



FACULTAD de
ARQUITECTURA
CONSTRUCCIÓN
y DISEÑO
UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

Tesis para optar al grado de
Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética

Integración de criterios ambientales y económicos en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de Building Information Modeling

Nombre tesista:

Marzo, 2022

Ileana Berges Alvarez

Prof Guía: Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti

Prof Co-Guía: Dra. Laura Marín Restrepo



MAGÍSTER EN
HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

5 Años



Qualitas
PROGRAMA ACREDITADO

Desde el 07 de diciembre de 2017
Hasta el 07 de diciembre de 2022

SEDE Concepción MODALIDAD Presencial

Resumen

Resumen

A pesar de que la industria de la construcción se orienta cada vez más a la sostenibilidad y al uso de la metodología BIM, aún existe una falta de integración entre ambos conceptos. Además, los profesionales involucrados en las etapas tempranas de diseño de edificaciones usualmente presentan dificultad para comprender el uso de las herramientas de Análisis de Ciclo de Vida (LCA por sus siglas en inglés). Esto conlleva grandes inconvenientes, si se tiene en cuenta que precisamente en las etapas tempranas es donde se toman las decisiones que mayores impactos generan en el ciclo de vida del proyecto. El objetivo de esta investigación es integrar criterios ambientales y económicos de sostenibilidad en las primeras fases de diseño de edificaciones a través de un flujo de trabajo Building Information Modeling (BIM) que pueda ser aplicado en Chile, con el fin de facilitar la toma de decisiones a los diseñadores y reducir la huella ambiental de proyectos de construcción.

Para la concreción de los objetivos, (1) se analizaron los principales procesos de interoperabilidad entre BIM, las bases de datos y herramientas LCA, los criterios de sostenibilidad más utilizados en Chile y el estándar BIM nacional. En base a esto, (2) se desarrolló la conceptualización de un flujo de trabajo y se propuso una programación informática para la implementación, utilizando la base de datos de la herramienta de ecoeficiencia Ábaco-Chile (emisiones de gases de efecto invernadero, energía incorporada y costo económico unitario), Autodesk Revit, Dynamo, PowerBI y Excel. Posteriormente, (3) se validó la integración propuesta con un grupo de profesionales del sector de la construcción expertos y no expertos en la materia, mediante un caso práctico. En el mismo ejercicio se les pidió evaluar la sostenibilidad (ambiental y económica) en etapas tempranas de diseño de un proyecto arquitectónico, comparando distintas opciones de diseño de envolvente (muros y ventanas). Finalmente, mediante una encuesta aplicada a los participantes, se midió la integración propuesta en términos de tiempo, aplicabilidad, escalabilidad y facilidad de comprensión.

Los resultados muestran que la integración desarrollada, permite a los diseñadores evaluar el impacto ambiental y económico considerando distintas opciones de diseño de manera simplificada y rápida en etapas tempranas de diseño, facilitando la toma de decisiones en base a criterios de sostenibilidad sin la necesidad que el profesional (proyectista), sea experto en el uso de herramientas avanzadas de LCA.

Resumen

Los hallazgos sugieren la existencia de una brecha entre las hojas de ruta de sostenibilidad a nivel país y el Estándar BIM, haciendo necesario seguir trabajando en su integración. Por otro lado, se identifica una contradicción respecto a los requisitos para el desarrollo de un análisis de ciclo de vida y las afirmaciones que sustentan que su implementación, en fases tempranas de diseño permiten reducir la huella ambiental, dado que, en la práctica, la información de sostenibilidad necesita mayor nivel de detalle, y en el proceso de diseño en fases tempranas, se trabaja con volumetrías simples y con poco nivel de detalle. En cuanto a la conceptualización y la programación informática desarrollada, se considera que la prueba de concepto es válida y que podría seguir desarrollándose.

Palabras claves: *Building Information Modeling, Ábaco-Chile, sostenibilidad de edificaciones, herramientas de sostenibilidad, fases tempranas de diseño.*

Abstract

Abstract

Although the construction industry is increasingly oriented towards sustainability and the use of BIM methodology, there is still a lack of integration between both concepts. In addition, professionals involved in the early stages of building design usually have difficulty understanding the use of Life Cycle Analysis (LCA) tools. This leads to great inconveniences, considering that it is precisely in the early stages where the decisions that have the greatest impact on the life cycle of the project are made. The objective of this research is to integrate environmental and economic sustainability criteria in the early stages of building design through a Building Information Modeling (BIM) workflow that can be applied in Chile, in order to facilitate decision making for designers and reduce the environmental footprint of construction projects.

To achieve the objectives, (1) the main interoperability processes between BIM, LCA databases and tools, the most used sustainability criteria in Chile and the national BIM standard were analyzed. Based on this, (2) the conceptualization of a workflow was developed and a computer programming for the implementation was proposed, using the database of the eco-efficiency tool Abaco-Chile (greenhouse gas emissions, embodied energy and unit economic cost), Autodesk Revit, Dynamo, PowerBI and Excel. Subsequently, (3) the proposed integration was validated with a group of professionals from the construction sector, experts and non-experts in the field, through a case study. In the same exercise, they were asked to evaluate sustainability (environmental and economic) in early design stages of an architectural project, comparing different envelope design options (walls and windows). Finally, through a survey applied to the participants, the proposed integration was measured in terms of time, applicability, scalability and ease of understanding.

The results show that the developed integration allows designers to evaluate the environmental and economic impact considering different design options in a simplified and fast way in early design stages, facilitating decision making based on sustainability criteria without the need for the professional (designer) to be an expert in the use of advanced LCA tools.

The findings suggest the existence of a gap between the sustainability roadmaps at the country level and the BIM Standard, making it necessary to continue working on their integration. On the other hand, a contradiction is identified with respect to the requirements for the development of a life cycle analysis and the statements that sustain that its implementation, in early design phases,

Abstract

allows reducing the environmental footprint, given that, in practice, sustainability information needs a higher level of detail, and in the design process in early phases, simple volumetries and with little level of detail are worked with. Regarding the conceptualization and computer programming developed, it is considered that the proof of concept is valid and could be further developed.

Keywords: *Building Information Modeling, Abaco-Chile, sustainability of buildings, sustainability tools, early stages of design.*

Índice

Índice general

Resumen	ii
Abstract.....	iv
Índice general.....	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Estructura de la tesis	xii
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema de investigación.....	3
1.3. Preguntas e hipótesis de investigación	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Síntesis de la metodología de investigación.....	5
Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño	7
2.1. Implementación de políticas públicas en materia de sostenibilidad	7
2.1.1. Agenda país al 2050 sobre el cambio climático	8
2.1.2. Situación chilena de sostenibilidad en la construcción.....	10
2.1.3. Estrategia nacional de construcción sustentable.....	11
2.1.4. Programa Estratégico Nacional en Productividad y Construcción Sustentable	12
2.2. Indicadores de sostenibilidad	15
2.3. Análisis del ciclo de vida de la edificación.....	18
2.3.1. Metodologías para el cálculo de LCA en la industria de la construcción	19

Índice

2.4. Building Information Modeling.....	25
2.4.1. Aplicación BIM a escala internacional	26
2.4.2. Aplicación BIM a escala nacional.....	27
2.5. Fases tempranas de diseño de edificaciones	29
Capítulo 3. Metodología	33
3.1. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos	33
3.2. Desarrollo de la integración	34
3.3. Validación de la integración.....	36
Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos	40
4.1. Indicadores de sostenibilidad aplicados en Chile para etapas de diseño	40
4.2. El estándar BIM Chile y la sostenibilidad.....	43
4.3. Procesos de integración, herramientas y cálculos	47
4.4. Integración de BIM con criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño	51
4.5. Conclusiones capítulo 4	52
Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM.....	54
5.1. Desarrollo de la integración	54
5.1.1. Conceptualización.....	54
5.1.2. Implementación.....	56
5.2. Validación de la integración.....	62
5.3. Conclusiones capítulo 5	69
Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro.....	70
6.1. Implicaciones teóricas y prácticas.....	72
6.2. Limitaciones del estudio	73
6.3. Futuras investigaciones.....	74

Índice

Referencias bibliográficas	77
Anexo A Formato invitación a participar de validación	83
Anexo B Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para las distintas opciones de muros.....	84
Anexo C Script de Dynamo.....	87

Índice

Índice de tablas

Tabla 2-1. Sistemas de calificación, certificación y guías de la edificación en Chile.....	17
Tabla 2-2. Bases de datos ambientales	22
Tabla 2-3. Herramientas LCA y sus principales características	24
Tabla 3-1. Selección de opciones de diseño de envolvente (muros y ventanas).	35
Tabla 3-2. Preguntas de la encuesta realizada a grupo de evaluadores y escalas usadas	38
Tabla 3-3. Puntajes mínimos y máximos de cada categoría según la escala Likert	39
Tabla 4-1. Criterios e indicadores de sustentabilidad.....	41
Tabla 4-2. Criterios de sostenibilidad -económicos y ambientales- a emplear en la integración propuesta.	42
Tabla 5-1. Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M01.	58
Tabla 5-2. Energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para las opciones de ventanas.	58
Tabla 5-3. Resultados de la encuesta al grupo evaluador para las categorías tiempo, aplicabilidad, facilidad de comprensión y escalabilidad.	65

Índice

Índice de figuras

Figura 1.1. Diagrama metodológico de investigación	6
Figura 2.1. Histórico, estado actual y proyección a futuro en cuanto a emisiones GEI en Chile considerando las políticas públicas.....	10
Figura 2.2. Hoja de ruta 2025, PyCS	15
Figura 2.3. Etapas del ciclo de vida de la edificación según la norma UNE-EN 15978:2012.....	19
Figura 2.4. Fases tempranas de diseño en base a los Estados de avance de la información de los modelos BIM	30
Figura 2.5. Descripción de los Niveles de Información	31
Figura 2.6. Niveles de Información asociados a fases tempranas de diseño	32
Figura 4.1. Usos BIM	43
Figura 4.2. Tipos de información (TDI)	44
Figura 4.3. Ficha de uso BIM para la evaluación de la sostenibilidad.....	45
Figura 4.4. Parámetros de información para el Estándar Sostenible	45
Figura 4.5. Parámetros de información para el Estándar Sostenible con NDI-1 y 2.....	46
Figura 4.6. Parámetros de información para el Estándar Sostenible con NDI-3 a 6.....	47
Figura 4.7. Enfoques de integración entre BIM y LCA	48
Figura 4.8. Integración de <i>softwares</i> para LCA-BIM.....	51
Figura 5.1 Estructura de la integración propuesta entre criterios ambientales y económicos y BIM	57
Figura 5.2. Tipos de muros y ventanas creados en Revit junto al parámetro <i>Assembly Code</i> dentro de las propiedades de tipo.....	59
Figura 5.3. Resultado de la vinculación de los datos ambientales y económicos a los parámetros de Revit.....	60
Figura 5.4. <i>Input</i> a definir por el usuario en Dynamo Player	61
Figura 5.5. Estructura del archivo Excel obtenido mediante el <i>Script 2</i>	61

Índice

Figura 5.6. Visualización gráfica de los resultados en PowerBI.....	62
Figura 5.7. Caracterización de los evaluadores por experiencia en BIM, diseño arquitectónico y análisis del ciclo de vida	64
Figura 5.8. Resultados de la encuesta al grupo evaluador, promedio por sección a) tiempo, b) aplicabilidad, c) facilidad de comprensión, d) escalabilidad, e) Total participantes con experiencia en sostenibilidad, f) Total todos los participantes (sin considerar categoría tiempo).	67
Figura 5.9. Resultados de la encuesta al grupo evaluador, fortalezas de la integración identificadas	67
Figura 5.10. Resultados de la encuesta al grupo evaluador, limitaciones de la integración identificadas	68
Figura 5.11. Resultados de la encuesta al grupo evaluador, aspectos destacados de la integración propuesta respecto a los métodos de evaluación de sostenibilidad actuales.....	68

Estructura de la tesis

Estructura de la tesis

El **capítulo 1**, presenta una introducción al problema de investigación, se analizan diversos antecedentes relevantes del área estudiada, se definen los objetivos e hipótesis de la investigación y se presenta la metodología general del trabajo.

El **capítulo 2**, plantea una revisión literaria de los principales temas que fundamentan el contenido teórico de la investigación. Su estructura se sustenta en función de dos ejes temáticos: sostenibilidad y BIM.

El **capítulo 3**, detalla la metodología y diseño de la investigación. Se exponen los métodos, herramientas y procedimientos efectuados para alcanzar cada uno de los objetivos de investigación.

El **capítulo 4**, identifica las potencialidades y brechas de la integración entre la sostenibilidad y BIM. Se analizan diversos criterios de sostenibilidad para etapas tempranas de diseño según las certificaciones, clasificaciones y guías de edificaciones sostenibles; se estudian las principales bases de datos y herramientas LCA; se examina el Estándar BIM para Chile y se culmina con la revisión de algunos de los procesos de integración entre BIM y LCA existentes.

El **capítulo 5**, establece los resultados de la conceptualización, implementación y validación de la integración entre criterios de sostenibilidad ambientales, económicos y el flujo BIM para etapas tempranas de diseño de edificaciones.

El **capítulo 6**, presenta las conclusiones principales de la investigación, discute sobre limitaciones y futuras líneas de trabajo.

Capítulo 1. Introducción

Capítulo 1. Introducción

1.1. Antecedentes

La industria de la construcción es una de las actividades que tiene mayor impacto sobre el medio ambiente debido al consumo de grandes cantidades de materia prima y energía (Hammond & Jones, 2008; Santos et al., 2019). A nivel mundial, el sector de la construcción consume el 36% de la energía final y produce un 39% de las emisiones de CO₂, principalmente relacionadas con el uso de la energía durante la vida útil de los edificios (IEA and UNEP, 2018).

El término sostenibilidad se comenzó a utilizar dentro de la industria de la construcción a mediados de la década de los 90, y considera tres dimensiones principales: económica, ambiental y social (European Commission, 2011; Gundes, 2016; Rocuts et al., 2009). Dentro de un proyecto arquitectónico, las decisiones que tienen mayor impacto sobre la sostenibilidad de la construcción se dan en las fases tempranas de diseño (Liu et al., 2018); considerándose la articulación de los criterios ambientales dentro de la etapa de diseño como uno de los mayores desafíos para los proyectistas (Mercader Moyano, M., Camporeale, P., & Cózar-Cózar, 2019). Se han desarrollado varios métodos de cálculo que evalúan el impacto ambiental y económico de las construcciones, siendo el Análisis de Ciclo de Vida (LCA por sus siglas en inglés), y el Análisis de Ciclo de Costos (LCC por sus siglas en inglés) los considerados por la comunidad internacional como los métodos de referencia para evaluar la sostenibilidad de un edificio durante todo su ciclo de vida (Silvestre et al., 2015; Soust-Verdaguer et al., 2017). Sin embargo, son *time-consuming* y especializados (Safari & AzariJafari, 2021; Santos et al., 2017; Van Eldik et al., 2020).

Para facilitar este complejo proceso, a nivel mundial se han desarrollado diversos *softwares* y calculadoras para evaluar la sostenibilidad de las edificaciones (Najjar et al., 2019). En Chile, un grupo de investigadores de la Universidad del Bío-Bío ha generado la herramienta Ábaco-Chile (CITEC UBB, Plataforma Online ÁBACO-Chile, 2019), que evalúa integralmente los proyectos de construcción, considerando parámetros ambientales, costos económicos y sociales, desde la fase de diseño hasta la construcción en su plataforma web (Kairies-Alvarado et al., 2021; Muñoz et al., 2020). La misma, cuenta con una base de datos basada en Ecoinvent 3.0 con adaptación a la matriz energética chilena (CITEC UBB, Plataforma Online ÁBACO-Chile, 2019; Muñoz et al., 2020; Wiche & Rodríguez, 2020).

Capítulo 1. Introducción

Building Information Modeling (BIM) considerada una tecnología emergente, es una metodología que busca dentro del contexto colaborativo, la elaboración y gestión de un proyecto constructivo que contenga la información de todo el ciclo de vida en un modelo digital (BuildingSMART Spain, 2020). En otras palabras, BIM puede considerarse como una representación digital de objetos paramétricos enriquecida con información asociada a través de la contribución de las distintas especialidades para brindar retroalimentación desde fases tempranas, mejorando el proceso de toma de decisiones y aumentando la eficiencia del proyecto en todas las etapas (Ghaffarianhoseini et al., 2017; Safari & AzariJafari, 2021). Además, la metodología BIM puede contribuir a la integración de las tres dimensiones principales de la sostenibilidad -ambiental económico y social- en los procesos de construcción (Llatas et al., 2020).

En los últimos años se ha comenzado a investigar la aplicación de BIM en el campo de la sostenibilidad (Obrecht et al., 2020; Safari & AzariJafari, 2021), y varios estudios se han enfocado en la integración del BIM con el LCA (Cavalliere et al., 2019; Crippa et al., 2018; Llatas et al., 2020; Röck et al., 2018; Safari & AzariJafari, 2021; Santos, Aguiar Costa, et al., 2020; Soust-Verdaguer et al., 2017). En este sentido, Hollberg et al. (2020), Cavalliere et al. (2019) y Soust-Verdaguer et al. (2017) consideran que la tecnología BIM es una solución al LCA, ya que permite acelerar el proceso y disminuir los esfuerzos del procesamiento de datos. Llatas et al. (2020) perfila al BIM como una estrategia que facilita el cálculo y visualización de los impactos ambientales en las distintas etapas de diseño. A su vez, Chong et al. (2017) manifiesta que los criterios ambientales, sociales y económicos deben ser integrados de manera simultánea y desde la fase de diseño para que sea efectivo la sostenibilidad. En esta línea, se han propuesto diversos enfoques con el fin de reducir la carga de datos manuales y facilitar la lectura de los resultados para aquellos no expertos en la temática (Safari & AzariJafari, 2021).

Safari et al. (2021) y Santos et al. (2019) señalan que dentro de la literatura BIM-LCA existen tres enfoques principales de integración: convencional, estático y dinámico. La principal diferencia entre estas clasificaciones son la forma de recolección y uso de los datos, los métodos de cálculo y el intercambio de información. El enfoque convencional utiliza una serie de programas externos al flujo BIM para llegar a un análisis de LCA y se realiza de manera manual, el estático utiliza los datos de salida generados por el modelo BIM para ingresarlos a la base de datos de LCA y así obtener los impactos ambientales del proyecto, mientras que el dinámico ya incluye la información

Capítulo 1. Introducción

proporcionada por una base de datos de LCA dentro del modelo BIM desde etapas tempranas de diseño.

Respecto a la integración BIM - sostenibilidad, en la literatura se han identificado diferentes problemáticas, siendo las principales: la falta de bases de datos ambientales locales, el complejo proceso de recolección de datos locales o regionales, la falta de claridad del BIM para la evaluación de la sostenibilidad, la necesidad de experiencia de personas en este campo, problemas de interoperabilidad y de integración entre las herramientas lo que lleva a la pérdida de datos y de tiempo en el procesamiento de datos, falta de estándares de intercambio de datos BIM para apoyar la integración BIM-LCA en la etapa de diseño (Bueno & Fabricio, 2018; Crippa et al., 2018; Safari & AzariJafari, 2021).

1.2. Problema de investigación

A pesar de los esfuerzos de la comunidad científica por mejorar la integración de BIM y la sostenibilidad, aún existen ciertas limitaciones (Bueno & Fabricio, 2018; Crippa et al., 2018; Obrecht et al., 2020; Safari & AzariJafari, 2021): (a) interoperabilidad entre las herramientas, la transferencia de datos entre ellas requiere de mucho tiempo y esfuerzo, (b) pérdidas de información y errores en el traspaso de una herramienta a otra, (c) falta de claridad del BIM para la evaluación de la sostenibilidad, (d) falta de estándares de intercambio de datos BIM para apoyar la integración en etapa de diseño, (e) incorporación de los criterios de sostenibilidad en etapas tardías del proceso de diseño, (f) complejidad en la interpretación de datos, (g) falta de bases ambientales locales y (h) engorroso proceso de recolección de datos regionales o locales.

Aunque en la actualidad existen algunos *plug-in* o *add-on* para evaluar los impactos ambientales, no contienen base de datos locales, ni tampoco incluyen todos los indicadores de sostenibilidad. Siendo que el concepto de construcción sostenible se basa en un enfoque multidimensional sistémico, la atención generalmente se centra en los aspectos ambientales, ignorando los factores sociales y económicos. Por lo anterior, es pertinente proponer integraciones dinámicas entre BIM y sostenibilidad, que consideren los tres pilares de la sostenibilidad con bases de datos locales y centradas en las fases tempranas de diseño.

En el caso de esta investigación, el enfoque del estudio se concentrará en las dimensiones económicas y ambientales dado que la dimensión social es muy amplia y el tiempo para desarrollar esta investigación es acotado.

Capítulo 1. Introducción

Se considera que la integración de criterios ambientales y económicos en las fases tempranas de diseño a través del flujo BIM, considerando una base de datos sitio específica –pudiendo extrapolarse a nivel regional- permitiría al diseñador obtener resultados de indicadores de sostenibilidad confiables de manera instantánea mientras modela, lo que permite explorar distintas soluciones de manera rápida y sencilla. Esto contribuiría a que los proyectos de construcción, tributen al compromiso de Chile para alcanzar la carbono neutralidad, al año 2050.

Sumado a lo anterior, el desarrollo de esta integración podría contribuir a que los estándares BIM a nivel regional, incluyan criterios de sostenibilidad adecuados a la localidad y desde etapas tempranas de diseño.

1.3. Preguntas e hipótesis de investigación

La integración de criterios ambientales y económicos en un flujo BIM, facilita la toma de decisiones en etapas tempranas del diseño de edificaciones, permitiendo obtener resultados de manera simplificada y expedita, sin necesidad de que el diseñador sea experto en el área.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Integrar criterios ambientales y económicos en el proceso de diseño de edificaciones, a través de BIM, para facilitar la toma de decisiones oportunas de los actores involucrados en fases tempranas de diseño y minimizar el impacto ambiental en balance con los costos, en el ciclo de vida del proyecto.

1.4.2. Objetivos específicos

E01. Analizar procesos, métodos, criterios y parámetros de sostenibilidad, además de estándares BIM utilizados en la actualidad, para establecer un marco conceptual para la vinculación entre BIM y sostenibilidad en Chile.

E02. Desarrollar una integración estática entre un *software* de modelado para apoyar al proceso de diseño y los criterios económicos y ambientales: huella de carbono, energía incorporada y costo económico.

E03. Validar la integración propuesta entre los criterios ambientales y económicos y el flujo BIM, evaluando su aplicación en el proceso para la toma de decisiones en etapas tempranas.

Capítulo 1. Introducción

1.5. Síntesis de la metodología de investigación

En esta sección se presenta una síntesis de la metodología de la investigación, que se detalla en el Capítulo 3. Este trabajo se centra en una metodología del tipo mixto, con criterios cualitativos y cuantitativos, no experimental correlacional. Dado que es una metodología de trabajo, se considera que la misma puede ser aplicada a escala global. A pesar de ello, la base de datos de indicadores ambientales y de costos utilizada, es representativa para Chile, por lo que el contexto queda acotado a escala nacional.

El trabajo se compone de tres etapas: (1) *analizar*, (2) *desarrollar* y (3) *validar*; cada una de ellas, se busca dar cumplimiento a cada objetivo específico, para entonces dar cumplimiento al objetivo general. La Figura 1.1, presenta el mapa metodológico de la investigación utilizada para el desarrollo de esta tesis, donde se identifican las etapas mencionadas junto a las herramientas utilizadas en cada caso.

En la primera etapa, *analizar* (1) se realizó una revisión crítica de la literatura existente, con el objetivo de conocer los principales procesos de interoperabilidad entre los *softwares* BIM-LCA, criterios de sostenibilidad más utilizados en Chile y consideraciones de sostenibilidad en el estándar BIM a nivel nacional. Luego, en la etapa de *desarrollo* (2) se conceptualizó un flujo de trabajo y se propuso una programación informática para su implementación utilizando el *software* de Autodesk Revit 2022, a través del cual se apoya al proceso de diseño, los criterios económicos y ambientales - costo económico, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y energía incorporada (EI)- de la base de datos de Ábaco-Chile, Microsoft Excel, la herramienta de programación visual Dynamo 2.12 y de visualización PowerBI. Para la etapa de *validación* (3) un grupo de 10 profesionales del sector de la construcción expertos y no expertos en la temática puso a prueba la integración propuesta, mediante un caso práctico. En el mismo, debieron evaluar la sostenibilidad (ambiental y económica) en etapas tempranas de diseño de un proyecto arquitectónico, analizando distintas opciones de diseño de envolvente (muros exteriores y ventanas). Por último, mediante una encuesta a los participantes se evaluó la integración midiéndola en términos de (a) tiempo, (b) aplicabilidad, (c) facilidad de comprensión y (d) escalabilidad.

Capítulo 1. Introducción

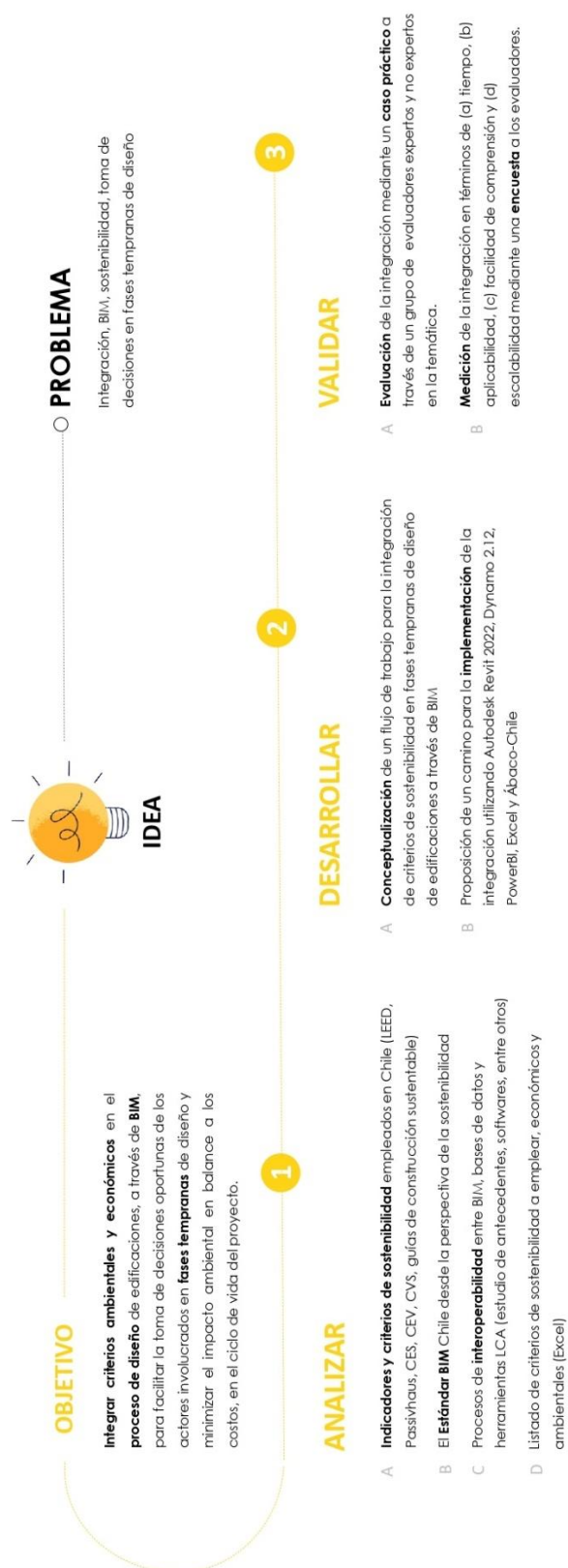


Figura 1.1. Diagrama metodológico de investigación

Fuente: elaboración propia

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Este capítulo presenta la revisión bibliográfica y la construcción del marco teórico de la investigación. Se estructura en dos líneas principales: sostenibilidad y BIM. Se indaga en la situación mundial y nacional en materia de sostenibilidad, estrategias actuales y líneas de acción futuras en el sector de la construcción. Se revisa el estado del BIM a escala internacional y nacional y se concluye con la definición de las fases tempranas de diseño de edificaciones.

2.1. Implementación de políticas públicas en materia de sostenibilidad

La sostenibilidad de la sociedad está relacionada a la mejora de la sostenibilidad del medio construido. Las ciudades y edificios sostenibles tienen como obligación cumplir con la calidad de vida a largo plazo y su garantía, además de mantener la integralidad y el equilibrio entre las demandas de productividad social y las reservas de recursos naturales (Chang et al., 2014; Safari & AzariJafari, 2021; Santos et al., 2019). En respuesta a esto, las autoridades impulsan políticas para mejorar el desempeño de las ciudades y la reducción de los impactos asociados para alcanzar un entorno construido sostenible. Desde la perspectiva del ciclo de vida, una ciudad sostenible es aquella que avanza social y económicamente sin degradar el medio ambiente (Jalaei, et al., 2020). Dentro de los tres pilares de la sostenibilidad, social, económico y ambiental, la sostenibilidad ambiental se cuantifica en forma de impactos ambientales como: cambio climático, acidificación, eutrofización, uso de energía de combustibles fósiles, agotamiento de recursos y de la capa de ozono, smog, entre otros (Jalaei, Guest, et al., 2020).

De acuerdo a mediciones y estadísticas globales, el cambio climático es uno de los desafíos más crítico que enfrenta el planeta debido directa o indirectamente a la actividad humana. Para controlar y mitigar los efectos del cambio climático todos los sectores deben reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Solomon et al., 2009). En este contexto, la comunidad internacional se ha reunido para enfrentar estas problemáticas comenzando en 1987 con la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (WCED) titulada “Nuestro futuro común” donde se define el concepto de Desarrollo Sostenible, el cual será utilizado como principio rector para el desarrollo mundial. Posteriormente, en 1992 se lleva a cabo la Cumbre de la Tierra de Río donde se adopta el Programa 21, con planes de acción específicos para el desarrollo sostenible a escala nacional, regional e internacional. En 1997 se crea el protocolo de Kioto en el que los países firmantes se comprometen a establecer leyes y políticas para reducir las emisiones de GEI el cual entró en vigencia en 2005 (Ortiz

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

et al., 2009; Unidas, 1998). El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU medio ambiente) junto a la Organización Meteorológica Mundial (OMM) crean en 1988, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), con el objetivo de evaluar la ciencia relacionada al cambio climático y proporcionar a los gobiernos información sobre la que puedan desarrollar políticas climáticas (IPCC, 2013).

El IPCC en su quinto informe de evaluación emitido en 2014 declara que las emisiones de GEI, fueron las más altas de la historia y manifiesta que la continuidad de dichas emisiones conducirá a alteraciones en el sistema climático, aumento en la temperatura de la tierra y la probabilidad de impactos graves a futuro (IPCC, 2015).

Frente a este escenario, en 2015 se desarrolla la COP21 donde se firma el Acuerdo de París, mediante el que se busca reafirmar el objetivo de reducir las emisiones como parte del método para la disminución de GEI y limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 °C de los niveles preindustriales e intentar limitar el aumento a 1.5 °C a partir del año 2020, hasta alcanzar la neutralidad de carbono a partir del 2050 (Naciones Unidas, 2015; Teng et al., 2018).

Siguiendo esta línea, Chile ratificó en 1994 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), formó parte del Protocolo de Kioto en 2002, en 2015 se comprometió a reducir el pico de emisiones de GEI para el 2027 y alcanzar la neutralidad de carbono al 2050 adoptando el Acuerdo de París, el que promulgó posteriormente en 2017 (*Chile | Climate Action Tracker*, 2020; Ministerio del Medio Ambiente, 2021). En el marco de la COP25 llevada a cabo en 2019 (la última antes de empezar la implementación del Acuerdo de París), presidida por Chile, se manifiesta que para mitigar el cambio climático y llegar a carbono neutralidad Chile desarrolla las áreas de energía renovables, economía circular y electromovilidad (*COP25 Ministerio de Energía | Ministerio de Energía*, 2019).

2.1.1. Agenda país al 2050 sobre el cambio climático

Chile es responsable de un 0.24% de las emisiones mundiales de GEI, sin embargo, de acuerdo a lo establecido por la CMNUCC se lo considera como uno de los territorios más expuestos y vulnerables a los efectos del Cambio Climático, dado que cumple con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad, principalmente por su larga costa y su variedad de climas. Según el Ministerio de Medio Ambiente, las emisiones de GEI entre 1990 y 2018 aumentaron un 129.4%, en 2016 el promedio anual de emisiones de CO₂ por persona a nivel mundial alcanzaban las 6.3 toneladas y 6.2 toneladas

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

a nivel nacional. Del porcentaje de emisiones GEI de Chile en 2018 el 47% corresponden a emisiones de CO₂ y provienen principalmente del sector energético (76%), seguido por la agricultura (11%), los procesos industriales (7%) y los residuos (6%) (Ministerio del Medio Ambiente, 2016, 2020).

Las políticas nacionales orientadas al desarrollo sostenible, forman parte de la estrategia integral de desarrollo del país. La institucionalidad Climática Nacional radica en el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) creado en 2010, junto con la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), la Oficina de Cambio Climático y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS) (Ministerio del Medio Ambiente, 2021).

En 2020, Chile presentó ante la CMNUCC, una actualización de los objetivos del Acuerdo de París, denominado la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) desarrollada desde 2017. La NDC 2020, incluye una nueva meta condicional respecto a la primera y al borrador emitido en 2019, relacionado a la mitigación y vincula los objetivos 2030, con la intención de alcanzar neutralidad de carbono al año 2050. Esta actualización aumenta su ambición en los cinco pilares en los que se desarrolla: mitigación, adaptación, integración, medios de implementación y transición justa y desarrollo sostenible. Dentro de la mitigación se considera un presupuesto de emisiones de GEI de 1100 MtCO₂eq para el período 2020-2030, un máximo de emisiones al 2025 y un nivel previsto para 2050 de 95 MtCO₂eq. En paralelo a la NDC 2020 en enero de 2020, se crea y se presenta ante el Congreso Nacional el proyecto de Ley Marco de Cambio Climático, para reforzar la institucionalidad del cambio climático de manera transversal a nivel nacional y local. Otras respuestas han sido la Política Forestal 2015-2035 y Política Energética (Energía 2050), avances en la implementación del segundo Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (2017-2022) y la implementación desde 2017 del impuesto verde a la emisión de dióxido de carbono de fuentes fijas (*Chile | Climate Action Tracker*, 2020; Ministerio del Medio Ambiente, 2021).

La Estrategia Climática de Largo Plazo (2050) se comenzó a desarrollar a partir del año 2020, define los lineamientos a seguir en un plazo de 30 años para transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de GEI y cumplir con las metas internacionales de carbono neutralidad y resiliencia al 2050. El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático establece las medidas transversales que deben adoptar todos aquellos sectores afectados por el cambio climático como son: la biodiversidad, pesca y acuicultura, turismo, recursos hídricos, silvoagropecuario, infraestructura, ciudades y energía.

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

El Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 busca articular las políticas públicas y el cambio climático, guiar las acciones en los ejes de mitigación, adaptación, medios de implementación y gestión del cambio climático a nivel regional y regional. Como iniciativa más reciente, a través del Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático (2020) se busca un desarrollo país bajo en emisiones GEI, hasta alcanzar la neutralidad, además de establecer instrumentos de gestión y mecanismos de financiamiento para enfrentar el cambio climático.

Según la organización internacional Climate Action Tracker (*Chile | Climate Action Tracker, 2020*) durante la pandemia de COVID-19 (2020-2021) las emisiones de GEI diarias en Chile disminuyeron un 20%. Con la implementación de las políticas actuales y las planificadas post pandemia (incluyendo el cierre de las plantas de energías de carbón y estrategias de electromovilidad) se estarían alcanzando niveles de emisiones de 87-98 MtCO₂ excl. UTCUTS para 2030 (13-22% por debajo de los niveles de 2016) dentro del rango objetivo de Chile de 95 MtCO₂ para ese año (Figura 2.1).

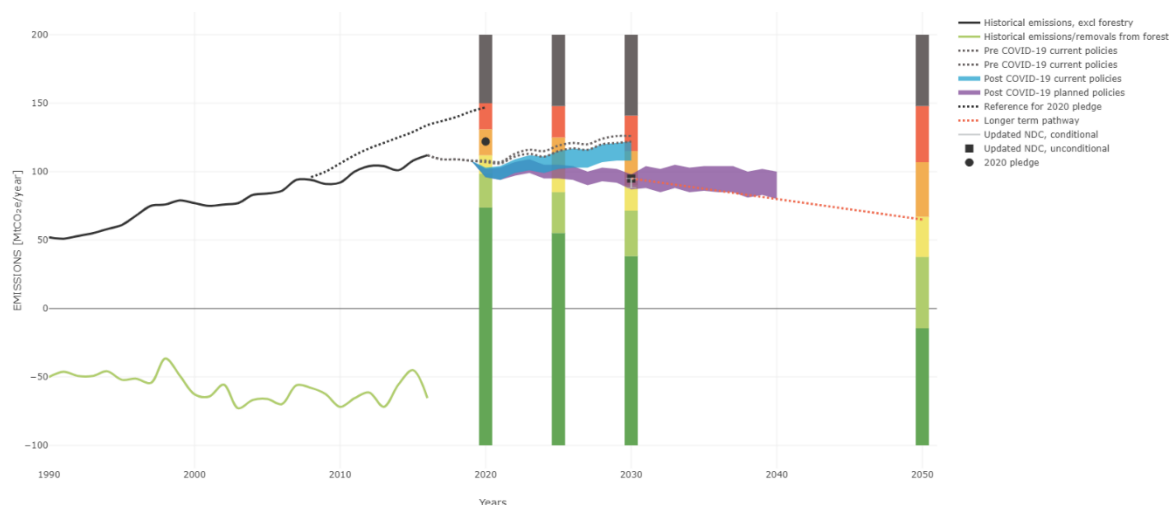


Figura 2.1. Histórico, estado actual y proyección a futuro en cuanto a emisiones GEI en Chile considerando las políticas públicas

Fuente: (*Chile | Climate Action Tracker, 2020*)

2.1.2. Situación chilena de sostenibilidad en la construcción

La industria de la construcción es uno de los principales responsables de la degradación ambiental, consume gran cantidad de materia prima, representa el 36% del consumo global de energía final, genera una cuarta parte de los residuos sólidos depositados en vertederos y produce un 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (IEA and UNEP, 2018; Lu & Yuan, 2011).

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

En Chile, el sector de la construcción se considera uno de los principales contribuyentes al desarrollo económico del país, aporta un 7% del PBI y representa un 10% de los empleos a nivel nacional (2019). Sin embargo, la productividad de este sector es menor al promedio OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos) y al resto de la economía chilena. También, de acuerdo al *benchmark* desarrollado por Matrix Consulting, las obras nacionales tienen un indicador promedio de 0.24 m² persona/día, mientras que la muestra internacional es de 0.37 m² persona/día (53% mayor). Se considera que dentro de los principales problemas está la baja estandarización de elementos constructivos y escasa digitalización, para ello se encuentran como posibles soluciones la mejora de la calidad de los diseños mediante la estandarización de los procesos, la integración temprana y la adopción de metodologías de trabajo colaborativas, mejora en las regulaciones, los niveles de sostenibilidad en la construcción, entre otras (Comisión Nacional de Productividad, 2020).

Por otro lado, la industria de la construcción también es responsable del consumo del 33% de la energía nacional, del 30% de las emisiones GEI (el 72% de las emisiones de CO₂ se asocian a la etapa de operación) y de la generación de alrededor de 6.8 millones de toneladas de residuos anuales, de los cuales se estima que un 70% corresponde a residuos áridos (Comisión Nacional de Productividad, 2020). El volumen de residuos generados es un desafío que ha estado bajo el foco de las políticas ambientales, fomentando las iniciativas de avanzar hacia una economía circular (Comisión Nacional de Productividad, 2020; Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

2.1.3. Estrategia nacional de construcción sustentable

Uno de los desafíos del desarrollo sustentable es la construcción de edificaciones e infraestructurales sustentables, con tal objetivo en 2012 se firmó un convenio marco de colaboración entre el Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía y Ministerio de Medio ambiente. En el mismo se define el concepto de construcción sustentable como *“un modo de concebir el diseño arquitectónico y urbanístico, que se refiere a la incorporación del concepto de sustentabilidad en el proceso de planificación, diseño, construcción y operación de las edificaciones y su entorno, y que busca optimizar los recursos naturales y los sistemas de edificación de tal modo, que minimicen el impacto sobre el medio ambiente y la salud de las personas”*. Dentro de ese convenio marco se elaboró en 2012 la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (2013-2020) (Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía, 2013). En 2014 en busca de considerar iniciativas en materia de consumo y producción surge el Comité de Consumo y Producción

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Sustentable (CCPS) y para mejorar la productividad y complementar la estrategia anterior nace el Programa Estratégico Nacional en Productividad y Construcción Sustentable (PyCS). En el mismo año la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) impulsa un programa denominado Construye2025 bajo el cual se busca transformar el sector de la construcción de forma holística para impactar de forma positiva en los ámbitos ambientales, sociales y económicos en torno a la productividad y la sostenibilidad. En 2016, el MMA crea la Ley N° 20920, un marco para la gestión de residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y fomento al reciclaje. Dos años después, en 2018 el MMA modifica su estructura para dar origen a la Oficina de Economía Circular y se adjuntan al convenio marco de 2012 el Ministerio de Desarrollo Social y el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

Asimismo, han surgido varias iniciativas para edificaciones sustentables tanto del ámbito público, privado y la academia. En esta línea, han aparecido acciones que impulsan los materiales sustentables y las certificaciones, entre las que se destacan la Declaración Ambiental de Producto de la Construcción (DAPCO), ECOBASE, el Manual de Construcción Sustentable (MINVU) y la Certificación Nacional Edificio Sustentable (CES). A nivel mundial hay múltiples metas que fomentan los sistemas de certificación sostenible de edificaciones y la medición de carbono de materiales de construcción, algunas de las cuales se han adoptado en Chile. Por ejemplo, la certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), la Passivhaus, BREEAM (Building Research Establishment), NZEB (Nearly Zero Energy Buildings), NZCB (Nearly Zero Carbon Buildings), entre otras (Granato, 2020).

2.1.4. Programa Estratégico Nacional en Productividad y Construcción Sustentable

El principal objetivo del PyCS es transformar la industria de la construcción de edificaciones en Chile desde la productividad y la sustentabilidad, para lograr un desarrollo nacional impactando en forma positiva en los ámbitos sociales, económicos y medioambientales. Un grupo de 25 expertos de diversos sectores relacionados a la industria de la construcción han desarrollado un diagnóstico del sector donde las principales conclusiones desde el análisis del ciclo de vida, están en organizar a los diversos actores respecto a las necesidades que presenta el sector y la coordinación de las iniciativas para la mejora de la productividad y la sostenibilidad; falta de indicadores consensuados para medir, controlar y coordinar la productividad y sostenibilidad; falta de marco normativo; nivel de formación y capacitación poco específico y escasez de centros tecnológicos que permitan progresar en innovación de sistemas, entre otros (CORFO PEN PyCS, 2016).

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Para dar respuesta a esto se han planteado 15 iniciativas agrupadas en cuatro ejes temáticos: una industria más productiva; una industria que produce edificaciones sustentables; una industria que potencia la innovación y el uso de nuevas tecnologías; y una industria que desarrolla productos, servicios y talentos exportables. A su vez, dentro de las 15 metas se identifican cuatro que tienen carácter estructural para el programa, lo que quiere decir que habilitan y ayudan al cumplimiento de las otras iniciativas. Estas son: desarrollo de un centro tecnológico de I+D+I, programa de capacitación, certificación y registro de profesionales y trabajadores, desarrollo de sistemas de prefabricación e industrialización de viviendas, e implementación del Plan-BIM.

Otras iniciativas que no entran dentro del grupo de estructurales son: DOM en línea, implementación del sistema de gestión TCQ (Metabase), campaña comunicacional de edificaciones sustentables, desarrollo y actualización de normativas y certificaciones de edificaciones, potenciamiento del uso de energías renovables no convencionales en edificaciones y mejoras en los sistemas de gestión de residuos de la construcción.

Eje estratégico: Una industria más productiva

La industria en Chile ha progresado sostenidamente en las últimas tres décadas, sin embargo, en los últimos años el crecimiento se ha desacelerado principalmente a causa de la productividad. Por ello, se proponen los siguientes objetivos: mejorar la competitividad de la industria por medio del aumento en la productividad según metas definidas; desarrollar capacidades dentro de la industria que permitan reducir brechas de coordinación entre actores; desarrollar la industria de proveedores de productos y servicios orientados a la productividad; resolver problemas de asimetrías de información y la relación contractual entre actores; y potenciar el mercado de la prefabricación e industrialización de la construcción. Los indicadores propuestos para medir estos objetivos son: productividad laboral (PIB/Trabajadores) y costos de la construcción el cual tiene como meta una reducción del 20%.

Dado que el programa busca la incorporación de metodologías eficientes para la gestión de la información, como BIM, y que la inserción de las mismas en otros países ha traído grandes mejoras, se considera que con esta incorporación se podría obtener una mejora en la productividad de hasta de un 84% (CORFO PEN PyCS, 2016).

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Eje estratégico: Una industria que produce edificaciones sustentables

La incorporación de la sostenibilidad en la industria de la construcción permite una reducción de costos, como de emisiones de CO₂ y otros impactos ambientales. También, optimiza el valor del activo inmobiliario y permite el acceso a edificaciones de mejor calidad para los usuarios (CORFO PEN PyCS, 2016). Se plantean los siguientes objetivos: mejorar la salud y bienestar de los usuarios de las edificaciones; minimizar el impacto en el medio ambiente que genera el proceso constructivo de una nueva edificación; reducir el consumo de agua y energía de las edificaciones nuevas y existentes; desarrollar la industria de proveedores y servicios; potenciar la utilización de ERNC en las edificaciones. Las metas que se proponen para evaluar los avances son: Market Share Edificaciones Sustentables para que el 20% de las edificaciones nuevas al 2025 estén certificadas; demanda energética residencial de 85 kWh/m²año al 2025; y Emisiones Sector CPR, con la meta de reducir un 30% de las emisiones de CO₂ al 2030.

Eje estratégico: Una industria que potencia la innovación y el uso de nuevas tecnologías

Chile se sitúa en el último lugar de los países de la OCDE en cuanto a inversión I+D, con solo un 0.39% del total del PBI, en comparación al 2.40% del promedio. Los objetivos de este eje estratégico son: desarrollar la industria con proveedores de productos y servicios orientados a un sector de edificaciones más productivos y sustentable; desarrollo de soluciones para uso de madera y cobre; desarrollo de soluciones para utilización de ERNC; desarrollo de soluciones para la disminución del consumo de agua de las edificaciones; desarrollo de capital humano avanzado y su incorporación en la industria de la construcción; y potenciar el desarrollo de la ingeniería sísmica y el desarrollo de soluciones que incorporen tecnología. Para medir los avances se proponen dos indicadores: inversión privada en I+D con una meta de incremento del 20% desde el 2016 a 2025; tasa de innovación con el objetivo del 50% de las empresas al 2025.

Eje estratégico: Una industria que desarrolla productos, servicios y talentos exportables.

Se busca que Chile sea un líder regional en términos de productividad y construcción sustentable. Como objetivos se proponen: generar capacidades del sector para ser un referente regional en productividad y sustentabilidad; desarrollar la industria de proveedores de productos y servicios para la construcción, que permitan la exportación de bienes; y realizar acciones de comunicación y difusión de las capacidades nacionales en países de la región. Los indicadores para este eje son: valor de las exportaciones de productos madera para la construcción por año, con la meta de aumentar

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

un 30% MPM al 2025; y exportaciones de diseño e ingeniería de consultoría por año, buscando triplicar las exportaciones al 2025.

Para la implementación de estos ejes se desarrolló la Hoja de Ruta 2025 expresado de manera temporal, de Corto Plazo (2016-2017), Mediano Plazo (2018-2021) y Largo Plazo (2022-2025), en el cual se identifican las acciones a seguir para abordar los ejes estratégicos al 2025. En la Figura 2.2 se presentan los tres esquemas de la Hoja de Ruta, siendo los *Drivers* (nivel uno) los factores que afectan al programa pero que no son gestionables por el mismo, las soluciones (nivel dos) presentan las iniciativas que integran recursos y habilitadores, y los recursos y habilitadores (nivel tres) aquellas iniciativas necesarias para el desarrollo de nuevos recursos o modificación de los actuales.

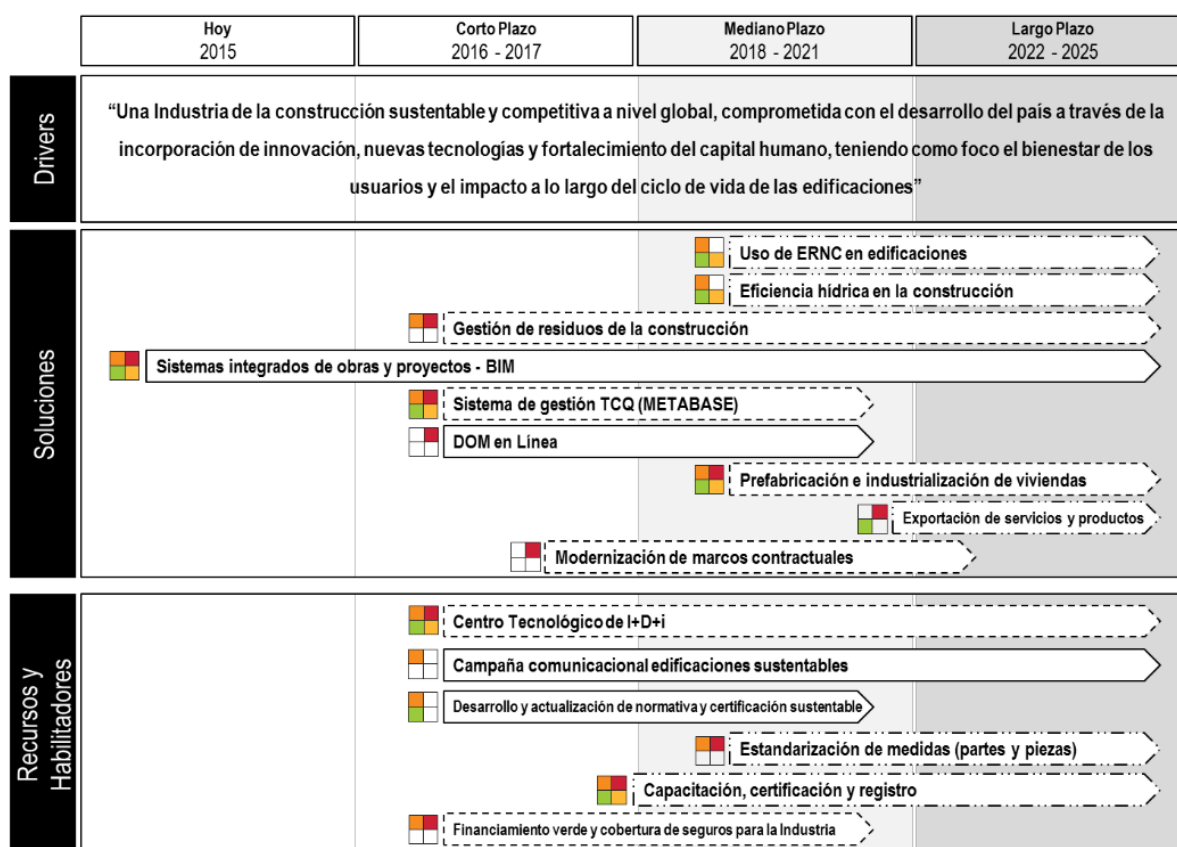


Figura 2.2. Hoja de ruta 2025, PyCS

Fuente: (CORFO PEN PyCS, 2016)

2.2. Indicadores de sostenibilidad

Desde la Agenda 21, plan de acción llevado a cabo por la ONU, donde se estableció la necesidad desarrollar y promover indicadores del desarrollo sostenible, ha surgido una diversidad de iniciativas incrementándose cada vez más. Éstos varían en función de su alcance, propósito y lo que

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

se proponen medir (Quiroga Martinez & NU. CEPAL. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos., 2001).

A nivel edilicio, internacionalmente existen diversos sistemas de certificaciones, calificaciones y normativas que buscan demostrar que los proyectos cumplen con ciertos parámetros de sustentabilidad, algunos de ellos son: LEED (Estados Unidos), BREEAM (Reino Unido), EDGE, Passivhaus (Alemania), VERDE (España), Levels, DGNB System (España), entre otros. Los parámetros de sostenibilidad y su cuantificación usualmente difieren entre ellos según las diferencias de las condiciones regionales, ambientales, sociales, culturales, etc (Al-Gahtani et al., 2016). Por este motivo, es relevante que cada país o región identifiquen o adapten los parámetros a sus propias condiciones.

En Chile, se han adoptado algunas certificaciones internacionales como la Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Passivhaus y se han desarrollado otras locales como la Certificación de Edificio Sustentable (CES), Clasificación Energética de Viviendas (CEV), la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) y los estándares de construcción sustentable. La Tabla 2-1 proporciona un resumen de las mismas, con información sobre la organización de la que depende, el tipo de edificación a la que aplica y los criterios que considera. A partir del último punto se pueden clasificar en mono criterio o multicriterio, dentro del primer grupo se encuentra el Passivhaus y la CEV, ambos enfocados únicamente en el indicador de energía; mientras que, dentro del segundo grupo, se encuentran el LEED, CES, CVS y el Estándar de Construcción Sustentable que se orientan tanto a la energía, como al agua, los residuos, calidad del ambiente interior, entre otras.

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Tabla 2-1. Sistemas de calificación, certificación y guías de la edificación en Chile

	LEED	PASSIV-HAUS	CEV	CES	CVS	Estándar de Construcción Sustentable
País	Estados Unidos	Alemania	Chile	Chile	Chile	Chile
Organización	USGBC	PHI	MINVU, Ministerio Energía	MINVU	MINVU	MINVU
Flexibilidad	160 países	+40 países	1 país	1 país	1 país	1 país
Primera versión	1998		2012	2014	2019	2016
Última versión	2019 V4		2018 V2	2014	2019	2019
Tipo de edificio	Edificios en general	Edificios en general	Vivienda	Uso público no residencial	Vivienda	Vivienda
Categorías	Energía y atmósfera	Energía	Energía	Energía	Energía	Energía
	Eficiencia en agua			Agua	Agua	Agua
	Materiales y recursos			Residuos	Materiales y residuos	Materiales y residuos
	Calidad ambiental interior			Calidad del ambiente interior	Bienestar y salud	Bienestar y salud
	Parcelas sostenibles			Gestión	Impacto ambiental	Impacto ambiental
	Innovación			Innovación	Entorno inmediato	Entorno inmediato
Nivel de clasificación	Localización y transporte					
	Planificación y proceso integrado					
	Prioridad regional					
	Certificado (40 a 49)	Único nivel (para ello se deben	A+ (85 a 100%)	No certificado	certificado (cumple los	Guía
	Plata (50 a 59)	deben	A (70 a 85%)	(0 a 30)	requisitos)	
	Oro (60 a 79)	cumplir con	B (55 a 70%)	certificado	certificación	
	Platino (80 a 110)	todos los ind.)	C (40 a 55%)	(30 a 54.5)	destacada	
			D (20 a 40%)	certificación	(30 a 59.5)	
			E (-10 a 20%)	destacada	certificación	
			F (-35 a -10%)	(54.5 a 69.5)	sobresaliente	
			G (> -35)	certificación sobresaliente	e (60 a 100)	
				(69.5 a 100)		

*USGBC: U.S. Green Building Council; **PHI: Passivhaus Institute; *** MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

2.3. Análisis del ciclo de vida de la edificación

En el contexto del desarrollo sostenible, el concepto de ciclo de vida se está considerando cada vez más relevante dentro de la sociedad, los costos e impactos asociados a un producto ya no se considera como algo aislado, sino como la suma de todos los impactos a lo largo del ciclo de vida del edificio (Santos, Costa, et al., 2020). El ciclo de vida de una construcción es la suma de etapas consecutivas e interconectadas que inicia con la extracción de materia prima para la producción y culmina con el fin de vida útil del edificio, su demolición y el desecho de los residuos (Pia Wiche; Barbara Rodriguez; Danil Bianchi, 2020).

En esta línea se identifican dos fuentes principales de carbono, el incorporado y el operacional. Según la Normativa Europea UNE 15978, se considera el carbono incorporado como aquellas emisiones asociadas a los materiales y al proceso de construcción durante todo el ciclo de vida del edificio y se divide en carbono incorporado en etapas iniciales (A1-A5) –vinculado al producto–, en etapa de funcionamiento (B1-B7) y en fases finales (C1-D). Por otro lado, el carbono operacional se relaciona a la utilización de energía mientras está en funcionamiento el edificio. Algunas investigaciones han concluido que los productos de construcción tienen mayor impacto que las emisiones operacionales, siendo responsable de entre un 35 a 50% de las emisiones totales, dependiendo del uso de la edificación. Estas emisiones se originan en la extracción de materiales, su transporte hasta el lugar de construcción, el proceso de construcción y el fin de vida de la misma (Pia Wiche; Barbara Rodriguez; Danil Bianchi, 2020).

A nivel internacional, existen estándares sobre el análisis del carbono durante todo el ciclo de vida de una construcción entre los que se destacan la ISO 21921-1 y la EN 15978 (Figura 2.3).

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

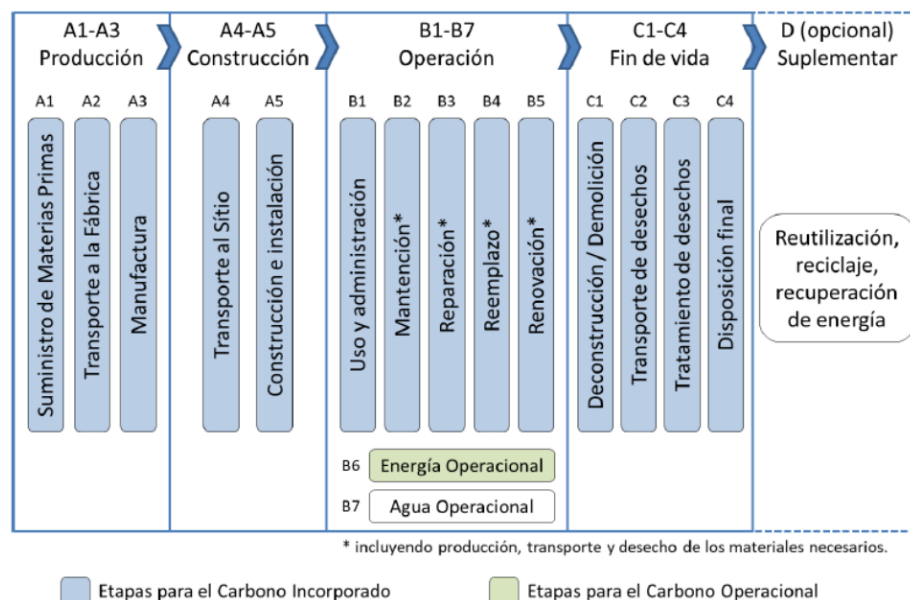


Figura 2.3. Etapas del ciclo de vida de la edificación según la norma UNE-EN 15978:2012

Fuente: (La et al., 2022)

El LCA y LCC se encuentran entre las metodologías más utilizadas internacionalmente, para evaluar los impactos ambientales y económicos respectivamente (Su et al., 2017). Mientras el LCA se utiliza para la evaluación de los impactos ambientales del ciclo de vida de un edificio, el LCC cuantifica el impacto económico de un proyecto a lo largo del ciclo de vida (Santos et al., 2019).

2.3.1. Metodologías para el cálculo de LCA en la industria de la construcción

El LCA surge entre 1960-1970 en Europa y Estados Unidos, utilizado principalmente para evaluar el impacto ambiental de un producto, los envases de bebidas. Este concepto ha evolucionado y se ha ampliado rápidamente, convirtiéndose en una herramienta reconocida y eficaz para cuantificar los impactos ambientales de distintas industrias y en diversas escalas (Chang et al., 2014).

De acuerdo a la Organización Internacional de Normalización (ISO) 14040 (ISO 14040:2006, Gestión Ambiental - Análisis de Ciclo de Vida - Principios y Marco de Referencia, 2006), el LCA es una “recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de producto a través de su ciclo de vida”. Esta metodología abarca aspectos ambientales e impactos potenciales de un producto durante todo el ciclo de vida, desde la cuna hasta la tumba - comprende desde la extracción de la materia prima, su producción, uso, tratamiento final, reciclado y disposición final-. El método de LCA se compone de cuatro fases esenciales: definición de objetivo y alcance, inventario del ciclo de vida (LCI), evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA) e

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

interpretación de los resultados (ISO 14040:2006, Gestión Ambiental - Análisis de Ciclo de Vida - Principios y Marco de Referencia, 2006). El alcance, límites y nivel de detalle dependerá del propósito que tenga cada estudio.

1. Objetivo y alcance (ISO 14041)
2. Inventario del ciclo de vida (LCI) (ISO 14041)
3. Evaluación de impacto ambiental (LCIA) (ISO 14042)
4. Interpretación de los resultados (ISO 14043)

La metodología de LCA aplicada a la industria de la construcción puede operar en cuatro niveles: materiales, producto, edificio e industria. Cada nivel se construye a partir del nivel inferior, considerándose el primer nivel como el núcleo (Joshi, 2010). A nivel de producto el LCA se calcula a partir de una agrupación de materiales que se unen en un producto final. En este sentido, el nivel de edificio considera a todo el edificio como un único producto. El último nivel, industria, es útil para realizar un LCA a gran escala, como puede ser una industria, un conjunto de edificios/barrio, urbano, entre otras (Joshi, 2010; Wiche & Rodríguez, 2020).

Realizar el LCA de una construcción es considerada una tarea compleja debido a la gran cantidad de información necesaria, como resultado se suele utilizar al final del proceso de diseño, cuando se dispone de la información necesaria, pero ya es demasiado tarde para afectar el proceso de toma de decisiones (Antón & Díaz, 2014; Cavalliere et al., 2019). Este problema está relacionado directamente con la naturaleza del proceso de diseño. Las decisiones en las primeras etapas de diseño influyen considerablemente sobre los impactos ambientales que tendrá el edificio a lo largo de su ciclo de vida, pero el LCA no se puede aplicar plenamente debido a que los datos son incompletos o inciertos. Por otro lado, si se utiliza en la fase final de diseño (cuando ya se cuenta con información más detallada) disminuye su efectividad como herramienta de toma de decisiones, ya que realizar cambios implica una mayor dificultad, además de costos y tiempo (Cavalliere et al., 2019).

Se entiende por proceso de diseño a aquel que va desde el diseño conceptual al diseño de detalle previo a la construcción. La fase temprana de diseño comprende el diseño conceptual, de anteproyecto y básico; mientras que, la fase final incluye al diseño de detalle o ejecutivo (ver apartado 2.5)

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Base de datos

La base de datos o inventario del ciclo de vida constituye la esencia de un LCA. Diversas empresas y organizaciones a nivel mundial han desarrollado bases de datos con información sobre el consumo de los materiales y energía para sistemas constructivos y productos. Estos inventarios pueden ser específicas para cierta región/país o globales, además de contener datos de diversos sectores - genéricas- o enfocarse a un único sector -producto específicas-. Cuando la información es específica para un lugar se consideran los métodos de producción y la matriz energética local, o en algunos casos, proceden de proveedores locales (Joshi, 2010; Wiche & Rodríguez, 2020).

En la Tabla 2-2 se recopilan algunas de las bases de datos existentes a la fecha. Dentro de las genéricas, la más reconocida a nivel internacional es Ecoinvent, la misma recibe y recopila información de productos de diversas áreas en más de 80 países. A pesar de ser creada por una empresa suiza sin fines de lucros, la base tiene un costo para revisión y mantenimiento (Organisation – Ecoinvent). Otros ejemplos son 3EID, E3IOT, ICE, y en América Latina Mexicanium (México), SICV (Brasil), entre otros. En las bases de datos producto-específicas se encuentran BIRDS, DeQo, EDGE database, RICS database, entre otras.

A nivel nacional, se cuenta con ECOBASE y Ábaco-Chile. Mientras que la primera contiene datos del ciclo de vida de los materiales de construcción (actualmente obsoleta), Ábaco cuenta con una base de datos de recursos y actividades de uso común en edificaciones a partir de un presupuesto de un proyecto. La misma utiliza la base de datos de Ecoinvent 3.0 y lo adapta con la matriz energética chilena del año 2017 (Muñoz et al., 2020).

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Tabla 2-2. Bases de datos ambientales

	Tipo	Formato	Acceso	Año	Localidad	Creador
Ábaco-Chile	E	Online	Pública	2018	Chile	Universidad del Bío-Bío
Athena	G	PDF	Pública	1993	EEUU Canadá	Athena Institute y Morrison Hershfield
Auslci	G	Excel	Pública	2011	Australia	ALCAS
BIRDS	E	Online	Pública	2014	EEUU	NIST
CRMD	G	PDF	Pública		Canadá	Universidad de Waterloo
DeQo	E	Online	Pública		Bélgica	MIT
3EID	G	PDF	Pública	2002	Japón	NIES
E3IOT	G	Software	Privada	2006	Europa	CML
ECOBASE		Excel	Pública		Chile	MINVU
Ecoinvent	G	Excel	Privada	2003	Suiza	
EDGE database	E	Online	Pública	2016		EDGE Building IFC
ICE	G	Excel	Pública	2005	Inglaterra	Universidad de Bath
Franklin US	G		Pública		EEUU	Franklin Associates
Mexicanuih	G	Software			México	CADIS
RICS database	E			2019	Reino Unido	
SICV	G	Online	Pública		Brasil	Ibict

G (genérica), E (específica).

La mayoría de las herramientas y calculadoras utilizan datos secundarios, base de datos genéricas o DAP desarrolladas en otros países, principalmente por no contar con base de datos en el país o simplemente por agilizar el proceso y no recolectar datos primarios. Utilizar este tipo de base de datos permite obtener rápidamente una magnitud del impacto y orientar las decisiones de diseño, pero no refleja el impacto real ni es muy preciso.

Herramientas y calculadoras internacionales

En la actualidad, existen varios *softwares* y calculadoras para estudios de LCA creadas para facilitar el complejo proceso de realizar este análisis, ofreciendo soluciones tecnológicas que orientan al diseño de las edificaciones (Najjar et al., 2019). Estas herramientas tienen diversos grados de detalle (A1 a D), consideran metodologías de cálculo distintas y utilizan diferentes datos.

Las herramientas de LCA a escala de edificios se pueden clasificar en tres niveles. Las del primer nivel buscan analizar el LCA de los materiales de la construcción. Dentro de este grupo se encuentran herramientas como SimaPro, Umberto, Open LCA, BEES, Gabi, LCAiT. Las del segundo nivel

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

realizan el LCA del edificio en su totalidad. Ejemplo de estas herramientas son Athena IE, BRI LCA, EcoQuantum, Envest. El tercer nivel se interesa en analizar de manera holística todo el edificio, basándose sobre los tres pilares de la sostenibilidad: ambiental, económico y social. Estas herramientas incluyen a GBTool, así como también a las de las certificaciones de LEED, BREEAM y Green Globes. En este estudio nos enfocaremos únicamente a las orientadas a edificaciones.

Las herramientas orientadas a edificaciones se caracterizan por ser simples, contener datos de materiales de construcción, y en algunos casos permiten vincular los costos de la obra e incorporación de formatos geométricos. Wiche et. al (2020) identifican que su funcionamiento varía en cuanto a los formatos – Excel, *online*, *software*, *plugin* -, niveles de precisión y alcance de las etapas del ciclo de vida. En la Tabla 2-3 se realiza un resumen de algunos de los programas orientados a edificaciones más utilizados en investigaciones y sus principales características.

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Tabla 2-3. Herramientas LCA y sus principales características

Herramienta	Tipo	Formato	Acceso	
eBalance	Genérica	Software	Privado	www.ike-global.com
Eco-it	Genérica	Software	Privado	www.pre.nl
Ecopro	Genérica	Software	Privado	www.sinum.com
EIME-LCA	Genérica	Software	Privado	www.codde.fr
GaBI	Genérica	Software	Privado	www.gabi-software.com
MRPI	Genérica	Online	Público	www.mrpi.nl
OpenLCA	Genérica	Software	Público	www.openlca.org
Simapro	Genérica	Software	Privado	www.pre.nl
Team	Genérica	Software	Privado	www.pwc.fr
Umberto	Genérica	Software	Privado	www.umberto.de
Ábaco-Chile	Específica	Online	Público	www.abacochile.cl
Athena IE	Específica	Software	Privado	www.athenaSMI.ca
BEES	Específica	Software	Público	www.bfrl.nist.gov
deQo	Específica	Online	Privado	www.carbondeqo.com
EC3	Específica	Online	Privado	www.buildingtransparency.org
Elodie	Específica	Software	Público	www.elodie.cype.fr
Envest	Específica	Excel	Privado	www.clarityenv.com.au
eToolLCD	Específica	Software	Privado	www.ivv.fhg.de
EQUER	Específica	Software	Privado	www.izuba.fr
EVALHED	Específica	Online	Público	www.evalhed.herokuapp.com
Legep	Específica	Software	Privado	www.legep.de
SBTool	Específica	Excel	Público	www.iisbe.org
Huella Chile	Específica	-	Público	-
IES	Específica	Software	Privado	www.iesve.com
OERCO2	Específica	Online	Público	www.oerco2.eu
OneClick LCA	Específica	Software	Privado	www.oneclicklca.com/
Tally	Específica	Plugin	Privado	www.choosetally.com
TEPPFA	Específica	Online	Privado	www.teppfa.eu
TOTEM	Específica	Online	Público	www.totem-building.be

En la literatura se encuentran diversas revisiones y comparaciones entre las herramientas de LCA. Se han identificado problemas relacionados con el usuario, por ejemplo, la complejidad de realizar una evaluación, la información detallada sobre los materiales y el conocimiento sobre la metodología que se requiere para realizar el estudio correctamente, además de la cantidad de tiempo que conlleva y la dificultad de interpretar los resultados por una persona sin conocimientos en la temática (Meex et al., 2018).

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Herramientas y calculadoras nacionales

En el contexto nacional, a la fecha no existe ninguna herramienta o calculadora que considere el ciclo de vida completo de edificación. La herramienta Ábaco-Chile es una plataforma *online* desarrollada por un grupo de investigadores de la Universidad del Bío-Bío, que tiene como objetivo alcanzar una evaluación integral de los proyectos de construcción, considerando parámetros ambientales, costos económicos y sociales, asociados a la mano de obra desde la fase de diseño hasta la construcción (CITEC UBB, *Plataforma Online ÁBACO-Chile*, 2019; Kairies-Alvarado et al., 2021). Además, permite la clasificación de recursos y actividades, la descripción de especificaciones técnicas, parámetros ambientales y sociales y enlazar archivos BIM e imágenes. Es el primer banco de datos paramétricos a nivel nacional y tiene tres bases de datos internas que se interconectan para dimensionar los costos de los materiales, servicios e impactos ambientales. La base de datos ambiental contiene dos categorías de impacto, energía contenida y huella de carbono incorporado, los mismos son basados en Ecoinvent 3.0 con adaptación a la matriz energética chilena. Las dos bases restantes cuentan con información asociada a los costos de materiales y de actividades de la industria de la construcción, a través de esto se logra analizar los precios y los costos sociales (Muñoz et al., 2020). La herramienta brinda reportes de los distintos parámetros por material o actividad, lo que facilita la toma de decisiones en fases tempranas de diseño (Wiche & Rodríguez, 2020).

2.4. Building Information Modeling

Varios autores manifiestan que la integración de las nuevas tecnologías y las metodologías de sostenibilidad contribuyen a generar una sociedad con mayor eficiencia. La transformación digital que viene afectando a la mayoría de las industrias a nivel mundial llevó a un cambio de paradigma en el sector de la construcción, siendo la metodología BIM una pieza clave (Carvalho et al., 2019; Santos, Costa, et al., 2020).

El concepto de BIM se planteó por primera vez en el año 1975 por Eastman y los términos en 1992 por Van Nederveen y Tolman, pero no fue hasta 2002 que se generalizó a través de un artículo publicado por Autodesk donde lo comercializa para diversos campos multidisciplinarios (Li et al., 2017). Actualmente, BIM se considera como un “conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual” (CORFO, 2021). En otras palabras, las tecnologías permiten la representación digital de objetos paramétricos enriquecida con información asociada creados a través de un entorno colaborativo que permite conectar a distintas especialidades para brindar retroalimentación desde

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

fases tempranas, mejorando el proceso de toma de decisiones y aumentando la eficiencia del proyecto en todas las etapas. El uso de BIM permite reducir los errores, costos y recursos además de lograr un mayor rendimiento, calidad durante todo el ciclo de vida del proyecto (Safari & AzariJafari, 2021; Santos, Costa, et al., 2020).

En los últimos años, el BIM se ha utilizado para estudiar una variedad de problemas asociados con la sostenibilidad, que va desde la orientación del diseño, evaluación de impactos ambientales y costos, gestión de desechos, entre otras (Eleftheriadis et al., 2018). Se considera la digitalización de la construcción como un aspecto clave del desarrollo sostenible por lo cual se ha incluido el uso de la metodología BIM en la Agenda Mundial 2030 y en la Ruta 2025 de Chile.

2.4.1. Aplicación BIM a escala internacional

Debido a que BIM es una metodología de trabajo colaborativo, donde se intercambian datos y modelos digitales entre los distintos participantes, se consideró necesario tener un lenguaje común y un orden, por ello, se han desarrollado estándares, normativas, guías y bibliotecas de objetos nacionales e internacionales (Ghaffarianhoseini et al., 2017).

Existen países avanzados en la temática que han adoptado la metodología BIM hace algunos años y han elaborado sus propios estándares, los que son tomados como referencia por países en vías de desarrollo, entre ellos, los países escandinavos (Noruega, Dinamarca, Finlandia y Suecia), Estados Unidos, China, Japón, Singapur, Reino Unido, España, entre otros.

De todos los países, el Reino Unido es quien ha liderado el desarrollo de iniciativas de la implementación BIM en edificaciones públicas (Comisión Interministerial BIM, 2021). Formuló las normas BS1192:2007 (British Standards) enfocadas en estandarizar los conceptos básicos para la colaboración en los proyectos y las PAS1192 (Publicly Available Specification) la que divide los objetivos en cuatro niveles de desarrollo, para que la industria de la construcción lo vaya implementado gradualmente con la meta de reducir el costo del capital y la huella de carbono por la construcción y operación del entorno construido en un 20%. Años más tarde las normas PAS quedan obsoletas y pasa a utilizarse la serie (BS) ISO 19650, con esto se busca adoptar un enfoque simplificado y común a nivel internacional. En 2018 crean el Programa Nacional de Gemelos Digitales (NDTP) (Comisión Interministerial BIM, 2021; NBS, 2022).

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Por otro lado, Finlandia viene implementando BIM desde 2007, avanzando rápidamente su uso en los últimos años. Desarrollaron las guías nacionales COBIM las que posteriormente fueron adaptadas a lo que hoy en día son las uBIM, guía que buscan coordinar las distintas disciplinas implicadas en la realización de los modelos BIM (BuildingSMART Finlandia, 2022; Comisión Interministerial BIM, 2021).

Estados Unidos comenzó a utilizar la metodología en la década del 1990, siendo en 1997 cuando diversos desarrolladores comenzaron a introducir al mercado los primeros productos BIM y la primera versión del formato IFC. Actualmente, el país cuenta con diversas normativas y estándares siendo las más reconocidas la National BIM Standards (NBIMS-US) desarrolladas por el National Institute of Building Science (NIBS), las Level of Development (LOD) publicadas por BIM Forum (National Institute of Buildings Sciences, 2021; NBS, 2022).

En general, todos los estándares están basados en el denominado OpenBIM que permite la interoperabilidad entre distintos *hardware* y *software*, garantizado que todos los actores participantes del proceso tengan acceso a la información. BuildingSMART (antes conocida como IAI) es la asociación internacional que junto a la ISO desarrolla y mantiene los estándares y guías (uBIM) internacionales en formatos abiertos. Existen tres estándares internacionales que describen y respaldan a los proyectos de construcción: IFC (ISO 16739:2013), IDM (ISO 29481-1:2010) y BSDD (ISO 12006-3) (BuildingSmart, 2022). Igualmente, la mayoría de los países adaptan estas normativas a su realidad.

2.4.2. Aplicación BIM a escala nacional

Hoy en día los proyectos de edificaciones en Chile se diseñan y planifican con metodologías y herramientas en desuso, que no tienen la capacidad de considerar la complejidad del proyecto (CORFO PEN PyCS, 2016). Mantener la competitividad y mejorar la sostenibilidad del sector ha sido uno de los mayores desafíos en los últimos años, debido a su alto impacto ambiental y baja productividad. En el país se diseña de manera tradicional, agregando el modelado BIM al final del proceso, aumentando la posibilidad de errores, encareciendo el proyecto, duplicando el trabajo y no aprovechando los beneficios del BIM (CORFO PEN PyCS, 2016).

Con el objetivo de incrementar la productividad y sustentabilidad –social, económica y ambiental– de la industria de la construcción, desde el 2016 que en Chile se comienza a profundizar e incentivar a los diferentes actores del sector a utilizar la metodología BIM. En el marco del PyCS, Construye

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

2025, y promovida por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) surge la iniciativa “Plan BIM: Modernización de la Industria de la Construcción” con un plazo de 10 años, tiene como una de sus metas la utilización de la metodología BIM para el desarrollo y operación de todos los proyectos de edificación e infraestructura pública a partir del año 2020. La iniciativa tiene como objetivo, modernizar la industria de la construcción mediante la incorporación de procesos, metodologías de trabajo, tecnologías de información y comunicación, además de desarrollar un proceso público-privado para aumentar la sostenibilidad del sector, desarrollar capacidades y aumentar la participación ciudadana en los procesos de decisión y mejora en las condiciones de trabajo. Como segunda meta del Planbim se propone incorporar BIM en la plataforma DOM en línea para el 2025. DOM en línea consta de una plataforma que permitirá solicitar, gestionar y otorgar permisos de construcción, autorizaciones, certificados y recepciones a través de internet para facilitar la realización de los tramites (CORFO PEN PyCS, 2016).

En paralelo, la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción, con la colaboración de entidades públicas, privadas, académicas, proveedores, entre otros; crea el BIM Forum Chile, organización que tiene como misión promover, facilitar y difundir la adopción de BIM para el incremento de la productividad y la optimización de los proyectos, además de ser un referente BIM a escala nacional e internacional y contar con sus propias guías, estándares, definiciones y recomendaciones (BIM Forum Chile, 2021).

A través del Instituto Nacional de Normalización (INN) se genera un Comité Espejo del Comité Técnico de ISO en Chile. A partir de 2018 se comienza a trabajar en la re publicación o adaptación de normas internacionales que se listan a continuación (BIM Forum Chile, 2019):

- NCh-ISO 12006/3:2018 – Construcción de edificaciones – Organización de la información de los trabajos de construcción. Parte 3: Marco para la información orientada a objetos.
- NCh-ISO 24481/1:2018 – Modelos de información de construcción – Manual de entrega de información. Parte 1: Metodología y formato
- NCh-ISO 29481/2:2018 – Modelos de información de construcción – Manual de entrega de información. Parte 2: Marco de trabajo para la interacción.

En 2019 se publicó el primer Estándar BIM para proyectos públicos, basado en los requerimientos mínimos para intercambio de información BIM establecidos en distintos estándares internacionales (ISO 29481, 16739, 12006, 19650; BS 1192; buildingSMART BCF, MVD; AIA Document G202; entre

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

otros). Dentro de sus objetivos plantea “lograr un aumento de la productividad y sustentabilidad de la industria de la construcción”, siendo el alcance los proyectos públicos de diversa complejidad a lo largo de todo su ciclo de vida. Sin embargo, el mismo puede ser utilizado como guía de referencia para proyectos privados (CORFO, 2021).

El propósito de este estándar además de estandarizar un vocabulario y una codificación de uso común, es definir el intercambio de información entre el solicitante y los proveedores durante la evolución del proyecto, pero también entre este último y las empresas que le prestan servicios. Para este intercambio, el solicitante debe generar un documento denominado Solicitud de Información BIM (SDI BIM), donde se indique la toda información geométrica y no geométrica que debe ser entregada por el proveedor. En respuesta a esto, cada proveedor debe generar un Plan de Ejecución BIM (PEB).

A su vez, estos documentos deben incorporar aspectos como los Usos, Entregables y Modelos BIM, Tipos de Información (TDI), Niveles de Información (NDI), estrategia de colaboración, organización de los modelos, Estados de Avance de la Información de los Modelos (EAIM), entre otros.

2.5. Fases tempranas de diseño de edificaciones

Para la definición de las fases tempranas del diseño de edificaciones se toma como referencia el Estándar BIM (CORFO, 2021). De los EAIM (diferentes fases consecutivas de definición de los datos en los modelos BIM que están vinculados directamente al progreso temporal del proyecto) se focaliza en las fases de diseño incluidas en las etapas de planificación e información de diseño. Dentro de las mismas, se considera como fases tempranas al diseño conceptual (DC), diseño de anteproyecto (DA) y diseño básico (DB) como se indica en la Figura 2.4.

Es importante aclarar que no es lo mismo una etapa temprana para un modelo arquitectónico que para otras disciplinas como la estructural o MEP ya que tienen distintos estados de avance. Por ejemplo, cuando el modelo arquitectónico pasa del estado de diseño de anteproyecto al de diseño básico, el modelo estructural recién comienza a desarrollar su diseño de anteproyecto.

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Información de Planificación	DC Diseño Conceptual	Fase inicial del proceso de diseño, en la cual a partir de las especificaciones, requisitos y necesidades del Solicitante, se establece el conjunto de tareas necesarias para obtener una solución al problema planteado.
	DA Diseño de Anteproyecto	Fase temprana del proceso de diseño, en la que se establecen los criterios generales de un proyecto, considerando los requerimientos y restricciones del Solicitante, tales como normativos y legales.
Información de Diseño	DB Diseño Básico	Fase en la que se preparan los criterios y especificaciones generales de los sistemas que considera el proyecto.
	DD Diseño de Detalle	Fase en la que se elabora la documentación específica de cada elemento del proyecto, mediante una descripción completa de la información necesaria para la fabricación y/o construcción de éstos.
FASES TEMPRANAS DE DISEÑO		
Información de Construcción	CC Coordinación de Construcción	Fase en la que se planifica el conjunto de actividades a ejecutar de un trabajo de construcción, ordenándolo de la manera más eficiente posible y planificando todas las acciones para su ejecución.
	CM Construcción, Manufactura y Montaje	Fase de ejecución de las actividades planificadas en el terreno o fuera de él (off-site), que da inicio a las tareas de fabricación, tanto manuales como industrializadas.
	AB As-Built	Fase en la que se registra el proyecto tal como se ha construido realmente en el lugar, incluyendo los cambios de diseño ocurridos en el curso del trabajo. En esta fase se realiza la entrega de la información de la construcción, concluyendo el contrato de ésta.
Información de Operación	PM Puesta en Marcha	Fase en la que se llevan a cabo las actividades de traspaso del activo al cliente, incluyendo también la información para el uso de ésta como por ejemplo, las garantías de los equipos instalados. Esta información sirve también para el desarrollo de eventuales proyectos de remodelación o ampliación. Esta fase considera las pruebas de funcionamiento del activo.
	GM Gestión y Mantenimiento del Activo	Fase en la que se ejecutan las tareas de mantenimiento de acuerdo al programa de servicios del activo. Esto incluye las actividades enumeradas en la estrategia de traspaso, la evaluación posterior a la ocupación y la revisión de desempeño del proyecto.

Figura 2.4. Fases tempranas de diseño en base a los Estados de avance de la información de los modelos BIM

Fuente: (CORFO, 2021)

Las fases de diseño están estrechamente relacionadas con el nivel de detalle (LOD por sus siglas en inglés) del modelo BIM (Obrecht et al., 2020). En el estándar BIM Chile (CORFO, 2021) se lo relaciona con el término Nivel de Información (NDI) basándose en el estándar desarrollado por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA, 2013). Por definición, el NDI es una referencia del grado de desarrollo que puede tener la información geométrica y no geométrica proporcionados por el

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

modelo. Se diferencian seis niveles que van desde NDI-1 a NDI-6 como se muestra en la Figura 2.5. Por ejemplo, en el NDI-1, el objeto se demuestra gráficamente de manera general (se estima las dimensiones, localización y orientación), en el NDI-2 la información sigue siendo básica pero más detallada. En el NDI-3, el modelo alcanza un nivel de madurez admisible y describe el objeto con información detallada de tamaño, forma, localización, cantidad y orientación. En NDI-4, además de las características del nivel anterior, la información está coordinada. En los niveles posteriores la geometría no cambia, solo lo hace la cantidad de información no geométrica. En el NDI-5, los componentes del modelo incluyen información detallada de la fabricación y montaje, mientras que en el NDI-6 los componentes se presentan detallados de la forma en que están contruidos y de su puesta en marcha.

Concepto		Descripción
NDI-1	Información inicial general	Información inicial, que puede ser estimativa, acerca de área, altura, volumen, localización y orientación de los elementos generales.
NDI-2	Información básica aproximada	Información básica del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación de los sistemas y elementos generales y su ensamblaje.
NDI-3	Información detallada	Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación que sea relevante para el montaje de los elementos.
NDI-4	Información detallada y coordinada	Información detallada y coordinada respecto del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación e interacción entre los sistemas de construcción y sus elementos de montaje específico.
NDI-5	Información detallada de la fabricación y montaje	Información detallada de la fabricación y montaje, considerando el tamaño, localización, cantidad, orientación e interacción entre los elementos.
NDI-6	Información detallada de lo construido y su puesta en marcha	Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación y de la puesta en marcha de los elementos contruidos.

Figura 2.5. Descripción de los Niveles de Información

Fuente: (CORFO, 2021)

Capítulo 2. Sostenibilidad y BIM en fases tempranas de diseño

Según la Figura 2.6, los NDI a ser considerados para fases tempranas de diseño varían entre NDI-1 y NDI-2. Esto quiere decir que los elementos que constituyen un modelo BIM en fases tempranas de diseño son geometrías simplificadas que indican: dimensiones, localización, orientación, cantidades y agrupaciones, e incluyen información de su ensamblaje.

BIM para cada Estado de Avance de la Información de los Modelos.

Entidades de Modelos	EAIM																									
	Site (Referencia)	Terreno (Referencia)	Elementos Cúbicos (Referencia/Elemento)	Elementos Geométricos (Referencia/Elemento)	Fundaciones (Referencia/Elemento)	Zonas/Espacios (Referencia/Elemento)	Columnas (Referencia/Elemento)	Vigas (Referencia/Elemento)	Losas/Placas (Referencia/Elemento)	Muros (Referencia/Elemento)	Muros Cortina (Referencia/Elemento)	Ventanas (Referencia/Elemento)	Puertas (Referencia/Elemento)	Cubiertas/Techumbres (Referencia/Elemento)	Chapas/Placas/Aislamiento (Referencia/Elemento)	Sistemas de Circulación/Escaleras / Rampas (Referencia/Elemento)	Equipos e Instalaciones Mecánicas/Electricas/Hidráulicas (Referencia/Elemento)	Muebles (Referencia/Elemento)	Estructuras Especiales (Referencia/Elemento)	Equipos Múltiples y Equipos de Control (Referencia/Elemento)	Distribución y Tablero MEP (Referencia/Elemento)					
Información de Planificación	DC Diseño Conceptual	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1
	DA Diseño Anteproyecto	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1	NDI-1
	DB Diseño Básico	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-1	NDI-1	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-1	NDI-1	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2	NDI-2
Información de diseño	DD Diseño de Detalle	NDI-3	NDI-2	NDI-3	NDI-2	NDI-2	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-2	NDI-2	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3	NDI-3
	CC Coordinación de Construcción	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4
	CM Construcción, Manufactura y Montaje	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5
Información de construcción	AB As-Built	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5
	PM Puesta en Marcha	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5
	GM Gestión y Mantenimiento del Activo	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5	NDI-5
Información de operación																										

Figura 2.6. Niveles de Información asociados a fases tempranas de diseño

Fuente: (CORFO, 2021)

Capítulo 3. Metodología

Capítulo 3. Metodología

En esta sección, se presentará la información referente a la estructura de la tesis. La metodología abordada responde a una investigación de tipo mixto, desarrollada tanto de forma cualitativa como cuantitativa no experimental correlacional. Dado que es una metodología de trabajo, se considera que la misma puede ser aplicada a escala global. A pesar de ello, la base de datos utilizada es de Chile por lo que el contexto queda acotado a escala nacional.

3.1. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

Para alcanzar el objetivo específico uno (E01), se recopilaron criterios e indicadores de sostenibilidad de certificaciones, estándares y manuales reconocidos a nivel internacional y nacional para seleccionar los más destacados. Se analizó críticamente el estándar BIM existente a nivel nacional, además de los principales procesos de interoperabilidad entre BIM y las herramientas de LCA más utilizadas, a partir de investigaciones en la temática. A continuación, se describen las actividades asociadas al E01:

E1a: Revisión de principales indicadores y criterios de sostenibilidad requeridos en certificaciones internacionales - LEED BD+C V4 y Passivhaus -, nacionales Certificación de Edificio Sustentable (CES), Clasificación Energética de Viviendas (CEV), Certificación de Vivienda Sustentable (CVS)- y los estándares de construcción sustentable del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) de Chile-. Se filtraron aquellos que pertenecen a la etapa de diseño, se seleccionaron únicamente los que hacen referencia a la construcción -no se consideraron los de urbanización o parcela- y se agruparon de acuerdo a similitud de la definición de los parámetros.

Elaboración de un listado con criterios de sostenibilidad a emplear, económicos y ambientales con la unidad de medida correspondiente (Excel).

E1b: Análisis crítico desde la perspectiva de la sostenibilidad del Estándar BIM desarrollado por el PlanBIM Chile. Se identifican los vacíos y oportunidades para la vinculación con la sostenibilidad.

E1c: Exploración de los enfoques de los procesos de interoperabilidad entre BIM, las bases de datos y herramientas LCA, a partir de una revisión de la literatura basada en el estudio de antecedentes, *softwares* disponibles, entre otros. Para garantizar una cobertura adecuada de la literatura existente, se utilizaron diversas fuentes de publicaciones científicas como Scopus, Web of Science y Google Académico. El límite temporal se definió desde el 2011 hasta el 2021. El proceso de identificación consistió principalmente en la búsqueda de las palabras claves individualmente y en combinación,

Capítulo 3. Metodología

como “BIM” o “Building Information Modeling”, “LCA” o “Life cycle assessment”, “sustainability of buildings” y “early design stages” tanto en el título, como en las palabras claves y el resumen. Luego, se excluyó por área temática y relevancia.

E1d: Integración de BIM con indicadores de sostenibilidad en fases tempranas de diseño.

3.2. Desarrollo de la integración

En el caso del objetivo específico dos (E02), para el desarrollo de una integración estática entre un *software* de modelado que apoya al proceso de diseño y una base de datos de carga ambiental y económica, se conceptualizó un flujo de trabajo y se propuso un camino para su implementación:

E2a: Conceptualización de un flujo de trabajo para la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM.

El flujo de trabajo propuesto buscó integrar los criterios ambientales y económicos en el flujo BIM para etapas tempranas de diseño de edificaciones, focalizándose principalmente en el diseño arquitectónico. La integración consistió en cuatro pasos: (1) identificación y recopilación de datos de entrada, (2) creación de un vínculo entre la base de datos y BIM, (3) recolección de datos y evaluación de sostenibilidad de las opciones de diseño y (4) visualización de los resultados.

E2b: Proposición de una programación informática para implementar la integración.

A partir de la conceptualización de la integración, se propuso una programación informática para la implementación utilizando la herramienta de Autodesk Revit 2022, Dynamo 2.12, la base de datos ambiental y económica de Ábaco-Chile versión 1, Microsoft Excel y PowerBI. Para esto, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

(1) Identificación y recopilación de datos de entrada. Se debieron seleccionar opciones de diseño de envolvente (muros y ventanas) para la creación de colectores. La elección de opciones para muros exteriores fue realizada teniendo en cuenta los materiales predominantes a nivel nacional, según el Censo de Chile del 2017 (INE, 2018): hormigón armado, albañilería (bloque de cemento, piedra o ladrillo) o tabique forrado por ambas caras (madera o acero). En base a esto, se escogieron ocho sistemas constructivos de muros del Listado Oficial de Soluciones Constructivas del MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014). En cuanto a las ventanas, se utilizaron las únicas cuatro opciones disponibles en Ábaco-Chile hasta el momento. La Tabla 3-1 detalla las características de las

Capítulo 3. Metodología

distintas opciones de envolvente a implementar. Es importante mencionar que la cantidad de opciones es a modo representativo para poder poner en práctica la integración, pudiendo ampliarse a futuro.

Tabla 3-1. Selección de opciones de diseño de envolvente (muros y ventanas).

Código	Unidad	Fuente	Descripción
M01	m ²	MINVU	Muro estructurado de pino radiata de 2x3", revestido por su cara exterior con SmartPanel de 11.1 mm y por su cara interior con Polyplac ST, conformado por la unión de una placa de yeso cartón con borde rebajado y una plancha de poliestireno expandido de 15 kg/m ³ de 50 mm de espesor
M02	m ²	MINVU	Muro de hormigón armado normal de 200 mm de espesor, con aislante térmico de poliestireno expandido de densidad 15 kg/m ³ y espesor de 50 mm. Se adhiere al muro mediante pegamento BEMEZCA EIFS. Como revestimiento exterior se aplica mortero cementicio modificado BEMEZCLA EIFS en espesor de 2 mm reforzado con malla de fibra de vidrio
M03	m ²	MINVU	Muro de albañilería de ladrillo Titán princesa (290x140x71 mm), al cual se le adhiere Poligyp RH de Romedal. Este último se compone de una placa de yeso-cartón Gyplac RH de 10 mm de espesor, la cual lleva adherida una placa de poliestireno expandido de densidad 15 kg/m ³ de 100 mm de espesor
M04	m ²	MINVU	Muro tabique de estructura metálica con aislación térmica de poliestireno expandido de 10 kg/m ³ de densidad y un espesor de 50 mm en el núcleo. Revestimiento interior plancha de yeso-cartón estándar de 15 mm y exterior de placa de madera tipo OSB 9.5 mm de espesor
M05	m ²	MINVU	Muro de albañilería construido a base de ladrillos artesanales (285x143x58 mm), unidos con mortero arena-cemento. Por ambas caras va un estuco arena cemento de 25 mm de espesor
M06	m ²	MINVU	Muro de albañilería construido a base de ladrillos artesanales (285x143x58 mm), unidos con mortero arena-cemento. Estuco de arena cemento de 15 mm por la cara exterior y plancha de yeso cartón de 10 mm sobre la cara interior, colocada sobre montantes de acero galvanizado. Plancha de poliestireno expandido de 10 mm y densidad de 10 kg/m ³
M07	m ²	MINVU	Panel estructural CONVITEC 8.5 mm de espesor
M08	m ²	MINVU	Panel ISOPOL, poliestireno expandido de densidad 20 kg/m ³ espesor 50 mm
V01	un	ÁBACO	Ventana termopanel PVC blanco, 100x100 cm
V02	un	ÁBACO	Ventana aluminio termopanel de 1 hoja corredera, 120x120 cm y 33 kg
V03	un	ÁBACO	Ventana aluminio termopanel corredera, 150x200 cm y 70.4 kg
V04	un	ÁBACO	Ventana aluminio termopanel proyectante fija, 60x120 cm y 12.96 kg

V: ventanas, M: muros

En una planilla Excel, se recolectaron los valores de cargas ambientales y económicas de la base de datos de Ábaco-Chile para las opciones de diseño (Anexo B). Se procedió a descomponer las distintas soluciones constructivas de la envolvente para asociarle los valores correspondientes a cada material.

Capítulo 3. Metodología

3.3. Validación de la integración

Para el objetivo tres (E03), se buscó validar la integración entre el flujo BIM y la base de datos propuesta, midiéndola en términos de (a) tiempo, (b) aplicabilidad, (c) escalabilidad y (d) facilidad de comprensión para el usuario. Para ello, se propuso un caso práctico y se pidió a un grupo evaluador de 25 profesionales de la industria de la construcción expertos y no expertos en la temática que lo apliquen a través del flujo de trabajo propuesto. Luego, se les solicitó realizar una encuesta para medir su percepción y actitud frente a integración.

Se envió una invitación a participar de la validación a los distintos profesionales mediante correo electrónico. En el mismo, se explicó brevemente el contexto y objetivo de la investigación, además de los requisitos informáticos necesarios para poder aplicarla. También, se adjuntó el *link* de una carpeta en Google Drive con los archivos que componen la integración, otro de la encuesta en Formularios de Google y de cuatro videos explicativos subidos a Youtube. El formato presentado se encuentra en el Anexo A.

A través de la carpeta [Integración MHSEE UBB](#) en Google Drive se entregaron los siguientes archivos:

- Presentación del encargo en PDF donde se detalló todos los pasos a seguir para aplicar el caso práctico.
- Documento PDF con los *links* a los videos explicativos y a la encuesta *online*.
- Plantilla de Revit 2022 (.rte): Integración_MHSEE_UBB_template_V2022.rte
- *Script* de Dynamo (.dyn): Integración_MHSEE_UBB_Script2.dyn
- Archivo de visualización de PowerBI (.pbix): Integración_MHSEE_UBB_visualización.pbix

Se generaron 4 videos explicativos para guiar y acompañar a los evaluadores en la validación de la integración propuesta los que fueron subidos a Youtube. En el [video 1](#) se presentó brevemente la investigación y el proceso para la validación. En el [video 2](#) se indicó como verificar el cumplimiento de los requisitos informáticos y como proceder en caso de no cumplirlos. El [video 3](#) contiene la explicación del caso práctico, mientras que el [video 4](#) muestra la aplicación de la integración paso a paso.

Como requisitos para poder aplicar la integración se solicitó tener instalado Autodesk Revit 2022 en idioma inglés con la versión 2.12 de Dynamo, la aplicación de PowerBI y Microsoft Excel. Además,

Capítulo 3. Metodología

se debió descargar el paquete “Bumblebee” dentro de Dynamo y configurar las unidades de la computadora con punto (.) para decimales y coma (,) para miles.

- E3a Evaluación de la integración mediante un caso práctico a través de un grupo de evaluadores expertos y no expertos en la temática.

El caso práctico o encargo se planteó como una situación hipotética en la que se le encomendó al evaluador el diseño de un kiosco de 32 m² y donde el mismo ya habría desarrollado un diseño preliminar, una volumetría pura de 4.0x8.0x3.0 m con tres ventanas. Como primer paso, (1) se le solicitó proponer al menos dos opciones de diseño de envolvente en el modelo proporcionado en la plantilla de Autodesk Revit 2022 utilizando los tipos de muros (M01 a M08) y ventanas (V01 a V04) precargados en la misma y hacer correr el *script* a través de Dynamo Player indicando el número de la alternativa. Con la última propuesta seleccionada se debió correr nuevamente el *script* para que se completara la tabla federada en el archivo Excel generado. A continuación, (2) se actualizó el archivo de PowerBI para que exhiba las opciones creadas y se le encargó al evaluador escoger el conjunto más ecoeficiente partir de los resultados gráficos de carga ambiental y económica para cada opción de diseño. (3) Como tercer paso, se planteó una modificación a la normativa local donde se exigía la reducción de 1 m en uno de los retiros laterales. Tomando como base la selección anterior se le pidió al evaluador que modificara el volumen del modelo en Autodesk Revit y que corriera nuevamente el *script*. Luego, debió actualizar otra vez el archivo en PowerBI y observar las gráficas comparativas entre las dos opciones de diseño (la más ecoeficiente con el volumen original y con el volumen modificado) para conocer la influencia de esta variación. Por último (4), se los invitó a responder una encuesta sobre su apreciación de la integración a través de los formularios en línea de Google.

E3b: Medición de la integración en términos de tiempo, aplicabilidad, facilidad de comprensión y escalabilidad mediante una encuesta a los evaluadores.

Para el cuestionario se adaptó una encuesta existente realizada por Van Eldik et al. (2020), quedando 14 preguntas cerradas y 2 preguntas abiertas de apreciación general. La Tabla 3-2 muestra cómo se formularon las preguntas, así como las escalas usadas en las opciones de respuesta. Se incluyó una sección introductoria para categorizar al evaluador, donde se registraba su experiencia en el análisis de ciclo de vida, la metodología BIM y el diseño de proyectos arquitectónicos. A éstas le siguieron las preguntas asociadas al tiempo, la aplicabilidad, facilidad de comprensión,

Capítulo 3. Metodología

escalabilidad y las generales. A través del siguiente *link* se puede acceder a la encuesta en línea: [Encuesta Integración MHSEE UBB](#).

Dentro de la categoría tiempo se midió desde 1 (mucho) a 5 (muy poco); el resto de las categorías se valoraron con puntuaciones que varían de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo). Para poder comparar los resultados se midió la actitud de los encuestados a través de la escala de Likert (Hernández Sampieri et al., 2014).

Tabla 3-2. Preguntas de la encuesta realizada a grupo de evaluadores y escalas usadas

Pregunta	Escala
Caracterización del evaluador	
(Q1) ¿Qué tanta experiencia tiene en el modelado y revisión de proyectos en BIM en su flujo de trabajo actual?	(1) Mucho / (2) Bastante / (3) Poco / (4) Muy poco / (5) Ninguna
(Q2) ¿Tiene experiencia el diseño de proyectos arquitectónicos?	Si / No
(Q3) En su proceso de diseño, ¿considera criterios sostenibles para la toma de decisiones arquitectónicas?	Si, usualmente desde las fases tempranas de diseño (diseño conceptual, anteproyecto) Si, usualmente en la fase previa a la construcción (para las especificaciones técnicas) No, usualmente otros profesionales se encargan de considerar estos criterios No, usualmente no considero estos criterios
(Q4) ¿Tiene experiencia realizando análisis de ciclo de vida?	Si / No
(Q5) ¿Qué método utiliza actualmente para realizar análisis de ciclo de vida?	Manual / Herramienta LCA
(Q6) El método que utiliza actualmente ¿permite ser aplicado en fases tempranas de diseño (diseño conceptual, anteproyecto)?	Si / No
(a) Tiempo	
En base a su experiencia utilizando la integración propuesta entre criterios sostenibles y el flujo BIM, y teniendo en cuenta el proceso de diseño de edificios, considera que el tiempo que requiere usualmente para evaluar la sostenibilidad en un proyecto y tomar decisiones ecoeficientes es...	(1) Mucho / (2) Bastante / (3) Suficiente / (4) Poco / (5) Muy poco
(Q7) ...Con método que utiliza actualmente	
(Q8) ...Con la integración propuesta	
(b) Aplicabilidad	
Por favor indique qué tan de acuerdo o en desacuerdo está con las siguientes afirmaciones	(1) Totalmente en desacuerdo / (2) En desacuerdo / (3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo / (4) De acuerdo / (5) totalmente de acuerdo
(Q9) La integración propuesta se puede adoptar fácilmente al flujo de trabajo de un proyecto de diseño	
(Q10) La integración propuesta es flexible para evaluar distintas opciones de diseño	
(c) Facilidad de comprensión	

Capítulo 3. Metodología

	Por favor indique qué tan de acuerdo o en desacuerdo está con las siguientes afirmaciones	(1) Totalmente en desacuerdo / (2) En desacuerdo / (3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo / (4) De acuerdo / (5) totalmente de acuerdo
(Q11)	Los resultados gráficos de la integración propuesta son rápidos y fáciles de entender e interpretar	
(Q12)	La integración propuesta permite tomar mayor conciencia de la sostenibilidad a los diseñadores	
(Q13)	La integración facilita la toma de decisiones con criterios sostenibles en etapas tempranas de diseño	
(d) Escalabilidad		
	Por favor indique qué tan de acuerdo o en desacuerdo está con las siguientes afirmaciones	(1) Totalmente en desacuerdo / (2) En desacuerdo / (3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo / (4) De acuerdo / (5) totalmente de acuerdo
(Q14)	La integración propuesta se puede aplicar fácilmente en diferentes proyectos	
(e) Generales		
(Q15)	¿Qué limitaciones y fortalezas le encuentra a la integración propuesta?	
(Q16)	¿Qué aspectos destacaría de la integración propuesta respecto a los métodos de evaluación de sostenibilidad actuales?	

Los resultados de las preguntas cerradas fueron analizados asignando puntuación a cada respuesta según la escala Likert, donde (1) fue la actitud más desfavorable y (5) la más favorable. La actitud se estudió para cada categoría (tiempo, aplicabilidad, facilidad de comprensión y escalabilidad) y en general. Cada individuo tiene entonces una actitud favorable o desfavorable por categoría, y para hacer la evaluación de todos los participantes, se consideró el promedio de cada categoría. El puntaje mínimo y máximo de cada categoría se presenta a continuación:

Tabla 3-3. Puntajes mínimos y máximos de cada categoría según la escala Likert

Categoría	Puntaje mínimo	Puntaje máximo
(a) Tiempo	1	5
(b) Aplicabilidad	2	10
(c) Facilidad de comprensión	3	15
(d) Escalabilidad	1	5
Total	6	30

Las respuestas de las preguntas abiertas fueron analizadas de manera cualitativa, recogiendo las principales percepciones de los participantes. Para explorar sus apreciaciones, se utilizó el *software* Nvivo 20.5 (NVivo, 2022) y la opción de nube de palabras, que se genera a partir de las palabras más usadas en las respuestas. Esto permite la identificación de temas en base a la frecuencia de términos y obtención de nubes de categorías (Lopezosa, 2020). Para la generación de los gráficos se delimitó el análisis a: las 50 palabras más frecuentes, con longitud mínima de 4 letras y agrupación con sinónimos.

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

Este capítulo pretende identificar las estrategias utilizadas y las brechas de la integración entre BIM y sostenibilidad, tal que permita proponer una integración adecuada para Chile. Se realiza una revisión de los criterios e indicadores de sostenibilidad más utilizados a nivel país, además de su consideración en el estándar BIM nacional y los principales procesos de integración, herramientas y cálculos.

4.1. Indicadores de sostenibilidad aplicados en Chile para etapas de diseño

A partir de los sistemas de calificación, certificación y guías de edificación detallados en el apartado 2.2 y resumidos en la Tabla 2-1, la Tabla 4-1 presenta una revisión de los criterios de sostenibilidad que se pueden considerar desde la etapa de diseño, se seleccionan únicamente aquellos que hacen referencia a la construcción - no se consideran los de urbanización o parcela- y se agrupan de acuerdo a similitud de la definición de los parámetros.

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

Tabla 4-1. Criterios e indicadores de sustentabilidad

CRITERIOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD	LEED BD+C V4	PASSIVHAUS	CEV	CES	CVS	Estándar de construcción sustentable	Suma por indicador
PLANIFICACIÓN Y PROCESO INTEGRADO							
Planificación y diseño integrado de un proyecto	●	×	×	●	●	●	4
AGUA							
Reducir del consumo de agua en el exterior	●	×	×	●	●	●	4
Minimizar el consumo de agua en el interior	●	×	×	●	●	●	4
Agua incorporada de los materiales estructurales	×	×	×	●	×	×	1
Estrategias de reutilización del agua	●	×	×	×	●	●	3
ENERGÍA							
Minimizar la demanda y consumo de energía	●	●	●	●	●	●	6
Eficiencia energética de equipos e iluminación	●	●	●	×	●	●	5
Utilizar estrategias de arquitectura bioclimática	×	●	●	×	●	●	4
Utilización de energías renovables	●	●	●	●	●	●	6
Energía incorporada de los materiales	×	×	×	●	×	×	1
MATERIALES Y RESIDUOS							
Maximizar las oportunidades para clasificación y reciclaje de residuos	●	×	×	●	●	●	4
Planificación de gestión de residuos	●	×	×	●	●	●	4
Incorporar materiales con atributos sustentables	●	×	×	×	●	●	3
Diseño para flexibilidad	●	×	×	×		×	1
Optimización de materiales	●	×	×	×	●	●	3
Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio	●	×	×	×	●	●	3
BIENESTAR Y CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR							
Considera parámetros de calidad del aire interior	●	×	×	●	●	●	4
Considera parámetros de confort térmico	●	×	×	●	●	●	4
Considera parámetros de confort acústico	●	×	×	●	●	●	4
Considera parámetros de confort lumínico	●	×	×	●	●	●	4
Considera parámetros de confort visual	●	×	×	●	●	●	4
Minimización de emisiones a la atmósfera	●	×	×	×	●	●	3

Como se puede apreciar la mayoría de los sistemas abarcan variables dentro de la categoría de energía, generalmente de forma obligatoria. A éste le siguen los materiales y residuos, bienestar y

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

calidad ambiental interior y agua. Este estudio, en concordancia con los objetivos planteados, se centrará en únicamente en dos categorías: (1) energía y (2) materiales y residuos.

Dentro del apartado Energía, se deja de lado los indicadores enfocados a el futuro consumo de energía operacional y se focaliza en la energía incorporada de los materiales. Se entiende la energía incorporada como la cantidad de energía utilizada tanto para la extracción de materia prima, como para su fabricación y transporte (Campos Rivas, 2014).

En cuanto a los materiales y residuos, se decide desarrollar los materiales con atributos sustentables. Algunas de las variables dentro de esta categoría son la declaración ambiental de producto donde se solicita como indicador obligatorio el potencial de calentamiento global (efecto invernadero) en CO₂-eq, proyectos de mitigación de carbono (CO₂-eq), maderas con certificación sustentable, materiales regionales, contenido reciclado, minimización de emisiones a la atmósfera - donde se incluye la reducción de gases de efecto invernadero-, entre otros. Actualmente, la certificación LEED es la única en la que se incluye la huella de carbono de una edificación a lo largo de todo su ciclo de vida, a pesar de esto, a nivel nacional se está fomentando su implementación en el sector de la construcción, para tender al carbono neutralidad al 2050. La relevancia del cálculo de huella de carbono de los materiales o productos se relaciona a que afecta directamente el carbono incorporado a las construcciones.

Para este estudio, se tendrá en cuenta únicamente el carbono incorporado en las etapas A1-A5 (ver apartado 2.3), lo que se asocia a las emisiones de carbono en etapas de producción de materiales y procesos de construcción (Pia Wiche; Barbara Rodriguez; Danil Bianchi, 2020).

A partir de la revisión y análisis realizado en el presente apartado en la Tabla 4-2 Tabla 2-1 se realiza una recopilación de los criterios de sostenibilidad -económicos y ambientales- a emplear en la integración propuesta.

Tabla 4-2. Criterios de sostenibilidad -económicos y ambientales- a emplear en la integración propuesta.

Criterios de sostenibilidad	Unidad
Costo unitario	\$ chileno
Energía Incorporada (EI)	MJ
Huella de Carbono (HC)	KgCO ₂ -eq

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

4.2. El estándar BIM Chile y la sostenibilidad

A pesar de que uno de los objetivos del PlanBim es “lograr un aumento de la productividad y sustentabilidad de la industria de la construcción”, el Estándar BIM se enfoca más a la productividad, careciendo de requisitos en cuanto a la sostenibilidad. En el apartado 5.6 “usos BIM” del Estándar BIM de Chile (Figura 4.1. Usos BIM), se menciona la “Evaluación de la Sostenibilidad” como un uso BIM, el cual se define como:

Proceso en el que un proyecto se evalúa en base a criterios de sustentabilidad a través de uno o más modelos BIM. Este proceso debe ocurrir durante todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto, incluida la planificación, el diseño, la construcción y la operación. La aplicación de criterios sustentables a un proyecto en fases de planificación y diseño temprano mejoran la capacidad de impactar en la eficiencia del diseño y la planificación” (CORFO, 2021).



Basada en Project Execution Planning Guide version 2.1, mayo 2011

Figura 4.1. Usos BIM

Fuente: (CORFO, 2021)

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

Siguiendo con el Estándar, en la sección 5.7.1 se hace referencia a los Tipos de Información (TDI) que pueden estar contenidos en las entidades de los modelos, identificando el TDI_H como el Estándar Sostenible, donde se incorpora “información sobre las condiciones de sustentabilidad, requerimientos de calidad de iluminación, especificaciones de materiales sustentables y contenido reciclado, entre otros” (CORFO, 2021)(Figura 4.2. Tipos de información (TDI).

5.7 Tipos y Niveles de Información

En el presente estándar, se utilizan los conceptos de Tipos de Información (TDI) y Niveles de Información BIM (NDI) para explicitar los grupos de datos que deben estar contenidos en las entidades de los modelos y el grado de profundidad de esa información. Estos conceptos se explican en las siguientes secciones.

5.7.1 Tipos de Información (TDI)

Los Tipos de Información, o TDI, son quince grupos de datos que pueden estar contenidos en las entidades de los modelos. Estos datos están organizados según la utilización que se le puede dar a la información durante el ciclo de vida del proyecto. Estos TDI están basados en la *Matriz de Elementos/Objetos* desarrollada por el US Veterans Affairs¹¹.

A continuación, se describen los Tipos de Información, identificados desde la letra "A" hasta la "O".

 TDI_A Información general del proyecto Información básica de identificación del proyecto como el tipo de edificio o infraestructura, nombre del proyecto, dirección, requerimientos espaciales y programáticos, entre otros.	 TDI_G Requerimientos energéticos Información de características energéticas de las entidades, como requerimientos de humedad, valor U, consumo de servicios, low E glazing, entre otros.
 TDI_B Propiedades físicas y geométricas Información de las características y propiedades físicas de las entidades tales como anchos, largos, altos, área, volumen, masa, etc.	 TDI_H Estándar sostenible Información sobre condiciones de sustentabilidad, requerimientos de calidad de iluminación, especificaciones de materiales sustentables y contenido reciclado, entre otros.
 TDI_C Propiedades geográficas y de localización espacial Información de las propiedades de ubicación espacial y geográficas de las entidades, tal como la latitud y longitud para la georreferencia del proyecto, el número y nombre de piso, el número y nombre del espacio o zona y otra información necesaria para el posicionamiento de las entidades.	 TDI_I Condiciones del sitio y medioambientales Información de las características generales del sitio y su entorno tales como, condiciones sísmicas, uso del terreno, de suelo y niveles de riesgo a las personas, entre otras.
 TDI_D Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor Información específica para la fabricación y/o construcción, como el tipo de elemento (muro, pilar, puerta, etc.), su materialidad, nombre de sus componentes - en caso de existir-, identificación del producto, entre otros.	 TDI_J Validación de cumplimiento de programa Información clave para realizar una validación del cumplimiento del programa funcional del proyecto, como áreas planificadas, requisitos de áreas vidriadas, volumetría espacial y servicios requeridos, entre otros.
 TDI_E Especificaciones técnicas Información de la especificación técnica de la entidad, como peso de transporte, nivel de ruido, etc. En general, aplica para cualquier elemento que sea fabricado industrialmente como, por ejemplo, equipos de aire, mobiliario, entre otros.	 TDI_K Cumplimiento normativo Información que permita revisar el cumplimiento normativo y los requerimientos de seguridad de los ocupantes del proyecto, como requerimientos de control de fuego, requerimientos de ventilación, anchos de accesos, carga de uso y carga de ocupación, así como también aspectos seguridad vial, diseño geométrico de vías, entre otros.
 TDI_F Requerimientos y estimación de costos Información básica para la estimación del costo total del activo, como, por ejemplo, el costo unitario referencial, costo base de ensamblaje, costo de transporte, entre otros.	 TDI_L Requerimientos de fases, secuencia de tiempo y calendarización Información que permita revisar fases, secuencias de tiempo y calendarización de áreas o partes de un proyecto, como, fases contempladas, orden de hitos del proyecto y orden de construcción, entre otros.
	 TDI_M Logística y secuencia de construcción Información clave para revisar la logística de la construcción y su secuencia, como, por ejemplo, ID del material e ID de instalación, número de serie del componente instalado, entre otros.
	 TDI_N Entrega para la operación Información clave para apoyar el funcionamiento de la entrega de la construcción como, por ejemplo, nombre de las empresas o compañías participantes del proyecto, sus contactos, nombre de la disciplina y áreas de trabajo, entre otras.
	 TDI_O Gestión de activos Información para la gestión del activo como, tipos de productos, tipos de repuestos, fechas de inicio y fin de garantías, entre otros.

Figura 4.2. Tipos de información (TDI)

Fuente: (CORFO, 2021)

A pesar de que se mencionan ciertos criterios de sustentabilidad, y se indica en qué fase del ciclo de vida es conveniente incorporarlos, se realiza de forma muy superficial y en ningún momento se hace referencia a cuáles son dichos criterios, lo que genera preguntas como: *¿qué miden?, ¿cuáles son los indicadores que se deben considerar?, ¿dónde se obtienen?, ¿cómo se incorporan?* Dentro de la ficha de descripción del Uso BIM de Evaluación de sostenibilidad (Figura 4.3), se presenta una serie de recomendaciones entre ellas: el uso de estándares y normas según especialidad. Siendo un estándar a ser aplicado a escala nacional sería conveniente que ya se incorporen las normativas y estándares de construcción sostenible existentes a nivel nacional, con sus criterios e indicadores.

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

14. Evaluación de sustentabilidad

Proceso en el que un proyecto se evalúa en base a criterios de sustentabilidad, a través de uno o más modelos BIM. Este proceso debe ocurrir durante todas las etapas de la vida de una instalación, incluida la planificación, el diseño, la construcción y la operación. La aplicación de características sustentables a un proyecto en las fases de planificación y diseño temprano mejoran la capacidad de impactar en el diseño y la planificación.

Recursos sugeridos:

- Software de modelado BIM
- Software de análisis de criterios de sustentabilidad
- Modelo de diseño con los NDI según el EAIM indicado
- Estándares y normas según especialidad
- Hardware apto para procesar modelos BIM
- Infraestructura TI necesaria

Equipo con capacidades BIM respecto de:

- Modelos para evaluación de sustentabilidad: F-18, F-19, F-20, F-21, G-22, G-23, G-24, H-25, H-26, I-27, I-28, L-34*

Experiencia o conocimiento previo en:

- Estándares y normativas aplicables
- Diseño y construcción
- Sistemas y métodos constructivos

Figura 4.3. Ficha de uso BIM para la evaluación de la sostenibilidad

Fuente: (CORFO, 2021)

Al igual que en el Estándar, la matriz de información de entidades del PlanBIM proporciona la información estandarizada necesaria para incorporar en los modelos BIM. En la Figura 4.4 se pueden observar los parámetros recomendados para incorporar en el Estándar Sostenible:

	Illuminance	Iluminación	IfcSpace>Pset_SpaceLightingRequirements>Illuminance (P_SINGLEVALUE / IfcIlluminanceMeasure)
	TotalRadiantLoad	CargaRadianteTotal	IfcSpace>Pset_SpaceThermalLoad>TotalRadiantLoad (P_BOUNDEDVALUE / IfcPowerMeasure)
	RadiantHeatingOutput	Salida de calor Radiante	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>RadiantHeatingOutput (P_SINGLEVALUE / IfcPowerMeasure)
	Light Quantity	Cantidad de Luz	IfcSpace>Pset_SpaceThermalLoad>Lighting (P_BOUNDEDVALUE / IfcPowerMeasure)
	LifeCyclePhase	Fase del Ciclo de Vida	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactIndicators>LifeCyclePhase (P_ENUMERATEDVALUE / IfcLabel / Penum_LifeCyclePhase)
	ExpectedServiceLife	Expectativas de Vida Útil	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactIndicators>ExpectedServiceLife (P_SINGLEVALUE / IfcTimeMeasure)
	TotalPrimaryEnergyConsumpt	Consumo Total de Energía Primaria	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>TotalPrimaryEnergyConsumption (P_SINGLEVALUE / IfcEnergyMeasure)
	RenewableEnergyConsumpt	Consumo de Energía Renovable	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValue>RenewableEnergyConsumption (P_SINGLEVALUE / IfcEnergyMeasure)
	NonRenewableEnergyConsum	Consumo de Energía No Renovable	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValue>NonRenewableEnergyConsumption (P_SINGLEVALUE / IfcEnergyMeasure)
	WaterConsumption	Consumo de Agua	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>WaterConsumption (P_SINGLEVALUE / IfcVolumeMeasure)
	HazardousWaste	Resechos Peligrosos Generados	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>HazardousWaste (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	NonHazardousWaste	Resechos No Peligrosos Generados	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>NonHazardousWaste (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	InertWaste	Resechos Inertes	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>InertWaste (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	RadioactiveWaste	Resechos Radioactivos	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>RadioactiveWaste (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	AtmosphericAcidification	Acidificación Atmosférica	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>AtmosphericAcidification (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	StratosphericOzoneLayerDes	Destrucción de Capa de Ozono	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>StratosphericOzoneLayerDestruction (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	PhotochemicalOzoneForma	Formación de Ozono Fotoquímico	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>PhotochemicalOzoneFormation (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	Eutrophication	Eutrofización	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>Eutrophication (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	Item is New (if - no)	Contenido Reciclado (porcentaje)	IfcElement>Pset_Condition-IsNew (P_SINGLEVALUE / IfcBoolean)
	Recycled Content	Contenido Reciclado (porcentaje)	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>RecycledContent (P_SINGLEVALUE / IfcReal)
	Post-Industrial Recycled	Contenido Reciclado Post-Industrial	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>PostIndustrialRecycledContent (P_SINGLEVALUE / IfcReal)
	Pre-Consumer Recycled	Contenido Reciclado Pre-cliente	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>PreClientRecycledContent (P_SINGLEVALUE / IfcReal)
	Post-Consumer Recycled	Contenido Reciclado Post-cliente	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>PostClientRecycledContent (P_SINGLEVALUE / IfcReal)
	Carbon Footprint	Huella de Carbono	IfcElement>Pset_EnvironmentalImpactValues>ClimateChange (P_SINGLEVALUE / IfcMassMeasure)
	Location of Manufacture	Ubicación de Manufactura	IfcElement>Pset_ManufacturerCommence>ManufactureLocation (P_SINGLEVALUE / IfcPostalAddress)

Figura 4.4. Parámetros de información para el Estándar Sostenible

Fuente: (CORFO, 2021)

Ahora bien, si se examinan los requisitos del Estándar Sostenible para el NDI-1 y NDI-2 (etapas tempranas de diseño) de la Figura 4.5, se advierte que no se vincula mucha información, únicamente se mencionan los parámetros de la iluminación y carga radiante total. Entonces, *¿en qué NDI y que información debemos considerar?* Siguiendo con la matriz se pudo advertir que recién a partir del NDI-4 se comienzan a agregar otros parámetros (Figura 4.6). Es importante enfatizar que ya un NDI-4 corresponde a información detallada y coordinada que aplica según el Estándar a etapas de construcción y operación. Pareciera entonces haber una incongruencia entre el nivel de detalle

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

correspondiente a fases tempranas de diseño, los requerimientos para análisis de ciclo de vida y la necesidad de tomar decisiones informadas que tengan gran impacto en los proyectos.

TDI	NDI-1		NDI-2	
	Name	Nombre	Name	Nombre
TDI-F Requerimientos y Estimación Costo 	Conceptual Cost	Costo Conceptual	Conceptual Cost	Costo Conceptual
	Conceptual Unit Cost	Unidad Costo Conceptual	Conceptual Unit Cost	Unidad Costo Conceptual
	Future Cost Assumptions	Costos Futuros supuestos	Future Cost Assumptions	Costos Futuros supuestos
			Value Based Costing (i.e., Cost	Valor en que se basa el
 TDI-H Estándar sostenible 	NO APLICA ESTE NIVEL DE DETALLE	NO APLICA ESTE NIVEL DE DETALLE	Illuminance	Iluminación
			TotalRadiantLoad	CargaRadianteTotal

Figura 4.5. Parámetros de información para el Estándar Sostenible con NDI-1 y 2

Fuente: (CORFO, 2021)

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

NDI	NDI-3		NDI-4		NDI-5		NDI-6	
	Name	Nombre	Name	Nombre	Name	Nombre	Name	Nombre
TDI-F Requerimientos y Estimación Coste	Conceptual Cost	Costo Conceptual	Conceptual Unit Cost	Unidad Costo Conceptual	Conceptual Unit Cost	Unidad Costo Conceptual	Conceptual Unit Cost	Unidad Costo Conceptual
	Future Cost Assumptions	Costos Futuros supuestos	Future Cost Assumptions	Costos Futuros supuestos	Future Cost Assumptions	Costos Futuros supuestos	Future Cost Assumptions	Costos Futuros supuestos
	Value Based Costing (i.e. Value Based Costing / i.e.	Valor en que se basa el	Value Based Costing (i.e. Value Based Costing / i.e.	Valor en que se basa el Costeo (ej: valor	Value Based Costing (i.e. Value Based Costing / i.e.	Valor en que se basa el Costeo (ej: valor	Value Based Costing (i.e. Value Based Costing / i.e.	Valor en que se basa el Costeo (ej: valor
	Assembly Based Costing	Costo Base de Ensamblaje	Assembly Based Costing	Costo Base de Ensamblaje	Assembly Based Costing	Costo Base de Ensamblaje	Assembly Based Costing	Costo Base de Ensamblaje
	Unit Cost Unit Based Costing	Costo de Unidad / Costeo	Unit Cost Unit Based Costing	Costo de Unidad / Costeo basado en	Unit Cost Unit Based Costing	Costo de Unidad / Costeo basado en	Unit Cost Unit Based Costing	Costo de Unidad / Costeo basado en
	Shipping Cost	Costo de Transporte	Shipping Cost	Costo de Transporte	Shipping Cost	Costo de Transporte	Shipping Cost	Costo de Transporte
	Additional Tax	Impuestos Adicionales	Additional Tax	Impuestos Adicionales	Additional Tax	Impuestos Adicionales	Additional Tax	Impuestos Adicionales
	Total Ownership Cost	Costo Total de Propiedad	Total Ownership Cost	Costo Total de Propiedad (TCO)	Total Ownership Cost	Costo Total de Propiedad (TCO)	Total Ownership Cost	Costo Total de Propiedad (TCO)
	MSRP	Precio sugerido por el fabricante	MSRP	Precio sugerido por el fabricante	MSRP	Precio sugerido por el fabricante	MSRP	Precio sugerido por el fabricante
	Estimated Life Cycle Cost	Costo estimado del ciclo de vida	Estimated Life Cycle Cost	Costo estimado del ciclo de vida	Estimated Life Cycle Cost	Costo estimado del ciclo de vida	Estimated Life Cycle Cost	Costo estimado del ciclo de vida
TDI-H Estándar sostenible	Illuminance	Iluminación	Illuminance	Iluminación	Illuminance	Iluminación	Illuminance	Iluminación
	Total Radiant Load	Carga Radiante Total	Total Radiant Load	Carga Radiante Total	Total Radiant Load	Carga Radiante Total	Total Radiant Load	Carga Radiante Total
	Radiant Heating Output	Salida de calor Radiante	Radiant Heating Output	Salida de calor Radiante	Radiant Heating Output	Salida de calor Radiante	Radiant Heating Output	Salida de calor Radiante
	Light Quantity	Cantidad de Luz	Light Quantity	Cantidad de Luz	Light Quantity	Cantidad de Luz	Light Quantity	Cantidad de Luz
	Life Cycle Phase	Fase del Ciclo de Vida	Life Cycle Phase	Fase del Ciclo de Vida	Life Cycle Phase	Fase del Ciclo de Vida	Life Cycle Phase	Fase del Ciclo de Vida
	Expected Service Life	Expectativas de Vida Útil	Expected Service Life	Expectativas de Vida Útil	Expected Service Life	Expectativas de Vida Útil	Expected Service Life	Expectativas de Vida Útil
	Total Heavy Energy Consumption	Consumo Total de Energía Primaria	Total Heavy Energy Consumption	Consumo Total de Energía Primaria	Total Heavy Energy Consumption	Consumo Total de Energía Primaria	Total Heavy Energy Consumption	Consumo Total de Energía Primaria
	Renewable Energy Consumption	Consumo de Energía Renovable	Renewable Energy Consumption	Consumo de Energía Renovable	Renewable Energy Consumption	Consumo de Energía Renovable	Renewable Energy Consumption	Consumo de Energía Renovable
	NonRenewable Energy Consumption	Consumo de Energía No Renovable	NonRenewable Energy Consumption	Consumo de Energía No Renovable	NonRenewable Energy Consumption	Consumo de Energía No Renovable	NonRenewable Energy Consumption	Consumo de Energía No Renovable
	Water Consumption	Consumo de Agua	Water Consumption	Consumo de Agua	Water Consumption	Consumo de Agua	Water Consumption	Consumo de Agua
	Hazardous Waste	Residuos Peligrosos	Hazardous Waste	Residuos Peligrosos	Hazardous Waste	Residuos Peligrosos	Hazardous Waste	Residuos Peligrosos
	NonHazardous Waste	Residuos No Peligrosos	NonHazardous Waste	Residuos No Peligrosos	NonHazardous Waste	Residuos No Peligrosos	NonHazardous Waste	Residuos No Peligrosos
	Waste	Residuos	Waste	Residuos	Waste	Residuos	Waste	Residuos
	Radon	Radón	Radon	Radón	Radon	Radón	Radon	Radón
	Atmospheric Acidification	Acidificación Atmosférica	Atmospheric Acidification	Acidificación Atmosférica	Atmospheric Acidification	Acidificación Atmosférica	Atmospheric Acidification	Acidificación Atmosférica
	Stratospheric Ozone Layer Depletion	Destrucción de Capa de Ozono	Stratospheric Ozone Layer Depletion	Destrucción de Capa de Ozono	Stratospheric Ozone Layer Depletion	Destrucción de Capa de Ozono	Stratospheric Ozone Layer Depletion	Destrucción de Capa de Ozono
	Photochemical Smog Formation	Formación de Ozono Fotoquímico	Photochemical Smog Formation	Formación de Ozono Fotoquímico	Photochemical Smog Formation	Formación de Ozono Fotoquímico	Photochemical Smog Formation	Formación de Ozono Fotoquímico
	Eutrophication	Eutrofización	Eutrophication	Eutrofización	Eutrophication	Eutrofización	Eutrophication	Eutrofización
	Rem is New	Rem es Nuevo (si - no)	Rem is New	Rem es Nuevo (si - no)	Rem is New	Rem es Nuevo (si - no)	Rem is New	Rem es Nuevo (si - no)
	Recycled Content	Contenido Reciclado	Recycled Content	Contenido Reciclado (porcentaje)	Recycled Content	Contenido Reciclado (porcentaje)	Recycled Content	Contenido Reciclado (porcentaje)
	Post-Industrial Recycled	Contenido Reciclado Post-Industrial	Post-Industrial Recycled	Contenido Reciclado Post-Industrial	Post-Industrial Recycled	Contenido Reciclado Post-Industrial	Post-Industrial Recycled	Contenido Reciclado Post-Industrial
	Pre-Consumer Recycled	Contenido Reciclado Pre-Consumidor	Pre-Consumer Recycled	Contenido Reciclado Pre-Consumidor	Pre-Consumer Recycled	Contenido Reciclado Pre-Consumidor	Pre-Consumer Recycled	Contenido Reciclado Pre-Consumidor
	Carbon Footprint	Huella de Carbono	Carbon Footprint	Huella de Carbono	Carbon Footprint	Huella de Carbono	Carbon Footprint	Huella de Carbono
	Location of Manufacture	Ubicación de Manufactura	Location of Manufacture	Ubicación de Manufactura	Location of Manufacture	Ubicación de Manufactura	Location of Manufacture	Ubicación de Manufactura

Figura 4.6. Parámetros de información para el Estándar Sostenible con NDI-3 a 6

Fuente: (CORFO, 2021)

Para enfatizar lo que se venía planteando anteriormente, los parámetros mencionados en la matriz son generales a modo de título, por lo que se considera que en la actualidad el Estándar Sostenible del PlanBIM Chile, se podría considerar únicamente como una referencia. Además, integrar criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño, implica de por sí una modificación al estándar, que no considera parámetros de este tipo en los niveles de detalle asociados a esta fase.

4.3. Procesos de integración, herramientas y cálculos

En los últimos años, se han realizado varios estudios sobre la aplicación de BIM en el campo de la sostenibilidad, principalmente en las dimensiones económicas y ambientales. Se han propuesto diversos enfoques de integración de BIM, LCA con el fin de simplificar el proceso, reduciendo las entradas manuales y facilitando la lectura de los resultados para aquellos diseñadores que no son especialistas en la temática (Safari & AzariJafari, 2021). Distintos autores han clasificado la integración entre BIM con LCA en tres enfoques: convencional, estático o semi-automático y dinámico (Figura 4.7). El primero, utiliza diversos programas externos a BIM para los análisis de LCA y LCC, mientras que el segundo toma los datos extraídos de un modelo BIM junto a una base de datos de LCA para ingresarlo a un programa externo y realizar el análisis de LCA. Por el contrario, el enfoque dinámico integra la base de datos dentro del modelo BIM considerando las variaciones temporales (Safari & AzariJafari, 2021; Santos et al., 2019).

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

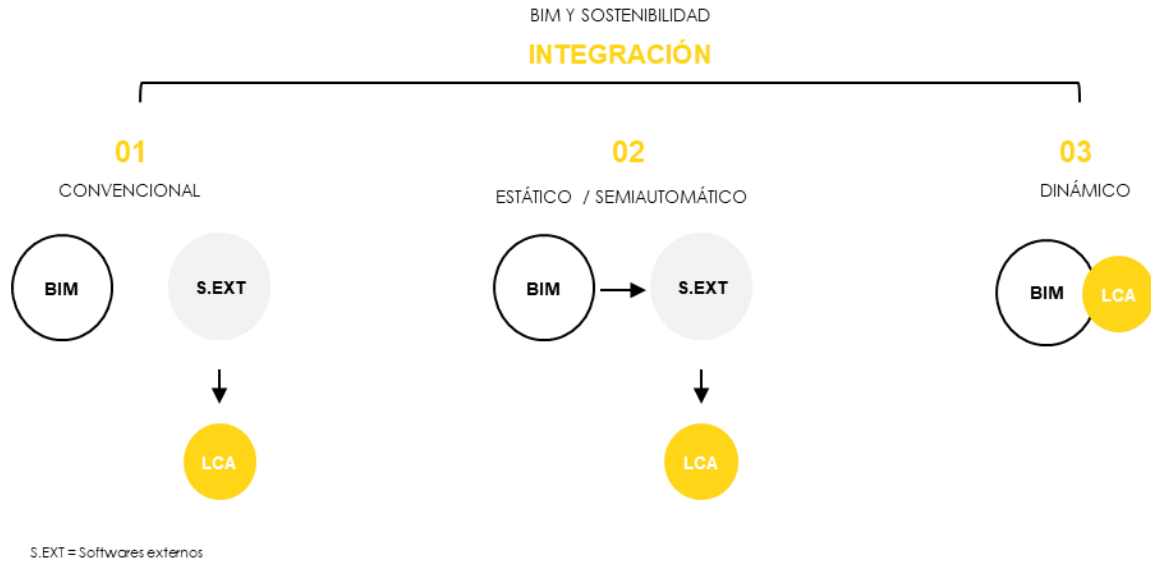


Figura 4.7. Enfoques de integración entre BIM y LCA

Fuente: elaboración propia

Varios estudios han optado por el método convencional, extraer la información de bases de datos y luego realizar el LCA y LCC en un *software* externo a BIM. Por ejemplo, Hao et al (2020) utilizó los *softwares* BIM GGJ2013 y GCL2013 para obtener datos de cuantificación de materiales enviarlos a un archivo Excel y realizar el LCA para una construcción prefabricada. Algunos estudios ingresaron los datos extraídos de un modelo BIM de forma manual a herramientas de LCA para los cálculos ambientales. Como Wang et al. (2011) quien realizó un LCA (emisiones de CO₂ y consumo de energía) de todo un edificio utilizando Ecotect, lo que le permitió identificar alternativas de diseño más sostenibles. Rezaei et al. (2019) utilizaron los datos de salida del modelo en Revit, la base de datos de Ecoinvent y llevó a cabo el estudio del LCA en OpenLCA. Basbagill et al. (2013) utilizó el mismo método para el LCA en etapas tempranas de diseño, pero haciendo uso de diversas herramientas: DProfiler, CostLab, eQUEST, SimaPro, Athena EcoCalculator, Excel y ModelCenter. En los enfoques convencionales la actividad manual para el ingreso de información es alta, lo que conlleva a un incremento de errores humanos, pérdida de información e incertidumbre en los resultados.

Para el método estático o semi-automático, autores como Crippa et al.(2018) obtuvieron la huella de carbono de cuatro muros tomando la información de la base de datos TCPO 13, ingresándolo en SimaPro8. Luego, utilizaron ArchiCAD19 para realizar el modelo, ingresar los datos obtenidos y mediante una hoja de cálculo de Excel, extraer el valor de carbono incorporado para cada componente. Jalaei y Jrade (2014) vinculan el BIM, LCA y un sistema de certificación para edificios (LEED) para evaluar la sustentabilidad del diseño en etapas conceptuales de los proyectos,

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

desarrollaron una base de datos externa con datos ambientales de los materiales (Athena Impact), datos de costo y requerimientos LEED e ingresaron las cantidades obtenidas de un modelo BIM. En otros estudios como los de Carvalho (2019) y Najjar et al. (2019), se crea un modelo en Revit y mediante el complemento Tally, se obtiene la información ambiental de los materiales. Por otra parte, Oti y Tizani (2015) generaron una herramienta que integra los indicadores de coste del ciclo de vida, huella ecológica y huella de carbono para evaluar diversas alternativas de diseño desde las primeras etapas. Se extrae la cuantificación de materiales del modelo BIM y se conecta con la base de datos externa donde se realizan los análisis. Kehily y Underwood (2017) recopilaron la información de cuantificación de un modelo BIM y lo exportaron a una hoja de cálculo con datos de LCC, para distintos materiales. En esta misma dirección, investigaciones que se han centrado en la integración de LCC con LCA, utilizaron los modelos BIM para la obtención de información de cantidades y exportarlas a una hoja de cálculo donde realizaron los análisis de LCA y LCC (Kreiner et al., 2015; Shin & Cho, 2015). Algunos autores optaron por desarrollar sus metodologías utilizando lenguajes de programación como Visual Basic y C#. Por ejemplo, Abanda et al. (2017) automatizan el cálculo de energía incorporada y emisiones de CO₂ alineándolos los resultados con las Reglas de Medición de Reino Unido utilizando Revit, Navisworks y Excel. Siguiendo la programación, Mohamed et al. (2017) proponen un modelo basado en BIM para estimar seis tipos de emisiones durante las fases generales del ciclo de vida de un proyecto. Para eso, utilizaron los datos del modelo en Revit, y el *software* Athena Impact Estimator como fuentes de datos externas y desarrollaron el modelo usando Microsoft Visual Studio con lenguaje C#.

El tercer enfoque, método dinámico se caracteriza por incluir información para el LCA y LCC dentro de BIM. A diferencia de las metodologías anteriores este método permite hacer cambios y actualizaciones de los datos de manera instantánea, sin tener que salir del flujo BIM. Algunos autores han desarrollado integraciones automáticas entre el modelo BIM y las bases de datos. Por ejemplo, Bueno et al. (2018) desarrolla una interfaz de integración entre los datos de LCA en BIM utilizando lenguaje de programación visual, con Dynamo. Como primer paso organizaron los datos ambientales de entrada en una hoja de cálculo, luego crearon parámetros en BIM y se automatizó el vínculo entre ambos mediante programación visual con Dynamo. La visualización de los resultados se programó para Excel. Por otra parte, Hollberg et al. (2020), aplicó un enfoque dinámico para evaluar el potencial del calentamiento global incorporado a lo largo del proceso de diseño de un edificio real. Para ello, generaron un vínculo manual entre la biblioteca de materiales de Revit y los datos de LCA para los

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

materiales de construcción de acuerdo a los ID en la base de datos ambientales Suiza KBOB basada en Ecoinvent. El vínculo establecido es guardado en una hoja de cálculo y se importa a Dynamo. Por último, se calculan los impactos incorporados y se exportan a una hoja de cálculo y al *software* BIM para una visualización de códigos de color. Algunas investigaciones como las de Santos et al. (2020; 2019) se dedicaron a estudiar el potencial de BIM como repositorio de información, mejorar el análisis, la interoperabilidad entre las herramientas y reducir errores. Como primer paso identificaron la información requerida para el análisis de LCA y LCC recurriendo a una metodología IDM/MVD, luego propusieron un marco BIM – LCA/LCC simplificado y completo. Utilizando la herramienta propuesta lograron obtener los impactos de sostenibilidad de un proyecto de manera automática multiplicando el impacto de cada material por su respectivo peso.

Las principales diferencias entre estos tres enfoques de integración son la manera en que se recopilan los datos, los procesos para el intercambio de información, las herramientas utilizadas y los tipos de cálculos. El enfoque tradicional y el estático son los que pueden generar mayor incertidumbre y ser más propensos a errores humanos, debido a la manipulación manual de los datos. Ambos métodos están predispuestos a la pérdida de información en el proceso de intercambio de entre las herramientas, problema de interoperabilidad entre los programas, consumo de gran cantidad de tiempo para los cálculos, entre otras. Por el contrario, el enfoque dinámico al incluir los datos necesarios tanto para el LCA como para el LCC dentro del flujo BIM, permite una retroalimentación continua durante el proceso de diseño, además de reducir el error humano, disminuir costos, tiempo de ejecución, y la necesidad de contar personas con experiencia en el campo.

Safari y AzariJafari (2021) realizaron una revisión bibliográfica de investigaciones enfocadas en la integración de BIM-LCA en la última década. Como se puede apreciar en la Figura 4.8, dentro de los casos de muestra el enfoque convencional fue el más utilizado, seguido por el estático y el dinámico. En cuanto a las herramientas, Revit y Excel son los más empleados, seguidos por las bases de datos de Athena Impact Estimator, Simapro y Tally.

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

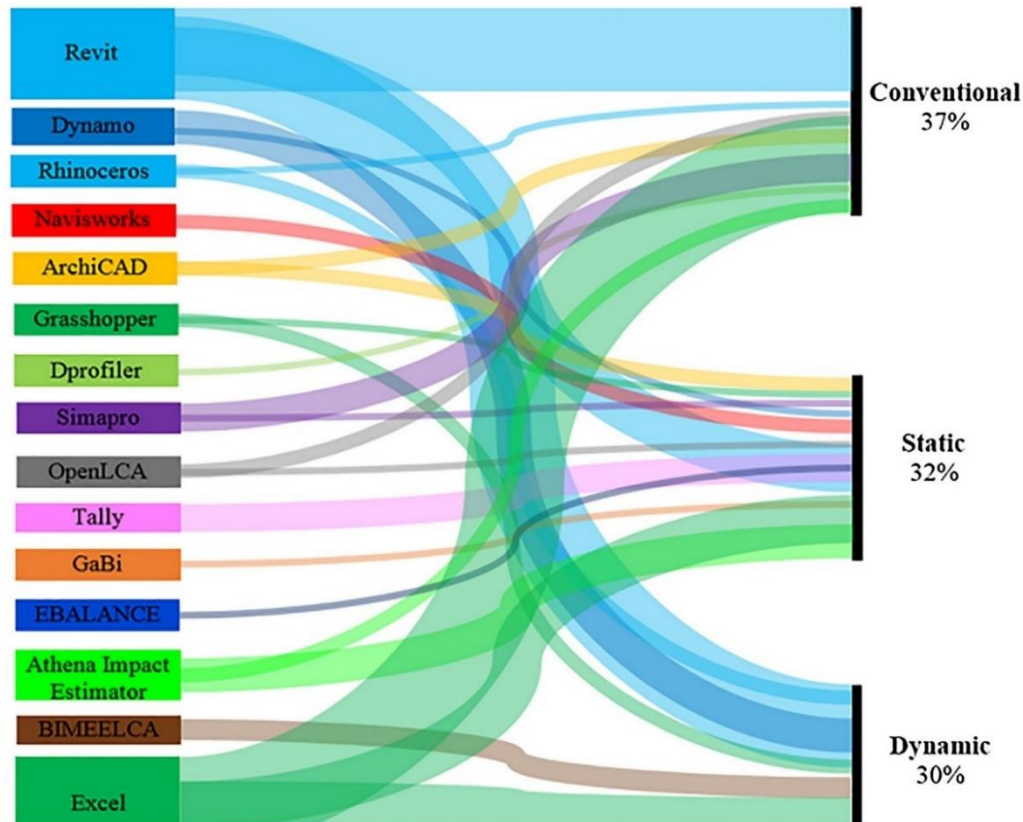


Figura 4.8. Integración de softwares para LCA-BIM

Fuente: (Safari & AzariJafari, 2021)

4.4. Integración de BIM con criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño

Diversos investigadores han reconocido la importancia de la reducción del impacto ambiental del ciclo de vida de las edificaciones desde las etapas tempranas de diseño (Basbagill et al., 2013). Se ha demostrado que a medida que avanza el proyecto la posibilidad de aplicar alternativas disminuye y aumenta el costo del cambio (Safari & AzariJafari, 2021).

El uso de BIM en fases tempranas fortalece la toma de decisiones, ofreciendo a los proyectistas la información necesaria para determinar los impactos ambientales y energéticos del sector de la construcción durante todo el ciclo de vida de los materiales (Antón & Díaz, 2014). La integración de BIM con las metodologías de LCA y evaluaciones económicas en etapas iniciales permite a los diseñadores, probar distintas opciones de diseño y seleccionar aquellos componentes que tengan mejor equilibrio entre costo económico y ambiental (Jalaei, Guest, et al., 2020). Sin embargo, existen ciertas limitaciones debido a que en esta etapa la información disponible sobre las materialidades, cuantificaciones o procesos es escasa o incierta (Harter, et al. 2020).

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

Las etapas de un proyecto se asocian a los NDI, y como se manifestó en el apartado 2.5, las fases tempranas de diseño se asimilaran al NDI-1 y NDI-2. A su vez, el NDI de un modelo puede limitar las entradas y salidas de un LCA. Un LCA con NDI-1 (LOD 100) se considera un LCA cribado donde se considera información general. Para que sea un LCA simplificado, el nivel de detalle debe estar sobre un NDI-1 y por debajo de un NDI-4 (LOD 400) (Santos et al., 2019). Mientras que, para un LCA detallado se requiere de un NDI-4 o superior, donde la información es significativa y detallada (este nivel se asocia al requerido para realizar análisis, por ejemplo, en la herramienta Ábaco-Chile).

Cavalliere et al. (2019) investigaron los cambios de los resultados del LCA, a medida que evolucionada el modelo BIM de un LOD 100 (NDI-1) a un LOD 400 (NDI-4). Su estudio sugiere que, a medida que se incrementa el NDI en el modelo, la tasa de desviación en los resultados del LCA de la gran parte de los elementos del proyecto se reduce respecto a lo obtenido con un NDI-1. Por esta razón, aunque los resultados de un LCA en etapas iniciales de un proyecto donde los NDI, aún son bajos no son precisos ni definitivos, pueden influir sobre el resultado de la sostenibilidad de la edificación en etapas posteriores.

Por otro lado, el alcance del LCA se limitó a las etapas iniciales, lo que abarca desde la extracción de materia prima, su transporte a fábrica, la fabricación del material, el transporte a obra y construcción (etapas A1-A5 según la UNE-EN 15978:2012). Para poder incluirlo en un modelo con un NDI-1 es importante documentar posibles opciones de diseño para las distintas categorías de una edificación y calcular sus impactos utilizando una base de datos.

4.5. Conclusiones capítulo 4

A nivel general, la sostenibilidad en BIM adjudicada a lo ambiental se suele asociar al ahorro de energía, a la reducción de cantidad de materiales, la iluminación, o la aplicación de certificaciones como LEED, BREEAM o Passivhaus. A pesar de que en diversas certificaciones se menciona otros enfoques de la sostenibilidad como la reducción de emisiones de CO₂, no se hace énfasis en la misma. Por otro lado, el campo de la investigación ha comenzado a desarrollar nuevas aplicaciones o *plugins* que se enfocan en temáticas relacionadas a la sostenibilidad como: evaluación de impactos ambientales, directrices de diseño medioambiental, gestión de residuos, entre otras. Igualmente, se considera que existe una falta de toma de decisiones integradas y sostenibles y que una de las razones es la escasez o la ineficiencia de los requisitos.

Capítulo 4. Integración de BIM con criterios ambientales y económicos

A pesar de que se considera que el Estándar BIM, es una buena herramienta para mejorar la productividad de la industria de la construcción, se han identificado a partir de la revisión del estado del arte, carencias en cuanto a las consideraciones de la sostenibilidad en los proyectos. Se recomiendan diversos parámetros, pero de manera genérica y en fases finales de diseño, cuando las decisiones ya no tienen influencia sobre el impacto de las edificaciones.

A la luz de los antecedentes levantados, podría señalarse que es necesario generar un mayor vínculo a nivel país entre el Estándar BIM y las certificaciones y clasificaciones en materia de sostenibilidad existentes. De esta manera se idearía un camino común que beneficiaría la productividad y sostenibilidad de la industria de la construcción alineándose con las estrategias de desarrollo sostenible a nivel país.

Es importante también tener en consideración, la estandarización de las nomenclaturas entre las bases de datos de sostenibilidad nacionales, los códigos de los distintos organismos y del Estándar BIM para evitar errores y agilizar el proceso de vinculación entre las mismas.

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

Este capítulo tiene como objetivo desarrollar conceptualmente, implementar y validar una integración estática entre criterios de sostenibilidad, ambientales y económicos y la metodología y herramientas BIM para etapas tempranas de diseño de edificaciones, focalizándose en la disciplina de arquitectura.

5.1. Desarrollo de la integración

5.1.1. Conceptualización

La integración propuesta se compone de cuatro pasos: *(1) identificación y recopilación de datos de entrada, (2) creación de un vínculo entre la base de datos ambientales y de costos y BIM, (3) recolección de datos y evaluación de sostenibilidad de las opciones de diseño y (4) visualización de los resultados.*

Primero, se seleccionó y organizó de la base de datos la información necesaria. A continuación, se generó una programación que permitió vincular la información de la base de datos ambiental y económica con los distintos elementos del modelo BIM. Luego, se recogió del modelo BIM, la información necesaria para evaluar los impactos ambientales y económicos y se calculó para las distintas opciones de diseño. Por último, se evaluó y comparó los impactos de las opciones de diseño a través de visualización gráfica.

(1) Identificación y recopilación de datos de entrada

Esta etapa tiene como objetivo identificar y reunir la información necesaria para evaluar los impactos ambientales y económicos de distintos elementos constructivos y ser incorporado en el modelo BIM. Para incluir esta información, hay que tener en cuenta varios aspectos, como el límite del sistema, los criterios de sostenibilidad a implementar y los elementos del proyecto.

La integración propuesta se limitó a etapas tempranas de diseño dentro de la disciplina de la arquitectura, es decir, entre el diseño conceptual, de anteproyecto y básico con un NDI entre 1 y 2. Dado que, en fases iniciales del diseño arquitectónico, no se tiene definido con certeza la composición de los cerramientos (envolventes) a emplear, se estimó conveniente crear para diferentes categorías del modelo, una biblioteca con opciones de tipos de elementos, a los que se les pueda asociar las

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

distintas categorías de impacto. Para poder incorporar los costos, asociados a cada tipo de elemento, se debió identificar previamente las opciones de cerramientos a implementar y detallar los componentes.

Las cargas ambientales y económicas pueden obtenerse de las bases de datos (preferentemente locales para una mayor aproximación a la realidad), pero para ello primero se tuvo que determinar los indicadores de sostenibilidad a incorporar y la etapa del ciclo de vida a evaluar (A1-A5). Por último, se extrae de la base de datos los valores unitarios de los indicadores respectivos para cada componente y se suman para obtener el costo total unitario por indicador para cada solución como se muestra en la Ecuación 5-1.

$$\text{Costo unitario por indicador y elemento} = \text{costo unitario componente 1} + \text{costo unitario componente 2} + \dots + \text{costo unitario componente n (unidad del indicador / m}^2 \text{ o unidad)}$$

Ecuación 5-1

(2) Creación de un vínculo entre la base de datos y BIM

Para continuar, se debió crear una conexión, entre la información ambiental y económica recopilada en la etapa anterior y el modelo BIM. En este punto, es importante que cada elemento del modelo tenga asociado una nota clave que lo identifique, esto servirá posteriormente para vincular los impactos obtenidos de la base de datos a los elementos del modelo. Se sugirió relacionar el índice de la nota clave, con el de la categoría para asociarlos rápidamente y continuar con una numeración, quedando por ejemplo M01 para la categoría muros, V01 para Ventanas, P01 para puertas, etc.

El modelo BIM, se caracteriza por contener una gran cantidad de información asociada a los elementos, a través de parámetros como el material, la altura, el volumen, el área, entre otras. Sin embargo, los atributos de sostenibilidad generalmente no están vinculados. Por esta razón y como primer paso, se debió crear parámetros de proyecto no nativos (aquellos que no vienen por defecto incluidos en el programa) del tipo compartido (para poder aplicarlo en varios proyectos) asociados a una o varias categorías y agrupados dentro de las propiedades de Edificios Verdes, denominándolos con el nombre del indicador junto a la unidad de medida.

Luego, se debió incluir dentro del *software* de modelado, la lista de opciones de tipos de elementos de la envolvente por categorías definidos en el punto anterior. Por último, mediante una herramienta

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

de programación, se vinculó a los parámetros no nativos, los valores unitarios de los indicadores obtenidos en el punto (a) asociándolos a los distintos tipos de elementos a través de la nota clave.

(3) Recolección de datos y evaluación de sostenibilidad de las opciones de diseño

Las cubriciones de cada elemento de la envolvente y los valores de los indicadores asociados se extraen del modelo BIM por categoría. A continuación, se calcula el impacto ambiental y económico total por parámetro y por elemento. Dado que los parámetros de los indicadores se presentaron en términos de valor unitario por m² o unidad, se multiplicó el valor del indicador por la cantidad del componente como se muestra en la Ecuación 5-2.

$$\text{Costo total por indicador y elemento} = \text{valor unitario indicador (unidad del indicador / m}^2 \text{ o unidad)} * \text{cubicación elemento (m}^2 \text{ o unidad)}$$

Ecuación 5-2

Para conocer el impacto por opción de diseño se procedió a sumar los costos totales de cada elemento componente de la solución como se detalla en la Ecuación 5-3.

$$\text{Costo total por indicador y opción de diseño} = \text{Costo total elemento 1} + \text{Costo total elemento 2} + \dots + \text{Costo total elemento n}$$

Ecuación 5-3

(4) Visualización de los resultados

Para facilitar la comprensión de la relación entre los impactos en sostenibilidad de las distintas opciones de diseño, se optó por una visualización dinámica que facilite el entendimiento y toma de decisiones a los diseñadores no expertos en la temática durante el proceso de diseño, a través del cual puedan observar los resultados de las diferentes estrategias de diseño y cómo estas influyen, sobre la sostenibilidad del proyecto. Se generaron distintos gráficos, donde visualizar y comparar los impactos por indicador y por opción de diseño, además se implementó una gráfica, donde se relacionan todos los indicadores y las distintas soluciones para una mejor lectura. También, se incluyó la descripción y composición de las distintas opciones de diseño.

5.1.2. Implementación

Se desarrolló una programación informática para la implementación del flujo de trabajo propuesto en el apartado 5.1.1 para fases tempranas del diseño arquitectónico de edificaciones. Como se muestra en la Figura 5.1., se utilizó el entorno BIM para vincular y gestionar la información de la base de datos

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

con el modelo, calcular los impactos sobre la sostenibilidad y presentar visualmente los resultados. Se empleó la base de datos ambientales y económicos de Ábaco-Chile versión 1, recopilando y gestionando la información en Microsoft Excel para vincularla posteriormente a los elementos del modelo generados en Autodesk Revit 2022, a través de parámetros no nativos, creados mediante la programación visual de Dynamo 2.12.

Para evaluar los impactos de las distintas opciones de diseño, se extrajeron las cantidades del modelo en Revit a través de Dynamo, donde se realizaron los cálculos y se enviaron a una hoja Excel para visualizar posteriormente los resultados gráficos en un tablero de PowerBI.

Es importante mencionar que la metodología propuesta a continuación, es una de muchas posibles formas de aplicación, por lo que se puede optar por utilizar otras herramientas para ponerla en práctica como por ejemplo C# para programación; Excel o Tableau para visualización; ArchiCAD para modelado; RICS o Ecoinvent como bases de datos, entre muchas otras.



Figura 5.1 Estructura de la integración propuesta entre criterios ambientales y económicos y BIM

Fuente: elaboración propia

(1) Identificación y recopilación de datos de entrada

Para comenzar, se procedió a descomponer las distintas opciones de soluciones constructivas de muros (detallado en la Tabla 3-1), asociándolas a las actividades de la herramienta Ábaco-Chile. De la base de datos, se exportó a una planilla Excel los valores unitarios asociados a los indicadores ambientales de energía contenida (MJ), emisiones de GEI (kgCO₂-eq) y costo económico (\$ chileno) para cada una de las actividades consideradas.

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

En la Tabla 5-1, y a modo de ejemplo, se muestra la descomposición del cálculo de la energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M01, el detalle completo del cálculo unitario de los indicadores para las distintas soluciones de muros se encuentra adjunto en el Anexo B. Se calculan los valores unitarios por indicador y por opción de cerramiento siguiendo la Ecuación 5-1.

Tabla 5-1. Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M01.

Fuente: Ábaco-Chile

Código Ábaco-Chile	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
DHB0002	Conf/estructura tabique 2"x3" pino dimensionado/riostros diagonales 2"x3"	m ²	1155.85	125.84	7847.00
DIG0001	Coloc/rev/plancha yeso cartón 10 mm	m ²	9.81	0.87	9987.00
DHA0031	Coloc/tablero OSB 11.1 mmx1.22x2.44 m estructural de pino/sobre costaneras	m ²	6294.45	609.85	4494.00
DKB0005	Sum/coloc/ poliestireno expandido 50 mm sobre cielo	m ²	7.22	0.62	6086.00
Total M01		m ²	7467.33	737.18	28414.00

Para la categoría ventanas, no fue necesario replicar el proceso ya que Ábaco-Chile cuenta dentro de sus recursos con los valores unitarios para la solución como se presenta en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2. Energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para las opciones de ventanas.

Fuente: Ábaco-Chile

Código Ábaco-Chile	Código	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
MTVVV0020	V01	Ventana termopanel PVC blanco, 100x100 cm	un	14006.62	994.34	130000.00
MTVVV0194	V02	Ventana aluminio termopanel de 1 hoja corredera, 120x120 cm y 33 kg	un	23110.92	1640.66	110000.00
MTVVV0196	V03	Ventana aluminio termopanel corredera, 150x200 cm y 70.4 kg	un	49303.30	3500.07	125000.00
MTVVV0307	V04	Ventana aluminio termopanel proyectante fija, 60x120 cm y 12.96 kg	un	9076.29	644.33	100000.00

Por último, en una hoja de Excel, se creó una tabla federada, la cual contiene los valores totales por indicador y por opción de cerramiento, junto a su código y descripción, la que se utilizó en la siguiente etapa para vincular los datos a los elementos del modelo BIM.

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

(2) Creación de un vínculo entre la base de datos y BIM

Para generar una conexión, entre la información ambiental y económica obtenida en el paso anterior y el modelo BIM, se comenzó creando dentro de la interfaz de Revit distintos tipos de muros, familias y tipos de ventanas nombrándolos con el código identificador que le fue designado a cada elemento en la Tabla 3-1. Este código también fue asociado al parámetro *Assembly Code* que se encuentra dentro de las propiedades de tipo como se muestra en la Figura 5.2.

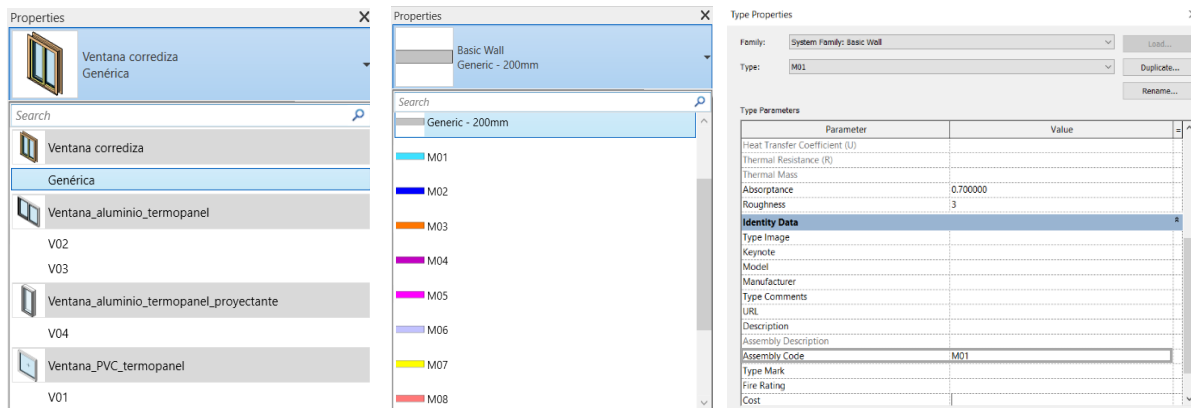


Figura 5.2. Tipos de muros y ventanas creados en Revit junto al parámetro *Assembly Code* dentro de las propiedades de tipo.

A continuación, se escribió un *script* de Dynamo en Autodesk Revit denominado *Script 1* para vincular la información de los indicadores calculados en el punto 1 a parámetros de los tipos de muros y ventanas generados, asociándolos por su código. El detalle del *script* se puede consultar en el Anexo C.

Para ello, utilizando la programación visual de Dynamo, (I) se importó el archivo Excel con la tabla federada (generada en el punto 1) y (II) se deconstruyeron las listas para obtener, por un lado, los valores y por otro el nombre de los indicadores y de los códigos. Luego, (III) para los indicadores “Emisiones de GEI unitaria (kgCO₂-eq)” y “Energía contenida unitaria (MJ)”, se crearon dos nuevos parámetros compartidos no nativos del tipo numérico, agrupados dentro de las propiedades de Edificios Verdes. Para continuar, (IV) se utilizaron colectores por categoría, para obtener un listado de los tipos de muros y ventanas únicos presentes en el modelo y su código. Las listas se filtraron para quedar únicamente con aquellos elementos cuyo código coincida con los de la planilla Excel. Finalmente, (V) mediante una secuencia de nodos, se mapea la información y se asigna a cada parámetro (nativos y no nativos) los valores del indicador correspondiente, asociándolo al elemento

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM por su código (Figura 5.3). Para el caso del indicador Costo Económico (\$ CHI) y de la descripción de la opción de envolvente se utilizaron los parámetros nativos *Cost* y *Description* pertenecientes al grupo *Identity Data*.

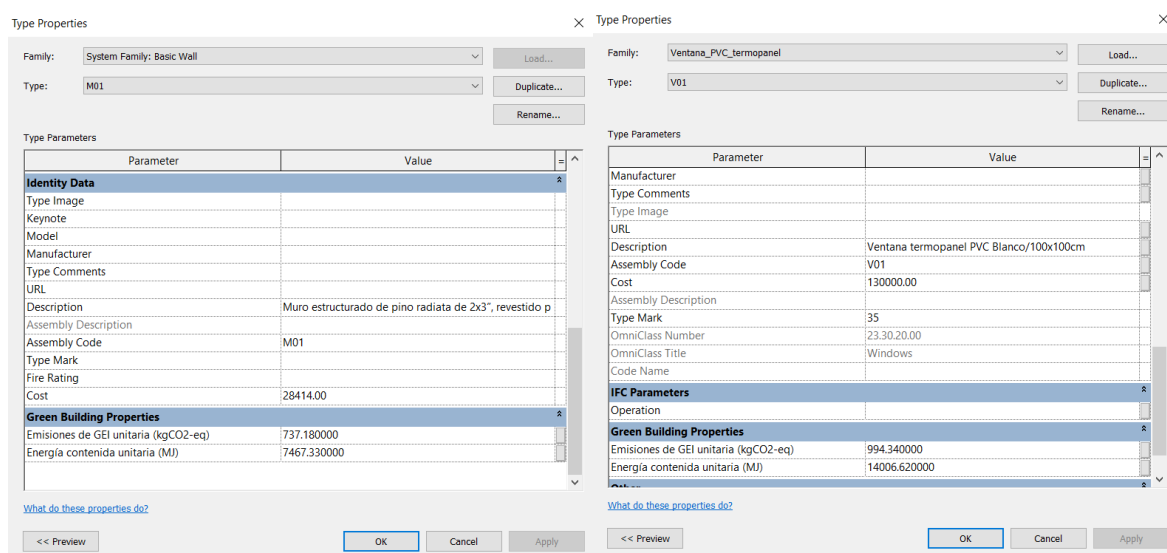


Figura 5.3. Resultado de la vinculación de los datos ambientales y económicos a los parámetros de Revit

(3) Recolección de datos y evaluación de sostenibilidad de las opciones de diseño

Se diseñó un segundo *script* (detallado en el Anexo C) para extraer la cantidad de cada elemento en uso en el modelo, realizar los cálculos y procesar la información a exportar para la visualización gráfica del punto 4.

En primer lugar, (I) se seleccionaron mediante colectores por categoría los elementos en uso en el modelo, así como (II) la información de los parámetros *Assembly Code*, *Description*, *Area*, *Cost*, Energía contenida unitaria y Emisiones de GEI unitaria. Seguidamente, (III) se ordenó la información obtenida y se crearon listas por categoría y por parámetro, donde se detallaba el dato asociado al código del elemento. Para el caso del área de los muros y la cantidad de ventanas se agruparon los elementos con el mismo código y se sumaron sus valores. Luego, (IV) se filtraron los valores nulos de las listas adquiridas para evitar posibles errores en los cálculos. Ya con las listas limpias, se procedió a realizar los cálculos de los impactos, (V) primero por elemento y por parámetro siguiendo la Ecuación 5-2; para luego (VI) calcular los totales por opción de diseño mediante la Ecuación 5-3. Para poder identificar fácilmente la composición de las opciones de diseño (muros + ventanas) creadas en el modelo se programó la configuración de la descripción de sus componentes. Para ello, (VII) se creó una lista que contenga los códigos de los muros y ventanas, se filtraron los valores vacíos

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

y se modificó la lista para que los códigos de los muros se unan a los códigos de las ventanas mediante un conector de guion bajo.

Previo a enviar la información a una planilla Excel (VIII), se debió ordenar los datos, agregar al inicio de cada lista el nombre del parámetro y fusionarlas en una nueva lista. Después, (IX) se utilizó un conjunto de nodos para establecer el nombre a la opción de diseño y a la hoja Excel, la misma se configuró con el prefijo OP seguido por un número que debía asignarlo el usuario mediante un *input* en Dynamo Player dentro de la interfaz de Revit (Figura 5.4). Finalmente, se exportó la información a un documento Excel.

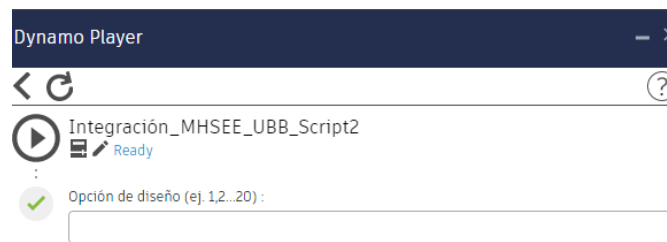


Figura 5.4. Input a definir por el usuario en Dynamo Player

Para poder leer correctamente la información en la herramienta de visualización, fue necesario (X) importar el archivo Excel recientemente exportado excluyendo la lectura de las hojas “Hoja1” (generada automáticamente por Excel) y “Tabla federada”, para tomar únicamente las opciones de diseño (OP1, OP2, etc). (XI) Deconstruir la lista importada en dos partes, la primera que contenga los nombres de los parámetros y la segunda la información asociada a esos parámetros. Para continuar, se filtró la lista de los nombres por ítems únicos para evitar repeticiones y se incluyó el ítem “Opción de diseño” al inicio. En la segunda lista, se agregó el nombre de la opción de diseño (ejemplo, OP1) extraída del archivo Excel (paso X) al comienzo de cada sub lista. Luego, se unieron nuevamente ambas listas (primera y segunda), se limpiaron de valores nulos o vacíos y finalmente (XII) se envió a Excel. En la Figura 5.5 se muestra la estructura del archivo Excel exportado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Opción de diseño	Composición	Descripción	Área de muro	Cantidad de ventanas	Energía contenida total (MJ)	Emisiones de GEI totales (kgCO2eq)	Costo total (\$CHI)	
2	OP1	M08_V02	M08_Panel ISOPOL, poliest	57.68	3	84531.44	6733.7088	2043326.72	
3	OP2	M08_V03	M08_Panel ISOPOL, poliest	53	3	161875.4	12164.94	1949312	
4	OP3	M07_V04	M07_Panel estructural cor	59.84	3	285334.9468	26771.3772	5502070.72	
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									

Figura 5.5. Estructura del archivo Excel obtenido mediante el Script 2

Fuente: elaboración propia

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

(4) Visualización de los resultados

Para la visualización de resultados se optó por la herramienta PowerBI. Como primer paso, se debió importar el archivo Excel resultado del punto 3 y seleccionar únicamente la hoja “Tabla federada”. En base a esta información, se generó un tablero interactivo con cuatro gráficas como se puede ver en la Figura 5.6. Mediante las gráficas del tipo dona que se encuentran a la izquierda, se buscó comparar los impactos de las distintas opciones de diseño por indicador. Mientras que, con el gráfico de dispersión de la derecha, se representó la relación entre los tres indicadores para cada opción, siendo el eje *x* las emisiones de GEI totales (kgCO₂-eq), el eje *y* el costo total (\$ chileno) y el tamaño del círculo la energía contenida total (MJ). En todas las gráficas se diferencia a las opciones de diseño por color, como se muestra en las leyendas.

También, se incluyeron algunas tarjetas interactivas para que, al seleccionar una opción de diseño, se detalle la información sobre su área de muro, cantidad de ventanas, nombre de la composición, descripción de la misma, y los valores de los impactos junto a su unidad.

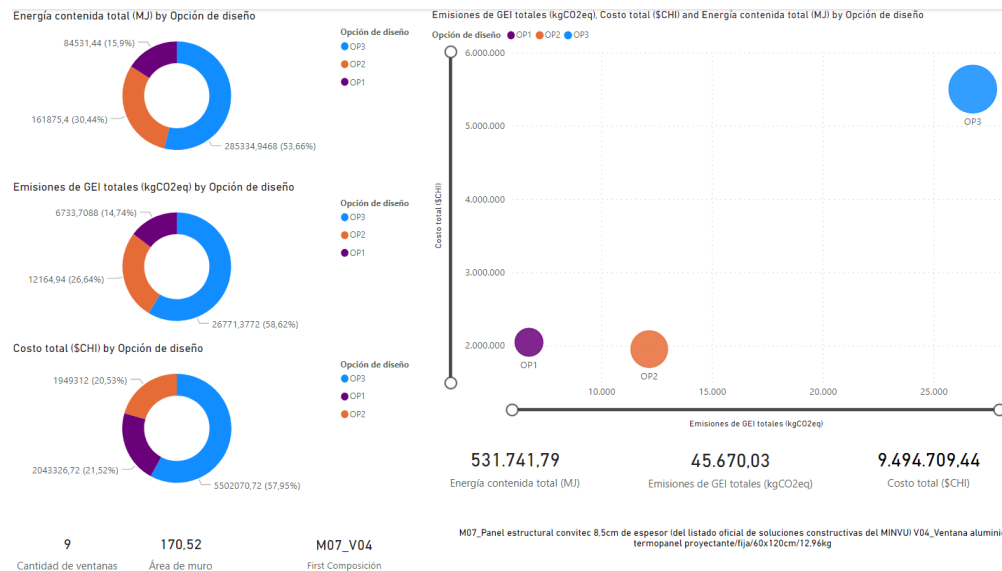


Figura 5.6. Visualización gráfica de los resultados en PowerBI

Fuente: elaboración propia

5.2. Validación de la integración

De la validación solicitada al grupo de evaluadores, se obtuvo una tasa de respuesta del 40% es decir, se contó con la participación de 10 profesionales. Como primer paso, los participantes evaluaron la integración mediante la aplicaron del caso práctico detallado en el apartado 3.3. Luego,

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

debieron contestar una encuesta *online* para conocer su actitud frente a la integración propuesta y poder medirla en términos de (a) tiempo, (b) aplicabilidad, (c) facilidad de uso y (d) escalabilidad.

De los participantes, el 50% manifestó tener bastante o mucha experiencia en el modelado y revisión de proyectos en BIM en su flujo de trabajo actual (Q1). El 80% declaró contar con experiencia en el diseño de proyectos arquitectónicos (Q2), de los cuales el 63% considera criterios sostenibles para la toma de decisiones arquitectónicas desde las fases tempranas de diseño, un 13% los tiene en cuenta en la fase previa a la construcción y el 25% restante no los considera, sino que otros profesionales se encargan de eso (Q3).

El 60% de los profesionales indicó tener experiencia en realizar Análisis de Ciclo de Vida (Q4), siendo las herramientas de LCA el método más utilizado en un 67% (Q5). A su vez, el 83% de los expertos en este tipo de evaluación, expresó que el método que usa actualmente permite ser aplicado en fases tempranas de diseño (Q6). La Figura 5.7 presenta un resumen de la cantidad de participantes con experiencia en las distintas áreas, además del desglose de cada grupo en subgrupos de acuerdo a similitud de conocimientos.

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

10 PROFESIONALES PARTICIPARON DE LA VALIDACIÓN

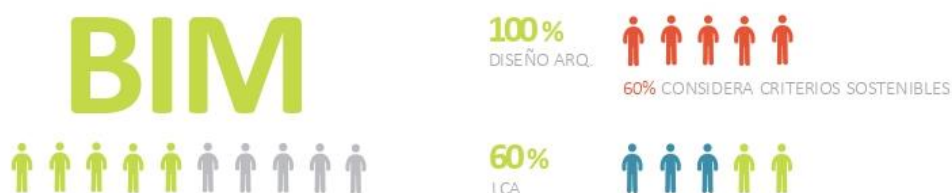
25 PROFESIONALES FUERON INVITADOS A PARTICIPAR

40% FUE LA TASA DE RESPUESTA OBTENIDA

CANTIDAD DE PARTICIPANTES CON EXPERIENCIA EN LAS DISTINTAS ÁREAS



CANTIDAD DE PARTICIPANTES CON EXPERIENCIA EN **BIM** QUE ADEMÁS CUENTA CON CONOCIMIENTOS EN OTRA ÁREA



CANTIDAD DE PARTICIPANTES CON EXPERIENCIA EN **DISEÑO ARQUITECTÓNICO** QUE ADEMÁS CUENTA CON CONOCIMIENTOS EN OTRA ÁREA



CANTIDAD DE PARTICIPANTES CON EXPERIENCIA EN **LCA** QUE ADEMÁS CUENTA CON CONOCIMIENTOS EN OTRA ÁREA

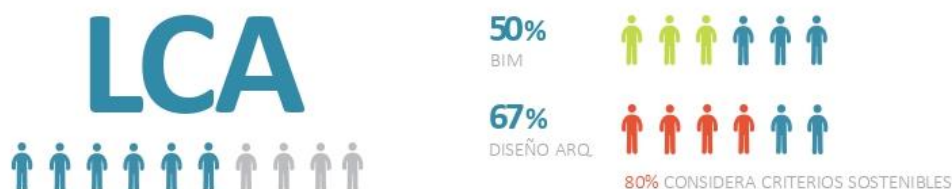


Figura 5.7. Caracterización de los evaluadores por experiencia en BIM, diseño arquitectónico y análisis del ciclo de vida

Fuente: elaboración propia

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

En la Tabla 5-3 se observa que todas las preguntas relacionadas a la integración propuesta (Q8 a Q14) obtuvieron respuestas con 4 o 5 puntos, actitudes favorables.

Tabla 5-3. Resultados de la encuesta al grupo evaluador para las categorías tiempo, aplicabilidad, facilidad de comprensión y escalabilidad.

Fuente: elaboración propia

	1	2	3	4	5
(a) Tiempo					
En base a su experiencia, utilizando la integración propuesta entre criterios sostenibles y el flujo BIM, y teniendo en cuenta el proceso de diseño de edificios, considera que el tiempo que requiere usualmente para evaluar la sostenibilidad en un proyecto y tomar decisiones ecoeficientes es...					
(Q7) * ...Con método que utiliza actualmente	33%	17%	33%	17%	0%
(Q8) * ...Con la integración propuesta	0%	0%	33%	67%	0%
(b) Aplicabilidad					
(Q9) La integración propuesta se puede adoptar fácilmente al flujo de trabajo de un proyecto de diseño	0%	0%	0%	40%	60%
(Q10) La integración propuesta es flexible para evaluar distintas opciones de diseño	0%	0%	0%	20%	80%
(c) Facilidad de comprensión					
(Q11) Los resultados gráficos de la integración propuesta son rápidos y fáciles de entender e interpretar	0%	0%	0%	50%	50%
(Q12) La integración propuesta permite tomar mayor conciencia de la sostenibilidad a los diseñadores	0%	0%	0%	20%	80%
(Q13) La integración facilita la toma de decisiones con criterios sostenibles en etapas tempranas de diseño	0%	0%	0%	30%	70%
(d) Escalabilidad					
(Q14) La integración propuesta se puede aplicar fácilmente en diferentes proyectos	0%	0%	10%	40%	50%

*Donde 1 (mucho) a 5 (ninguna), para las demás preguntas 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo).

Respecto al tiempo (a), el 50% de los encuestados consideró que el tiempo requerido para analizar un proyecto con el método que utiliza actualmente es bastante o mucho, mientras que 50% restante planteó que es suficiente o poco (Q7). En cuanto a la integración propuesta, el 67% manifestó que requiere poco tiempo y el 33% suficiente (Q8). De acuerdo a la escala de Likert, el método actual utilizado por los evaluadores obtuvo en promedio un puntaje de 2.3 y el propuesto 3.7, siendo 5 puntos el máximo (actitud muy favorable) y 1 el mínimo (actitud muy desfavorable).

En relación a la aplicabilidad (b), el 100%, estuvo de acuerdo o muy de acuerdo en que la integración propuesta es fácilmente adoptable al flujo de trabajo de un proyecto de diseño (Q9) y que posee flexibilidad para evaluar distintas opciones de diseño (Q10). Aplicando Likert la integración propuesta alcanzó un puntaje promedio de 9.4, siendo 10 puntos el máximo y 2 el mínimo.

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

En el apartado de facilidad de comprensión (c), el 100% manifestó estar de acuerdo o muy de acuerdo sobre la facilidad y rapidez de entender e interpretar los datos gráficos (Q11), el incremento en el aporte a los diseñadores para evaluar la sostenibilidad (Q12) y facilitar la toma de decisiones con criterios sostenibles en etapas tempranas de diseño (Q13). La evaluación mediante Likert confirmó la actitud favorable de los encuestados, obteniendo un puntaje promedio de 14, de un mínimo de 3 y una máxima de 15.

Finalmente, sobre la escalabilidad el 90% planteó estar de acuerdo o muy de acuerdo en que la integración propuesta es fácilmente escalable a otros proyectos (Q14). Respecto a Likert, la integración propuesta consiguió un puntaje promedio de 4.4, siendo 1 punto el mínimo y 5 puntos el máximo.

En términos globales, el análisis mediante la escala de Likert, muestra que, para la integración propuesta, las respuestas se encuentran por encima del sector medio superior con un puntaje promedio de 27.8 (siendo el mínimo 6 y el máximo 30) considerando todas las preguntas menos la asociada al tiempo (93%). Puntaje promedio de 31.2 (siendo el mínimo 7 y máximo 35) considerando solo las 6 respuestas de quienes además respondieron la pregunta del tiempo (89%), es decir, los participantes con experiencia en el área de sostenibilidad. Esto refleja una actitud favorable a muy favorable, de los encuestados.

La Figura 5.8 resume el promedio obtenido por sección, la categoría tiempo (a) alcanzó un 73%, la aplicabilidad (b) un 94%, la facilidad de comprensión (c) un 93%, y la escalabilidad (d) un 88%.

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

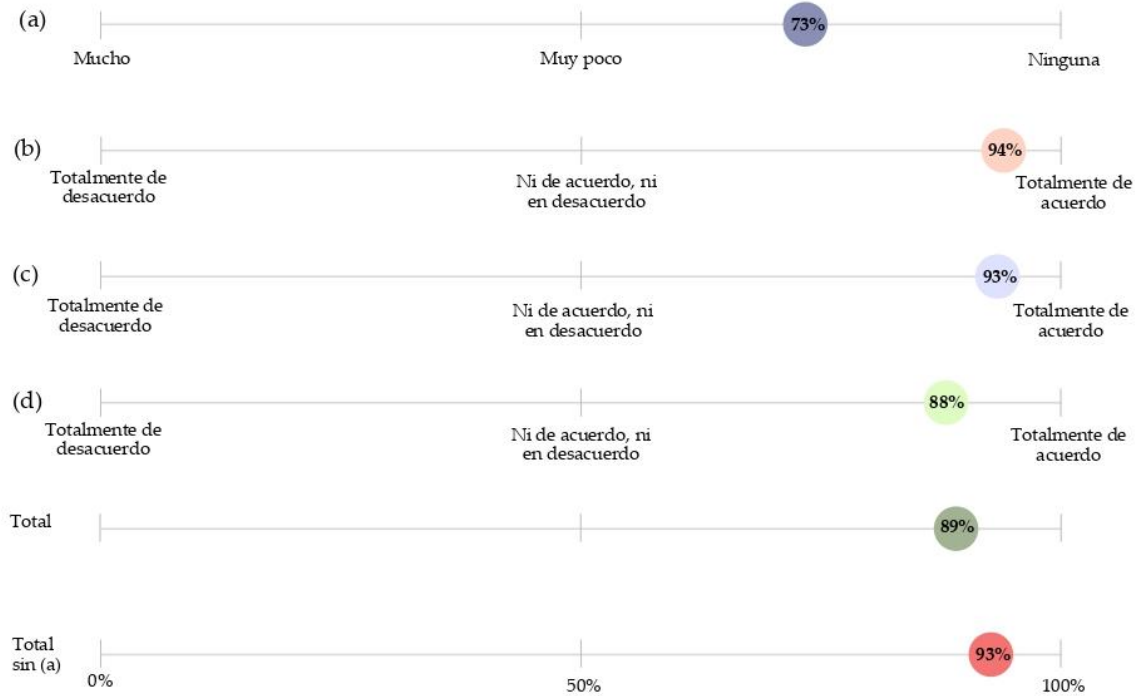


Figura 5.8. Resultados de la encuesta al grupo evaluador, promedio por sección a) tiempo, b) aplicabilidad, c) facilidad de comprensión, d) escalabilidad, e) Total participantes con experiencia en sostenibilidad, f) Total todos los participantes (sin considerar categoría tiempo).

Fuente: elaboración propia

Según las respuestas abiertas, los encuestados identificaron que la integración propuesta tiene numerosas fortalezas (Figura 5.9), posibilidad de simplificar el Análisis de Ciclo de Vida de opciones de diseño desde etapas tempranas, facilitando su inclusión en el flujo de trabajo y reduciendo inconsistencias y reprocesos en etapas avanzadas, flexibilidad a la hora de evaluar modificaciones de diseño en un proyecto, rapidez en la obtención de resultados, facilidad de visualización e interpretación de la información apoyando la toma de decisiones para mejorar la sostenibilidad de los proyectos, usabilidad y amigabilidad de la interfaz para profesionales sin experiencia (Q15).



Figura 5.9. Resultados de la encuesta al grupo evaluador, fortalezas de la integración identificadas

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

Respectos de las limitaciones identificadas, (Figura 5.10), se señala que aún falta desarrollo a nivel de programación para ser integrado completamente en el entorno de modelado BIM, de una manera más automatizada, lo que le quita dinamismo al proceso de diseño. También, entienden que se requiere del conocimiento y experiencia en el uso de varias herramientas, con los consiguientes requisitos de nuevas licencias y la necesidad de estar modificando y actualizando los nodos de programación en Dynamo para que la integración pueda correr. Por último, identificaron que en la visualización gráfica no es posible desglosar los impactos por elementos dentro de cada opción de diseño (Q15).



Figura 5.10. Resultados de la encuesta al grupo evaluador, limitaciones de la integración identificadas

Finalmente, los evaluadores indicaron que las fortalezas de la integración propuesta, respecto a los métodos que utilizan actualmente, es la rapidez y flexibilidad para realizar cambios y la obtención de resultados, la facilidad de adoptarlo a su proceso de diseño desde fases tempranas y la posibilidad de ser utilizado por profesionales sin experiencia en materia de sostenibilidad (Figura 5.11) (Q16).



Figura 5.11. Resultados de la encuesta al grupo evaluador, aspectos destacados de la integración propuesta respecto a los métodos de evaluación de sostenibilidad actuales

Capítulo 5. Desarrollo y validación de la integración de criterios de sostenibilidad en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM

5.3. Conclusiones capítulo 5

En este capítulo se desarrolló y validó una integración estática entre criterios ambientales y económicos en etapas tempranas de diseño arquitectónico a través de BIM, para dar cumplimiento a los objetivos específicos dos y tres. Se comprobó la potencialidad del BIM para el estudio de la sostenibilidad de proyectos de construcción en fases tempranas y se logró generar un vínculo con una base de datos nacional, Ábaco-Chile, permitiendo obtener resultados de impactos más aproximados a la realidad local. La integración propuesta permite a los actores involucrados en fases tempranas evaluar la sostenibilidad de distintas opciones de envolvente en forma rápida, además de ser fácilmente adoptable al flujo de trabajo, flexible para analizar distintas alternativas y escalable a diversos proyectos. También, demostró agilizar y facilitar la interpretación de los resultados para los profesionales no expertos en la materia, permitiendo tomar mejores decisiones en etapas tempranas de diseño y contribuyendo a la incrementación de la sostenibilidad de las edificaciones.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

Mediante esta investigación, se estableció una integración entre criterios ambientales y económicos a través del flujo BIM en fases tempranas del proceso de diseño de edificaciones. Para esto, se identificaron las potencialidades y brechas de la integración de estas dos temáticas; se analizaron los criterios de sostenibilidad para etapas tempranas de diseño según las certificaciones, calificaciones y guías más utilizadas a nivel nacional y se definieron los criterios a ser considerados en esta investigación. Luego, se examinó el Estándar BIM nacional y se revisaron algunos procesos y métodos existentes que vinculan ambas áreas.

Se logró establecer un vínculo conceptual entre los criterios de sostenibilidad y el flujo BIM, y se elaboró una programación informática estática que vincule la base de datos ambientales y económicos local de Ábaco-Chile con el *software* de modelado Autodesk Revit, mediante programación visual con Dynamo, la gestión de la información con Excel y la visualización de los resultados con PowerBI. Finalmente, se validó la integración con un grupo de profesionales del sector de la construcción expertos y no expertos en la temática.

Al término de esta investigación, puede señalarse que la hipótesis planteada sobre que la integración de criterios ambientales y económicos en un flujo BIM facilita la toma de decisiones en etapas tempranas del diseño de edificaciones, permitiendo obtener resultados de manera simplificada y rápida sin necesidad de que el diseñador sea experto en el área, ha sido validada por los resultados del capítulo 5.

Luego, respecto a los objetivos planteados, el objetivo 1 buscó analizar procesos, métodos, criterios y parámetros de sostenibilidad, además de estándares BIM utilizados en la actualidad. A partir de una revisión de los procesos y métodos de integración entre BIM y sostenibilidad en diversas investigaciones se encontró que el enfoque de integración convencional (aquel que toma programas externos a BIM para los análisis de LCA) es el más utilizado, seguido por el estático y el dinámico. Además, se identificó que las herramientas más comunes son Autodesk Revit, Excel, Athena Impact Estimator, Simapro y Tally.

De los criterios y parámetros de sostenibilidad estudiados, se halló que para la etapa de diseño y particularmente para la construcción, la mayoría de los indicadores se concentran en la categoría de energía (también los obligatorios), seguido por la de materiales y residuos, calidad ambiental y agua.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

Así mismo, se identificó a la certificación LEED como la única que incluye el indicador de huella de carbono de la edificación durante todo su ciclo de vida. Sin embargo, se ha comenzado a fomentar su implementación en el sector a partir de políticas públicas que tienden al carbono neutral al 2050.

Al analizar el Estándar BIM nacional, se percibió que existe cierta carencia y falta de desarrollo en cuanto a requisitos de sostenibilidad, a pesar de que se establece como uno de los objetivos del Estándar. Los planteos que se hacen son genéricos y sin fundamentos teóricos. A su vez, los parámetros de sostenibilidad considerados para fases tempranas de diseño (NDI-1 y NDI-2), son casi inexistentes. Esto sugiere una brecha entre las hojas de ruta de sostenibilidad a nivel país, haciendo necesario repensar el estándar BIM para alinearlos con las metas de desarrollo sostenible y productividad. Así mismo, se identifica una contradicción entre los requisitos para el análisis de ciclo de vida o evaluación de impactos y las afirmaciones de que su implementación en fases tempranas de diseño permite minimizar las huellas ambientales, dado que, en la práctica, la información de sostenibilidad necesita mucho nivel de detalle, y en el proceso de fases tempranas, se trabaja con volumetrías simples con poco nivel de detalle. Sería recomendable que las bases de datos de impactos medioambientales tuviesen también diferentes niveles de detalle, alineándose con el grado de desarrollo de los proyectos de arquitectura.

Con el objetivo 2 se buscó desarrollar una integración estática entre un *software* de modelado que apoya al proceso de diseño y los criterios económicos (costo económico) y ambientales (huella de carbono y emisiones de GEI). Se logró el diseño conceptual de un flujo de trabajo que integre criterios sostenibles en fases tempranas de diseño, estructurado en 4 pasos: (1) *identificación y recopilación de datos de entrada*, (2) *creación de un vínculo entre la base de datos y BIM*, (3) *recolección de datos y evaluación de sostenibilidad de las opciones de diseño* y (4) *visualización de los resultados*. Así mismo, se ideó una programación informática estática para su implementación mediante Autodesk Revit, Microsoft Excel, Dynamo, PowerBI y la base de datos ambiental y económica nacional Ábaco-Chile. En este sentido, es importante resaltar que la programación informática propuesta es una respuesta específica al diseño conceptual, y que este es por sí mismo una contribución que podría servir de base para el desarrollo de otras programaciones o respuestas informáticas.

Finalmente, en función a lo anterior, con el objetivo 3 se planteó validar la integración propuesta entre los criterios ambientales y económicos y el flujo BIM, evaluado su aplicación en el proceso de toma de decisiones en etapas tempranas de diseño. Los resultados presentados sugieren una actitud

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

positiva de los evaluadores frente a la integración propuesta en términos de tiempo de ejecución, adoptabilidad al flujo de trabajo y flexibilidad para realizar distintas evaluaciones, facilidad de comprensión de los resultados y toma de decisiones, aportando a la evaluación de la sostenibilidad y escalabilidad a otros proyectos. En general, se considera que la prueba de concepto es válida y que podría seguir desarrollándose.

6.1. Implicaciones teóricas y prácticas

Por un lado, integrar los resultados obtenidos en este estudio al flujo de trabajo de los proyectos de edificación podría aportar generando mayor conciencia de la sostenibilidad a los distintos actores tomadores de decisiones y por consiguiente reducir el impacto ambiental de la construcción en balance con los costos. Esto podría actuar como una herramienta de apoyo, sin pretender sustituir al profesional especializado en la temática el cual puede complementar los resultados con estudios más detallados. Esto se alinea con los compromisos nacionales en Chile de reducir las emisiones de GEI para 2027 y alcanzar la neutralidad de carbono al 2050. También, a las políticas nacionales orientadas al desarrollo sostenible, la construcción de edificaciones sustentables, los objetivos planteados por el PyCS y Construye 2025 bajo el cual se busca transformar el sector de la construcción de forma holística para impactar de forma positiva a los ámbitos ambientales, sociales y económicos en torno a la productividad y la sostenibilidad, dentro de los cuales se encuentra la incorporación del BIM y la de generar capacidades del sector para ser un referente regional en productividad y sustentabilidad

Por otro lado, los *scripts* diseñados en esta investigación podrían emplearse con otras bases de datos, indicadores, complementarse con otras funciones y ampliar su implementación a otros tipos de proyectos incrementando sus potencialidades como herramienta de evaluación de sostenibilidad de diseños. Del mismo modo, la conceptualización puede servir de guía para el desarrollo de otras programaciones informáticas, *software* o herramientas que acerquen el cálculo del impacto ambiental a diseñadores desde fases tempranas de diseño, contribuyendo en última instancia al diseño de proyectos ecoeficientes, que disminuyen el impacto ambiental en balance con el aspecto económico.

Así mismo, los resultados de esta investigación pueden utilizarse como insumo para informar a los distintos actores de la industria de la construcción a nivel nacional de la viabilidad de inclusión de criterios sostenibles en etapas tempranas de diseño en el flujo de trabajo BIM de forma fácil y rápida sin la necesidad de contar con un profesional especializado en el área, motivando cambios en la eficiencia de las construcciones en Chile.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

Respecto al Estándar BIM, se identificó una falta de claridad del BIM para la evaluación de la sostenibilidad. Los descubrimientos resaltan la importancia de incluir indicadores de sostenibilidad desde las fases tempranas de diseño cuando se toman las decisiones más importantes sobre el impacto de las edificaciones y aún es viable realizar cambios. Se destaca la necesidad de desarrollar estos parámetros para guiar a los profesionales en su implementación, indicando que se debe medir, como y que se evaluará. Se recomienda vincular estos parámetros a los solicitados en las normativas y guías nacionales.

Finalmente, los hallazgos de esta investigación sugieren perspectivas interesantes para el campo de la integración del BIM y la sostenibilidad en el contexto chileno, al sugerir la inclusión de una base de datos nacional implica obtener resultados más próximos a la realidad local. Se pone en evidencia la importancia de su vinculación desde fases iniciales, pero el vínculo debería considerarse a lo largo del ciclo de vida de la construcción.

6.2. Limitaciones del estudio

Es importante resaltar que este estudio aborda la integración de BIM con la sostenibilidad desde el pilar ambiental (indicadores Energía Contenida y Emisiones de GEI) y económico (Costo Económico) para fases tempranas del proceso de diseño de edificaciones y limita los impactos de los indicadores a las etapas A1-A5 del ciclo de vida de la construcción, información disponible en la base de datos local Ábaco-Chile.

La revisión de los indicadores de sostenibilidad se acota a certificaciones, calificaciones, guías de edificación más utilizados en Chile y considera únicamente los criterios a ser empleados en la etapa de diseño. De acuerdo con el alcance de esta investigación, se escogieron los referentes a la construcción y se seleccionaron para la integración aquellos con los que se cuenta información en la base de datos local ABACO-Chile: costo económico, energía contenida y emisiones GEI. Se recomienda para futuros trabajos, considerar mayor número de indicadores a medida que se vayan cargando en la base de datos local, ampliar el alcance a todo el ciclo de vida de un proyecto e incorporar otras disciplinas.

El estudio del Estándar BIM se acotó a escala nacional en consecuencia al límite contextual del estudio, sin embargo, sería ideal estudiar los estándares internacionales para identificar vacíos y oportunidades a ser consideradas globalmente y proponer soluciones.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

La selección de las herramientas utilizadas fue en base a la disponibilidad de las licencias y conocimientos previos en las mismas. Es fundamental examinar otras posibles programaciones informáticas que permitan aumentar la automatización de las tareas y reducir los *softwares* requeridos.

Los componentes de la construcción (envolvente) y las categorías de los elementos (muros y ventanas), además de la escala del caso práctico para la validación se limitó al tiempo disponible para su desarrollo y aplicación. El grupo de validación se escogió en base a la experiencia de los profesionales en las áreas de diseño arquitectónico, BIM y análisis de ciclo de vida, con representatividad en el área académica, organismos públicos y privados. La obtención de un mayor número de respuestas no fue posible debido a la limitación del tiempo, la disponibilidad de los profesionales y el acceso de éstos a las licencias de las herramientas informáticas. En este sentido, los resultados de la validación deben ser interpretados con cautela. En cuanto sea posible, los futuros estudios deberían considerar un tamaño de muestra más amplio, contar con más tiempo para su aplicación y facilitar el acceso a las herramientas necesarias.

Los resultados actuales son útiles para identificar potencialidades y limitaciones de la integración de BIM y sostenibilidad utilizando una base de datos local y motivar más investigaciones en el tema a nivel nacional y regional.

Finalmente, a pesar de que el diseño conceptual de la integración generada en este estudio puede ser utilizado a escala global, la implementación propuesta se realizó tomando una base de datos de cargas ambientales y económicas chilena, lo que puede limitar su aplicación en otros contextos. No obstante, se considera que el flujo de trabajo es replicable y puede tomarse como referencia para implementarlo con otras herramientas y bases de datos.

6.3. Futuras investigaciones

La investigación desarrollada es una primera aproximación a las posibilidades de estudiar la integración de BIM y sostenibilidad utilizando una base de datos chilena, Ábaco-Chile; lo que genera varias líneas de futuras investigaciones. Estas van desde continuar explorando los datos ya recolectados con diferentes programaciones informáticas para mayor automatización, a nuevos estudios donde se amplíe el alcance y se integren nuevos indicadores.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

En esta tesis se presentó una integración estática entre BIM y criterios de sostenibilidad, con el objetivo de automatizar las tareas, reducir los problemas de interoperabilidad e integración entre las herramientas para minimizar la pérdida de datos y el tiempo de procesamiento de los mismos. Sin embargo, una programación más avanzada que permita generar un *plug-in* dentro de la interfaz de modelado, permitiendo visualizar los resultados en la misma herramienta sería útil.

La consideración del tercer pilar de la sostenibilidad (social), además de nuevos indicadores (ambientales y económicos) y sus impactos asociados, durante todo el ciclo de vida de un proyecto permitirían un análisis más holístico, minimizar los impactos asociados al proyecto de manera simultánea y desde varios frentes. Para esto, es necesario seguir actualizando y fortaleciendo las bases de datos nacionales con mayor número de indicadores para todo el ciclo de vida de los proyectos. Dado que las bases de datos a nivel regional son escasas y limitadas, es sumamente relevante fortalecer las existentes para que puedan ser tomadas como referencia.

Existe información sobre los vacíos del Estándar BIM en materia de sostenibilidad a la cual no se le ha dado respuesta, incluyendo los parámetros a incorporar en etapas tempranas de diseño, sus consideraciones, forma de implementación, actores involucrados, entre otros. Además, siendo que el Estándar se utiliza para gestionar licitaciones es fundamental que se vincule con las normativas térmicas, calificaciones y certificaciones nacionales, y alinee sus parámetros a las políticas del país orientadas al desarrollo sostenible.

También, es relevante estandarizar las nomenclaturas de las normativas, el Estándar BIM y bases de datos nacionales (cómo Ábaco-Chile), para evitar errores y facilitar su uso. Dado la tendencia a unificar estándares a nivel internacional, se sugiere utilizar nomenclaturas ya normalizadas. A su vez, existe la necesidad de profundizar en la alineación entre los NDI para las distintas etapas de un proyecto según el Estándar BIM y las etapas de un LCA.

Otro aspecto que se debería considerar es ampliar las categorías y elementos a evaluar mediante la integración propuesta. Es pertinente incluir todas las categorías componentes de una construcción, abarcando las diversas disciplinas, además de ampliar el repertorio de opciones constructivas. También, se debería desagregar las opciones de diseño en la visualización de los resultados para que el diseñador pueda conocer el impacto de cada elemento y tomar decisiones en base a ello.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

No todos los equipos proyectuales incluyen o tienen la posibilidad de contar con un profesional especializado en sostenibilidad que pueda considerar los impactos de un proyecto constructivo. Por esta razón, se considera totalmente relevante seguir investigando en metodologías de trabajo y herramientas aplicables y escalables a proyectos de diversas tipologías y tamaños que se integren en el flujo de trabajo proyectual, de manera simplificada y rápida desde fases tempranas de diseño para presentar a los distintos profesionales participantes del proceso (no expertos) las consecuencias de sus decisiones sobre la sostenibilidad del proyecto y por consiguiente sobre el entorno inmediato y el planeta. Esto no pretende sustituir al profesional experto en la temática, pero se plantea como un medio para que todos los proyectos pertenecientes a la industria de la construcción basen sus decisiones en criterios sostenibles, aunque sea de forma simplificada.

Referencias bibliográficas

Referencias bibliográficas

- Abanda, F. H., Oti, A. H., & Tah, J. H. M. (2017). Integrating BIM and new rules of measurement for embodied energy and CO2 assessment. *Journal of Building Engineering*, 12(October 2016), 288–305. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.06.017>
- AIA. (2013). *The American Institute of Architects. G202-2013 - Project Building Information Modeling Protocol*.
- Al-Gahtani, K., Alsulahi, I., El-Hawary, M., & Marzouk, M. (2016). Investigating sustainability parameters of administrative buildings in Saudi Arabia. *Technological Forecasting and Social Change*, 105, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.01.016>
- Antón, L. Á., & Díaz, J. (2014). Integration of life cycle assessment in a BIM environment. *Procedia Engineering*, 85, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.525>
- Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M. (2013). Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*, 60(February), 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>
- BIM Forum Chile. (2019). Artículo Técnico N°08: Publicación normas internacionales, ISO19650. *BIM Forum Chile*, 1–8.
- BIM Forum Chile. (2021). *BIM Forum Chile*. Qué Es BIM Forum Chile. <https://www.bimforum.cl/que-es-bim-forum-chile/>
- Bueno, C., & Fabricio, M. M. (2018). Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Automation in Construction*, 90(January 2016), 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.028>
- Bueno, C., Pereira, L. M., & Fabricio, M. M. (2018). Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information modelling. *Architectural Engineering and Design Management*, 14(5), 332–346. <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1458593>
- BuildingSmart. (2022). *buildingSMART - El hogar internacional de BIM*. <https://www.buildingsmart.org/>
- BuildingSMART Finlandia. (2022). *BuildingSMART Finlandia*. <https://buildingsmart.fi/infrabim/>
- BuildingSMART Spain. (2020). *BuildingSMART Spanish Chapter*. <https://www.buildingsmart.es/bim/qué-es/>
- Campos Rivas, J. Pedro. (2014). *Manual, evaluación y calificación : certificación edificio sustentable*. Innova Chile Corfo.
- Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2019). Optimising building sustainability assessment using BIM. *Automation in Construction*, 102(September 2018), 170–182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.021>
- Cavalliere, C., Habert, G., Dell’Osso, G. R., & Hollberg, A. (2019). Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. *Journal of Cleaner Production*, 211, 941–952. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.247>

Referencias bibliográficas

- Chang, D., Lee, C. K. M., & Chen, C. H. (2014). Review of life cycle assessment towards sustainable product development. *Journal of Cleaner Production*, 83, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.050>
- Chile | Climate Action Tracker. (2020). <https://climateactiontracker.org/countries/chile/>
- Chong, H. Y., Lee, C. Y., & Wang, X. (2017). A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4114–4126. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222>
- CITEC UBB, plataforma online ÁBACO-Chile. (2019). <http://abacochile.cl/>
- Comisión Interministerial BIM. (2021). *BIM en el Mundo*. <https://cbim.mitma.es/bim-en-el-mundo>
- Comisión Nacional de Productividad. (2020). Informe de Productividad en el Sector Construcción. *Comisión Nacional de Productividad*, 1–635.
- COP25 Ministerio de Energía | Ministerio de Energía. (2019). <https://energia.gob.cl/mini-sitio/cop25-ministerio-de-energia>
- CORFO. (2021). *Planbim*. Retrieved July 10, 2021, from <https://planbim.cl/que-es-planbim/>
- CORFO. (2021). *Estandar Bim Para Proyectos Publicos* (Vol. 53, Issue 9).
- CORFO PEN PyCS. (2016). Programa Estratégico de Productividad y Sustentabilidad en la Construcción. *Programa Estratégico de Productividad y Sustentabilidad En La Construcción*, 172. <https://www.construye2025.cl/wp-content/uploads/2016/05/Hoja-de-Ruta-Construye-2025.pdf>
- Crippa, J., Boeing, L. C., Caparelli, A. P. A., da Costa, M. do R. de M. M., Scheer, S., Araujo, A. M. F., & Bem, D. (2018). A BIM–LCA integration technique to embodied carbon estimation applied on wall systems in Brazil. *Built Environment Project and Asset Management*, 8(5), 491–503. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-10-2017-0093>
- Eleftheriadis, S., Duffour, P., & Mumovic, D. (2018). BIM-embedded life cycle carbon assessment of RC buildings using optimised structural design alternatives. *Energy and Buildings*, 173, 587–600. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.042>
- European Commission. (2011). *EN 15643-1:2010 Sustainability of Construction Works — Sustainability Assessment of Buildings, Part 1: General Framework*.
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., & Raahemifar, K. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(November 2016), 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- Granato, D. (2020). *Alternativas Metodológicas para Levantamiento de Datos de Huella de Carbono*.
- Gundes, S. (2016). The Use of Life Cycle Techniques in the Assessment of Sustainability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216(October 2015), 916–922. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.088>
- Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Energy*, 161(2), 87–98. <https://doi.org/10.1680/ener.2008.161.2.87>
- Hao, J. L., Cheng, B., Lu, W., Xu, J., Wang, J., Bu, W., & Guo, Z. (2020). Carbon emission reduction in prefabrication construction during materialization stage: A BIM-based life-cycle assessment

Referencias bibliográficas

- approach. *Science of the Total Environment*, 723, 137870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137870>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (McGRAW-HILL / Interamericana editores S.A. de C.V, Ed.; Sexta edición).
- Hollberg, A., Genova, G., & Habert, G. (2020). Evaluation of BIM-based LCA results for building design. *Automation in Construction*, 109(September 2019), 102972. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102972>
- IEA and UNEP. (2018). International Energy Agency and the United Nations Environment Programme - Global Status Report 2018: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. In *Global Status Report*. <https://doi.org/978-3-9818911-3-3>
- INE. (2018). *SÍNTESIS DE RESULTADOS CENSO 2017*.
- IPCC. (2013). Ficha informativa del IPCC: ¿Qué es el IPCC? *Livestock Research for Rural Development*, 2.
- IPCC. (2015). *Cambio climático 2014: informe de síntesis*.
- ISO 14040:2006, Gestión ambiental - Análisis de ciclo de vida - Principios y marco de referencia, (2006).
- Jalaei, F., Guest, G., Gaur, A., & Zhang, J. (2020). Exploring the effects that a non-stationary climate and dynamic electricity grid mix has on whole building life cycle assessment: A multi-city comparison. *Sustainable Cities and Society*, 61(June). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102294>
- Jalaei, F., & Mohammadi, S. (2020). An integrated BIM-LEED application to automate sustainable design assessment framework at the conceptual stage of building projects. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101979. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101979>
- Jalaei, F., & Jade, A. (2014). An Automated BIM Model to Conceptually Design, Analyze, Simulate, and Assess Sustainable Building Projects. *Journal of Construction Engineering*, 2014(January 2016), 1–21. <https://doi.org/10.1155/2014/672896>
- Joshi, S. (2010). *AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice Authorship and Acknowledgements A Guide to Life Cycle Assessment of Buildings*.
- Kairies-Alvarado, D., Muñoz-Sanguinetti, C., & Martínez-Rocamora, A. (2021). Contribution of energy efficiency standards to life-cycle carbon footprint reduction in public buildings in Chile. *Energy and Buildings*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110797>
- Kehily, D., & Underwood, J. (2017). Embedding life cycle costing in 5D BIM. *Journal of Information Technology in Construction*, 22(August 2016), 145–167.
- Kreiner, H., Passer, A., & Wallbaum, H. (2015). A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage. *Energy and Buildings*, 109, 385–396. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.040>
- La, C., Energ, R., Energ, E., Energ, L. M., Energy, N. Z., Sustentable, E., Zero, N., Building, E., Nacional, E., & Construcci, S. (2022). *Bases técnicas y administrativas para el desarrollo del estudio Cálculo de carbono de ciclo de vida completo en piloto de edificación de Uso Público*.
- Li, X., Wu, P., Shen, G. Q., Wang, X., & Teng, Y. (2017). Mapping the knowledge domains of Building Information Modeling (BIM): A bibliometric approach. *Automation in Construction*, 84(October 2016), 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.011>

Referencias bibliográficas

- Liu, Y., van Nederveen, S., Wu, C., & Hertogh, M. (2018). Sustainable Infrastructure Design Framework through Integration of Rating Systems and Building Information Modeling. *Advances in Civil Engineering*, 2018(September). <https://doi.org/10.1155/2018/8183536>
- Llatas, C., Soust-Verdaguer, B., & Passer, A. (2020). Implementing Life Cycle Sustainability Assessment during design stages in Building Information Modelling: From systematic literature review to a methodological approach. In *Building and Environment* (Vol. 182). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107164>
- Lopezosa, C. (2020). Entrevistas semiestructuradas con NVivo: pasos para un análisis cualitativo eficaz. In *Metodos Anuario de Métodos de Investigación en Comunicación Social*, 1 (pp. 88–97). Universitat Pompeu Fabra. <https://doi.org/10.31009/metodos.2020.i01.08>
- Lu, W., & Yuan, H. (2011). A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste Management*, 31(6), 1252–1260. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.018>
- Marzouk, M., Abdelkader, E. M., & Al-Gahtani, K. (2017). Building information modeling-based model for calculating direct and indirect emissions in construction projects. *Journal of Cleaner Production*, 152, 351–363. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.138>
- Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L., & Verbeeck, G. (2018). Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. *Building and Environment*, 133, 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.016>
- Mercader Moyano, M., Camporeale, P., & Cózar-Cózar, E. (2019). Environmental impact assessment by means of indicators. *Revista Hábitat Sustentable*, 78–93.
- Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía, M. de M. A. (2013). *Estrategia Nacional de Construcción Sustentable*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2014). *Listado oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo: ED11*.
- Ministerio del Medio Ambiente, G. de C. (2016). Plan de acción nacional de cambio climatico 2017 - 2022. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 12(5), 1191–1197.
- Ministerio del Medio Ambiente, G. de C. (2020). *Resumen del estado del medio ambiente para la ciudadanía 2020*.
- Ministerio del Medio Ambiente, G. de C. (2021). *Cuarto Informe Bienal de actualización de Chile sobre Cambio Climático*.
- Muñoz, C., Vega, M., Rocha, A., Cereceda, G., Molina, A., & González, P. (2020). Eco-efficiency Tool for Decreasing Environmental Load in the Life Cycle of Buildings - ABACO - Chile. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 503(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012013>
- Naciones Unidas. (2015). United Nations Framework Convention on Climate Change Paris Agreement. *Cop21*, 21930, 18.
- Najjar, M. K., Figueiredo, K., Evangelista, A. C. J., Hammad, A. W. A., Tam, V. W. Y., & Haddad, A. (2019). Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design. *International Journal of Construction Management*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1637098>

Referencias bibliográficas

- National Institute of Buildings Sciences. (2021). *About the National BIM Standard-United States*. <https://www.nationalbimstandard.org/about>
- NBS. (2022). *Connected Construction Information*. <https://www.thenbs.com/>
- NVivo. (2022). *NVivo*. Learn More about Data Analysis Software | NVivo. <https://www.qsrinternational.com/nvivo-qualitative-data-analysis-software/about/nvivo>
- Obrecht, T. P., Röck, M., Hoxha, E., & Passer, A. (2020). BIM and LCA integration: A systematic literature review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 14). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su12145534>
- Organisation – ecoinvent. (n.d.). Retrieved August 21, 2021, from <https://www.ecoinvent.org/about/organisation/organisation.html>
- Ortiz, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23(1), 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>
- Oti, A. H., & Tizani, W. (2015). BIM extension for the sustainability appraisal of conceptual steel design. *Advanced Engineering Informatics*, 29(1), 28–46. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2014.09.001>
- Pia Wiche; Barbara Rodriguez; Danil Bianchi. (2020). *Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones: resumen para tomadores de decisiones*.
- Quiroga Martinez, R., & NU. CEPAL. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. CEPAL, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos.
- Rezaei, F., Bulle, C., & Lesage, P. (2019). Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages. *Building and Environment*, 153(January), 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.034>
- Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., & Passer, A. (2018). LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. *Building and Environment*, 140, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.006>
- Rocuts, A., Jiménez Herrero, L. M., & Navarrete, M. (2009). Interpretaciones visuales de la sostenibilidad: Enfoques comparados y presentación de un Modelo Integral para la toma de decisiones. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 4, 1–22.
- Safari, K., & AzariJafari, H. (2021). Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development. *Sustainable Cities and Society*, 67(January), 102728. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102728>
- Santos, R., Aguiar Costa, A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2020). Development of a BIM-based Environmental and Economic Life Cycle Assessment tool. *Journal of Cleaner Production*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121705>
- Santos, R., Costa, A. A., & Grilo, A. (2017). Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015. *Automation in Construction*, 80(March), 118–136. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.005>
- Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. *Automation in Construction*, 103(February), 127–149. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.011>

Referencias bibliográficas

- Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., Vandenberg, T., & Pyl, L. (2020). BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe. *Building and Environment*, 169, 106568. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106568>
- Shin, Y. S., & Cho, K. (2015). BIM application to select appropriate design alternative with consideration of LCA and LCCA. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2015/281640>
- Silvestre, J. D., Lasvaux, S., Hodková, J., de Brito, J., & Pinheiro, M. D. (2015). NativeLCA - a systematic approach for the selection of environmental datasets as generic data: application to construction products in a national context. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(6), 731–750. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0885-8>
- Solomon, S., Plattner, G. K., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(6), 1704–1709. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812721106>
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., & García-Martínez, A. (2017). Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, 136(July 2018), 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009>
- Su, S., Li, X., Zhu, Y., & Lin, B. (2017). Dynamic LCA framework for environmental impact assessment of buildings. In *Energy and Buildings* (Vol. 149). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.042>
- Teng, Y., Li, K., Pan, W., & Ng, T. (2018). Reducing building life cycle carbon emissions through prefabrication: Evidence from and gaps in empirical studies. *Building and Environment*, 132(October 2017), 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.026>
- Unidas, N. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://doi.org/10.1145/115790.115803>
- Van Eldik, M. A., Vahdatikhaki, F., dos Santos, J. M. O., Visser, M., & Doree, A. (2020). BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects. *Automation in Construction*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103379>
- Wang, E., Shen, Z., & Berryman, C. (2011). A Building LCA Case Study Using Autodesk Ecotect and BIM Model. *ASC Annual International Conference Proceedings*, 47th.
- Wiche, P., & Rodríguez, B. (2020). *Alternativas Metodológicas de Calculadoras de Huella de Carbono*.

Anexos

Anexo A Formato invitación a participar de validación

Estimado Sr/Sra...,

Esperando que se encuentre muy bien, me comunico por este medio para invitarlo a participar en la evaluación de **una integración de criterios ambientales y económicos en fases tempranas de diseño de edificaciones a través de BIM**, desarrollada en el marco de una tesis del MHSEE. Debido a su conocimiento y experiencia en el área consideramos muy valioso tener su opinión al respecto.

Con esta actividad se busca que ponga a prueba la integración mediante un caso práctico y la evalúe en relación al tiempo, la escalabilidad, la aplicabilidad, facilidad de comprensión del proceso y los resultados. Para un mejor entendimiento de la herramienta se han desarrollado cuatro breves videos explicativos donde se presenta y se muestra paso a paso cómo aplicar la integración, los que podrá encontrar en los siguientes links:

- 01. [VIDEO 01 Presentación](#)
- 02. [VIDEO 02 Cumpliendo con los requisitos](#)
- 03. [VIDEO 03 El encargo](#)
- 04. [VIDEO 04 Aplicando la integración](#)

Como se menciona en el video 02 se requiere de los siguientes softwares para utilizar la integración:

- Revit 2022, dynamo 2.12
- Cuenta Microsoft o aplicación de escritorio PowerBI
- Microsoft Excel

En el video se explican todos los requerimientos y se los guía para verificar su cumplimiento.

También, compartimos con usted una carpeta en Drive donde puede acceder a toda la documentación necesaria para la aplicación. Una vez culminada la evaluación le solicitamos su colaboración completando una encuesta sobre su percepción de la herramienta, lo que nos ayudará a cumplir con nuestro objetivo.

Link de la carpeta: [Integración MHSEE UBB](#)

Link de la encuesta: [Encuesta Integración MHSEE UBB](#)

Agradecemos su respuesta a más tardar el 28 de diciembre, en caso de requerir más tiempo o tener algún inconveniente no dude en ponerse en contacto con nosotros para poder asistirlo y de ser necesario coordinar una reunión para poder ayudarlo en el proceso.

Desde ya le agradecemos por su tiempo y colaboración,

Saludos cordiales,

Anexos

Anexo B Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para las distintas opciones de muros

Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M02

Código Ábaco-Chile	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
CBW0003	Conf/enfierradura acero A63-42H barra doblada p/losas	kg	2.17	0.17	1037.00
CCB0009	Coloc/hormigón_G015-40-08 niv.conf 90%_normal mix/sobrecimientos	m ³	2232804.22	211583.40	67970.00
DKB0005	Sum/coloc/poliestireno expandido 50 mm sobre cielo	m ²	7.22	0.62	6086.00
DIA0021	Conf/estuco exterior 1:3/sin imper/e=2 cm	m ²	3.17	0.32	7689.00
Total M02		m ²	2232816.78	211584.51	82782.00

Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M03

Código Ábaco-Chile	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
CEA0011	Conf/albañilería e=14 cm/ladrillo titan reforzado hueco 29x14x7.1 cm de sogá cantería rehundida por ambas caras	m ²	302.96	21.01	17511.00
DKB0001	Sum/coloc/aislación poliestireno expandido e=10 cm	m ²	6.95	0.59	3211.00
DIB0001	Conf/enlucido de yeso en muros y cielos/e=10 mm	m ²	8.90	1.02	5778.00
Total M03		m ²	318.82	22.62	26500.00

Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M04

Código Ábaco-Chile	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
DHB0042	Conf/tabique seco/húmedo/ 2 pl yeso cartón 15 mm/2.4<h<3 m/montante metalcon 40 cm	m ²	14.45	1.24	18295.00
DIE0010	Coloc/rev/tablero OSB estructural 9.5 mm/perfiles galvanizados	m ²	5587.71	541.37	12313.00
DKB0005	Sum/coloc/poliestireno expandido 50 mm sobre cielo	m ²	7.22	0.62	6086.00
Total M04		m ²	5609.37	543.23	36694.00

Anexos

Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M05

Código Ábaco- Chile	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
CEA0005	Conf/albañilería e=14 cm/ladrillo fiscal 28.5x14x4.5 cm de sogá con cateria por ambas caras	m ²	425.70	29.42	20399.00
DIA0026	Conf/estuco exterior 1:3/ impermeabilizante hidrófugo/e=2 cm	m ²	3.17	0.32	7805.00
DIA0022	Conf/estuco interior 1:4/e=2 cm	m ²	2.77	0.28	7632.00
Total M05		m ²	431.65	30.03	35836.00

Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M06

Código Ábaco- Chile	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
CEA0005	Conf/albañilería e=14 cm/ladrillo fiscal 28.5x14x4.5 cm de sogá con cateria por ambas caras	m ²	425.70	29.42	20399.00
DIA0026	Conf/estuco exterior 1:3/ impermeabilizante hidrófugo/e=2 cm	m ²	3.17	0.32	7805.00
DHB0042	Conf/tabique seco/húmedo/2 pl yeso cartón 15 mm/h<2.4 m/montante metalcon a 60 cm	m ²	14.45	1.24	18295.00
DKB0001	Sum/coloc/aislación poliestireno expandido e=10 cm	m ²	6.95	0.59	3211.00
Total M06		m ²	450.28	31.58	49710.00

Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M07

Código Ábaco- Chile	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
DHB0007	Conf/muro estructural/panel de poliestireno expandido 122x244x7.6 cm/entre mallas acero galv. 14 mm	m ²	4307.33	414.47	71612.00
DIA0021	Conf/estuco exterior 1:3/sin imper/e=2 cm	m ²	3.17	0.32	7689.00
DIA0022	Conf/estuco interior 1:4/e=2 cm	m ²	2.77	0.28	7632.00
Total M07		m ²	4313.27	415.08	86933.00

Anexos

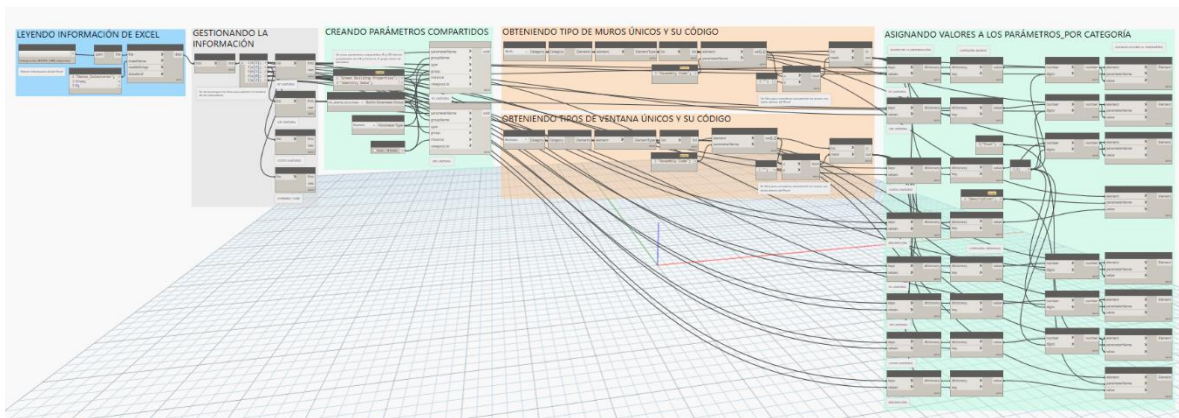
Cálculo de energía contenida, emisiones de GEI y costo económico unitario para la opción de muro M08

Código Ábaco- Chile	Descripción	Unidad	Energía contenida unitaria (MJ)	Emisiones de GEI (kgCO ₂ -eq)	Costo unitario (\$ CHI)
CFC0013	Sum/coloc/cubierta plancha zincalum liso/0.5 mmx1.0x2.0 m/gris/emballetada	m ²	128.14	15.40	11809.00
CFC0013	Sum/coloc/cubierta plancha zincalum liso/0.5 mmx1.0x2.0 m/gris/emballetada	m ²	128.14	15.40	11809.00
DKB0005	Sum/coloc/poliestireno expandido 50 mm sobre cielo	m ²	7.22	0.62	6086.00
Total M08		m ²	263.50	31.41	29704.00

Anexos

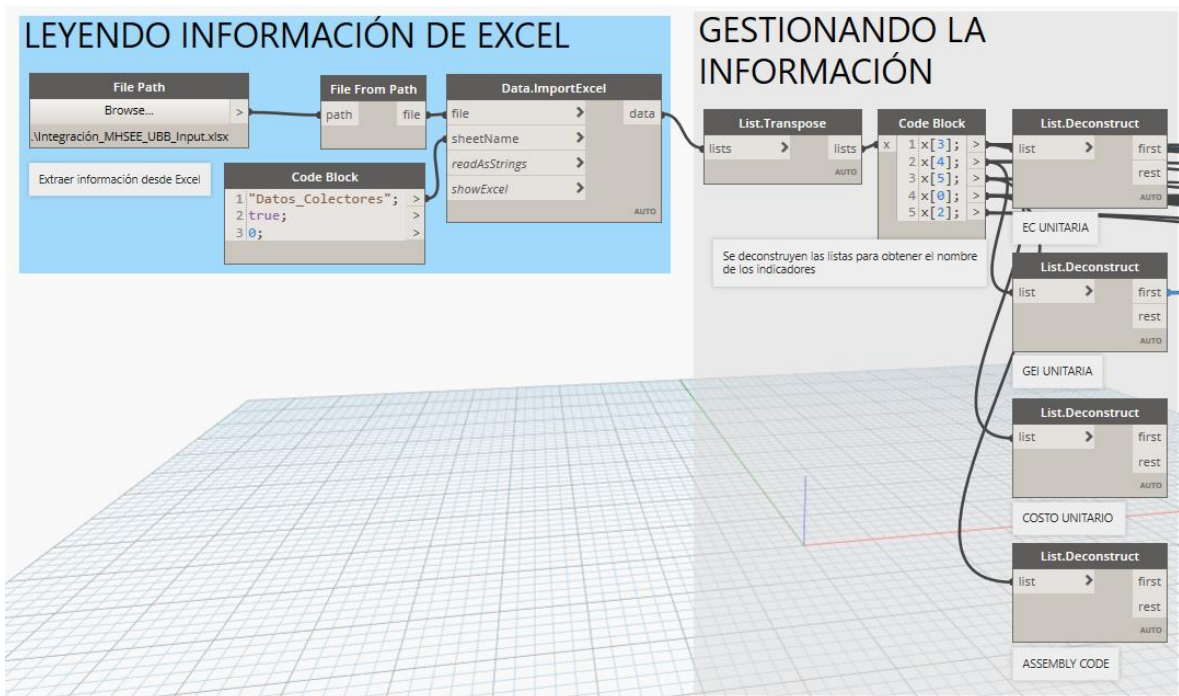
Anexo C Script de Dynamo

Script 1.



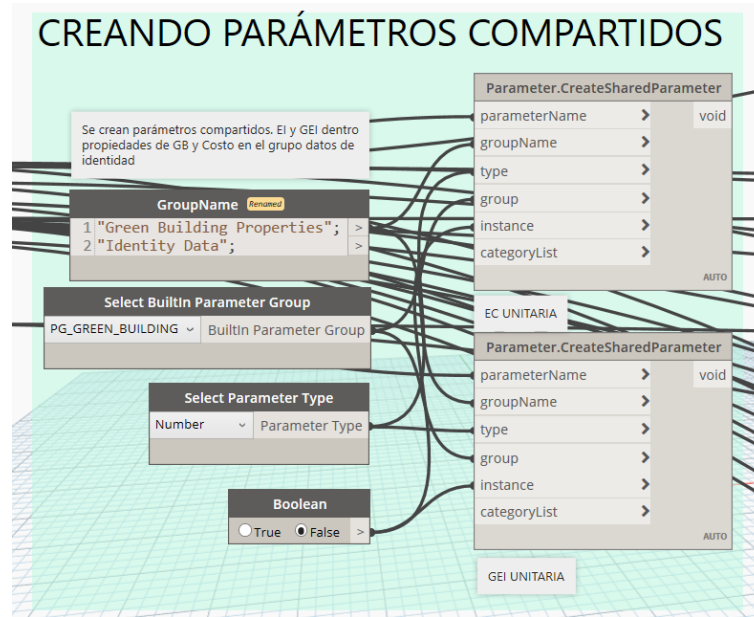
Script 1 parte I: Leyendo la información de Excel

Script 1 Parte II: Gestionando la información

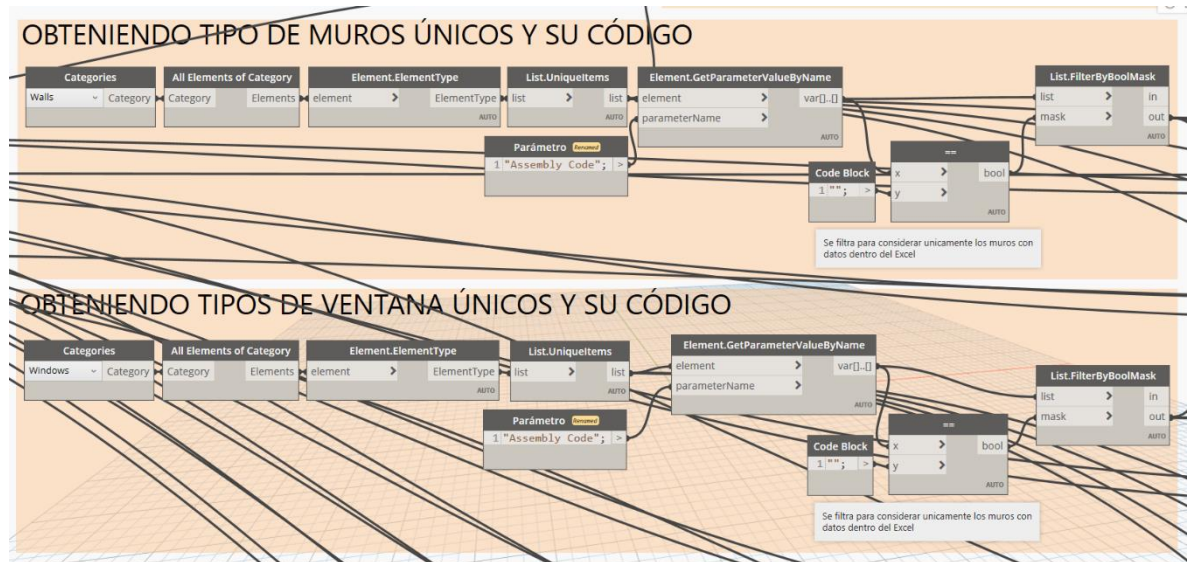


Anexos

Script 1 parte III: Creando parámetros compartidos

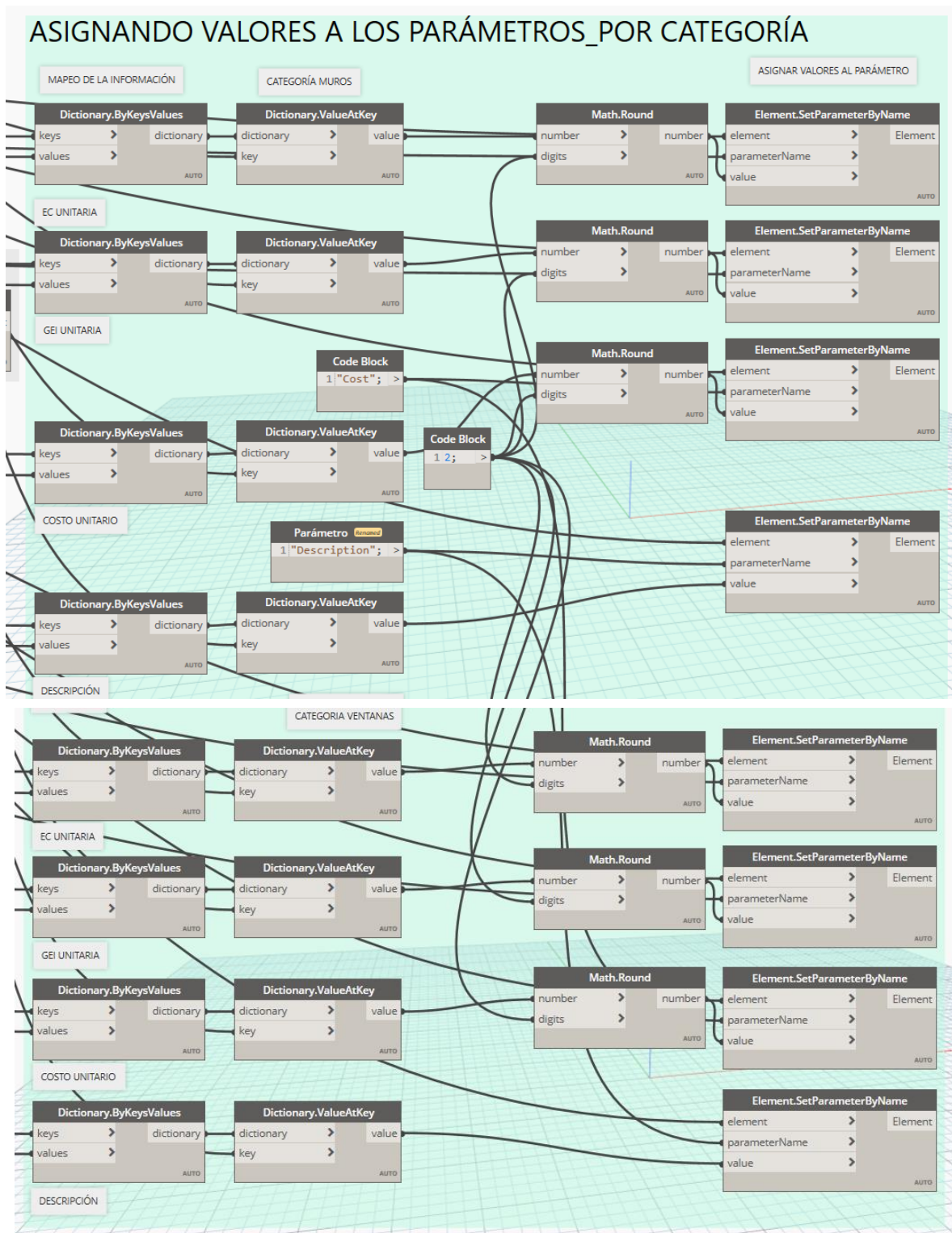


Script 1 parte IV: Obteniendo tipos de muros y ventanas únicos y su código



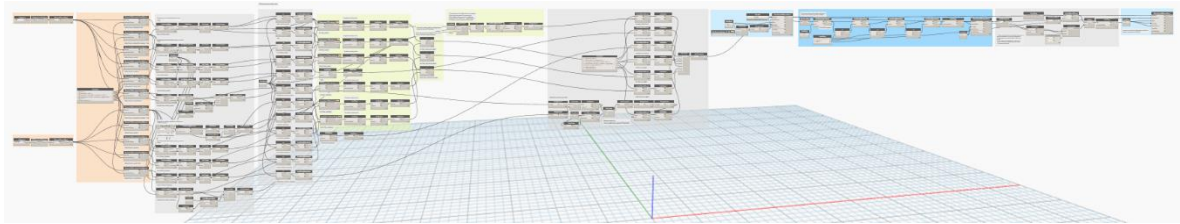
Anexos

Script 1 parte V: Asignando valores a los parámetros por categoría

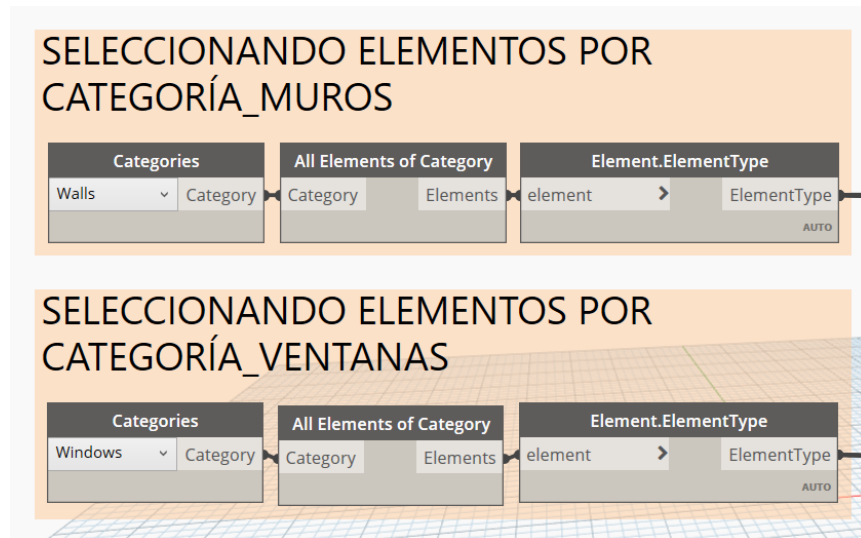


Anexos

Script 2.

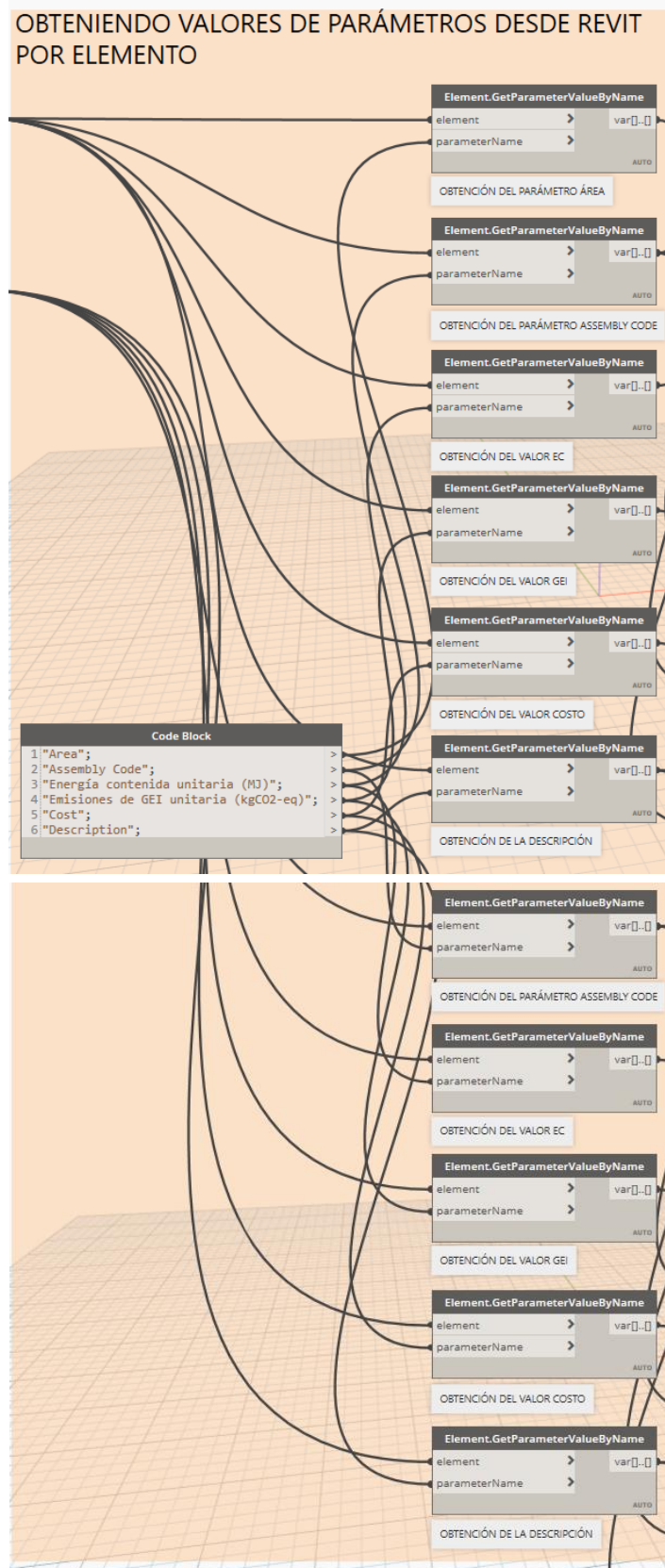


Script 2 parte I: Colector de todos los elementos del modelo por categoría de muros y de ventanas



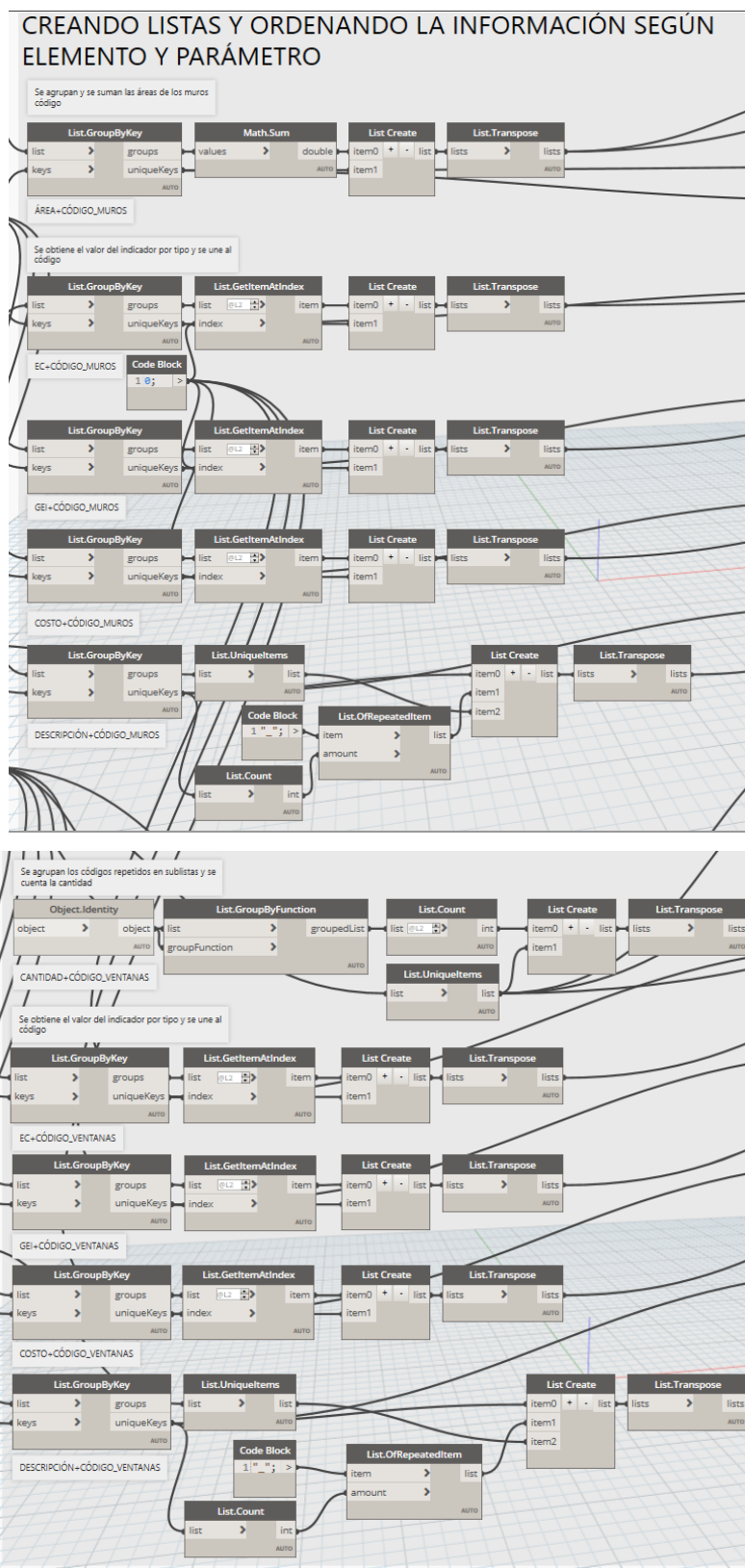
Anexos

Script 2 parte II: Obteniendo valores de los parámetros desde Revit por elemento



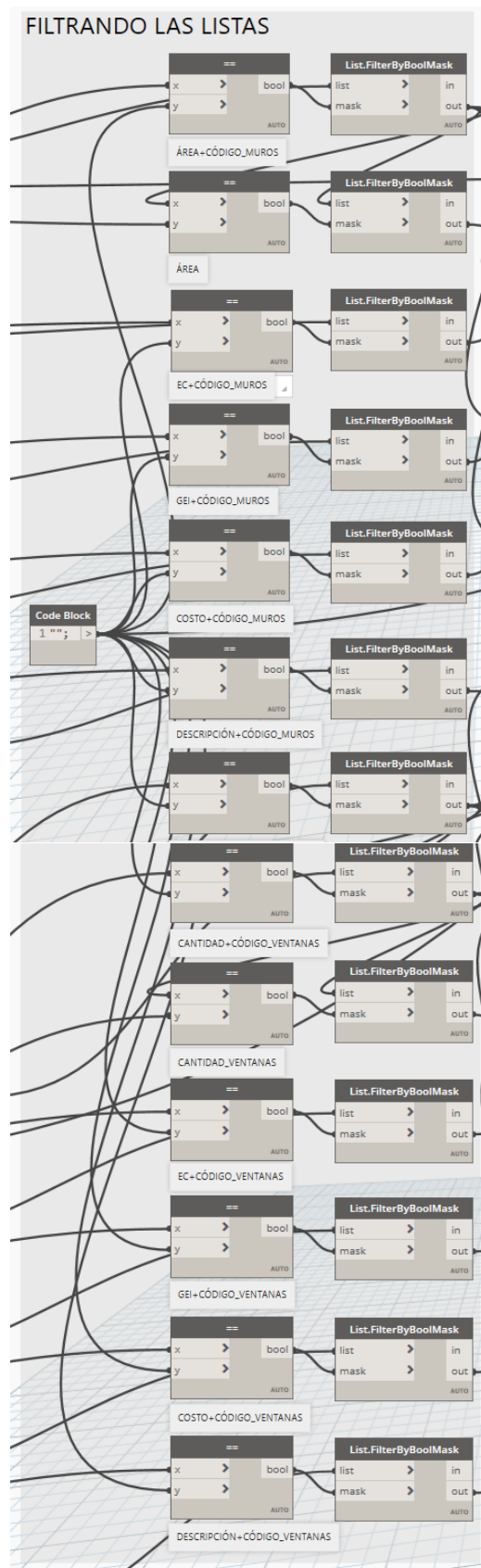
Anexos

Script 2 parte III: Creando listas y ordenando la información según elemento y parámetro



Anexos

Script 2 parte IV: Filtrando las listas de valor nulos o vacíos



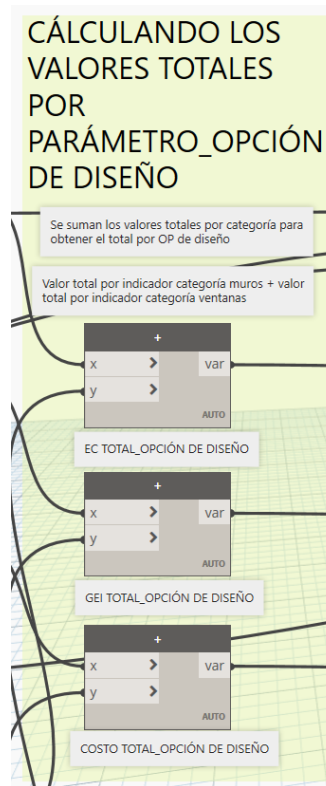
Anexos

Script 2 parte V: calculando los valores totales por elemento y por parámetro (indicador)



Anexos

Script 2 parte VI: calculando los valores totales por parámetro (indicador) y por opción de diseño



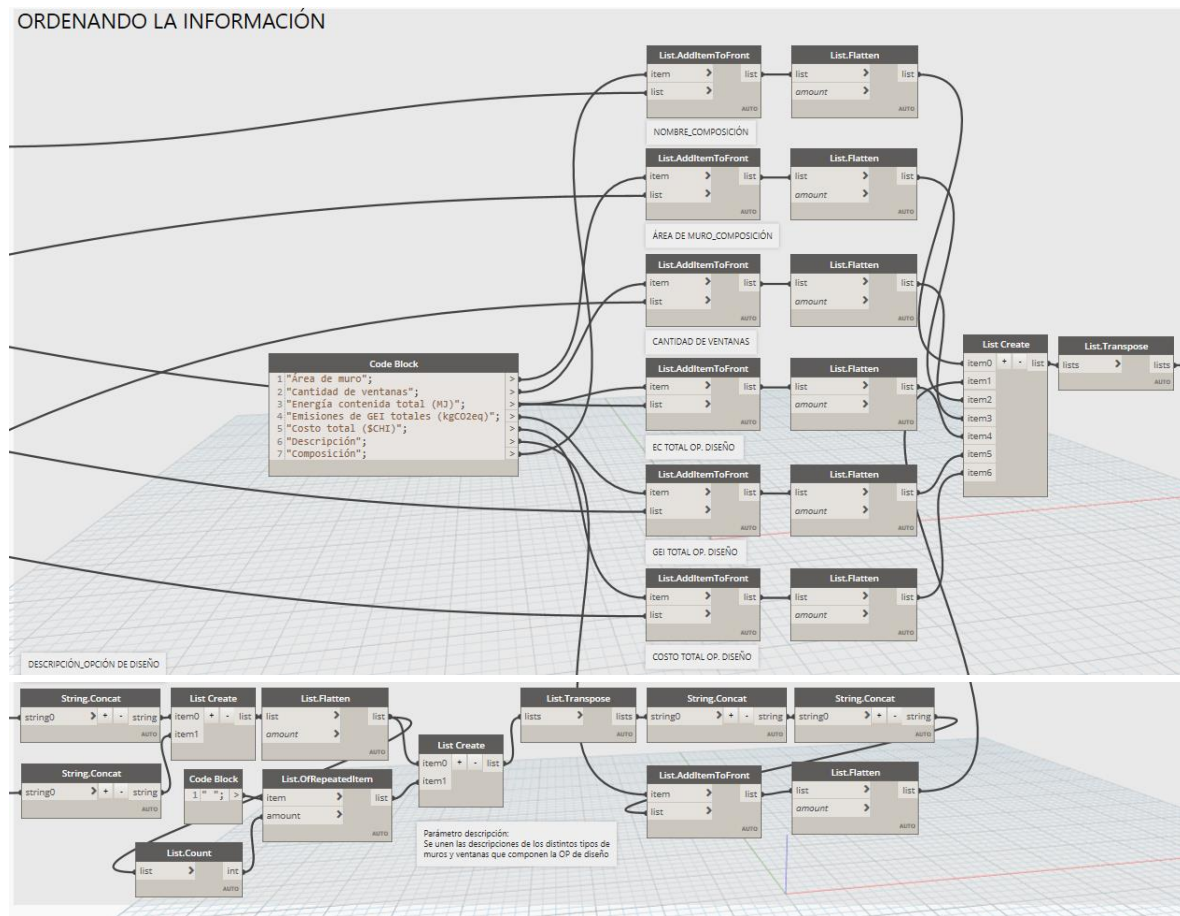
Script 2 parte VII: creando el nombre de la composición



Anexos

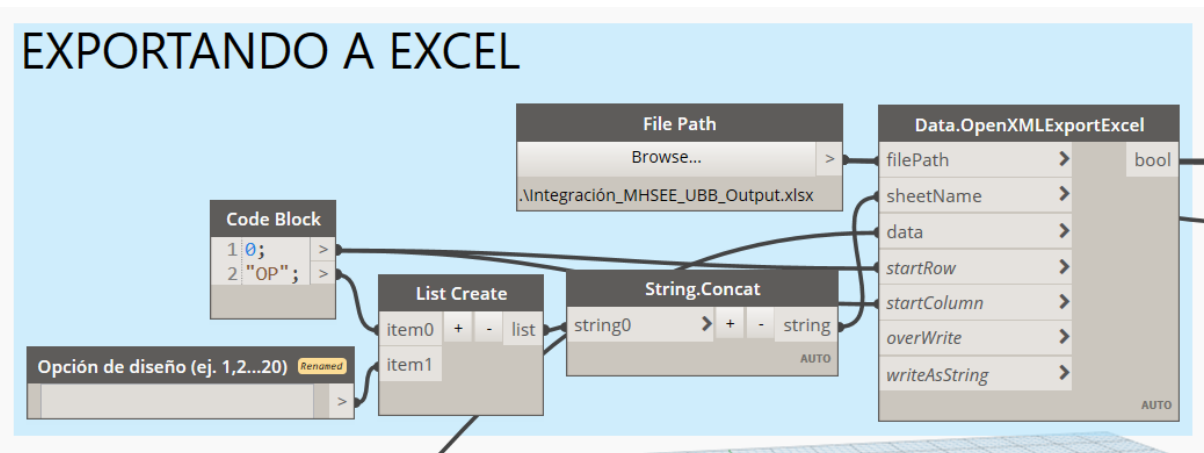
Script 2 parte VIII: ordenando la información para exportar

ORDENANDO LA INFORMACIÓN



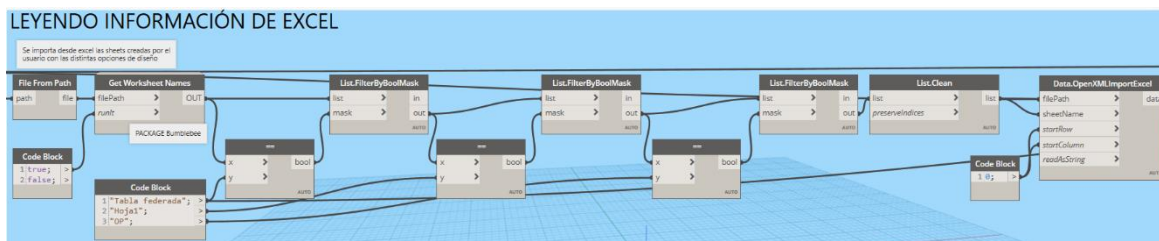
Script 2 parte IX: Exportando los resultados a Excel

EXPORTANDO A EXCEL

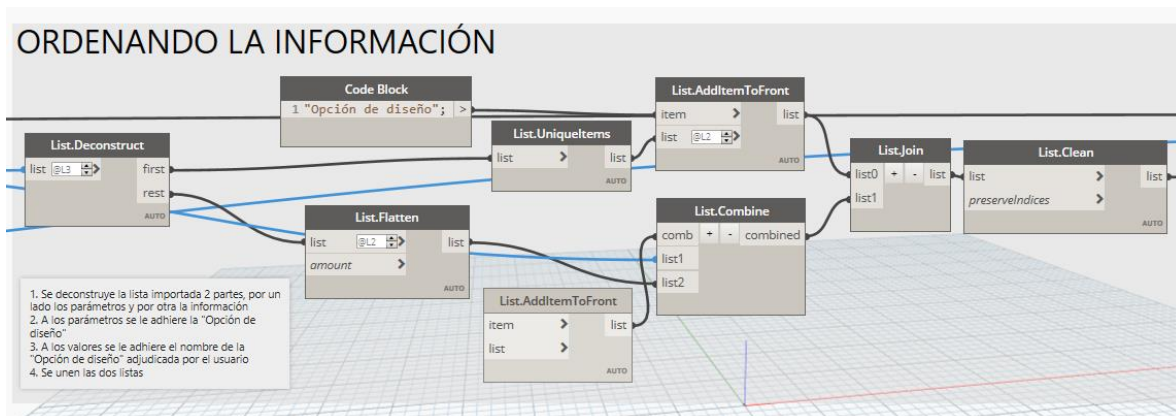


Anexos

Script 2 parte X: Leyendo información de Excel



Script 2 parte XI: Ordenando la información importada para generar una lista federada y volver a exportarla



Script 2 parte XII: Exportando a Excel

