en este capítulo se desarrolla la evaluación de la solución planteada al problema. Para facilitar la comprensión y el análisis de la propuesta de indicadores se aplica un caso de estudio de un proyecto real ejecutado por Construcía.

Debido a que la metodología L2C® fue recientemente creada, aún se tienen muy pocos proyectos ejecutados por Construcía: algunas remodelaciones de ambientes interiores y la construcción de un edificio. Este edificio es el escogido como caso de estudio, ya que fue desarrollado desde un principio con el enfoque de economía circular.

El edificio a evaluar fue inaugurado recientemente y hasta la fecha de presentación de este trabajo aún no ha sido ocupado por algún usuario, por lo que se carece de datos en las fases de uso y deconstrucción. No obstante, para lograr el objetivo de este capítulo mencionado en el primer párrafo, se hace las mediciones de sólo aquellos indicadores relacionados con los principios L2C® de *Maximizar el uso de renovables* (indicadores acerca del consumo de energía) y *Diseño ecológico y saludable* (indicadores acerca de ciclabilidad de materiales) al final de su vida útil.

Los cálculos de los indicadores se hacen con datos para el diseño del edificio (para indicadores de consumo de energía), datos previstos para el final de la vida del edificio (para indicadores de circularidad de materiales) y en algunos casos suposiciones realizadas para el trabajo.

6.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La edificación objeto para el caso de estudio es el edificio “Gonsi Sócrates”, corresponde al primer edificio construido por Construcía en la cual aplican la metodología L2C®.

Datos generales:

- . Cliente: Gonsi S.L.
- . Constructora: Grupo Construcía S.L.
- . Arquitectura: Picharchitects.
- . Consultora economía circular: Eco Intelligent Growth.
- . Certificación: En proceso LEED Gold
- . Calificación energética: A

Es un edificio de nueva construcción y sistema Core & Shell (núcleo y fachada) situado en Viladecans - Barcelona. Este edificio que se inauguró a mitad del año 2020 cuenta con un área construida de 6.188 m² distribuidas en 4 plantas. Los espacios son destinados al alquiler, es decir, aún pendientes de acondicionar por los usuarios, son espacios diáfanos, por lo que pueden ser de usos mixtos: oficinas, comercial e industrial.

Como se muestra en la fotografía 6.1, el edificio combina elementos prefabricados de hormigón armado con pilares, jácenas y losas alveolares. Además de otros sistemas mostrados en la figura 6.1.



Fotografía 6.1 Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Aldo Amoretti)



Figura 6.1: Sistemas utilizados para Bio-Edificio Gonsi Sócrates (KPMG, Construcción and Eco Intelligent Growth, 2019)

✚ Características generales del edificio:

El edificio cuenta con 4 plantas, una planta baja y 3 plantas. Existe un semisótano de aparcamiento de 66 plazas con ventilación natural. Se hizo el edificio con la suposición de que el uso en la planta baja y la planta 1 correspondan a uno industrial y las plantas 2 y 3 a de oficinas, a pesar de que no necesariamente podrá ser así. Tiene acceso para vehículos para la planta baja y planta 1. En la planta cubierta se encuentra el sistema de generación de energía de paneles fotovoltaicos. La entrada principal está orientada a un jardín interior y existen terrazas intercomunicadas en todas las plantas.

Para garantizar la divisibilidad de los espacios de cada nivel se prestó especial atención a los accesos, a la calidad ambiental (luz, vistas y ventilación natural) y a la dotación de servicios (PichArchitects, 2019).

✚ Metodologías aplicadas:

- . Contrato colaborativo (Contrato IPD).
- . Metodología Lean to Cradle® Construcción.

- Herramienta circularidad: Pasaporte de Materiales y Manual de deconstrucción.
- La certificación LEED ha sido utilizada de referencia, como herramienta de desarrollo y control de los parámetros de sostenibilidad. L2C® ayudó con la mejora en algunos controles.

6.2. INDICADORES DE CONSUMO DE ENERGÍA EN LA FASE DE USO

Se realiza la evaluación de los indicadores propuestos dentro del principio L2C® *Maximizar el uso de energías renovables*. Como se mencionó previamente, debido a la carencia de datos reales, los datos para los cálculos son tomados a partir de la información recogida sobre el diseño del edificio del caso de estudio, que dice (PichArchitects, 2020):

- El edificio fue diseñado hacia un objetivo muy ambicioso, que es ser un Edificio nZEB (Nearly Zero Energy Buildings) o un Edificio de consumo de energía casi nulo, que consiste en ser un edificio con rendimiento energético muy alto y que la poca energía que consuma sea principalmente de fuentes renovables. Este plan está incluido en la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios, donde exige a todos los edificios de nueva construcción a ser edificios nZEB a partir del 31 de diciembre del 2020 (European Commission, 2020b). Este plan fue incluido en la más reciente actualización del CTE.
- El edificio hace uso de sistemas de energía renovables, como son: un sistema de bomba de calor geotérmico, que abastece el 80% del consumo para climatización (calefacción y refrigeración) y por un sistema de producción fotovoltaica, que cubre hasta un 35% el consumo eléctrico. Gran parte del edificio fue diseñada para ventilación natural, es decir es mínimo el consumo de refrigeración (ver figura 6.2.). De esta manera, se alcanza el balance cero en el consumo de calefacción y refrigeración. Se diseña para superar el estándar nZEB para oficinas en casi un 50% según lo determinado por el CTE 2019 recién aprobado, haciendo consumo de energía únicamente para climatización e iluminación. Estiman un consumo anual de 50 kWh/m² de energía primaria.

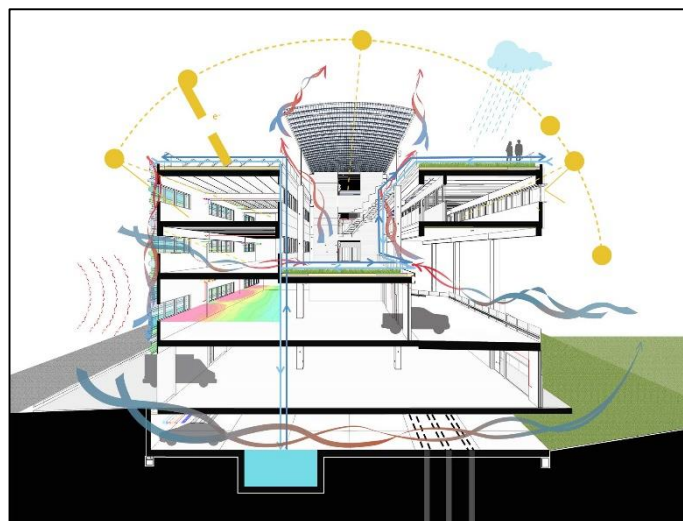


Figura 6.2: Diagrama de flujo de aprovechamientos de energías en Bio-Edificio Gonsi Sócrates (PichArchitects, 2020)

A partir de esa información se obtienen los siguientes datos, que, junto con un dato hipotético, son tomados para el cálculo de los indicadores referentes al consumo de energía.

- Se establece que se supera el estándar nZEB para oficinas (uso distinto del residencial privado según el CTE) en casi un 50% y que establecen un consumo anual de **50 kWh/m² por año**.
- Se indica que hay un consumo de calefacción y refrigeración casi nulo, siendo la refrigeración la que más disminuye debido al uso de ventilación natural. La calefacción seguirá haciendo uso de energía. Por lo que como dato se asume que un 40% del consumo total de energía es utilizada por la climatización. Entonces es **20 kWh/m² por año**.
- Se indica que para la climatización el 80% del consumo es energía renovable. Por lo que es **16 kWh/m² por año** de fuente renovable y **4 kWh/m² por año** de fuente no renovable.
- El dato previsto de consumo de energía primaria de 50 kWh/m² es únicamente de climatización e iluminación, la climatización es el 40%, entonces la iluminación es el 60%. Por lo que se tiene un consumo en iluminación por energía primaria de **30 kWh/m² por año**.
- Se indica que el 35% del consumo de energía eléctrica es de origen renovable (paneles fotovoltaicos). Por lo que el consumo es **10,5 kWh/m² por año** por origen renovable y **19,5 kWh/m² por año** por origen no renovable.

En resumen, se tienen los siguientes datos:

- *Consumo energía primaria = 50 kWh/m²*
- *Consumo energía renovable = 26,5 kWh/m²*
- *Consumo energía no renovable = 23,5 kWh/m²*

La superficie construida del edificio es 6.188 m², por lo que el consumo del edificio por año es:

- *Consumo energía primaria = 309.400 kWh*
- *Consumo energía renovable = 163.982 kWh*
- *Consumo energía no renovable = 145.418 kWh*

Los datos anteriores, obtenidos de los valores de diseño para el proyecto, corresponderían a la medición de un año X con un buen comportamiento de consumo energético. Ahora se hace lo siguiente:

Para el cálculo de indicadores se requieren datos de comparación, por lo que se asumen los siguientes valores (año X-1):

- *Consumo energía primaria = 55 kWh/m²*
- *Consumo energía renovable = 25,5 kWh/m²*
- *Consumo energía no renovable = 29,5 kWh/m²*

La superficie construida del edificio es 6.188 m², por lo que el consumo del edificio por año es:

- *Consumo energía primaria = 340.340 kWh*
- *Consumo energía renovable = 157.794 kWh*
- *Consumo energía no renovable = 182.546 kWh*

A continuación, se evalúan los siguientes indicadores:

1) Emisiones de Huella de Carbono

$$\text{Indicador} = HC_{real} = CEnr * FE$$

- HC_{real} : huella de carbono real por uso de energía de fuentes no renovables. *
- $CEnr$: consumo de energía por uso de fuentes no renovables. **
- FE : factores de emisión: cantidad de GEI emitidos por cada unidad de energía según la fuente no renovable (gr,kg,ton de CO₂eq/ unidad de cantidad de consumo de energía).

* La unidad del resultado de la fórmula de HC es la cantidad (g, kg, ton, etc) determinada de carbono equivalente (CO₂ eq) por unidad de cantidad de consumo de energía por cada fuente.

** La unidad de medida del consumo de energía varía según la fuente de energía, por ejemplo, para electricidad es kWh, para consumos de combustibles son kWh, l, kg.

ANÁLISIS DE DATOS PARA AÑO X:

La comercializadora para el suministro de energía del edificio actualmente no ha sido contratada, pero se prevé hacer uso de energía procedente 100% de fuentes renovables. Sin embargo, para el cálculo y evaluación de los indicadores de Huella de Carbono se hace la siguiente suposición:

Para el valor del factor de emisión FE se asume que la comercializadora de energía para el edificio es Endesa Energía S.A., por lo que según el documento Factores de Emisión (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020) el valor es 0.27 kgCO₂/kWh

Finalmente, los datos para el cálculo del indicador son:

- $CEnr = 145.418 kWh$
- $FE = 0.27 kgCO_2/kWh$

CÁLCULO Y RESULTADO:

$$\text{Indicador}_x = HC_{real} = 145.418 kWh \times 0.27 kgCO_2/kWh$$

$$\text{Indicador}_x = HC_{real} = 39.262,86 kgCO_2eq.$$

CLASIFICACIÓN L2C®:

Para clasificar el valor del indicador obtenido, se debe comparar con el valor del indicador en el periodo anterior para ello se realiza el mismo proceso anterior.

ANÁLISIS DE DATOS PARA AÑO X-1:

El valor del factor de emisión FE es el mismo del año anterior, a no ser que se haya cambiado de comercializadora, se asume que no. Por lo que el valor es 0,27 kgCO₂/kWh

Los datos para el cálculo del indicador del año anterior son:

- $CEnr = 182.546 kWh$
- $FE = 0,27 kgCO_2/kWh$

CÁLCULO Y RESULTADO:

$$\text{Indicador}_{x-1} = HC_{x-1} = 182.546 \text{ kWh} \times 0,27 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$$

$$\text{Indicador}_{x-1} = HC_{x-1} = 49.287,42 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$$

Para la clasificación L2C®:

$$\text{Clasificación} = \frac{\text{Indicador Año } x}{\text{Indicador Año } x - 1} \times 100\% = \frac{39.262,86 \text{ kgCO}_2\text{eq.}}{49.287,42 \text{ kgCO}_2\text{eq.}} \times 100\%$$

$$\text{Clasificación} = 80\%$$

Con el valor de 80% según el cuadro de clasificación L2C® se obtiene el nivel PLATINUM para ese periodo de medición.

NIVEL: PLATINUM				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
(>100%) de indicador anterior	(95 a 100%) de indicador anterior	(90 a 95%) de indicador anterior	(85 a 90%) de indicador anterior	(< 85%) de indicador anterior

2) Uso de energías renovables:

$$\text{Indicador} = \frac{CEr}{CEnr + CEr} * 100\%$$

- CEr : consumo de electricidad total generada por todos los sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables. (kWh/ m²)
- $CEnr$: consumo de energía (electricidad) de fuentes no renovables. (kWh/m²)

ANÁLISIS DE DATOS:

Los datos para el cálculo del indicador son:

- $CEr = 26,5\text{kWh}$
- $CEnr = 23,5 \text{ kWh}$

CÁLCULO Y RESULTADO:

$$\text{Indicador} = \frac{26,5 \text{ kWh}}{23,5 \text{ kWh} + 26,5 \text{ kWh}} * 100\%$$

$$\text{Indicador} = 53 \%$$

CLASIFICACIÓN L2C®:

NIVEL: SILVER				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
No uso de energía renovable	<50 %	50-75 %	75-100 %	100 %

3) Ahorro de emisiones de Huella de Carbono

$$\text{Indicador} = HC_{\text{ahorro}} = CER * FE$$

- HC_{ahorro} : ahorro de huella de carbono por el uso de energías renovables. (g, kg, ton) de CO₂ eq.
- CER : consumo de electricidad total generada por todos los sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables. (kWh)
- FE : factores de emisión: cantidad de GEI emitidos por unidad de energía (g,kg,ton de CO₂eq/kWh).

ANÁLISIS DE DATOS PARA AÑO X:

Para el valor del factor de emisión FE se asume que la comercializadora de energía para el edificio es Endesa Energía S.A., por lo que según el documento Factores de Emisión (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020) el valor es 0,27 kgCO₂/kWh

Finalmente, los datos para el cálculo del indicador son:

- $CER = 163.982 \text{ kWh}$
- $FE = 0.27 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$

CÁLCULO Y RESULTADO:

$$\text{Indicador}_x = HC_{\text{real}} = 163.982 \text{ kWh} \times 0,27 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$$

$$\text{Indicador}_x = HC_{\text{real}} = 44,275,14 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$$

CLASIFICACIÓN L2C®:

Para clasificar el valor del indicador obtenido, se debe comparar con el valor del indicador en el periodo anterior para ello se realiza el mismo proceso anterior.

ANÁLISIS DE DATOS PARA AÑO X-1:

El valor del factor de emisión FE es el mismo del año anterior, a no ser que se haya cambiado de comercializadora, se asume que no. Por lo que el valor es 0.27 kgCO₂/kWh

Los datos para el cálculo del indicador del año anterior son:

- $CEr = 157.794 kWh$
- $FE = 0,27 kgCO_2/kWh$

CÁLCULO Y RESULTADO:

$$Indicador_{x-1} = HC_{x-1} = 157.794 kWh \times 0,27 kgCO_2/kWh$$

$$Indicador_{x-1} = HC_{x-1} = 42.604,38 kgCO_2eq.$$

Para la clasificación L2C®:

$$Clasificación = \frac{Indicador \text{ Año } x}{Indicador \text{ Año } x - 1} \times 100\% = \frac{44.275,14 kgCO_2eq.}{42.604,38 kgCO_2eq.} \times 100\%$$

$$Clasificación = 103\%$$

Con el valor de 103% según el cuadro de clasificación L2C® se obtiene el nivel PLATINUM para ese periodo de medición.

NIVEL: PLATINUM				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
(< 85%) de indicador anterior	(85 a 90%) de indicador anterior	(90 a 95%) de indicador anterior	(95 a 100%) de indicador anterior	(>100%) de indicador anterior

6.3. INDICADORES DE CIRCULARIDAD DE MATERIALES EN LA FASE DE DECONSTRUCCIÓN

Se realiza la evaluación de los indicadores propuestos dentro del principio L2C® *Diseño ecológico y saludable*. Los datos de las cantidades de materiales para cada indicador son obtenidos del Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción del Bio-Edificio Gonsi Sócrates. También para esta investigación se hacen suposiciones de algunos datos necesarios para el cálculo.

1) Tasa de recuperación por reutilización del hormigón prefabricado

$$Indicador = \frac{H_{reu}}{H_{tot}} * 100\%$$

- H_{reu} : cantidad en peso o volumen de hormigón prefabricado obtenido de la deconstrucción que es reutilizado como bloques de hormigón. (kg, m³)
- H_{tot} : cantidad total en peso o volumen de hormigón prefabricado obtenido de la deconstrucción para volver al ciclo técnico. (kg, m³)

ANÁLISIS DE DATOS:

En el Bio-Edificio Gonsi Sócrates se tiene identificado:

- Más de 6.400 Tn de hormigón armado en total, y 6.000 Tn de hormigón prefabricado ubicado en la estructura del edificio: en los elementos de pilares, vigas y losas alveolares, y en las escaleras (ver Anejo 5).

La estrategia de ciclaje para el hormigón armado en elementos prefabricados es:

1. Elementos modulares desensamblables y recuperables. Se deberá buscar una aplicación alternativa no estructural, como taludes, barreras, etc.
2. Separación y segregación de materiales según su origen para reciclaje: Hormigón y Acero.
3. Acero: Material 100% reciclable con idénticas prestaciones técnicas.
4. Hormigón: Salidas downcycling (infraciclaje) como árido reciclado u otras aplicaciones.

En un buen escenario se asume que más de la mitad será reutilizado como bloque, es decir **3200 Tn** según la estrategia 1.

Finalmente, los datos para el cálculo del indicador son:

- $H_{reu} = 3000 \text{ Tn}$
- $H_{tot} = 6000 \text{ Tn}$

CÁLCULO Y RESULTADO:

$$\text{Indicador} = \frac{3000 \text{ tn}}{6000 \text{ tn}} * 100\% = 50\%$$

CLASIFICACIÓN L2C®:

NIVEL: BRONZE				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
<40%	40-55%	56-70%	71-85%	85-100%

2) Tasa de recuperación por vías de ciclaje de materiales identificados

$$\text{Indicador} = \frac{Mat_{rec}}{Mat_{tot}} * 100\%$$

- Mat_{rec} : cantidad en peso de los materiales extraídos que se han logrado recuperar para reutilización total, reciclaje o ciclo biológico. (kg)
- Mat_{tot} : cantidad total en peso de los materiales extraídos. (kg)

ANÁLISIS DE DATOS:

En el Bio-Edificio Gonsi Sócrates tiene identificado:

- Más de 9.213 Tn materiales identificados como nutrientes técnicos.
- Más de 0,231 Tn materiales identificados como nutrientes biológicos.

Para el caso de estudio se tiene identificado los siguientes sistemas constructivos los cuales están destinados a ser reutilizados (ver panel fotográfico en Anejo 6):

1. **Estructura prefabricada y cimentación.** Estructura prefabricada por PRECON con neopreno en juntas, y cimentaciones in situ. Contiene los siguientes materiales: vigas, losas alveolares, pilares, escaleras de hormigón prefabricada, juntas de neopreno.

Y sus componentes en peso:

- **Hormigón armado:** > 6400 Tn.
- Neopreno: > 2 Tn.
- Polietileno: >0,017 Tn.

Según las estrategias indicadas, no hay gestión por parte del fabricante, por lo que las estrategias para el hormigón son:

1. Elementos modulares desensamblables y recuperables. Se deberá buscar una aplicación alternativa no estructural, como taludes, barreras, etc.
2. Separación y segregación de materiales según su origen para reciclaje: Hormigón y Acero.
3. Acero: Material 100% reciclable con idénticas prestaciones técnicas.
4. Hormigón: Salidas downcycling como árido reciclado u otras aplicaciones.

Se asume que toda la cantidad de hormigón armado volverá al ciclo técnico según uso de alguna estrategia.

2. **Escalera exterior metálica.** Contiene los siguientes elementos: escalera metálica prefabricada por FYMEM, barandilla metálica, por ALFER.

Y sus componentes en peso:

- **Acero** > 4 Tn

Según las estrategias indicadas, todo el acero se puede reciclar y lograr las mismas prestaciones técnicas.

3. **Cubierta transitable.** Contiene los siguientes elementos: pavimento LOSA 60 x 40 x 5 LINE Nevada de TORHO, aislamiento XPS DANOPREN TR 100 de DANOSA, poliurea Tecnocoat P-2049 de Tecnopol, cubierta vegetal HYDROPACK ® de Vivers Ter.

Y sus componentes en peso:

- **Hormigón:** > 29 Tn
- **XPS:** > 8 Tn
- **Tierras vegetales:** 2,2 Tn
- **Vegetación:** 1,7 Tn
- **Poliéster:** > 0,2 Tn
- **Componentes EMC:** > 0,2 Tn
- **Polipropileno:** > 0,1 Tn

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico y biológico.

4. **Pérgola.** Contiene los siguientes elementos: pérgola, por APIMET.

Y sus componentes en peso:

- **Acero:** > **11.5 Tn.**

Según las estrategias indicadas, se puede recuperar toda la estructura de acero y lograr las mismas prestaciones técnicas.

5. **Fachada**, realizada en panel sándwich, revestido por lamas metálicas verticales u horizontales. Contiene los siguientes elementos: panel sándwich, por Enmometall, subestructura asociada para el encaje con las lamas metálicas, por Enmometall, sistema de Lamas Fingerlip de tamiluz, tacos de anclaje de la estructura, por Enmometall.

Y sus componentes en peso:

- **Acero:** > **76 Tn.**
- **Aluminio:** > **4.4 Tn.**
- **Otros plásticos:** > **0.05 Tn.**
- **Lana de Roca:** > **0.024 Tn**

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico.

6. **Carpintería y cerrajería exterior**, elementos distribuidos por toda la fachada del edificio, pertenecen las ventanas y las puertas seccionadas y metálicas en planta baja y planta primera. Contiene los siguientes elementos: ventanas de aluminio de Cortizo, instaladas por Enmometall, puertas metálicas de acceso de Collbaix, puerta seccional industrial de Inkema, pirona de protección tipo Barcelona.

Y sus componentes en peso:

- **Vidrio:** > **13,7 Tn.**
- **Aluminio:** > **4.4 Tn.**
- **Acero:** > **1,1 Tn.**
- **Componentes EMC:** > **0,12 Tn.**
- **Poliuretano:** > **0,075 Tn.**
- **ABS:** > **0,04 Tn**
- **PVC:** > **0,012 Tn**

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico, a excepción del PVC que será destinado al vertedero.

7. **Techos**. Contiene los siguientes materiales: aislamiento de Lana de Roca en Parking, falso techo en vestíbulos, lama U31 de Gradhermetic, sistema de aislamiento térmico exterior de FASSA Bartolo.

Y sus componentes en peso:

- **Lana de roca:** > **7,5 Tn.**
- **EPS:** > **4.2 Tn.**
- **Aluminio:** > **0,74 Tn.**
- **Fibra de vidrio:** < **0,001 Tn.**

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico.

8. **Divisorias:** trasdosado realizado en todo el perímetro interior del edificio, sistema formado por: estructura de acero, lana de roca y placa de yeso laminado. Paredes de bloque sectoriales realizados en planta baja. Todo el interior fue pintado con la pintura P80 de Titan, a excepción del cuarto de residuos en el parking que fue pintado con Graphenstone. Contiene los siguientes materiales: pared de Bloque para revestir, pintura Titan P80N en interiores, pintura Graphenstone en cuarto parking, división interior / trasdosado formado por sistema de Placo y Lana de Roca de Rockwool.

Y sus componentes en peso:

- **Hormigón:** > 10 Tn.
- **PYL (placa yeso laminado):** > 6,6 Tn.
- **Acero:** > 1,7 Tn.
- **Pintura biosostenible:** > 0,7 Tn.
- **Lana de roca:** > 0,5 Tn.
- **Pintura de Cal:** > 0,02 Tn.

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico. Las pinturas son compatibles con el reciclado de la placa de yeso.

9. **Cerrajería interior.** Contiene los siguientes materiales: cabinas fenólicas de FUNDERMAX, por MATESU, panel de madera excaleras interiores, fibracolour Antracita EZ de Finsa, puertas de paso interiores, por Puigdellivol, mostrador de madera maciza.

Y sus componentes en peso:

- **Tablero de melamina:** > 1,1 Tn.
- **Tablero DM** > 0,77 Tn.
- **Acero:** > 0,65 Tn.
- **Lana de roca:** > 0,2 Tn.
- **Madera de pino:** > 0,03 Tn.
- **EPS:** < 0,03 Tn
- **PVC:** > 0,004 Tn

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico, a excepción del PVC que será destinado al vertedero.

10. **Ascensores y montacargas,** 2 ascensores para el transporte de personas, 2 montacargas aptos para el transporte de mercancías Contiene los siguientes materiales: metales férricos y no férricos, materiales inorgánicos, imanes, componentes eléctricos y electrónicos, plásticos y cauchos, baterías y acumuladores, lubricantes y pinturas, etc

Y sus componentes en peso:

- **Ascensores y montacargas:** > 12 Tn.

Según las estrategias indicadas, se debe evaluar la posibilidad de devolución a Thyssenkrupp para su gestión y remanufactura para mejorar su tecnología.

11. **Clima, ventilación y extracción,** contiene los siguientes elementos de complejidad variable: bombas, maquinas, depósitos, aislantes, cableado, tuberías, válvulas, conductos y elementos minoritarios.

Y sus componentes en peso:

- **Componentes EMC:** > 4,7 Tn.
- **Acero:** > 2,4 Tn.
- **PPr:** > 1,6 Tn.
- **PEr:** > 0,8 Tn.
- **Multimaterial HVAC:** > 0,48 Tn.
- **Plásticos varios:** > 0,36 Tn.
- **Lana de vidrio:** > 0,1 Tn.
- **Aluminio:** > 0,035 Tn.
- **Poliuretano:** > 0,025 Tn.
- **PVC:** < 0,001 Tn.

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico, a excepción del PVC que será destinado al vertedero. Los componentes EMC y los Multimaterial HVAC pueden contener pequeñas piezas de PTFE (Teflón), sustancia a gestionar adecuadamente.

12. Saneario y fontanería, contiene los siguientes elementos de complejidad variable: bombas, depósitos, aislantes, tuberías, elementos del baño (grifos, lavabos, etc.) y elementos minoritarios.

Y sus componentes en peso:

- **Componentes EMC:** > 0,66 Tn.
- **Acero:** < 0,015 Tn.
- **PPr:** > 2,8 Tn.
- **PEr:** > 0,06 Tn.
- **Multimaterial Elementos de baño:** < 1,5 Tn.
- **Latón:** > 0,013 Tn.
- **Polietileno:** > 0,29 Tn.
- **PVC:** < 0,015 Tn.

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico, a excepción del PVC que será destinado al vertedero. Los componentes EMC y los Multimaterial HVAC pueden contener pequeñas piezas de PTFE (Teflón), sustancia a gestionar adecuadamente.

13. Electricidad, contiene elementos de complejidad variable como: bandejas, cableado, elementos auxiliares, interruptores, etc.

Y sus componentes en peso:

- **Polietileno:** > 2 Tn.
- **Cobre:** > 1,7 Tn.
- **Acero:** > 0,61 Tn.
- **Componentes EMC:** > 0,25 Tn.
- **PEr:** > 0,164 Tn.
- **TPO:** > 0,16 Tn.
- **Polipropileno:** > 0,6 Tn.
- **PVC:** > 0,08 Tn.

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico, a excepción del PVC que será destinado al vertedero. Los componentes EMC y los Multimaterial HVAC pueden contener pequeñas piezas de PTFE (Teflón), sustancia a gestionar adecuadamente.

14. Luminarias. Contiene los siguientes materiales: luminaria OPTO de Garviled. varias luminarias de FARO, luminaria de Emergencia de Normalux, tiras LED, cajas de protección CLAVED.

Y sus componentes en peso:

- **Multimaterial iluminación:** > 0,48 Tn.
- **Aluminio:** > 0,12 Tn.
- **Componentes EMC:** > 0,03 Tn.

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico. Los componentes EMC y los Multimaterial HVAC pueden contener pequeñas piezas de PVC y PTFE (Teflón), sustancia a gestionar adecuadamente.

15. Fotovoltaica, contiene los siguientes materiales: placas solares SPR-MAX2-350 de SUNPOWER, cableado, conectores y dispositivos electrónicos, tubería para conexiones.

Y sus componentes en peso:

- **Placas solares:** > 2,2 Tn.
- **Aluminio:** > 0,11 Tn.
- **Cobre:** > 0,11 Tn.
- **Plásticos varios:** > 0,09 Tn.
- **Componentes EMC:** > 0,06 Tn.

Según las estrategias indicadas, todos los materiales pueden volver al ciclo técnico. Los componentes EMC y los Multimaterial HVAC pueden contener pequeñas piezas de PVC y PTFE (Teflón), sustancia a gestionar adecuadamente.

Finalmente, los datos para el indicador son:

- $Mat_{rec} = 6628.07 \text{ Tn}$
- $Mat_{tot} = 9.213 \text{ Tn}$

CÁLCULO Y RESULTADO:

$$Indicador = \frac{6628,07}{9213 + 0,231} * 100\% = 71.94\%$$

CLASIFICACIÓN L2C®:

NIVEL: GOLD				
BASIC	BRONZE	SILVER	GOLD	PLATINUM
<20%	20-40%	41-60%	60-80%	>80%

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizan los resultados de los indicadores desarrollados para el caso de estudio del Bio-Edificio Gonsi Sócrates. Además, se hace la interpretación de cada uno de los indicadores propuestos en la investigación, haciendo comparaciones con la situación actual y un análisis de las metas fijadas enfocadas a L2C® y la economía circular.

7.1. EVALUACIÓN DE INDICADORES DEL CASO DE ESTUDIO

- a) Los resultados de los indicadores que se utilizaron para evaluar el consumo de energía para la fase de uso son:

Indicador	Frecuencia de cálculo	Resultado	Clasificación L2C®
1 Emisiones de Huella de Carbono	Anual	80%	Platinum
2 Uso de energías renovables	Anual	53%	Silver
3 Ahorro de emisiones de Huella de Carbono	Anual	103%	Platinum

Tabla 7.1: Resultados de los indicadores aplicados para la fase de uso para el Caso de Estudio del “Bio-Edificio Bio-Gonsi Sócrates” (Elaboración Propia)

El **indicador 1** muestra una clasificación L2C® Platinum con un valor de 80%. El valor de huella de carbono en ese periodo corresponde a 39,3 TnCO₂eq. y para el periodo anterior 49,3 TnCO₂eq., lo que corresponde una reducción del 20%. La causa de esa reducción es el menor consumo de energía no renovable que hubo en ese periodo. El edificio del caso de estudio hace consumo de energía eléctrica sólo para en la iluminación y la calefacción; y para éste último hace uso en su mayoría de energía renovable, por lo que la iluminación es la causa principal de la reducción del consumo.

El **indicador 2** obtiene un valor de 53% obteniendo un nivel de clasificación L2C® Silver. Ese porcentaje indica que durante ese año se tuvo un consumo del 53% de energía renovable con respecto al total de consumo de energía primaria. De esta manera, el edificio del caso de estudio diseñado con dos sistemas para energía no renovable (geotérmica y solar) tiene un buen desempeño.

El **indicador 3** obtiene una clasificación L2C® Platinum, con un valor de 103% indica que hubo un ahorro de HC superior al periodo anterior. La causa es que se hizo mayor consumo de esas fuentes renovables que el periodo anterior.

- b) Los resultados de los indicadores que se utilizaron para evaluar la ciclabilidad de los materiales para la fase de deconstrucción son:

Indicador	Frecuencia de cálculo	Resultado	Clasificación L2C®
1 Tasa de recuperación por reutilización del hormigón prefabricado	Fin de deconstrucción	50%	Bronze
2 Tasa de recuperación por vías de ciclaje de materiales identificados	Fin de deconstrucción	71%	Gold

Tabla 7.2: Resultados de los indicadores aplicados para la fase de deconstrucción para el Caso de Estudio del “Bio-Edificio Gonsi Sócrates” (Elaboración Propia)

Como se observa de la tabla, para el **indicador 1** se tiene un 50% de reutilización del hormigón prefabricado, lo que genera una clasificación L2C® Bronze. Este valor indica que la mitad del hormigón prefabricado fue reutilizado. Según el documento de Manual de Deconstrucción, estos elementos no tienen un contrato de devolución o “take back system” con el proveedor, por lo que se puede deducir que la otra estrategia que se siguió fue la separación y segregación de materiales, reciclando el hormigón y el acero.

Para el **indicador 2**

se obtiene un valor de 71% que corresponde a una clasificación L2C® Gold. Este resultado muestra que no todos los materiales identificados en el Pasaporte de Materiales como nutrientes técnicos o biológicos fueron reintroducidos al metabolismo identificado.

7.2. INTERPRETACIÓN DE LOS INDICADORES PROPUESTOS PARA L2C®

La propuesta de indicadores desarrollados en el presente trabajo tiene como base las principales características y objetivos que tiene: Lean Construction, C2C, L2C® y la economía circular. Estos cuatro sistemas utilizados juntos en el sector de la construcción son estrategias claves para conseguir mayores beneficios económicos a la empresa, generar bienestar a las personas y cuidar el medio ambiente. Es por esta razón que, a continuación, se hace el análisis de cada indicador propuesto según los principios L2C®.

7.2.1. INDICADORES EN FASE DE USO

- ✚ Para el principio L2C® *Transformación Industrial* los indicadores propuestos tienen como finalidad disminuir costes al proyecto.

De esta manera, el indicador de **Costes de Operación** monitorea el ahorro de costes, entre el coste real anual con respecto al coste anual previsto que no se debería superar. Este valor previsto se basa principalmente en que existe una reducción del coste en el suministro de agua al usar nuevos sistemas de reciclaje de aguas grises y de lluvia, reducción de los costes de energía al utilizar energías de fuentes renovables, disminución de costes en el mantenimiento al usar

materiales duraderos y de mejor calidad, y el ingreso económico por alquiler de los espacios que es mayor que uno tradicional por las características de confort y mayor productividad en el trabajo que se ofrece a los ocupantes.

El indicador **Inspección de edificios** evalúa unos criterios a tener en cuenta en la inspección anual que debe tener un edificio. Al cumplir todos los criterios en la inspección se reduce el riesgo de mayores costes de operación debido a reparaciones por construcción ineficientes del edificio. También a través de este indicador se puede proteger la salud de los ocupantes del edificio, debido a que reduce el riesgo de contaminantes.

- ✚ Para el principio L2C® *Comodidad y Biodiversidad* los indicadores propuestos tienen como finalidad velar por la salud y aumentar la productividad de los usuarios.

El indicador **Consumo total de Agua** tienen como finalidad monitorear el consumo total de agua potable en el edificio, con respecto al valor del indicador medido en el periodo anterior, de esta manera lograr cada vez una reducción, lo que contribuye con la preservación de este recurso natural. De igual manera, el indicador **Agua reutilizada** evalúa el porcentaje de consumo del agua reciclada frente al total de agua consumida en el edificio, el fin es monitorear y llegar incluso a usar más agua reciclada que agua potable.

Los edificios deben ser diseñados para lograr un buen confort y salubridad en los usuarios. Es por eso que se propusieron indicadores referentes a las principales características del edificio que garanticen un buen ambiente interior para sus ocupantes. El indicador de **Calidad del aire interior** evalúa una ventilación adecuada para controlar, reducir o eliminar los contaminantes químicos o biológicos que pudieran existir en los ambientes, así mejorar el bienestar de los ocupantes. Este indicador también podría incluirse en el principio de *Diseño ecológico y saludable* ya que los contaminantes pueden ser emitidos por algunos productos o materiales de construcción. El **Confort térmico** también evalúa un buen ambiente interior, y es que a través de un buen nivel de temperatura y humedad relativa del aire se puede lograr un ambiente confortable. Por esa razón este indicador, por medio de los dos valores absolutos (temperatura y humedad relativa) da a conocer el tipo de ambiente en el que trabajan o realizan sus actividades los usuarios, que dependerá también de la estación en la que se encuentren. Los indicadores de **iluminación interior y ruido exterior** son propuestos también para garantizar un buen confort de los ocupantes, el primero evalúa la cantidad de requisitos cumplidos en los controles de iluminación de los espacios. Y el segundo, por medio de ensayos para conocer el nivel de presión del sonido y llegar a los apropiados. En último lugar se propone mediante una **encuesta de satisfacción a los ocupantes**, evaluar dicha satisfacción respecto al entorno en el que realizan actividades; la percepción que tienen sobre la calidad del entorno es importante para los monitoreos, por tal motivo también se propone un modelo de encuesta.

- ✚ Para el principio L2C® *Diseño Ecológico y Saludable* los indicadores propuestos tienen como finalidad usar materiales saludables y de preferencia C2C Certified™ y que ciclen continuamente manteniendo su valor.

En la fase de uso se propone el indicador **Política de Adquisiciones** que evalúa el cumplimiento de ciertos criterios (como propiedades o certificaciones) que deben poseer los productos comprados para las oficinas. Se diferencia 3 tipos de compras las cuales deben cumplir con al menos un criterio propuesto por cada tipo. Estos criterios dan a conocer, por ejemplo, que el producto es amigable con el medio ambiente, es decir libres de sustancias tóxicas, también que son hechos de base biológica, son reciclados o reutilizados, entre otros. El **Manejo de Desechos**

es un indicador planteado para cumplir criterios referentes a la gestión final de los residuos. Así como los productos y materiales de construcción, también los productos adquiridos periódicamente para las actividades normales de la oficina, debe tener un plan de gestión; preferentemente se debe buscar la reutilización ya que el enfoque de economía circular también debe estar presente. Por último, el indicador de **Disposición de desechos sólidos** evalúa la cantidad final de desechos que fueron reutilizados, reciclados y compostados, de esta manera seguir los lineamientos de L2C®.

- ✚ Para el principio L2C® *Maximizar el uso de energías renovables* los indicadores propuestos tienen como finalidad reducir la demanda energético y maximizar el uso de energías renovables.

Los indicadores propuestos para este principio buscar dos objetivos principalmente que son la reducción del consumo energético y ese consumo que aún existe sea procedente de fuentes renovables. Es una base L2C® que también se relaciona al concepto de ser un Edificio nZEB (Nearly Zero Energy Buildings) o un Edificio de consumo de energía casi nulo, que, como se mencionó en el apartado 6.2., de igual manera consiste en ser un edificio con rendimiento energético muy alto y que la poca energía que consuma sea principalmente de fuentes renovables.

El indicador de **Consumo de energía no renovable** es propuesto con el fin de monitorear el consumo y que por cada periodo de medición exista una reducción respecto a la anterior. Relacionado con el indicador anterior se propone evaluar las **Emisiones de Huella de Carbono** que se generan a partir de la energía consumida por fuentes no renovables. También el indicador de **HC** tiene la finalidad de monitorear el valor en cada periodo de medición. Del mismo modo a la evaluación de la energía no renovable, se propone la evaluación del consumo a base de energía renovable. El indicador **Uso de energías renovables** indica la cantidad de consumo de energías renovables frente al total del consumo de energías primarias (renovables y no renovables), se identifica como meta reducir por completo la dependencia de fuentes no renovables. Por último, a manera de conocimiento se propone el indicador **Ahorro de emisiones de Huella de Carbono** la cual es la cantidad de HC que se evita generar al medio ambiente a raíz del consumo de energías renovables.

7.2.2. INDICADORES EN FASE DE DECONSTRUCCIÓN

Para el principio L2C® *Transformación Industrial* los indicadores propuestos tienen como finalidad disminuir costes al proyecto.

Al ser la deconstrucción un proceso similar a la construcción, debido a que sigue una secuencia de actividades con duraciones previstas y requiere de similares recursos como mano de obra, herramientas, equipos; se proponen indicadores similares a la construcción. El indicador **Tiempo total de deconstrucción** evalúa la reducción del tiempo real de deconstrucción con respecto al tiempo previsto en la planificación. De la misma manera para el indicador Costes de deconstrucción, evalúa la reducción de costes en la deconstrucción respecto al previsto.

El indicador de **Valor residual del edificio** evalúa el valor real frente al valor previsto en las fases de diseño o ejecución. Para el enfoque de economía circular se espera que el valor residual real sea cercano o supere al previsto, lo que demostrará que los materiales o elementos extraídos también poseen un alto valor residual lo que conlleva a poder ser recuperados en su mayoría.

Una herramienta muy utilizada en el sector, es el BIM (Building Information Modeling). Mediante consulta bibliográfica se definieron algunas funcionalidades que esta plataforma tiene y pueden ser aplicables a la fase de deconstrucción. Lo que genera participación y colaboración

de los principales interesados de la deconstrucción, un seguimiento de las actividades en obra. Principalmente, para el enfoque de economía circular, BIM puede ofrecer simulaciones de los procesos de deconstrucción mediante escenarios que alerten posibles choques entre elementos al ser desmontados, de esta manera se podrá elegir el camino correcto mediante las diferentes rutas existentes obtenidas por medio de la plataforma. Y puede cuantificar materiales recuperables. El indicador **BIM** evalúa el uso de la plataforma mediante la cantidad de funciones BIM que fueron aplicadas generando buenos beneficios en dos sub-fases: planificación y, ejecución y control.

También se hizo consulta bibliográfica de la aplicación de los principios y objetivos de LC en la deconstrucción, de esta manera se establecen estrategias que pueden ser aplicados en cada una de las 3 sub-fases de la deconstrucción (planificación, ejecución y control, y final de deconstrucción). Algunas estrategias ya fueron identificadas por Construcía para **L2C®**. A partir de esto, se propone el indicador Lean Construction que evalúa la cantidad de estrategias aplicadas en cada una de las sub-fases de la deconstrucción.

Para la deconstrucción es importante establecer un adecuado sistema de uniones o conexiones que permitan la separación adecuada y fácil de los elementos o sistemas del edificio. El indicador **Facilidad de desensamblado de componentes** pretende dar una idea de cuan fácil fue separar según el medio de conexión identificado en el diseño. Se evalúa mediante las duraciones reales y las previstas de las actividades que son necesarias para la separación. Se plantea realizar la medición de los componentes por cada capa del edificio, comenzando con la que tiene menor tiempo de rotación hasta la de mayor tiempo que siempre es la capa estructura. Conociendo este valor se podrá valorar la efectividad de los medios de conexiones que fueron utilizados y se podrá generar conocimiento para futuros proyectos.

- ✚ Para el principio L2C® *Comodidad y Biodiversidad* los indicadores propuestos tienen como finalidad velar por la salud y aumentar la productividad de los usuarios.

Básicamente se plantean indicadores que evalúan medidas para proteger la salud de las personas que trabajarán en las actividades de deconstrucción. El indicador de **Protección del trabajador** evalúa la inexistencia de anomalías comunes en el edificio, que pueden generarse por su antigüedad. Estas anomalías pueden originarse a causa de los materiales, por lo que, a través de la salida de materiales para recuperación y entrada de materiales de calidad se podría disminuir el riesgo de dichas anomalías al final de la vida útil del edificio. No obstante, aún el riesgo existiría por parte de los materiales que conforman las capas que tienen poca rotación como son *Structure*, *Skin* y *Settings*. Este indicador también podría incluirse en el principio de Diseño ecológico y saludable. El indicador **Aplicación de medidas de salud y seguridad** evalúa las medidas de seguridad a considerar en el Plan de Seguridad y Salud de la obra de deconstrucción. De esta manera se logra la protección de la salud y el bienestar no sólo de las personas dentro de obra, sino también fuera.

- ✚ Para el principio L2C® *Diseño Ecológico y Saludable* los indicadores propuestos tienen como finalidad usar materiales saludables y de preferencia C2C Certified™ y que ciclen continuamente manteniendo su valor.

El indicador de **Rotación de productos o sistemas** evalúa la cantidad de veces que un producto o sistema de una determinada capa del edificio ha rotado o ha sido sustituido frente al total que de veces que debería haber rotado según el método de construcción por capas. Tiene importancia la evaluación de este indicador puesto que los componentes utilizados para L2C® deben ser de alta calidad y diseñados para tener tiempos de duración largos, por lo que su rotación

debería ser la menor. De ser así se tendría menos impacto al medio ambiente, ya que se estaría evitando los procesos de recuperación del material, que, si no es reutilización, de alguna manera consume energía (caso de reciclaje).

También se plantean indicadores que evalúan la ciclabilidad de los materiales que son extraídos de la deconstrucción. En el Manual de Deconstrucción del edificio se identifican estrategias de ciclaje que deberían ser cumplidas para evitar su destino al vertedero. Es el caso del indicador **Tasa de recuperación por reutilización del hormigón prefabricado** que evalúa la cantidad de hormigón que es reutilizado como bloque de material, sin tener que entrar al proceso de reciclaje. Actualmente no es muy utilizada esta vía, aunque, en un enfoque circular, se debe intentar en lo posible cumplirla. El reciclaje del hormigón, aunque también es una permitida estrategia, consume energía y debido a que el material de hormigón tiene gran porcentaje del peso de un edificio, entonces la energía que necesita para el reciclaje también es elevada.

Otros indicadores como la **Tasa de recuperación por reutilización de materiales identificados**, la **Tasa de recuperación por vías de ciclaje de materiales identificados** y la **Tasa de eliminación de materiales peligrosos identificados** son propuestos para conocer si se cumplió con la caracterización de los materiales como nutrientes técnicos, biológicos y el retorno a su ciclo según las vías de ciclaje establecidas. Del mismo modo si se identifican materiales peligrosos se debe cumplir con la estrategia de eliminación que establece el documento de Material de Deconstrucción. El enfoque de economía circular es la ciclabilidad de todos los materiales y dentro de todas sus distintas estrategias la que preserva mejor el valor del material o producto es la reutilización ya que no genera esfuerzo para volver al material inicial, por eso el indicador **Tasa de recuperación por reutilización de materiales identificados** tiene relevancia frente a los demás.

- ✚ Para el principio L2C® *Maximizar el uso de energías renovables* los indicadores propuestos tienen como finalidad reducir la demanda energético y maximizar el uso de energías renovables.

Para este principio se plantea el indicador **Reducción de emisiones de CO₂ por uso de energía renovable** que muestra la cantidad total de ahorro de energía en la fase de uso debido al uso de fuentes renovables. A través de este valor se podrá saber que tan eficiente fue el edificio en consumo de energía a lo largo de la fase de uso. Si se quiere analizar la cantidad total de emisiones de GEI generada por un edificio con metodología L2C® a lo largo de su ciclo de vida, es necesaria una evaluación desde la fabricación de los materiales hasta la deconstrucción del edificio.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

En el presente capítulo se desarrollan las conclusiones que se lograron a lo largo del desarrollo de la investigación, las cuales parten de los objetivos establecidos. Luego se mencionan las limitaciones que se tuvieron en el desarrollo del trabajo. Para terminar, se mencionan aquellas futuras líneas de investigación que resultarían ser muy beneficiosas aplicarlas debido a que generarían más valor a la presente investigación.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se establecieron 30 indicadores para la guía de evaluación L2C Scorecard. Los indicadores fueron identificados tanto para la fase de Uso como para la fase de Deconstrucción de un proyecto de edificación que fue desarrollado mediante la metodología de trabajo L2C®. Los indicadores propuestos fueron identificados en base a los 4 principios de la metodología L2C®, como inicialmente lo planteó la empresa Construcía para sus 26 indicadores establecidos en las fases de inicio, diseño y ejecución. La cantidad de indicadores por fase y por principio es:

Fase	Principio L2C®			
	Transformación industrial	Comodidad y biodiversidad	Diseño ecológico y saludable	Maximizar el uso de energías renovables
Uso	2	7	3	4
Deconstrucción	6	2	5	1

Tabla 8.1: Cantidad y distribución de indicadores propuestos para L2C Scorecard (Elaboración Propia)

2. La metodología L2C® es nueva, combina los pensamientos LC y C2C que son conocidos y aplicados, LC sobre todo. Juntos son capaces de generar sinergia en la gestión de todo el ciclo de vida de un proyecto de edificación para lograr grandes beneficios. A partir de ello, como base para comprender cuál es el fin y hacia donde están orientados los indicadores propuestos, se hizo la documentación de la metodología L2C®.
3. L2C® como nueva metodología de trabajo es ambiciosa, principalmente por los objetivos que persigue C2C que es diseñar edificios que no generen ningún impacto negativo sobre las personas y el medio ambiente durante todo su tiempo de vida útil. Esto inicia con los materiales que se van a utilizar, no deben contener componentes tóxicos, o al menos reducirlos al máximo o sustituirlos. También el diseño de los materiales se debe realizar de tal manera que la calidad no se vea afectada, por el contrario, sea mucho mejor, para que así permanezcan útiles el mayor tiempo posible. Por lo que si su tiempo útil incrementa entonces no será necesario ningún proceso industrial que lo haga retornar a su calidad inicial. Lo que también evitará su envío a los vertederos, ya que podrá seguir siendo útil en su ciclo técnico o biológico (ciclaje). Haciendo uso de materiales diseñados con las características mencionadas, hará que los edificios también cumplan los objetivos que C2C busca, pero siempre con una adecuada gestión en los procesos de todo el proyecto.

4. Antes del desarrollo de la propuesta de indicadores se quiso dar a conocer cuál es el estado actual de la aplicación tanto de LC como de C2C en las fases de uso y deconstrucción. Debido a que C2C básicamente se aplica en el diseño del edificio sólo se hizo un análisis actual de la aplicación de la filosofía LC en ambas fases de estudio. No se obtuvo mucha información de su inclusión en los procesos en la fase de Uso, esto se puede comprender debido a que lo que busca LC es eliminar todo aquello que no agregue valor en la elaboración de un producto determinado (proyecto de construcción) y en esta fase no se consigue o elabora algo en específico.

Según lo analizado se pudo conocer que, aunque esta filosofía LC aún no es muy aplicada en la deconstrucción, sus principios, estrategias y herramientas si pueden ser aplicados, generando el mismo valor que para la fase de ejecución, que es donde tiene más aplicación.

L2C® ya tenía identificado estrategias de planificación en la deconstrucción como son las reuniones colaborativas o *Pull Sessions* y el sistema *Last Planner*. La aplicación conjunta de esas herramientas podrá hacer más eficiente la productividad en sitio generando beneficios económicos. Adicional a ello se identificó que el sistema *Just In Time* es muy útil en esta fase; mientras que en la construcción lo que logra es adquirir los materiales sólo cuando se requieren para evitar almacenamiento excesivo, en la deconstrucción se pretende extraer los materiales o componentes cuando se tenga identificado quien se encargará de su recuperación, así se evitará problemas en los flujos identificados y desorden en el sitio. Por ello también la estrategia que se identificó es el uso de la herramienta *Value Stream Mapping* para hacer un seguimiento a los procesos señalados de deconstrucción y evitar variaciones.

5. Se aplicaron indicadores propuestos para evaluar el comportamiento de un proyecto de edificación mediante un caso de estudio. Se escogió un proyecto ejecutado por Construcía: el Bio-Edificio *Gonsi Sócrates*. Este edificio recientemente terminó su fase de ejecución y aún no entra en fase de uso, por tal motivo solamente se aplicaron indicadores relacionados al consumo energético en la fase de uso y a la ciclabilidad de los materiales en la fase de deconstrucción. Por último, se obtuvo la clasificación L2C® para esos indicadores.

CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS

6. Del caso de estudio se tiene las siguientes conclusiones para los indicadores aplicados en la fase de uso:
 - Los indicadores de *emisiones de huella* de carbono obtienen una clasificación L2C® Platinum, con valores de 80% y 103%, el primero significa que hay una reducción del 20% de emisiones de HC en ese periodo con respecto al periodo anterior; mientras que el segundo indica un ahorro de HC para ese periodo de 3% más que el producido en el periodo anterior. La clasificación L2C® Platinum así como muestra un buen desempeño de sostenibilidad también representa un excelente nivel en el enfoque de economía circular.
 - El indicador de *uso de energías renovables* obtuvo la clasificación Silver con un valor de 53%, si bien es cierto no cumple un enfoque totalmente de economía circular, se puede calificar como un valor aceptable ya que estaría cumpliendo con un enfoque de sostenibilidad. Es decir, cumple con los valores de consumo máximo de energía según el

Documento Básico HE Ahorro de Energía del CTE para lograr un edificio NZEB (edificio de consumo de energía casi nulo), que establece (según análisis propio):

- En un edificio para uso distinto del residencial privado, que es el caso del edificio del caso de estudio, el consumo máximo de energía de no renovable con respecto al total de energía primaria debe ser hasta alrededor del 58%. Esto dependerá de la ubicación geográfica del proyecto, su altitud y la carga interna en el interior del edificio (carga interna es el conjunto de solicitaciones generadas en el interior del edificio, debidas, fundamentalmente, a los aportes de energía de las fuentes internas como ocupantes, equipos eléctricos, iluminación, etc. (Ministerio de Fomento, 2019)). Por eso, según la ubicación del edificio del caso de estudio, el máximo de consumo de energía no renovable es de alrededor de 53%, entonces se deduce que el mínimo consumo de energía renovable debería estar por el 47%.
 - El valor obtenido de 53% cumple con los requisitos de la norma. Aun cuando, el nivel Platinum es la clasificación esperada para economía circular, con un valor del 100% que supondría el uso total de energías renovables. Esto resulta ambicioso, pero es lo que se espera para cumplir con los principios de L2C®.
7. Del mismo modo, del caso de estudio se tiene las siguientes conclusiones para los indicadores aplicados en la fase de deconstrucción:
- Con las clasificaciones obtenidas de los indicadores evaluados se puede concluir que, si bien es cierto no alcanzaron el nivel Platinum que supone un enfoque circular, si se siguieron otras estrategias de ciclaje, posiblemente el reciclaje es lo que más predomina.
 - El indicador *tasa de recuperación por reutilización del hormigón prefabricado* obtiene una clasificación Bronze con 50% de resultado. El resultado y su clasificación muestran un valor bueno. Se debe buscar en lo posible la manera de cumplir la reutilización como bloque de hormigón. Puede ser por devolución del elemento al fabricante u otra empresa que haga su uso. También se podría hacer donaciones a otros proyectos que pretendan reutilizarlos como elementos no estructurales, por ejemplo, para contención de suelos, señalización en carreteras, etc. y otro tipo como decoración.
 - El indicador *tasa de recuperación por vías de ciclaje de materiales identificados* tiene un mejor desempeño. Este indicador que se califica Gold, solamente un nivel por debajo de Platinum, indica que el 71% de materiales extraídos siguió alguna de las estrategias que se identificaron en el Manual de Deconstrucción. Las vías de recuperación aplicadas fueron diferentes a las que se busca el enfoque de economía circular, pero son aceptadas para seguir mejorando.
 - Estos indicadores de ciclabilidad de materiales pueden verse afectados por la creación de nuevas tecnologías o vías de ciclaje actualmente no existentes, por lo que pueden ser dinámicos y modificables según la situación.
8. Se hizo un análisis de cada uno de los indicadores propuestos, esto demostró su importancia para la evaluación del desempeño de la metodología L2C®.

9. Para terminar, se concluye que, por ser la metodología L2C® reciente, aún tiene un largo camino por recorrer y alcanzar sus objetivos al 100%. Es ambiciosa y genera excelentes beneficios para las personas y el medio ambiente. Por lo que Construcía es un claro ejemplo de innovación y cambio de mentalidad: de realizar proyectos tradicionales y fáciles de gestionar a realizar proyectos más que sostenibles que generan grandes esfuerzos en su gestión.

LIMITACIONES

La principal limitación que tuvo este trabajo se encuentra en la falta de datos para la aplicación y consiguiente evaluación de cada uno de los indicadores propuestos. Inicialmente se tenía establecido que se haría el caso de estudio del Bio-Edificio Gonsi Sócrates y se esperaba que éste entrase en la fase de uso, pero aún no es el caso. No obstante, se intentó realizar la aplicación de los indicadores en un caso de estudio hipotético, en base a edificios construidos en un enfoque de economía circular. Si existen edificaciones construidas bajo ese enfoque, pero también no fue posible encontrar datos suficientes para la fase de uso, más aún para la fase de deconstrucción puesto que aún no es muy aplicado este método de fin de vida en las edificaciones.

LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Para complementar el presente trabajo es necesario realizar otras investigaciones que resultarían de gran interés. Por eso se propone las siguientes líneas de investigación a desarrollar:

- Evaluar el Bio-Edificio Gonsi Sócrates con los indicadores propuestos en esta investigación, luego de un año como mínimo del inicio de su operación. Esto con la finalidad de empezar a conocer el desempeño de L2C® en la fase de uso, puesto que hasta la fecha Construcía ya hizo la evaluación con los indicadores que tiene para las fases iniciales.
- Evaluar un caso de estudio de algún edificio diseñado con fines de sostenibilidad. Es decir, el diseño del edificio podría haberse basado en los requisitos que pide algún Sistema de Certificación (LEED, DGNB, BREEAM, etc). Esto con la finalidad de conocer que clasificación L2C® obtiene, también analizar y demostrar la validez de los parámetros establecidos en esta investigación para cada nivel de clasificación.
- Analizar la aplicación de la filosofía LC en la fase de uso, de esta manera proponer otros indicadores dentro del principio *Transformación Industrial*.
- Proponer otros indicadores para la fase de deconstrucción, en el principio *Maximizar el uso de energías renovables*.

REFERENCIAS

Acharya, D., Boyd, R. and Finch, O. (2020) 'From Principles To Practices: Realising the Value of Circular Economy in Real Estate', p. 54.

AENOR (2008) *Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido*. España: EN 15251:2007.

Akanbi, L. A. *et al.* (2018) 'Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier, 129(October 2017), pp. 175–186. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.10.026.

AQUA España (2016) *Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas en edificios*.

Ballard, G. H. (2000) *The Last Planner System of Production Control*. University of Birmingham.

Ballard, G. H. and Howell, G. (2003) 'Lean Project Management', *Building Research and Information*, 31(2).

Betancourt, D. F. (2017) *Indicadores de gestión: Definición, elaboración e interpretación con ejemplo práctico*. Available at: <https://ingenioempresa.com/indicadores-una-guia-incompleta/> (Accessed: 4 September 2020).

Billorou, N., Pacheco, M. and Vargas, F. (2011) *¿Qué son y cómo se construyen los indicadores en la evaluación de impacto?*, *Guía para la evaluación de impacto*. Available at: <https://guia.oitcinterfor.org/como-evaluar/como-se-construyen-indicadores> (Accessed: 19 September 2020).

Blender, M. (2015) *El confort térmico - Arquitectura y Energía*. Available at: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/> (Accessed: 10 September 2020).

Brand, S. (1995) *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. USA: Penguin Group.

Circle economy, Odijk, S. van and Bovene, F. van (2014) *Circular Construction. The foundation under a renewed sector*.

Construcía (2018) 'Nuestro modelo y metodología LEAN2CRADLE®'.

Construcía (2020a) *Grupo Construcía y su compromiso con los ODS*. Available at: <https://www.construcia.com/noticias/grupo-construcia-y-los-ods/> (Accessed: 21 August 2020).

Construcía (2020b) *La Construcción Circular con Lean2Cradle®*. Available at: <https://www.construcia.com/construccion-circular-lean2cradle/> (Accessed: 26 June 2020).

Construcía (2020c) *Pioneros en construcción sostenible*. Available at: <https://www.construcia.com/quienes-somos/> (Accessed: 21 August 2020).

Construcía and Eco Intelligent Growth (2019a) *Pasaporte de Materiales - Oficinas Construcía Instalaciones*. Barcelona.

Construcía and Eco Intelligent Growth (2019b) 'REAL VALUE ESTATE - ANÁLISIS FINANCIERO DIFERENCIAL EDIFICIO GONSI SÓCRATES'.

Construcúa and Eco Intelligent Growth (2020) *Pasaporte de Materiales - Edificio Gonsi Sócrates*.

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2020) *What is Cradle to Cradle Certified™?* Available at: <https://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification> (Accessed: 9 July 2020).

DGNB (2020a) *Criteria overview building dismantling | DGNB system*. Available at: <https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/rueckbau/kriterien/> (Accessed: 14 August 2020).

DGNB (2020b) *DGNB System*. Available at: <https://www.dgnb-system.de/en/system/index.php> (Accessed: 4 July 2020).

DGNB (2020c) *DGNB SYSTEM Buildings in use criteria set - Version 2020*. Stuttgart, Germany.

DGNB (2020d) *DGNB System Version 2020 International*. Available at: <https://www.dgnb-system.de/en/system/version-2020-international/> (Accessed: 4 July 2020).

Dodd, N. *et al.* (2017) 'Level(s): El marco común de la UE de indicadores básicos de sostenibilidad para edificios residenciales y de oficinas. Parte 3', *Report EUR 28898 EN*. Luxemburgo: Comisión Europea, pp. 1–233. doi: 10.2760/95143.

Dües, C. M., Tan, K. H. and Lim, M. (2013) 'Green as the new Lean: How to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 40, pp. 93–100. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.12.023.

Eadie, R. *et al.* (2013) 'BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis, Automation in Construction', *Automation in Construction*, 36, pp. 145–151. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>.

Ellen MacArthur Foundation (2017a) *Circular Economy System Diagram*. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic> (Accessed: 19 August 2020).

Ellen MacArthur Foundation (2017b) *Safe & Circular Material Choices*. Available at: <https://www.circulardesignguide.com/safe-circular> (Accessed: 29 September 2020).

Ellen MacArthur Foundation (2019) *Complete the picture: How the circular economy tackles climate change*, *Ellen MacArthur Foundation*. Available at: www.ellenmacarthurfoundation.org/publications.

Ellen MacArthur Foundation (2020) *Economía Circular*. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto> (Accessed: 15 August 2020).

European Commission (2020a) *Building sustainability performance - Level(s) - Environment - European Commission*. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/buildings.htm> (Accessed: 23 July 2020).

European Commission (2020b) *Nearly zero-energy buildings*. Available at: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en?redir=1 (Accessed: 24 September 2020).

European Commission (2020c) *Un Pacto Verde Europeo | Comisión Europea*. Available at: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es (Accessed: 1

September 2020).

Guy, B. and Ciarimboli, N. (2008) *Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building*. Seattle.

Hernández Matías, J. C. and Vizán Idoipe, A. (2013) *Lean Manufacturing*. Madrid: © Fundación eoi, 2013. doi: 10.3233/HSM-1993-12106.

Hübner, F. *et al.* (2017) 'Review of project planning methods for deconstruction projects of buildings', *Built Environment Project and Asset Management*, 7(2), pp. 212–226. doi: 10.1108/BEPAM-11-2016-0075.

Huovila, P., Iyer-Raniga, U. and Maity, S. (2019) 'Circular Economy in the Built Environment: Supporting Emerging Concepts', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, p. 012003. doi: 10.1088/1755-1315/297/1/012003.

Koskela, L. (1992) *Application of the new production philosophy to construction*. Standford.

KPMG, Construcía and Eco Intelligent Growth (2019) *True Value de edificios Lean2Cradle®*.

Marzouk, M., Elmaraghy, A. and Voordijk, H. (2019) 'Lean deconstruction approach for buildings demolition processes using BIM', *Lean Construction Journal*, 2019, pp. 147–173.

McDonough, W. and Braungart, M. (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*. First Edit. Edited by J. James. New York: North Point Press.

McKinsey & Company (2012) *Lean Construction*. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/lean-construction#> (Accessed: 1 July 2020).

Ministerio de Fomento (2019) *Documento Básico HE Ahorro de energía*.

Ministerio de Industria Energía y Turismo (2013) 'RITE. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios. Versión Consolidada.', *Boletín oficial del estado*, (74), p. 137. Available at: <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/realDecreto/RD3142006.pdf>.

Ministerio para la Transición Ecológica (2018) 'Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización', *Gobierno de España*, p. 52. Available at: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020) 'Factores de emisión: Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono'.

Minkov, N., Bach, V. and Finkbeiner, M. (2018) 'Characterization of the Cradle to Cradle Certified™ products program in the context of eco-labels and environmental declarations', *Sustainability*, 10(3). doi: 10.3390/su10030738.

Naciones Unidas (2017) 'La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.', *PATRIMONIO: ECONOMÍA CULTURAL Y EDUCACIÓN PARA LA PAZ (MEC-EDUPAZ)*, 1(11). Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/> (Accessed: 1 September 2020).

Pich-Aguilera, F. and Batlle, T. (2020) *Edificio Gonsi Sócrates en Viladecans, Arquitectura y*

Construcción. Available at: <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/307838-Edificio-Gonsi-Socrates-en-Viladecans.html> (Accessed: 23 September 2020).

PichArchitects (2019) *ECONOMÍA CIRCULAR EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO*. Available at: <https://www.picharchitects.com/2020/01/28/economia-circular-en-el-diseno-arquitectonico/> (Accessed: 22 September 2020).

PichArchitects (2020) *ECONOMÍA CIRCULAR EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO pt. 2*. Available at: <https://www.picharchitects.com/2020/05/20/economia-circular-en-el-diseno-arquitectonico-pt-2/> (Accessed: 24 September 2020).

Rahani, A. R. and Al-Ashraf, M. (2012) ‘Production flow analysis through Value Stream Mapping: A lean manufacturing process case study’, *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, pp. 1727–1734. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.375.

Ruiz, E., Canales, R. and García, V. (2019) *La medición de la economía circular. Marcos, indicadores e impacto en la gestión empresarial*, *Journal of Chemical Information and Modeling*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Silva Matiz, D. A. (2012) *Teoría de Indicadores de Gestión y su Aplicación Práctica*. Bogotá.

Stopwaste and Arup (2018) ‘Circular Economy in the Built Environment: Opportunities for Local Government Leadership’. Available at: [http://www.stopwaste.org/sites/default/files/Circularity in the Built Environment-20180614.pdf](http://www.stopwaste.org/sites/default/files/Circularity%20in%20the%20Built%20Environment-20180614.pdf).

USGBC (2018) *LEED v4 for Building Operations and Maintenance - current version | U.S. Green Building Council*. Available at: <https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-operations-and-maintenance-current-version> (Accessed: 7 August 2020).

Velasco Ruiz, A. (2018) *Análisis de la gestión a pie de obra mediante la digitalización del Sistema Last Planner*. Universidad Politécnica de Cataluña.

Womack, J. P., Jones, D. T. and Roos, D. (1990) *La máquina que cambió el mundo: La historia de la Producción Lean*. 2017th edn. Profit Editorial I., S.L. Available at: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HktIDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=que+es+automoviles&ots=fH4McIn2R7&sig=jgeaN7eXAIzjaibwWYZiXfvBU2c#v=onepage&q=que+es+automoviles&f=false> (Accessed: 2 April 2020).

World Economic Forum (2016) *Can the circular economy transform the world's number one consumer of raw materials?* | *World Economic Forum*, *World Economic*. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2016/05/can-the-circular-economy-transform-the-world-s-number-one-consumer-of-raw-materials/> (Accessed: 3 September 2020).



ANEJOS

ANEJO 1:

FRAGMENTO DEL DOCUMENTO PASAPORTE DE MATERIALES DEL EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO – CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO

Bio-Edificio Gonsi Sócrates

GONSI 4.0

6. CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO

Conocer los productos utilizados y cómo se han instalado es fundamental para evaluar la calidad del espacio. El Material Passport caracteriza los productos instalados de acuerdo con 4 parámetros definidos a continuación. Se aplica el principio de precaución(!) como medida de cautela en aquellos aspectos especialmente relevantes para el valor de los materiales o la salud de las personas.

En el Anexo 01 se encuentra la caracterización del Pasaporte de Materiales completa.



Los usuarios pasan el 90% del tiempo en espacios interiores, por lo que un uso de materiales saludables es fundamental para salvaguardar su salud¹.

Múltiples estudios relacionan directamente la salud de los espacios con la productividad de los trabajadores².

TIPO DE NUTRIENTE



Técnico



Mixto



Biológico

CARACTERIZACIÓN

Identificación de la familia de material y tipología de material específico, de acuerdo con la clasificación desarrollada en la metodología L2C®



TOXICIDAD (!)

Salud del producto evaluada en un rango de 1 a 5.

Se han considerado equivalencias en función de las certificaciones de producto disponibles o conocimiento interno, como se muestra en la tabla:



Desconocido o Sustancia Prohibida presente



Nivel Basic o homologado con PLZC*



Nivel Bronze o equiv.



Nivel Silver o equiv.



Niveles Platinum, Gold o eq.

CICLABILIDAD

Vías de ciclabilidad posibles del producto una vez finaliza su vida útil o se retira por sustitución.



Devolución a fabricante



Reciclaje



Reutilización / Remanufactura



Digestión Anaeróbica / Compostaje



Vertedero



No Recuperable



Custodia Elementos EMC



(!) Principio de Precaución aplicado, indicando el escenario más desfavorable y conservador posible.

¹ [European Environment Agency, 2013](#)

² [World Green Building Council, 2016](#)

* Potencial L2C. Producto analizado por la metodología interna de Grupo Construcia, en base a los principios de la Economía Circular y el Cradle to Cradle®.

ANEJO 2:


FRAGMENTO DEL DOCUMENTO MANUAL DE DECONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO – FICHA RESUMEN DE SISTEMAS A DECONSTRUIR

Bio-Edificio Gonsi Sócrates


GONSI 4.0

2. SISTEMAS A DECONSTRUIR

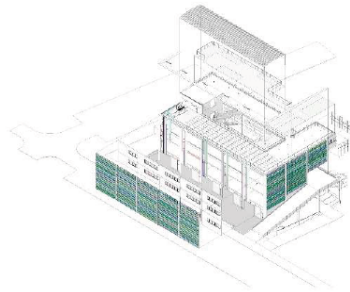
Los productos se encuentran, en la mayoría de los casos, acompañados de componentes auxiliares o acabados que son de alta importancia en el momento de deconstruir un espacio, ya que puede condicionar el reciclado y, por tanto, la recuperación del valor. En este apartado se presenta una serie de fichas resumen por tipología de material o sistema constructivo del Bio-Edificio Gonsi Sócrates. A continuación, un resumen de la estructura de la ficha resumen indicando la información que se presenta:



SISTEMA

 kg	DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DEL SISTEMA	FABRICANTE(S) DEL MATERIAL
CANTIDAD		

EMPLAZAMIENTO



En cada ficha se detallará la ubicación de los elementos o bien nomenclatura de referencia para localizarlos en el modelo REVIT.

El Excel proporcionado en el AS BUILT es una herramienta de soporte para llevar a cabo la deconstrucción, pues se identifican todos los elementos presentes, fabricante o contacto de referencia.





VALOR

VALOR ACTUAL: <small>(AÑO 2020)</small>	RANGO DE COSTE BAJO – MEDIO – ALTO	DEPRECIACIÓN ANUAL:	INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA
CICLO DE ROTACIÓN:	VER APARTADO CICLO DE USO DE LOS MATERIALES	VALOR FUTURO: <small>(AÑO 2030)</small>	RANGO DE VALOR ECONÓMICO Y AMBIENTAL BAJO – MEDIO – ALTO

ESTRATEGIAS DE CICLAJE

Resumen de las posibles estrategias de ciclaje, así como indicaciones para el futuro usuario y el propietario para que esta información se pueda trasladar a la entidad que se encargue de la deconstrucción del espacio o gestión de los materiales.

Estrategias posibles:

[Descripción de las estrategias](#)





38

ANEJO 3: LISTA DE INDICADORES L2C® PROPUESTOS

INDICADORES PROPUESTOS PARA LA FASE DE USO		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Frecuencia de Cálculo
1. TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Frecuencia de Cálculo
1.1	Costes de operación. (%) porcentaje de reducción de los costes operativos anuales con respecto al coste de operación previsto.	<0%	0 - 4%	5 - 8%	9-12%	>12%	Anual
1.2	Inspección de edificios. (Und) Evalúa la eficacia de la inspección del edificio que se debe realizar por lo menos una vez al año.	0 - 1	2	3	4	5	Anual
2. COMODIDAD Y BIODIVERSIDAD		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Frecuencia de Cálculo
2.1	Consumo total de agua. (%) porcentaje de la cantidad de agua potable consumida frente a la cantidad de consumo de agua potable para el indicador inmediato anterior.	>100 %	95 - 99 %	90 - 94 %	85 - 89%	<85%	Semestral
2.2	Agua reutilizada. (%) porcentaje de la cantidad de agua gris reciclada consumida frente al total de agua consumida (potable consumida + reciclada consumida).	No existe sistema	0 - 16 %	17 - 34 %	35 - 50 %	> 50 %	Semestral
2.3	Calidad del aire interior. (%) índice de ventilación en un ambiente interior, que es el comportamiento del caudal de ventilación real en relación al valor de ventilación para su diseño.	< 90 %	90 - 100 %	101 - 110 %	111 - 120 %	> 120 %	Anual
2.4	Confort térmico. uso de dos indicadores absolutos: la temperatura del aire y la humedad relativa del aire. Según ello se hará una aproximación de la calidad de confort térmico que existe en el ambiente.	-	-	Demasiado fro y seco / Demasiado calor y humedad	Todavía confortable	Confortable	Estacional
2.5	Iluminación interior. (Und) es cualitativo, se mide una única vez y se calcula como porcentaje de la cantidad de las estrategias cumplidas frente al total de estrategias para el control de la iluminación por los ocupantes.	0	1	2	3	4	Único
2.6	Ruido exterior. (Decibelio dB) Evalúa el nivel de ruido exterior a través del nivel de presión sonora equivalente.	Valor dentro del rango típico	Valor de diseño por defecto ± 3 dB	Valor de diseño por defecto ± 2 dB	Valor de diseño por defecto ± 1 dB	Valor de diseño por defecto	Anual
2.7	Encuesta de satisfacción de los ocupantes. (%) Ponderación del puntaje obtenido de los ocupantes participantes entre el máximo puntaje de satisfacción que se puede lograr.	< 40 %	40 - 55 %	56 - 70 %	71 - 85 %	> 85 %	Anual
3. DISEÑO ECOLÓGICO Y SALUDABLE		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Frecuencia de Cálculo
3.1	Política de adquisiciones. (%) evalúa el cumplimiento de requisitos identificados para cada tipo de compra de los ocupantes de un edificio con uso como oficinas.	< 40 %	40 - 55 %	56 - 70 %	71 - 85 %	> 85 %	Mensual / Semestral / Anual
3.2	Manejo de Desechos (Und.) evalúa el cumplimiento de criterios relacionados al manejo de los desechos generados en la fase de uso.	-	0	1	2	3	Semestral
3.3	Disposición de desechos sólidos. (%) superficie del edificio con estrategias para mejorar la calidad del aire interior en los espacios ocupados por encima requisito normativa	< 40 %	40 - 55 %	56 - 70 %	71 - 85 %	> 85 %	Anual
4. MAXIMIZAR EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Frecuencia de Cálculo
4.1	Consumo de energía no renovable. (%) porcentaje del valor de consumo de energía frente al valor de consumo de energía para el indicador inmediato anterior.	>100 %	95 - 99 %	90 - 94 %	85 - 89%	<85%	Anual
4.2	Emisiones de Huella de Carbono. (g, Kg, ton. De CO2) evalúa las emisiones de huella de carbono que genera el edificio al usar energía de origen no renovable.	>100 %	96 - 100 %	91 - 95 %	85 - 90%	<85%	Anual
4.3	Uso de energías renovables. (%) porcentaje del valor de consumo total de energía renovable (electricidad) frente al valor total de consumo de energía, es decir de fuentes renovables y no renovables.	No uso energía renovable	< 40 %	40 - 69 %	70 - 99 %	100%	Anual
4.4	Ahorro de emisiones de Huella de Carbono. (g, Kg, ton. De CO2) evalúa el ahorro de las emisiones de huella de carbono que genera el edificio como consecuencia del uso de energía de origen renovable	< 85 %	85 - 90 %	91 - 95 %	96 - 100 %	> 100 %	Anual

INDICADORES PROPUESTOS PARA LA FASE DE DECONSTRUCCIÓN		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Valor objetivo durante el proyecto		
1. TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Planificación deconstrucción	Ejecución y control deconstrucción	Final deconstrucción
1.1	Tiempo total de deconstrucción. (%) evalúa la reducción de la duración total de deconstrucción con respecto a la duración definida en el cronograma base de deconstrucción en la etapa de planificación de esta fase.	< 1 %	1 - 5 %	6 - 10 %	11 - 15 %	> 15 %			
1.2	Costes de deconstrucción. (%) evalúa la reducción del coste total de deconstrucción con respecto al coste base de deconstrucción en la fase de diseño del proyecto.	< 1 %	1 - 4 %	5 - 8 %	9 - 12 %	> 12 %			
1.3	Valor residual del edificio. (%) evalúa la reducción del coste total de deconstrucción con respecto al coste base de deconstrucción en la fase de diseño del proyecto.	< 85 %	85 - 90 %	91 - 95 %	96 - 100 %	> 100 %			
1.4	Uso de funcionalidades BIM. (Und) evalúa el uso de la plataforma BIM mediante la aplicación de ciertas de sus funciones en las sub-fases indicadas.	No uso de BIM	1	2	3	4			
1.5	Uso de herramientas Lean Construction. (%) evalúa el uso de estrategias Lean Construction en las tres sub-fases (planificación de deconstrucción, ejecución y control de deconstrucción, y final de deconstrucción).	No uso LC	1	2	3	4			
1.6	Facilidad de desensamblado de componentes. (%) evalúa el grado de eficacia que se consiguió al ser desensamblado el edificio por medio del sistema de conexión identificado en el diseño del proyecto, principalmente en cuatro capas del edificio: structure, skin, setting y systems.	> 100 %	96 - 100 %	92 - 95 %	88 - 91 %	< 88 %			
2. COMODIDAD Y BIODIVERSIDAD		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Planificación deconstrucción	Ejecución y control deconstrucción	Final deconstrucción
2.1	Protección del trabajador (Und) Cantidad de causas o anomalías detectadas que pueden generar riesgos a la salud de las personas.	Más de 4	3	2	1	0			
2.2	Aplicación de medidas de salud y seguridad (Und) Cantidad de medidas implementadas y aplicadas dentro del Plan de Seguridad y Salud para la obra de deconstrucción.	0	1	2	3	4			
3. DISEÑO ECOLÓGICO Y SALUDABLE		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Planificación deconstrucción	Ejecución y control deconstrucción	Final deconstrucción
3.1	Rotación de productos o sistemas. (%) evalúa el grado de rotación de productos o sistemas que han cumplido el tiempo de rotación o sustitución identificado en el Manual de Deconstrucción.	> 100 %	96 - 100 %	92 - 95 %	88 - 91 %	< 88 %			
3.2	Tasa de recuperación por reutilización del hormigón prefabricado. (%) porcentaje del hormigón que es reutilizado en su totalidad, que es como bloque de hormigón.	< 40 %	40 - 55 %	56 - 70 %	71 - 85 %	> 85 %			
3.3	Tasa de recuperación por reutilización de materiales identificados. (%) porcentaje del material reutilizado frente al total extraído de la deconstrucción identificado como nutriente técnico.	< 20 %	21 - 35 %	36 - 50 %	51 - 65 %	> 65 %			
3.4	Tasa de recuperación por vías de ciclaje de materiales identificados. (%) porcentaje de la cantidad de elementos o materiales recuperados por las vías de ciclaje identificadas frente al total extraído de la deconstrucción identificado como nutriente técnico o biológico.	< 20 %	20 - 40 %	41 - 60 %	61 - 80 %	> 80 %			
3.5	Tasa de eliminación de materiales peligrosos identificados. (%) porcentaje de la cantidad de material peligroso que es eliminado como fue establecido en el Pasaporte de Materiales y Manual de Deconstrucción.	< 20 %	20 - 40 %	41 - 65 %	66 - 85 %	> 85 %			
4. MAXIMIZAR EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES		Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum	Planificación deconstrucción	Ejecución y control deconstrucción	Final deconstrucción
4.1	Reducción de emisiones de CO2 por uso de energía renovable. (%) porcentaje del valor de huella de carbono ahorrado por uso de energías renovables	No uso de energía renovable	< 60 %	60 - 79 %	80 - 99 %	100%			

ANEJO 4:

MODELO DE ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LOS OCUPANTES

Modelo de Encuesta de Satisfacción de los Ocupantes del Edificio basado en el DGNB System Buildingd in Use Criteria Set

Fecha:	
Organización:	
Puesto en la organización:	
Nº Planta del edificio:	

Información e instrucciones:

- La presente encuesta tiene por finalidad evaluar la satisfacción que percibe el ocupante con respecto a la calidad del entorno en el que desarrolla sus labores. Existen preguntas tanto de interés como de evaluación.
- Por cada pregunta deberá marcar el recuadro de la opción que más se ajuste a su percepción.
- Finalmente deberá sumar el puntaje por cada pregunta relacionada a la satisfacción y colocarlo en el siguiente recuadro.

Puntaje total:	
-----------------------	--

¿Cuán importante es el tema de la sostenibilidad para usted?

Muy importante	Importante	Algo importante	Poco importante	No es importante	Sin importancia absoluta
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Cuán importante es el diseño de edificios sostenibles para usted?

Muy importante	Importante	Algo importante	Poco importante	No es importante	Sin importancia absoluta
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Por favor evalúe su satisfacción con la calidad del aire dentro del edificio.

Muy Satisfecho	Satisfecho	Algo Satisfecho	Poco Satisfecho	Insatisfecho	Insatisfecho en lo absoluto
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	4	3	2	1	0

¿Cuán importante es la calidad del aire dentro del edificio para usted?

Muy importante	Importante	Algo importante	Poco importante	No es importante	Sin importancia absoluta
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Por favor evalúe su confort térmico del edificio en verano e invierno.

	Muy Satisfecho	Satisfecho	Algo Satisfecho	Poco Satisfecho	Insatisfecho	Insatisfecho en lo absoluto
	5	4	3	2	1	0
Temperatura del ambiente en verano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperatura del ambiente en invierno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Humedad en verano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Humedad en invierno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corrientes de aire en verano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corrientes de aire en invierno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Cuán importante es el confort térmico en el edificio para usted?

	Muy Importante	Importante	Algo Importante	Poco Importante	No es importante	Sin importancia en absoluto
Temperatura de la habitación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Humedad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corrientes de aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Por favor evalúe su confort visual en el edificio.

	Muy Satisfecho	Satisfecho	Algo Satisfecho	Poco Satisfecho	Insatisfecho	Insatisfecho en lo absoluto
	5	4	3	2	1	0
Iluminación natural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Iluminación Artificial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Protección contra el sol/ y deslumbramiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Cuán importante es el confort visual en el edificio para usted?

	Muy Importante	Importante	Algo Importante	Poco Importante	No es importante	Sin importancia en absoluto
Iluminación natural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Iluminación Artificial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Protección contra el sol/ y deslumbramiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Por favor evalúe su confort acústico del edificio.

	Muy Satisfecho	Satisfecho	Algo Satisfecho	Poco Satisfecho	Insatisfecho	Insatisfecho en lo absoluto
	5	4	3	2	1	0
Acústica de la habitación (ecos, reverberación , audibilidad)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ruido del exterior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ruido de los equipos eléctricos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Cuán importante es el confort acústico en el edificio para usted?

	Muy Importante	Importante	Algo Importante	Poco Importante	No es importante	Sin importancia en absoluto
Acústica de la habitación (ecos, reverberación , audibilidad)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ruido del exterior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ruido de los equipos eléctricos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Por favor evalúe su satisfacción con respecto a la calidad del espacio dentro y fuera del edificio.

	Muy Satisfecho 5	Satisfecho 4	Algo Satisfecho 3	Poco Satisfecho 2	Insatisfecho 1	Insatisfecho en lo absoluto 0
Calidad de las áreas internas (salas comunes y de reuniones)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calidad del área externa del edificio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Cuán importante es la calidad de los espacios dentro y fuera del edificio para usted?

	Muy Importante	Importante	Algo Importante	Poco Importante	No es importante	Sin importancia en absoluto
Calidad de las áreas internas (salas comunes y de reuniones)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calidad del área externa del edificio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿En general y considerando todas las condiciones anteriores, cuan satisfecho está usted con la edificación?

Muy Satisfecho	Satisfecho	Algo Satisfecho	Poco Satisfecho	Insatisfecho	Insatisfecho en lo absoluto
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	4	3	2	1	0

¿Tiene alguna sugerencia para mejorar el funcionamiento del edificio?

ANEJO 5:

FRAGMENTO DEL DOCUMENTO MANUAL DE DECONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO – SISTEMA DE ESTRUCTURA PREFABRICADA Y CIMENTACIÓN

Bio-Edificio Gonsi Sócrates

GONSI 4.0

ESTRUCTURA PREFABRICADA Y CIMENTACIÓN



SISTEMA



Estructura prefabricada por PRECON:

- Vigas
- Placas Alveolares
- Pilares
- Escalera de hormigón pre-fabricada
- Juntas de Neopreno

EMPLAZAMIENTO



Estructura del Edificio. Elementos prefabricados en las instalaciones de PRECON y cimentación realizada in situ. Durante la instalación de los elementos prefabricados, se incluyó en todas las uniones juntas de neopreno, para proporcionar continuidad (estática, acústica, térmica,...) entre elementos contiguos.

VALOR

VALOR ACTUAL:
(AÑO 2020)



DEPRECIACIÓN ANUAL:

1,5%

CICLO DE ROTACIÓN



Estructura

30 – 100 años

VALOR FUTURO:

(AÑO 2030)



ESTRATEGIAS DE CICLAJE



- Elementos modulares desensamblables y recuperables. Se deberá buscar una aplicación alternativa no estructural, como taludes, barreras, etc.
- Separación y segregación de materiales según su origen para reciclaje: Hormigón y Acero.
- Acero: Material 100% reciclable con idénticas prestaciones técnicas.
- Hormigón: Salidas downcycling como árido reciclado u otras aplicaciones



- Poliuretano no será recuperable
- Separación mecánica o manual del neopreno, con destino final vertedero. Evitar incineración, podría emitir sustancias tóxicas para las personas y el entorno.

ANEJO 6:

PANEL FOTOGRÁFICO DEL EDIFICIO DE CASO DE ESTUDIO



Fotografía A.1: Montaje de pilares del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Pich-Aguilera and Batlle, 2020)



Fotografía A.2: Estructura del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)



Fotografía A.3: Fachada del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (PICHarchitects_Pich-Aguilera)



Fotografía A.4: Techo del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcúa and Eco Intelligent Growth, 2020)



Fotografía A.5: Carpintería y cerrajería exterior del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcúa and Eco Intelligent Growth, 2020)



Fotografía A.6 Escalera exterior metálica del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcúa and Eco Intelligent Growth, 2020)



Fotografía A.7: Divisorias del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Aldo AMoretti)



Fotografía A.8: Pérgola del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Aldo Amoretti)



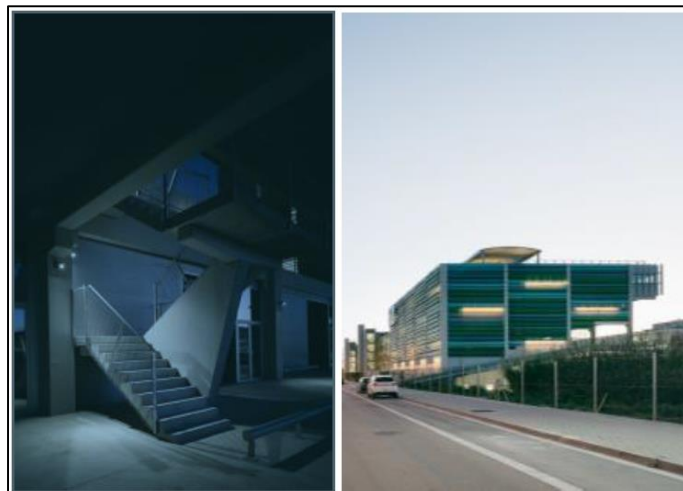
Fotografía A.9: Cubierta transitable del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcúa and Eco Intelligent Growth, 2020)



Fotografía A.10 Paneles fotovoltaicos del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)



Fotografía A.11: Ascensores del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2020)



Fotografía A.12 Luminarias del Bio-Edificio Gonsi Sócrates (Aldo Amoretti)