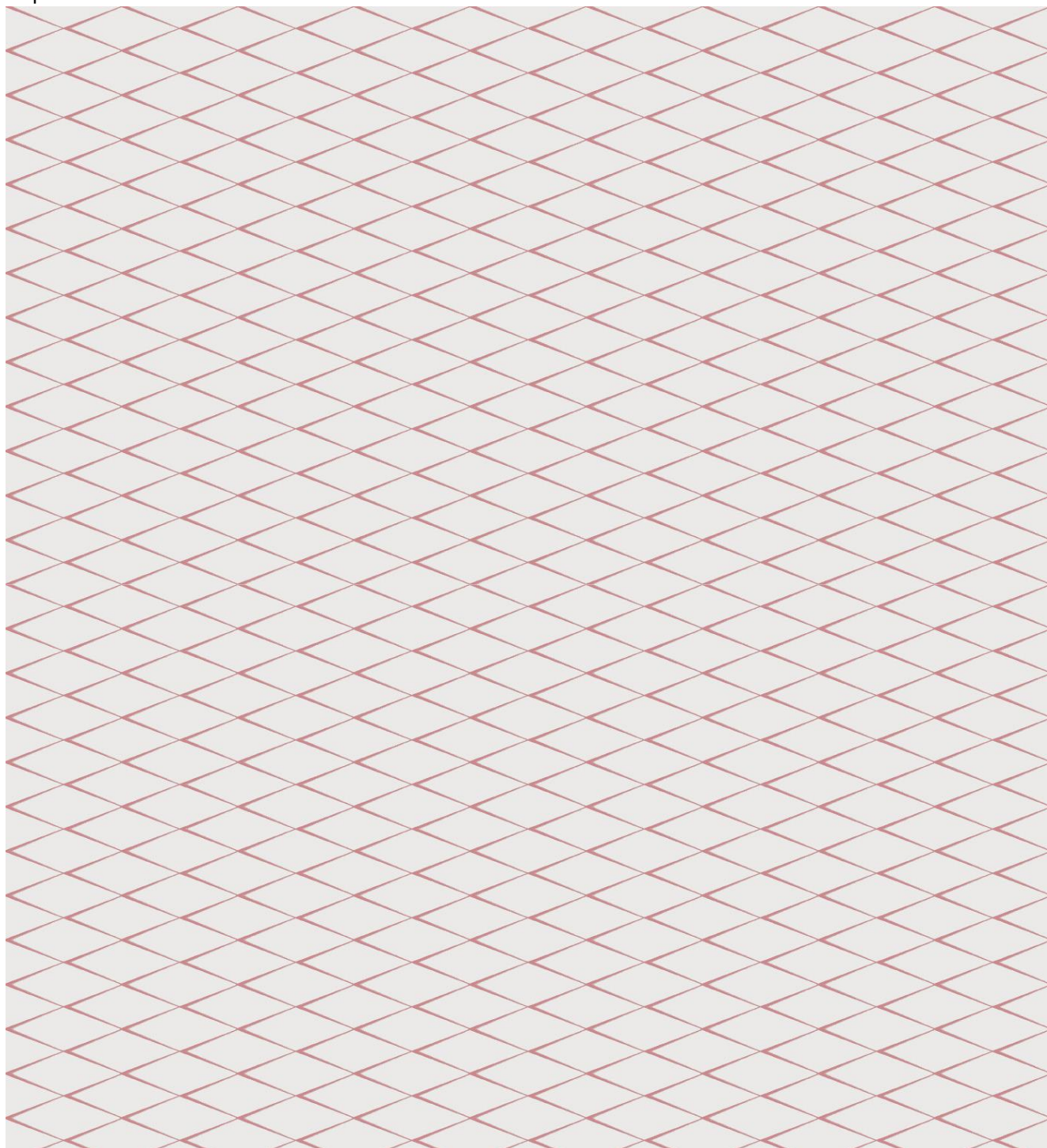


Estudio cálculo de carbono de ciclo de vida completo en piloto de edificación de uso público

Informe N°1 revisión 1
Septiembre 2021



Equipo del proyecto

Antonio Espinoza
Montserrat Bobadilla
Mauricio Villaseñor

EBP Chile SpA
La Concepción 191
Piso 12, Of. 1201
Comuna Providencia
Santiago de Chile
Chile
Teléfono +56 2 2573 8505
Antonio.espinoza@ebpchile.cl
www.ebpchile.cl

Índice

Contenido

1.	Introducción	6
2.	Objetivos del proyecto	7
2.1.	Objetivos específicos	7
3.	Estructura del estudio	8
4.	Consecución de los objetivos	9
4.1.	Objetivo específico 1: Levantamiento de metodologías	9
4.1.1.	Revisión de metodologías existentes	9
4.1.2.	Identificación de instrumentos disponibles	22
4.1.3.	Descripción de características de herramientas de cálculo	42
4.1.4.	Identificación y clasificación de sistemas de certificación	49
5.	Conclusiones	82
6.	Bibliografía	83

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Planificación de actividades, objetivos e hitos. Elaboración propia.	8
Ilustración 2: Diagrama de flujo de evaluación de carbono en el ciclo de vida. RICS, 2017	13
Ilustración 3: Diagrama de flujo del proceso iterativo que propone la metodología. CLF, 2018.	16
Ilustración 4: Relación entre este documento y otras normas más allá de la familia de normas de gestión de GEI. ISO 14067:2018	18
Ilustración 5: Logotipos de herramientas de cuantificación de huella de carbono.	23
Ilustración 6: Software One Click LCA, Cálculo de Carbono Incorporado. Fuente: https://www.oneclicklca.com/construction/carbon-footprint/	24
Ilustración 7: Reporte One Click LCA, Impactos Ambientales. Fuente: https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software/	24
Ilustración 8: Plugin Tally. Fuente: https://choosetally.com/tutorials/	25
Ilustración 10: Herramienta de cálculo Athena IE. Fuente: https://calculatelca.com/resources/watch-tutorials/impact-estimator-for-buildings-tutorials/	27
Ilustración 11: Reportes Athena IE, Comparación de Potencial de Calentamiento Global por etapa del Ciclo de Vida. Fuente: https://calculatelca.com/resources/watch-tutorials/impact-estimator-for-buildings-tutorials/	27
Ilustración 12: Metodología de cálculo Ábaco. Fuente: www.abacochile.cl	28
Ilustración 13: Resultados parciales edificio MIND cálculo RUKARU. Elaboración propia.	29
Ilustración 14: División de partidas desarrollada para el caso del edificio MIND. Elaboración propia.	29
Ilustración 15: Software GaBi. Fuente: https://gabi.sphera.com	30

Ilustración 16: Software GaBi. Fuente: https://gabi.sphera.com/	30
Ilustración 17: Herramienta EC3. Clasificación y visualización de la cadena de suministro de material con DAP. Fuente: EC3 Key Features	31
Ilustración 18: Herramienta EC3. Plataforma digitalizada y automatizada de productos con DAP. Fuente: EC3 Key Features	31
Ilustración 19: Funcionamiento herramientas de cuantificación. Elaboración propia	34
Ilustración 20: Hoja de trabajo del taller realizado en conjunto con la Contraparte Técnica.	36
Ilustración 23: Cero Carbono Estándar 1.0, 2020. Fuente: https://www2.living-future.org/zero-carbon-standard	51
Ilustración 25: Balance energético considerado por Minergie	53
Ilustración 25 Minergie ECO	53
Ilustración 26 Valores de energía gris para distintas tipologías de edificios Minergie.....	54
Ilustración 27 Valores de carbono para distintas tipologías de edificios Minergie.....	54
Ilustración 27 esquema de carbono neutralidad, LEED Zero Carbon.....	55
Ilustración 28 Porcentaje promedio de reducción de emisiones de CO2 en tipologías de edificios BREEAM.....	57
Ilustración 28 Ahorro promedio de emisiones de CO2 asociado a los niveles de certificación BREEAM	58
Ilustración 30 Períodos de referencia conservadores de vida útil de elementos constructivos. RICS professional standards and guidance, UK	65
Ilustración 26 Tablas de vida útil de la normativa SIA 2032:2020	67
Ilustración 27: Propuesta de desglose y evaluación del proyecto piloto. Elaboración propia.....	69
Ilustración 33 Propuesta de aplicación de herramientas de cuantificación y metodologías en el ACV de edificio piloto	70

Índice de tablas

Tabla 1Requerimientos mínimos para el ACV según metodología de RICS ...	11
Tabla 2 Resumen comparativo de metodologías. Elaboración propia y complementada por (Wang, Wang y Yang 2018)	21
Tabla 3 identificación de herramientas de cuantificación de medición de huella de carbono en edificaciones	32
Tabla 4 Evaluación de herramientas de cuantificación según categoría de desempeño. Verde: alto desempeño, Amarillo: mediano desempeño, Rojo: bajo desempeño	37
Tabla 5 Evaluación de herramientas de cuantificación según categoría de usabilidad. Verde: alta usabilidad, Amarillo: media usabilidad, Rojo: baja usabilidad.....	38
Tabla 6 Evaluación de herramientas de cuantificación según categoría de compatibilidad. Verde: alta compatibilidad, Amarillo: media compatibilidad, Rojo: baja compatibilidad.	39
Tabla 7 Ejemplo de escala de valoración	41
Tabla 8 Descripción requerimientos Minergie (Minergie AG 2020)	52
Tabla 9 Resumen comparativo de certificaciones analizadas.	59
Tabla 10 “Vida útil de los Bienes Físicos del Activo Inmovilizado”, que se refiere a a los bienes físicos del activo inmovilizado fijada por el Servicio de Impuestos Internos (SII) para los bienes existentes al 31-12-2002.....	66

Tabla 11 Desglose de materiales, elementos y sistemas de edificio piloto. Propuesta de años de vida útil por elemento constructivo elaborado en base a RICS y SIA 2032:2020	68
Tabla 12 Tablas comparativa de casos de estudio	72
Tabla 13 Caso de estudio en Chile, con herramienta RUKARU, de EBP	77

1. Introducción

El presente documento corresponde al Informe de Etapa 1 del estudio denominado **“Cálculo de carbono de ciclo de vida completo en piloto de edificación de uso público”**, solicitada por el Instituto de la Construcción a través del Sr. Hernán Madrid.

El alcance general del estudio es realizar el levantamiento de los sistemas de cálculo de emisiones incorporadas en la construcción, y realizar una cuantificación de las emisiones incorporadas y operacionales de una edificación desde la cuna a la tumba.

Para lograr lo anterior, EBP Chile pone a disposición un equipo con experiencia en el desarrollo de mediciones de CO₂ en la edificación, tanto a nivel operacional como incorporado en el proceso de construcción de las edificaciones.

2. Objetivos del proyecto

El objetivo general del estudio es realizar una evaluación de intensidad de carbono incorporado y operacional en un edificio de uso público con alcance desde la cuna a la tumba. Esto se realizará utilizando al menos dos metodologías existentes, identificando brechas y/o limitaciones en este proceso. Para la cuantificación del carbono operacional, EBP propone utilizar las mediciones que se realicen de la simulación energética del proyecto, en caso de que esta exista. De no contar con la simulación, se revisarán otras fuentes de información de acuerdo con la tipología del edificio, como es el caso de: 1. estudios como la curva de conservación de energía de edificios públicos, 2. datos de consumo efectivo de edificaciones proveniente de programas como “Comuna Energética”, o 3. Una simulación energética referencial que podrá desarrollar EBP como uno de los entregables extras del estudio.

2.1. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

- Se identificará la bibliografía académica y regulatoria disponible de metodologías y herramientas de cálculo para la estimación de carbono completo durante el ciclo de vida de una edificación.
- Se realizarán un estudio comparativo con herramientas de cuantificación seleccionadas, y adicionalmente se propone una tercera herramienta de cálculo privada elaborada por EBP con apoyo de CORFO.
- Se revisarán las diferencias en cada metodología y las brechas que se presentan en las mismas, en el contexto de una eventual aplicación de manera masiva en Chile.

3. Estructura del estudio

La siguiente figura muestra la vista general de las actividades propuestas.

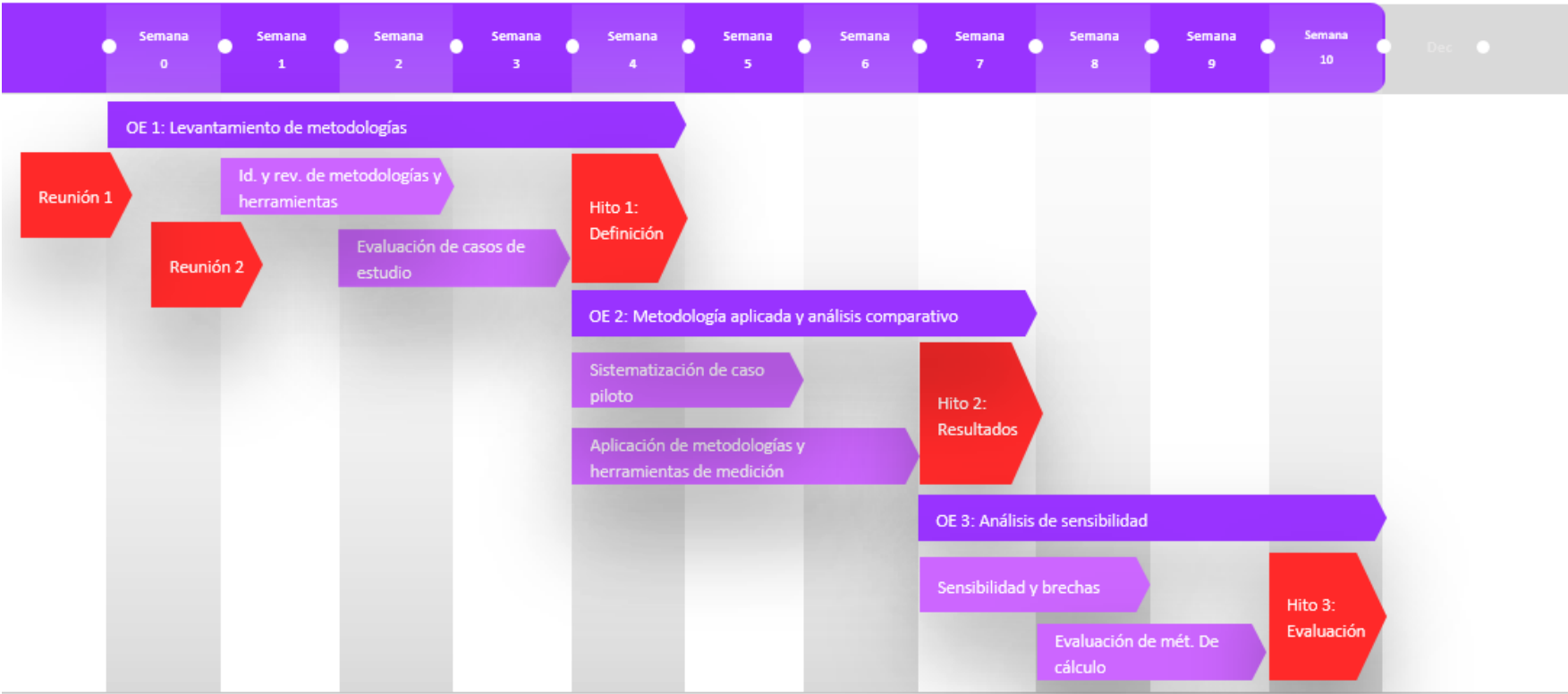


Ilustración 1: Planificación de actividades, objetivos e hitos. Elaboración propia.

4. Consecución de los objetivos

4.1. Objetivo específico 1: Levantamiento de metodologías

Revisión de la bibliografía académica y regulatoria disponible de metodologías y herramientas de cálculo para la estimación de carbono completo durante el ciclo de vida de una edificación.

4.1.1. Revisión de metodologías existentes

Se revisan las siguientes metodologías existentes dirigidas a la industria, para el cálculo de huella de carbono en edificación. Paralelamente, se desarrolla un análisis comparativo, junto a un mapa de interrelaciones, que permite evidenciar la compatibilidad de inserción en el contexto nacional al conectarse con otros instrumentos clave en la medición de huella de carbono de un edificio, como alternativas que incluyan la Declaración Ambiental de Producto (DAP) y sus Reglas por Categoría de Producto (RCP), normas como NCH3447/2 y NCh3447/8, bases de datos de sistemas constructivos (Ábaco), factores de emisión (Sistema eléctrico Nacional) y posibles oportunidades de co-evaluación con herramientas que actualmente calculan demandas energéticas (CEV), entre otros.

- Whole life carbon assessment for the built environment. RICS professional statement, Londres, Reino Unido.
- Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide. Carbon Leadership Forum, 2018. Washington, USA.
- Metodología ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication.
- GHG Protocol.

Whole life carbon assessment for the built environment. RICS professional statement, Londres, Reino Unido. (RICS 2017)

Guía y estándar desarrollado por la Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) para la interpretación e implementación práctica de la metodología contenida en la norma EN15978.

A partir de ésta, se sigue la estructura de módulos que cubre tanto las emisiones operativas de carbono del uso de energía y agua (módulos B6 - B7) como las emisiones de carbono incorporado (módulos A1-A5, B1-B5, C1- C4 y D), ofreciendo una estructura para calcular el impacto de emisiones de CO₂ durante todo el ciclo de vida de una edificación, además de establecer un método de reporte y comunicación. Esta herramienta se encuentra disponible de manera gratuita.

El principal objetivo de este estándar es contribuir a la mitigación del impacto del carbono en el entorno construido, a través de una declaración que estructura y facilita la medición de carbono en el ciclo de vida, a través de una serie de pasos a seguir por parte de los profesionales que realizan evaluaciones de huella de carbono. De este modo, la herramienta, surge desde la necesidad de contar con una guía ajustada al

sector construcción que declare una metodología de uso masivo y estandarizada de la evaluación de carbono en todo el ciclo de vida, apuntando a contar con resultados coherentes y comparables. La aplicación de la norma EN15978 por si sola ha presentado problemas de fiabilidad de resultados, derivados del mal uso de datos y de las diferencias en la interpretación de requerimientos y alcances establecidos en ella por parte de los evaluadores y los clientes. De este modo, aparece la metodología establecida por RICS, como un modo de mitigar estas brechas, asegurar la fiabilidad de los cálculos de carbono y devolver la motivación a los inversionistas y desarrolladores de proyectos para evaluar el ciclo de vida de sus edificios.

Esta metodología declara los siguientes objetivos específicos:

- Proporcionar un plan de aplicación coherente y transparente para evaluar el carbono a lo largo de todo el ciclo de vida y una estructura de reporte para las edificaciones construidas de acuerdo con la norma EN15978.
- Permitir coherencia en los resultados de las evaluaciones de carbono de todo el ciclo de vida para mejorar su comparabilidad y usabilidad.
- Hacer más comunes las evaluaciones de carbono en el ciclo de vida completo, incrementando su accesibilidad y así fomentar un mayor compromiso y aceptación del sector de la construcción.
- Incrementar la fiabilidad de la evaluación de carbono en el ciclo de vida completo, proporcionando una fuente solida de referencia para el sector.
- Promover la reflexión a largo plazo más allá de la finalización de los proyectos, incluyendo el mantenimiento, la durabilidad y adaptabilidad de los componentes del edificio y del proyecto como un todo.
- Promover principios de economía circular fomentando la futura reutilización, tanto de componentes del edificio, como del edificio en su conjunto, mediante la cuantificación de su potencial de recuperación, reutilización y/o reciclaje.

Con estos objetivos, la metodología apunta a obtener un efecto en el sector construcción que fomente la comparación dinámica, comparando un proyecto consigo mismo en el tiempo y la comparación estática, comparando un proyecto con otros proyectos similares (benchmarking)¹. De esta forma, se colocan todos los estudios sobre una misma base de evaluación y se otorga consistencia en los resultados, lo que permite comparaciones en diferentes niveles: por categoría de elementos del edificio, por etapa en el ciclo de vida o incluso entre el ciclo de vida de proyectos completos.

Esto, a su vez va generando información valiosa sobre el carbono incorporado en el ambiente edificado, lo que permite definir la línea base de emisiones de carbono del sector y además posibilita la definición de metas de reducción de emisiones para ser incorporadas en políticas públicas, planes nacionales, sistemas de certificación, entre otros.

Por último, un pensamiento a largo plazo, teniendo en cuenta el ciclo de vida completo de las edificaciones, permite visualizar escenarios futuros y proponer medidas

¹ Benchmarking dinámico: cuando la evaluación del ciclo de vida completo de un proyecto es abordado en una etapa temprana de diseño, lo que proporciona una línea base tanto para comparar los resultados con iteraciones posteriores de evaluación, como para monitorear el progreso del carbono del proyecto. Benchmarking estático: recopilación y análisis de los resultados del ciclo de vida completo desde una etapa del proyecto ya construido. Esto permite una comparación basada en la huella de carbono real de los proyectos de construcción.

preventivas o de mitigación frente al cambio climático, promoviendo la resiliencia del entorno construido.

Es importante mencionar que la metodología de RICS, indica que el análisis de ciclo de vida debe llevarse a cabo desde la etapa conceptual del proyecto (partido general) y al menos antes del diseño técnico del edificio (Etapa 4 según RIBA o equivalente). Luego, este análisis debe llevarse a cabo de forma secuencial durante las etapas de diseño, adquisición de materiales, construcción y fases posteriores a la finalización del proyecto. De este modo es factible contar con una línea base de comparación de emisiones del proyecto y proyectar impactos futuros.

El alcance mínimo requerido por esta metodología para el desarrollo de un análisis de ciclo de vida representativo del impacto ambiental de la edificación debe considerar lo siguiente:

Tabla 1 Requerimientos mínimos para el ACV según metodología de RICS

Partidas del edificio	1. Subestructura
	2. Superestructura
Etapas del ciclo de vida (EN 15978)	Etapa de producto (A1-A3)
	Etapa de proceso de construcción (A4-A5)
	Etapa de reemplazo (B4) (para fachada)
	Energía operacional (B6)
Momento en que se realiza el ACV	En etapa de diseño, anterior a diseño técnico.

Para definir el procedimiento y el objeto de evaluación (edificio), la metodología establece los siguientes alcances:

1. Establecer límites espaciales de evaluación, considerando todas las componentes, materiales y trabajos dentro del sitio del edificio.
2. Caracterización del edificio, en base al itemizado de obras, presupuesto, planimetría, especificaciones técnicas, entre otros. Clasificación de las partes del edificio y componentes que deben ser incluidos en el análisis de ciclo de vida, según las categorías de elementos establecidas en la metodología (basadas en BCIS SFCA) y conforme a la norma EN15978. La guía recomienda considerar al menos el 95% del costo asignado a cada categoría de elementos constructivos.
3. Considerar el período de referencia del estudio, con el fin de la comparación, de acuerdo con la tipología de edificación: proyectos residenciales (60 años), proyectos no residenciales (60 años) y proyectos de infraestructura (120 años). Adicionalmente la metodología permite alternativas para definir el período de referencia de estudio cuando éste es más corto o largo que la vida útil del edificio, tal como lo establece la norma EN15978.
4. Etapas del ciclo de vida, considerando todas las etapas del ciclo de vida definidas por EN 15978, para lograr análisis integrales y holísticos, declarando de manera apartada los beneficios de la reutilización y el reciclaje, por su característica de incerteza e impredecibilidad. El alcance de los módulos evaluados en el análisis de ciclo de vida debe declararse explícitamente y

justificarse en el reporte. Los resultados del módulo D deben comunicarse de manera separada y no integrarse en los cálculos de las etapas de la cuna a la tumba (A-C).

5. Establecer la superficie útil del edificio e incluirla claramente en los diferentes documentos para la evaluación (modelo BIM, itemizado y presupuesto de obra, planimetría del evaluador).
6. Las cantidades de materiales, deben usarse y quedar claramente definidas en base al itemizado de obra, el modelo BIM, el presupuesto de obra y por último respecto a estimaciones que se hagan de los dibujos y planos del evaluador, las cuales deberán quedar justificadas en el reporte de ACV.
7. Las unidades de medida de resultados del análisis de ciclo de vida, deben reportarse en kgCO₂e o múltiplos adecuados como toneladas, considerando además el reportar unidades equivalentes normalizadas según tipo de elemento del edificio mediante kgCO₂e/m², kgCO₂e/m³, kgCO₂e/km, kgCO₂e/kWh, entre otros.
8. Fuentes de datos, basadas en declaraciones ambientales tipo III (DAP) vigentes y certificadas, bajo normas EN 15804, ISO 21930, ISO 14067, ISO 14025, ISO 14040, ISO 14044 y PAS 2050. Adicionalmente la metodología fomenta el uso de factores de emisión locales para el cálculo de carbono equivalente.
9. El secuestro de carbono biogénico, debe considerarse en los cálculos (según EN 16449) solamente si el análisis de ciclo de vida contempla los impactos de final del ciclo (módulo C) y si la madera proviene de fuentes sustentables certificadas (FSC, PEFC o equivalente), de manera de asegurar el ciclo natural del carbono.
10. Proyecciones futuras de descarbonización, producto del aumento de tecnologías y sistemas menos contaminantes, la guía propone enfoques moderados para calcular las emisiones proyectadas ante futuros escenarios, considerando tasas de renovación, mejora de las matrices energéticas y procesos industriales.

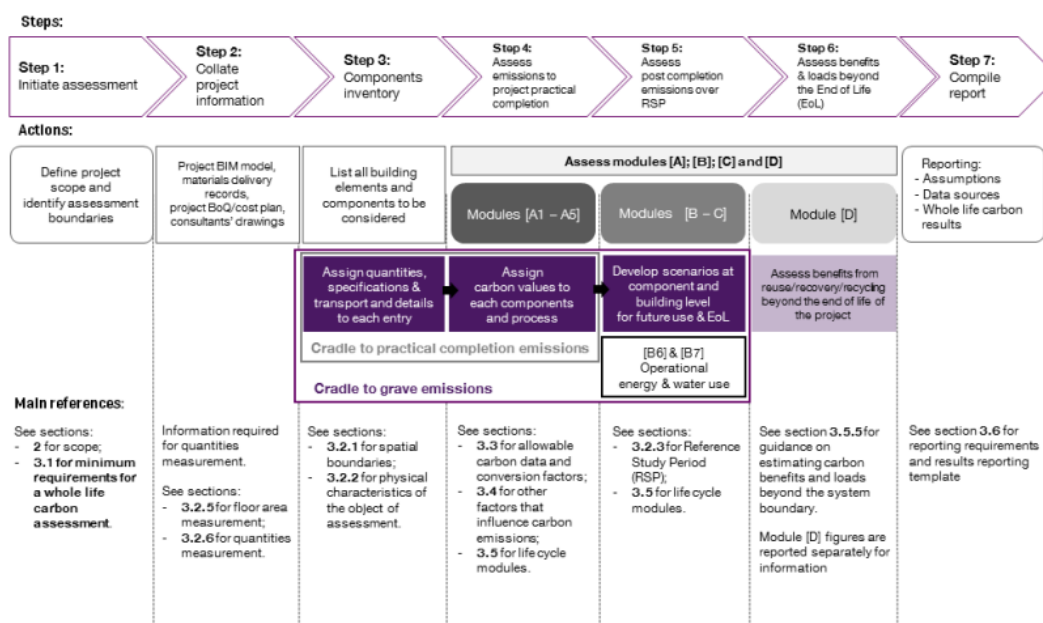


Ilustración 2: Diagrama de flujo de evaluación de carbono en el ciclo de vida. RICS, 2017

Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide. Washington, USA. (Carbon Leadership Forum 2018)

Guía desarrollada para introducir y conducir en el análisis de ciclo de vida completo (ACV) de las edificaciones. Apunta a ayudar a profesionales del sector construcción a entender cómo y por qué usar el ACV en su trabajo. La metodología ha sido desarrollada para Norteamérica, sin embargo, es aplicable a cualquier región geográfica con diferencias que radican en normas locales, sistemas de calificación, bases de datos y herramientas de cálculo. Toma como base la norma europea EN15978 y reconoce que, al ser un estándar desarrollado en otro contexto, requiere del apoyo de una norma local (norteamericana) como US, ASTM E2921-16a, que establece criterios mínimos para comparar análisis de ciclo de vida de edificios con reglamentación o códigos para la edificación, certificaciones y estándares locales, pero no es tan completa como para reemplazar a la EN15978. La guía práctica desarrollada por CLF, propone entonces una metodología que utiliza ambos estándares y completa los vacíos existentes entre ambos.

De este modo, la metodología define alcances y límites para facilitar la toma de decisiones para el desarrollo de análisis de ciclo de vida representativos del real impacto del proyecto y que puedan ser comparables. Así mismo, la guía apunta a acotar la diversidad de datos que se incorporan en este tipo de análisis como: las componentes del edificio que deben incluirse para lograr un ACV completo, las etapas del ciclo de vida que deben incluirse, las fuentes de datos que deben utilizarse, entre otros.

Esta herramienta, se estructura en 2 partes: Primero, una introducción que describe cómo los edificios afectan al medio ambiente y como el ACV puede utilizarse para cuantificar impactos ambientales. Segundo, una parte de implementación, en dónde se presenta la metodología para realizar un ACV de edificios a través de 5 pasos.

La metodología propone un análisis basado en la definición de etapas del ciclo de vida de una edificación de acuerdo con lo establecido en la norma europea EN 15978. Para la evaluación propone ir detectando “puntos críticos” (hot-spot analysis) en el proyecto que generan un mayor impacto ambiental y de esta forma se promueve un diseño ambientalmente consciente en que el diseñador va testeando diferentes soluciones. La metodología indica que cada vez que se realizan modificaciones en el proyecto, debe volver a realizarse un análisis de ciclo de vida, ya que un cambio puede tener repercusiones en una cadena de otros elementos o sistemas del edificio.

Según esta metodología, es posible realizar ACV en diferentes etapas del edificio, es decir, se pueden hacer evaluaciones tanto en la etapa de diseño, como en la etapa de construcción, asegurando el nivel de precisión y exactitud del análisis.

Se establece que, en cada iteración del proyecto, deberá realizarse entonces una nueva ronda de análisis de ciclo de vida, siguiendo los 5 pasos que se indican en el capítulo de “implementación” y que se explican a continuación:

1. Definición de metas y alcance, comprendiendo las intenciones de la evaluación, por ejemplo: evaluar opciones de diseño, alternativas de materiales con diferentes impactos ambientales, elementos del proyecto con mayor impacto, declarar desempeño respecto a regulaciones, alcanzar un nivel de certificación. Se acuerda cuales son las inclusiones y exclusiones del sistema a analizar,

definiendo tipología de uso de la edificación, periodo del estudio (de acuerdo con la norma EN15978) y alcances respecto a límites físicos del edificio (estructura, fundaciones, envolvente, etc) y su sitio, además de la definición de las etapas del ciclo de vida que se consideran en la evaluación (declarando módulos de ACV) y el tipo de impactos que quieren evaluarse.

2. Recopilación del “inventario”, que se refiere al listado de materiales, actividades, procesos y consumos asociados y que están establecidos por el alcance definido previamente. Su nivel de detalle y consideraciones determinará la necesidad de fijar los escenarios que pudiesen variar los impactos ambientales, tales como: tipo de transporte de materiales, distancias, uso de energía de equipamiento, consumo de agua, residuos que generará el edificio, como será su final de ciclo, cada cuánto tiempo se reemplazan elementos del edificio.
3. Evaluación de impactos, mediante herramientas y/o bases de datos, velando por su representatividad y consistencia con los objetivos y alcances. Se recomienda utilizar una única fuente de información o bien, declarar las múltiples referencias. A la vez, se sugiere realizar cálculos desglosados por etapa, para favorecer la interpretación de los resultados, tanto en sus fases como en las diferentes categorías de impacto. Hace mención respecto del Carbono Biogénico, desde un enfoque conservador al no considerarlo o bien, asumiendo sus beneficios potenciales debiendo informarlas como un valor negativo separado en cada módulo del ACV. El reporte de carbono biogénico debe realizarse clasificándolo en una de las tres categorías de acuerdo con la norma ISO 21930.
4. Interpretación de resultados, a través de la revisión de impactos ambientales desglosados por componente del edificio, materiales, etapas, etc., a modo de contar con una vista general de los elementos que mayor impacto están generando. Tomando en cuenta que la iteración es una característica fundamental de esta metodología, se menciona la importancia de realizar chequeos parciales del análisis para comprobar el ingreso y carga de datos, posibles errores en el análisis, comprensión de los resultados desglosados y agrupados, entre otros. De este modo, se manifiesta de manera clara la necesidad de nuevas rondas de evaluación. Para la detección de eventuales errores, la guía recomienda, la comparación con referencias similares que permitan establecer rangos de aceptación y/o validación de los resultados obtenidos. Análisis de sensibilidad o de incertidumbre son también recomendados, al igual que la normalización (en Estados Unidos se utiliza para este fin TRACY²) y ponderación de los resultados.
5. Informe de resultados, generando un reporte que declare los pasos anteriores incluyendo supuestos, metodologías, observaciones y conclusiones, pudiendo seguir la Taxonomía propuesta por la metodología y disponible para descarga online dentro de las herramientas complementarias que indica el documento. La taxonomía recomienda incluir, al menos, la información para los siguientes puntos:
 - Objetivo y alcance
 - Declaración de la meta de ACV

² TRACY herramienta de evaluación de impactos ambientales en el análisis de impactos del ciclo de vida, que entrega factores de caracterización para cuantificar potenciales impactos ambientales.

- Público objetivo
- Descripción funcional equivalente del edificio
- Periodo de estudio de referencia
- Descripción de los límites del sistema: alcance físico del edificio, alcance del ciclo de vida, exclusiones y categorías de impacto ambiental a evaluar.
- Inventario de edificios
 - Tipos de materiales, cantidades y vida útil
 - Descripciones de escenarios para cada material, fuente de energía y flujo de agua para las etapas del ciclo de vida A4 - C4
- Resultados de impacto ambiental para cada módulo del ciclo de vida para las categorías de impacto identificadas en el paso de objetivo y alcance del ACV.
- Interpretación de resultados
 - Una descripción narrativa de su interpretación de los resultados y conclusiones que pudo extraer del análisis.
 - Un resumen de las evaluaciones cuantitativas, tales como impactos por componentes o categorías de edificios, y análisis de sensibilidad e incertidumbre.
 - Sugerencias para mejorar el diseño del edificio o perfeccionar el LCA.

Por último, se propone una etapa opcional de verificación, dependiente de un profesional u organización externa que vele por la coherencia de los objetivos, límites y escenarios; calidad de los datos y su tratamiento; Integridad y relevancia.

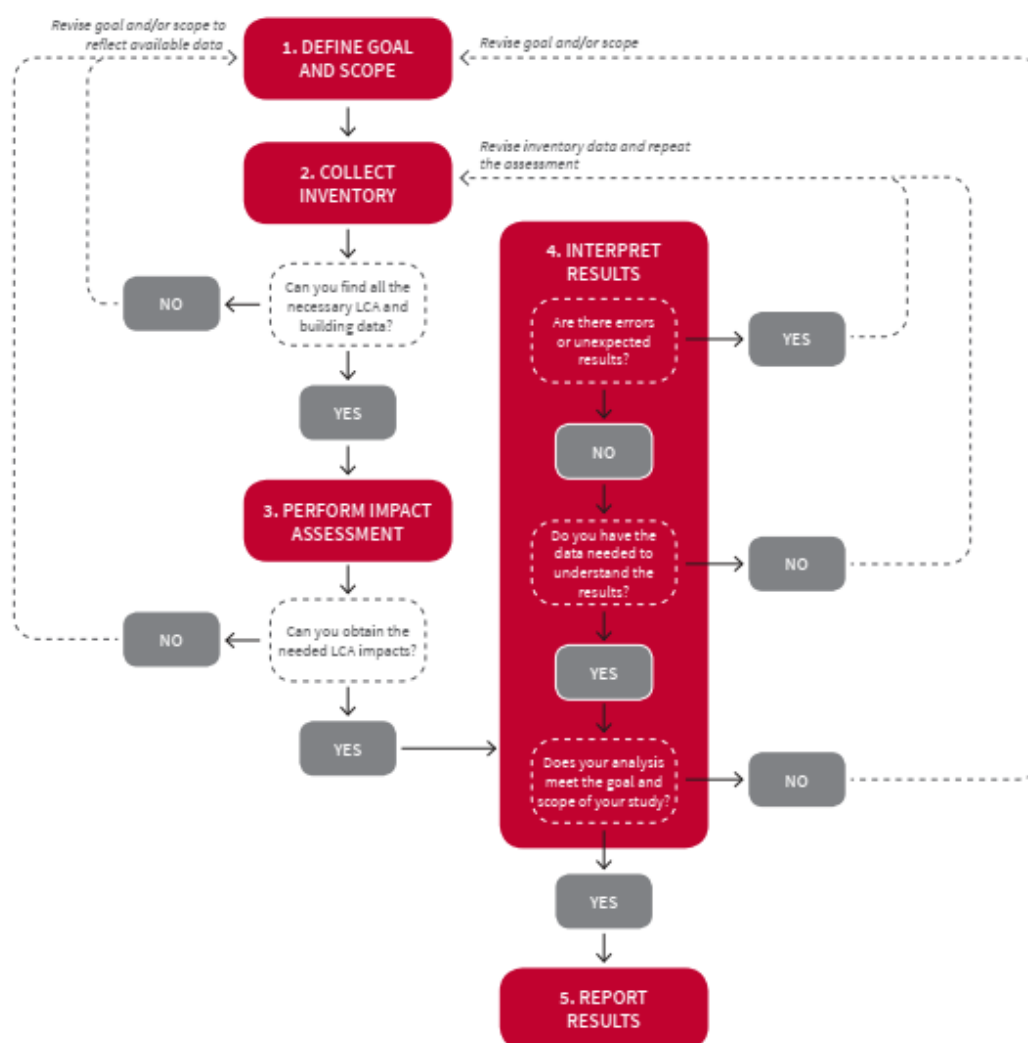


Ilustración 3: Diagrama de flujo del proceso iterativo que propone la metodología. CLF, 2018

Metodología ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication. (ISO 2013)

Especificación técnica, de acceso privado, que define principios, requisitos y directrices para la cuantificación y comunicación de la huella de carbono de un producto, total o parcial, basándose en las Normas Internacionales de evaluación del ciclo de vida (ISO 14040 e ISO 14044) para la cuantificación y en etiquetas medioambientales y declaraciones (ISO 14020, ISO 14024 e ISO 14025) para la comunicación y brinda oportunidades para que la industria de la edificación y la construcción aborden de manera efectiva el cambio climático global (Wu, Xia y Wang 2015).

Proporciona los criterios para calcular la Huella de Carbono de un Producto, basada en el cálculo mediante el Análisis del Ciclo de Vida, pudiendo identificar las etapas responsables de las emisiones y evaluar las estrategias de optimización y minimización. En particular, declara directrices y requisitos para:

- Evaluar el ciclo de vida del producto.

- Facilitar el seguimiento del desempeño para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero
- Disponer de procedimientos eficaces para informar de la huella de carbono de un producto a las partes interesadas.
- Entender mejor el ciclo de vida del producto e identificar oportunidades de reducción de emisiones.
- Proporcionar información de la Huella de Carbono del producto, de modo que se promuevan cambios en el comportamiento de los consumidores y en sus decisiones de compra.
- Proporcionar información correcta y coherente sobre la Huella de Carbono de los productos, y que permitan su comparación en un mercado libre y abierto.
- Facilitar la evaluación de distintas operaciones de diseño, materias primas, métodos de producción y fabricación, reciclado.

Lo anterior, lo logra a través de principios que incluyen la coherencia para garantizar la comparabilidad entre productos, evitar la contabilización doble por parte de emisiones asociadas a proveedores y generadores, promover la participación de las partes interesadas y equidad en la comparación, al valorar solo una única categoría de impacto.

Su implementación comienza con la definición de los límites del sistema, los que, para esta especificación, pueden ser:

- Cuna a tumba: incluye las emisiones y absorciones generadas durante el ciclo de vida completo del producto
- Cuna a puerta: incluye las emisiones y absorciones hasta donde el producto sale de la organización
- Puerta a puerta: incluye las emisiones y absorciones que surgen en la cadena de suministro
- Huella de Carbono de Producto (HCP) parcial: incluye las emisiones y absorciones que provienen solo de etapas específicas

La definición de los límites del sistema mantiene el rigor al evitar un incorrecto alcance e interpretación, proporcionando un reporte y comunicación transparente junto con una comparación de las HCP realizadas bajo límites y unidades comparables.

A continuación, establece la definición de la unidad funcional y la unidad de medida de la categoría de impacto, con la consideración de que estas sean consistentes, coherentes y comparables; en especial para la cuantificación de impactos en la fase de uso y final de vida útil, dada las altas incertidumbres propias de la estimación. Por ello es que propone tres opciones:

1. Buscar información de vida útil verificable representativa del uso real.
2. En caso de que la búsqueda declarada en punto 1. no sea fructuosa, se recomienda el utilizar y generar simulaciones del perfil de uso basado en información técnica vigente
3. En caso de que lo informado en punto 2. no sea factible, se ha de simular modelos y perfiles de uso según recomendaciones del proveedor.

La implementación de este estándar implica seguir el procedimiento establecido y las plantillas e informes para comunicar los resultados, los que pueden ser:

- un informe de comunicación externa de la HCP,
- un informe de seguimiento del desempeño de la HCP,
- una declaración de la HCP, o
- una etiqueta de la HCP.

Cabe señalar que actualmente, esta especificación técnica ha sido sustituida por la ISO 14067:2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification, abordando de la misma forma los requerimientos para la cuantificación (ISO s.f.), pero sumándose al marco amplio y complementario de otras normas para atender en profundidad aspectos tratados por la ISO/TS 14067:2013. En particular:

- los principios, requisitos y orientación sobre la comunicación de la huella de carbono de un producto y la HCP parcial se exponen en ISO 14026;
- los principios, requisitos y orientación sobre verificación se tratan en ISO 14064-3;
- los principios, requisitos y orientación sobre Reglas de Categorías de Productos (RCP) se abordan en ISO/TS 14027;
- se incorpora y aclaran requisitos para el tratamiento del carbono biogénico y la electricidad.

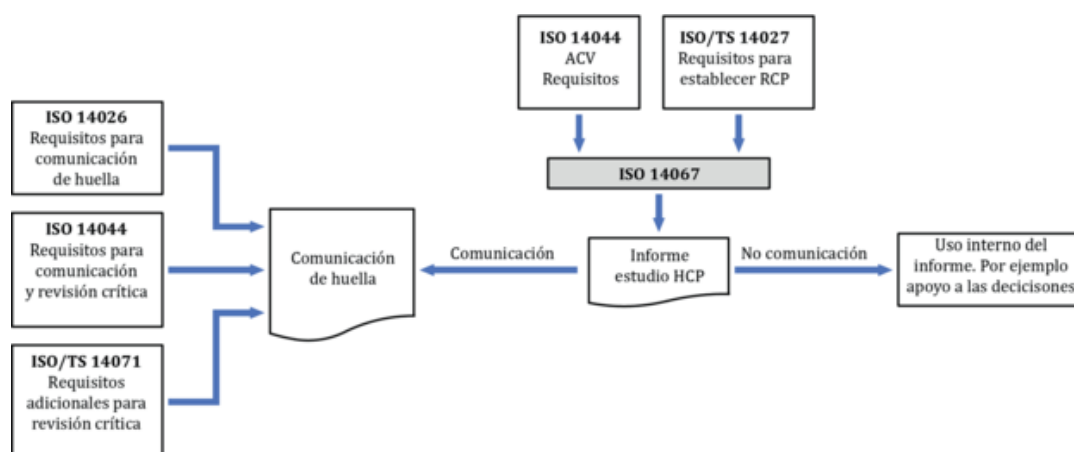


Ilustración 4: Relación entre este documento y otras normas más allá de la familia de normas de gestión de GEI. ISO 14067:2018

GHG Protocol (GHG Protocol 2019)

Estándar internacional, siguiendo lo establecido por normas ISO 14040 y 14044, destinado al cálculo y comunicación del inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), desarrollado por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), junto con empresas, gobiernos y la sociedad civil, desarrollada a partir de cinco principios:

- Relevancia, al ser un elemento objetivo en la toma de decisiones.
- Integridad, al generar el inventario, contabilidad y reporte, justificadamente.
- Consistencia, buscando la comparación significativa de las emisiones en el tiempo.
- Transparencia, manteniendo la objetividad y coherencia, con auditorías trazables.
- Precisión, controlando límites, errores o desviaciones respecto de lo evaluado.

Este Protocolo comprende tres estándares distintos, vinculados entre sí, para evaluar los GEI:

- Estándar de Informes y Contabilidad Corporativa del Protocolo de GEI (2004), para que las empresas cuantifiquen e informen sus emisiones corporativas de GEI (GHG Protocol 2019).
- Estándar de Contabilidad e Informes de la Cadena de Valor Corporativa (Alcance 3) del Protocolo de GEI (2011), para que las empresas cuantifiquen e informen sus emisiones de GEI en la cadena de valor (GHG Protocol 2011).
- GHG Protocol for Project Accounting (2005), para cuantificar las reducciones de proyectos de mitigación de GEI (GHG Protocol 2011).

El estándar trabaja mediante la definición de alcances para el inventario de emisiones, contabilizando GEI de tipo directo, generadas por las fuentes que son propiedad o que están controladas por la empresa, y de tipo indirecto originadas por el consumo de electricidad dentro de los límites del sistema evaluado.

La metodología de implementación de la norma se divide en las siguientes etapas:

- Establecimiento de límites organizacionales.
- Establecimiento de límites operacionales.
- Seguimiento a las emisiones a través del tiempo
- Identificación y cálculo de las emisiones de GEI.
- Gestión de la calidad del inventario.

Las dos primeras comprenden la definición de los límites, seleccionando las unidades, sistemas, actividades o proyectos que serán parte de la evaluación, estableciendo el alcance del inventario.

Tras ello, se requiere establecer el sistema de seguimiento de las unidades o proyectos a través del tiempo, con el fin de lograr la comparación sostenida de resultados y estrategias, considerando que, las emisiones del año base deberán ser recalculadas.

Luego, procede la etapa de la identificación detallada de las emisiones y su posterior cálculo, siguiendo una ruta establecida consistente en: Identificar las fuentes de GEI, Seleccionar un método de cálculo, Recolectar datos sobre las actividades y considerar sus factores de emisión, Aplicar herramientas de cálculo, y Enviar y registrar la información internamente. Solo en el caso del Alcance 3 se permite un detalle menos exhaustivo, pudiendo ser un resumen de la cadena de procesos y valor de cada organización o proyecto y sus fuentes de emisión, velando siempre por mantener la coherencia para futuras mediciones o bien, declarando nuevos límites.

Finalmente, se requiere de implementar un sistema de gestión de calidad asociada al inventario levantado, para validar la calidad de la información y su cálculo.

Al igual que otras metodologías, propone una guía para la contabilización de reducción de emisiones de GEI, mediante la reducción de emisiones directas, indirectas o asociadas a compensaciones o créditos.

En cuanto al reporte, se establecen campos comunes concordantes con la descripción de la organización y la declaración de lo considerado en la metodología, utilizando indicadores como:

- Coeficientes de productividad/eficiencia
 - Productividad de recursos: ventas/GEI;
 - Ecoeficiencia de procesos: volumen de producción/GEI;
- Coeficientes de intensidad
 - Intensidad de emisión de producto en ton CO₂ en función de servicios o ventas;
- Porcentajes
 - Emisiones de GEI en relación con periodos de tiempo, etapas o subgrupos relevantes.

GHG Protocol destaca por ser un estándar de acceso abierto y gratuito ofreciendo masivos marcos de comparación, y que se mantiene en desarrollo de nuevas guías en colaboración con otros actores. Así es como surge:

- Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GHG Protocol 2012), marco para ser utilizado por gobiernos locales para identificar, calcular y reportar sobre los GEI dentro de los límites de la ciudad.
- Construction CO₂e Measurement Protocol (ENCORD 2012), junto a la Red europea de empresas constructoras para la investigación y el desarrollo, que establece una guía para empresas del sector construcción, que operen en cualquier región y busquen medir las emisiones de CO₂e resultantes de sus operaciones y de su cadena de suministro.

A continuación, se expone una tabla resumen de las metodologías evaluadas considerando criterios claves para su decisión.

Tabla 2 Resumen comparativo de metodologías. Elaboración propia y complementada por (Wang, Wang y Yang 2018)

Especificaciones	GHG Protocol	ISO 14067	RICS	CFL
Objetivo	Contabilizar emisiones	Estandarizar la cuantificación y comunicación de emisiones	Estandarizar y facilitar el proceso de ACV. Mejorar la coherencia en los resultados.	Guiar en la aplicación de un ACV. Facilitar la comprensión de sus objetivos y resultados.
Aplicación a sector construcción	Emisiones corporativas	ACV de productos	ACV completo de edificios	ACV completo de edificios
Categorías de Impacto evaluadas	Potencial de Calentamiento Global	Potencial de Calentamiento Global	Potencial de Calentamiento Global	Múltiples: Potencial de Calentamiento Global, Acidificación, Eutrofización, Disminución de Ozono Estratosférico, Toxicidad al Ser Humano y Ecotoxicidad, entre otros
Límites del ciclo de vida	Cuna a la Puerta	Cuna a la Puerta	Cuna a la Puerta	Cuna a la Puerta
	Cuna a la Tumba	Cuna a la Tumba	Cuna a la Operación	Cuna a la Operación
		Puerta a Puerta	Cuna a la Tumba	Cuna a la Tumba
		Ciclo de Vida Parcial	Incluyendo beneficios y cargas más allá de los límites	Incluyendo beneficios y cargas más allá de los límites
Normas de referencia	ISO 14040-14044	ISO general	EN 15978	EN 15978 y ASTM E2921-16a
Carbón biogénico	Secuestro para el sistema de la cuna a la puerta.	Secuestro por separado, no se incluye en los resultados totales.	Se incluye el secuestro y posterior liberación en el ACV.	2 opciones: <ul style="list-style-type: none"> • no se considera • Se informa como valor negativo separado en cada módulo
Disponibilidad	Abierta, gratuita	Cerrada, de pago	Abierta, gratuita	Abierta, gratuita

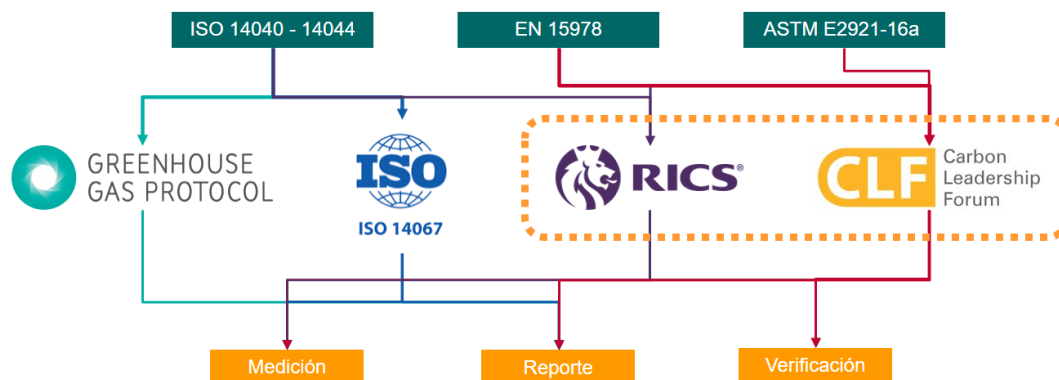


Figura 1 Interrelación entre metodologías analizadas y normas relacionadas con la medición de carbono en el ciclo de vida de las edificaciones

En conclusión, todas las metodologías hacen referencia a normas comunes que establecen el marco general de trabajo, como lo son las propias de ISO y EN, proponiendo guías que colaboran con su implementación o cubren brechas que ambas no resuelven. A la vez, son instrumentos adaptables a los contextos locales, normativas y estándares, siempre y cuando exista un apego a los procesos que declaran para lograr la consistencia de los resultados apuntando hacia la comparación de los mismos. Se subentiende que ninguno de los procedimientos de las metodologías expuestas son rígidos o no cuentan con el potencial de adaptación a marcos regulatorios propios, si así se buscase. Las metodologías de RICS y CLF se muestran como las mejores alternativas para guiar procesos de análisis de ciclo de vida en el contexto nacional desde el pre-diseño, gracias a su capacidad de definir alcances, permitir escenarios de comparación y acortar brechas de ingreso de datos o resultados incoherentes.

4.1.2. Identificación de instrumentos disponibles

Las herramientas de cuantificación de huella de carbono son herramientas que permiten medir la cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera por un elemento o una actividad particular, considerando su ciclo de vida completo o parte de éste. En general las herramientas de cálculo miden emisiones, cruzando información (datos de masa, superficie, distancia, consumo) con factores de emisión de una región en particular. Pero también, las herramientas de cuantificación son capaces de medir distintos impactos ambientales (grado de daño a la atmósfera) procesando emisiones con potencial de calentamiento global (PCG) por ejemplo. Las emisiones de GEI, se miden en toneladas o kilogramos de CO₂ equivalente (tCO₂e).

Actualmente, existen varias herramientas de cuantificación ampliamente utilizadas a nivel internacional para la medición de huella de carbono de productos, materiales, sistemas y proceso asociados al ciclo de vida de la construcción y que entregan resultados respecto a carbono incorporado y/u carbono operacional de un edificio.

Estas herramientas de cuantificación son variadas en cuanto a:

1. alcance de evaluación en cuanto a módulos del análisis del ciclo de vida completo de las edificaciones
2. precisión
3. interoperabilidad con otras herramientas

4. base de funcionamiento (software, Excel, plataforma online)
5. tipo de datos de ingreso
6. finalidad (declaración ambiental de productos, evaluación de actividades de la producción /construcción, evaluación de la operación del edificio, entre otros)

En esta sección, exponemos las principales características y modo de trabajo de 7 herramientas de cuantificación de huella de carbono que ya están siendo utilizadas y cuentan con pilotos evaluados, en Chile y el extranjero. Para una mejor comprensión de los distintos instrumentos y evaluar su posible priorización o aplicabilidad a nivel nacional, estas serán categorizadas e individualizadas en una tabla.

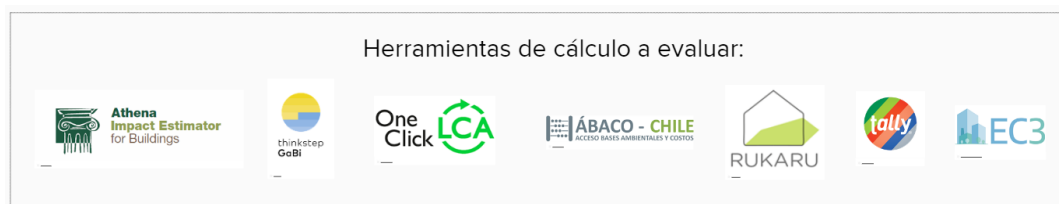


Ilustración 5: Logotipos de herramientas de cuantificación de huella de carbono

Para calcular y evaluar adecuadamente la Huella de Carbono de los edificios se ha de utilizar la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), una herramienta de evaluación enmarcada por la Organización Internacional de Normalización, en sus normas ISO 14040/14044. Por su parte, la Unión Europea desarrolló la serie EN 15978: 2011, proponiendo un enfoque consistente en la cuantificación de este impacto según el producto entre volúmenes y factores de emisión. No obstante, en la práctica, la evaluación de la Huella de Carbono se lleva a cabo de diversas formas, adoptando diversos estándares que se ajusten a los propósitos y alcances de cada caso y estudio, al asumir distintas variables, alcances y límites del sistema, unidades funcionales, factores de emisión y las propias características físicas de las edificaciones; lo que implica una dificultad al momento de realizar comparaciones válidas, trayendo consigo un riesgo de imprecisiones en la interpretación.

Así, resulta relevante evaluar los fundamentos y procedimientos de las metodologías y herramientas enfocadas en ACV para la evaluación del carbono.

One Click LCA

Comienzo (año)	Institución responsable	País de origen
2011	Bionova Ltda / OneClick LCA	Finlandia

Software desarrollado por Bionova Ltda. Cumpliendo la norma EN 15978, dedicada a la evaluación del ciclo de vida aplicable a Proyectos de Construcción, Productos y Organizaciones, utilizando Declaraciones Ambientales de Productos (DAP) basadas en las normas ISO 14044 y EN 15804, con el potencial de evaluar diversas Categorías de Impacto.

Cuenta con una amplia base de datos de DAP para materiales de construcción, ofreciendo la posibilidad de utilizar datos genéricos para ser aplicados en países que no cuenten con información ajustada a sus contextos, mediante un mecanismo de compensación local que ha sido testado y aprobado por BRE.

Sus reportes ofrecen la posibilidad de obtener calificaciones para numerosas certificaciones, entre las que destacan: BREEAM, LEED, DGNB y HQE. Y es compatible con diversos formatos de importación de información, desde modelos BIM en formato IFC, modelos energéticos a través de formato gbXML, Excel; incluyendo la opción de incorporar manualmente los productos o materiales de un listado propio. Adicionalmente, cuenta con una versión plug-in para incorporar a software REVIT.

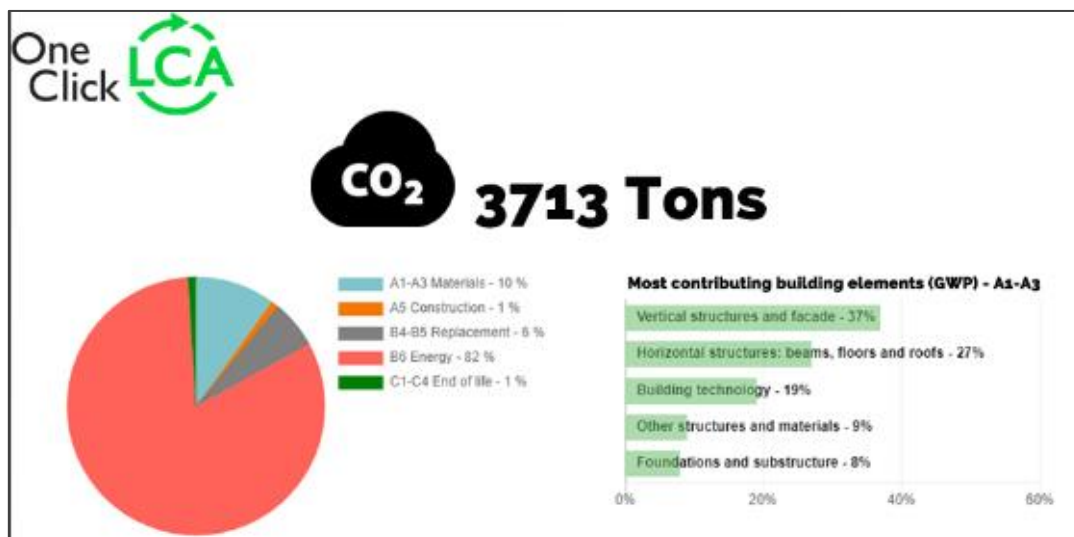


Ilustración 6: Software One Click LCA, Cálculo de Carbono Incorporado. Fuente: <https://www.oneclicklca.com/construction/carbon-footprint/>

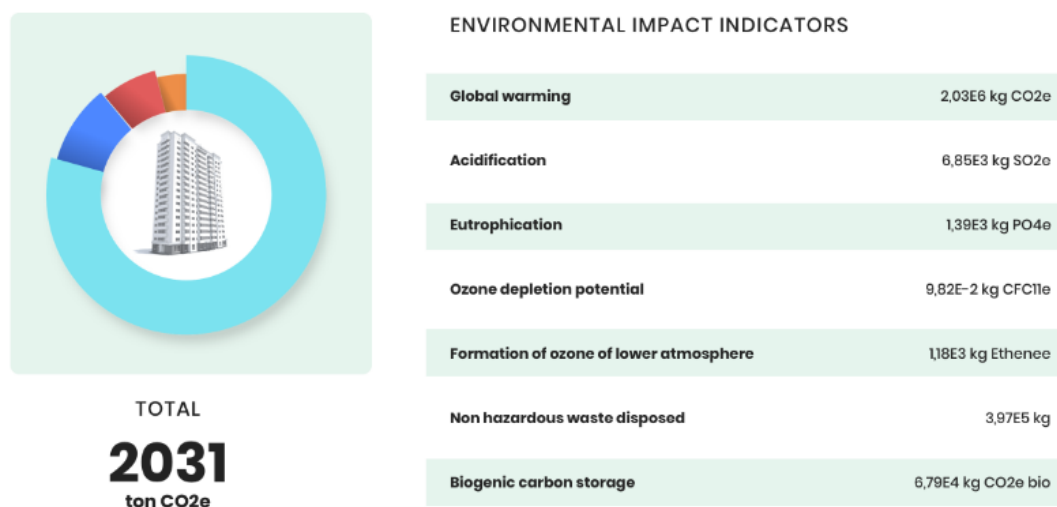


Ilustración 7: Reporte One Click LCA, Impactos Ambientales. Fuente: <https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software/>

Tally

Comienzo (año)	Institución responsable	País de origen
2013	KT Innovations	EEUU

Aplicación de tipo plug-in, adaptada para trabajar con REVIT, desarrollada por KT Innovations y que cuenta con el respaldo de Autodesk Sustainability Solutions y Thinkstep GaBi, quienes le brindan la posibilidad de ser usada directamente en software de diseño y modelamiento, y de recurrir a una base de datos de DAP, respectivamente, utilizando la metodología TRACI, que fue adoptada por LEED y aceptada por el programa de certificación Living Building Challenge (Dalla Valle 2021).

Permite a los usuarios realizar durante el proceso de diseño diferentes tipos de ACV, desde la producción, el mantenimiento, el reemplazo y el final de la vida útil de los materiales, excluyendo sistemas y equipos mecánicos. A la vez, entrega la posibilidad de realizar ajustes a valores de referencia con el fin de considerar el contexto local, como dosificaciones, densidades, distancias de transporte, ciclos de sustitución planificados y el consumo energético operativo.

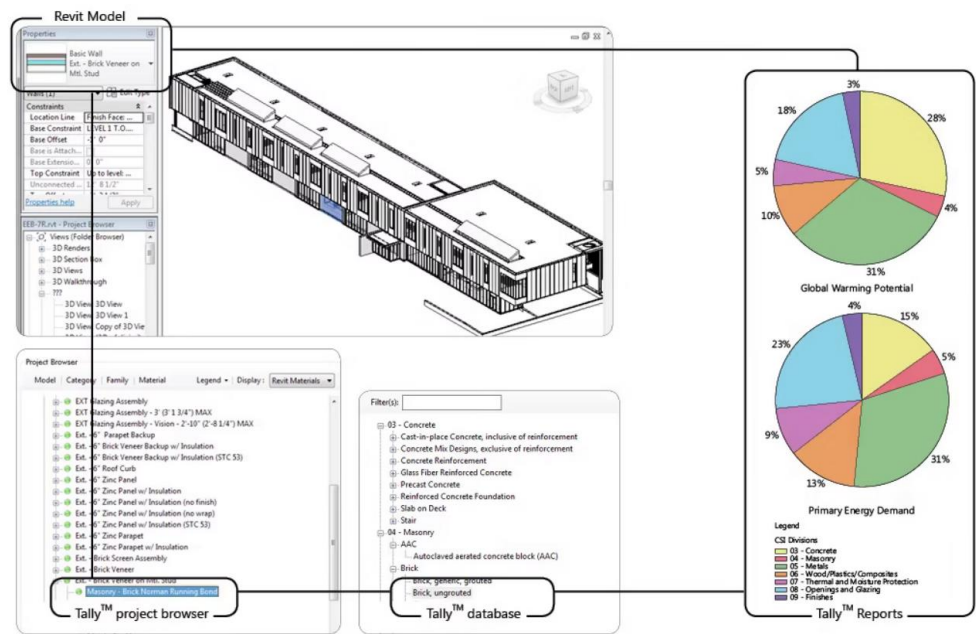


Ilustración 8: Plugin Tally. Fuente: <https://choosetally.com/tutorials/>

Athena Impact Estimator

Comienzo (año)	Institución responsable	País de origen
2002	Athena Sustainable Materials Institute	Canadá

Software gratuito desarrollado por Athena Sustainable Materials Institute para comparar el perfil ambiental de sistemas constructivos y proyectos, mediante la carga de información, consumo energético de operación, configuración y caracterización del proyecto, dimensiones y volúmenes de materiales a partir de un listado y una base de datos de materiales amplia pero cerrada no modificable.

Su cuantificación de impactos está basada en la metodología TRACI de EE.UU. y ajustada únicamente al contexto norteamericano, con sensibilidad por local, considerando sus matrices energéticas, códigos constructivos y estimación de distancias de transporten continuamente.

Sólo cuenta con la opción de vincular datos con software CAD y ha sido promovido por LEED como una herramienta de referencia para el contexto de América del Norte (Dalla Valle 2021).

La herramienta de cálculo, llamada Impact Estimator considera el impacto ambiental de:

- Producción, extracción y contenido reciclado de materiales
- Transporte
- Construcción en el sitio
- Variación regional en uso de energía, transporte y otros factores
- Tipo de edificio y vida útil asumida
- Efectos de mantenimiento y reemplazo
- Demolición y desechos

Aunque esta herramienta de cálculo no tiene la capacidad de evaluar de energía operativa, sí permite el ingreso de los resultados de una simulación energética para calcular las cargas del ciclo relacionadas con combustión, incluidos los efectos de precombustión.

De esta manera, la herramienta de cálculo finalmente puede incluir estos factores también en los resultados generales de la cuna a la tumba de:

- Potencial de calentamiento global
- Potencial de acidificación
- Potencial de efectos en el sistema respiratorio humano
- Potencial de agotamiento de la capa de ozono
- Potencial de smog fotoquímico
- Potencial de eutrofización
- Consumo de combustibles fósiles

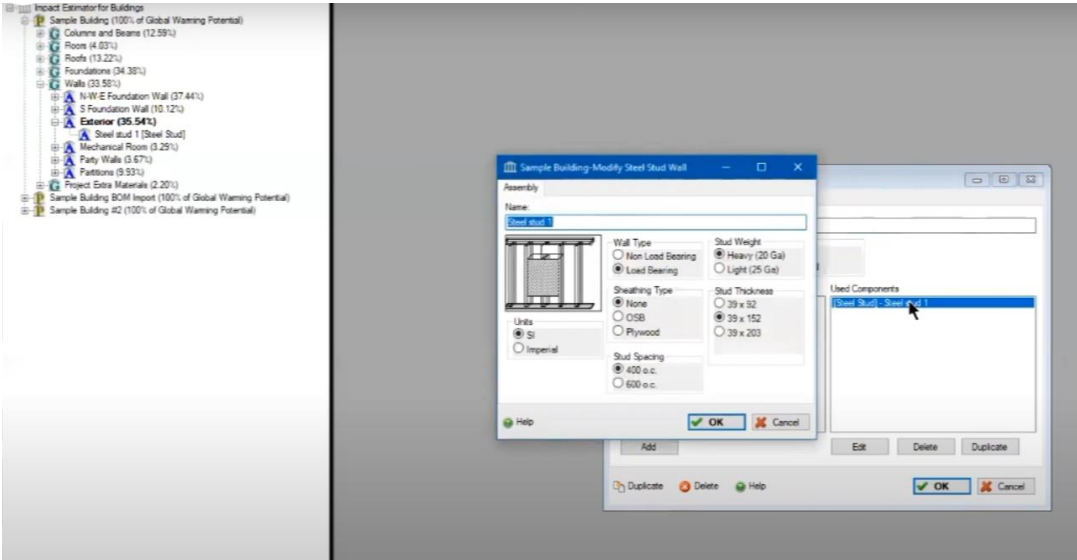


Ilustración 9: Herramienta de cálculo Athena IE. Fuente: <https://calculatelca.com/resources/watch-tutorials/impact-estimator-for-buildings-tutorials/>

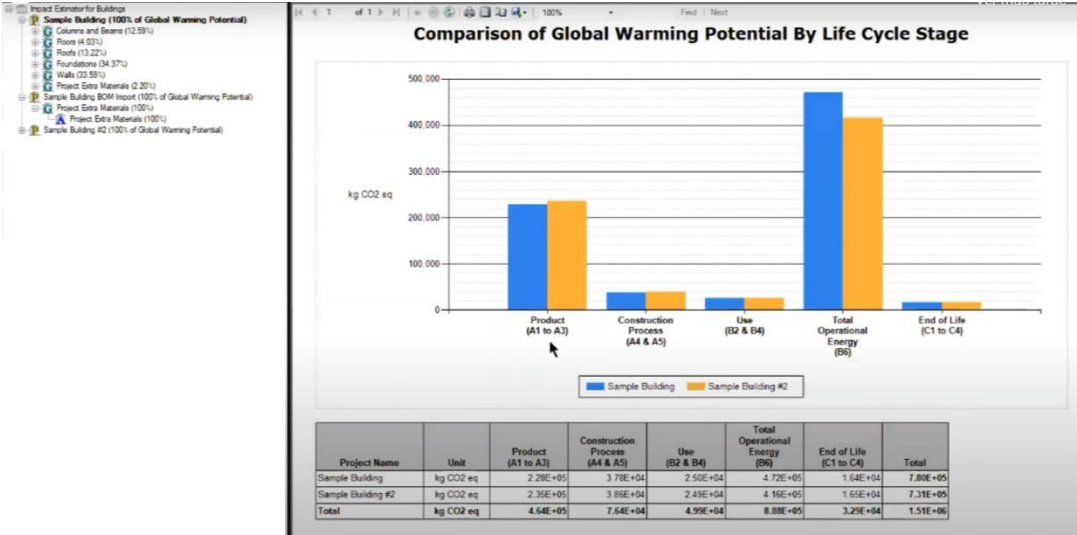


Ilustración 10: Reportes Athena IE, Comparación de Potencial de Calentamiento Global por etapa del Ciclo de Vida. Fuente: <https://calculatelca.com/resources/watch-tutorials/impact-estimator-for-buildings-tutorials/>

ÁBACO-CHILE (Acceso a Bases Ambientales y de Costos de Chile)

Comienzo (año)	Institución responsable	País de origen
2015	CITEC UBB / U. de Sevilla	Chile

ÁBACO CHILE se denomina “Plataforma para la difusión de costos económicos e indicadores medioambientales para la gestión integrada de proyectos de construcción en Chile”, y corresponde a una herramienta de ecoeficiencia, pasada en una herramienta de elaboración de presupuestos, a través de la cual se integran indicadores de sustentabilidad (ambientales, de costos y sociales), con la finalidad de mejorar los procesos de licitación, públicas y privadas de proyectos de edificación en Chile

Aplica el enfoque de ACV con alcance de la cuna a la puerta, módulos A1-A3 de materiales y procesos constructivos en Categorías de Impacto de Agotamiento de Recursos Abióticos y Potencial de Calentamiento Global, a través de la Energía y Carbono Incorporado, respectivamente.

La información de los materiales y proceso está basada en Ecoinvent 3.0 con un debido ajuste al contexto nacional mediante la consideración de los factores de emisión de la matriz energética del año 2017. (C.Muñoz 2020)

Posee el potencial de ser escalable y declara considerar a futuro nuevas métricas que proporcionen información relativa a la generación de residuos, huella hídrica y huella ecológica.



Ilustración 11: Metodología de cálculo Ábaco. Fuente: www.abacochile.cl

RUKARU

Comienzo (año)	Institución responsable	País de origen
2020	EBP Chile SpA.	Chile

Herramienta de cálculo de huella de carbono elaborada por EBP Chile y desarrollada gracias a un financiamiento CORFO de la modalidad Crea y Valida. Ha sido planificada como un aporte a la reducción del impacto del sector construcción en el cambio climático.

La herramienta RUKARU es una plataforma de interacción con enfoque de ciclo de vida y desarrollada de acuerdo con lo establecido en el estándar europeo EN15978:2011. A través de ella, los actores del sector privado pueden evaluar mediante un *dashboard* interactivo, la realidad del impacto en huella de carbono de sus proyectos, con enfoque de la cuna a la puerta (A1-A5, B1-B7)

Carbono incorporado por etapas

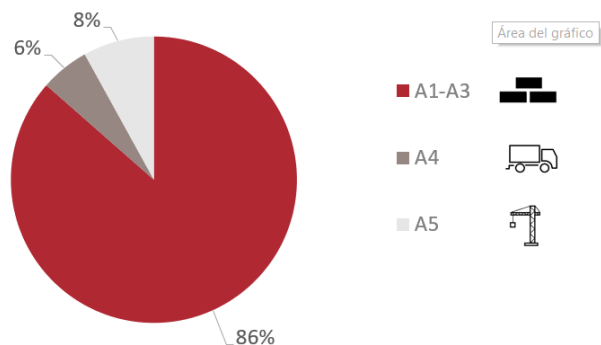


Ilustración 12: Resultados parciales edificio MIND cálculo RUKARU. Elaboración propia

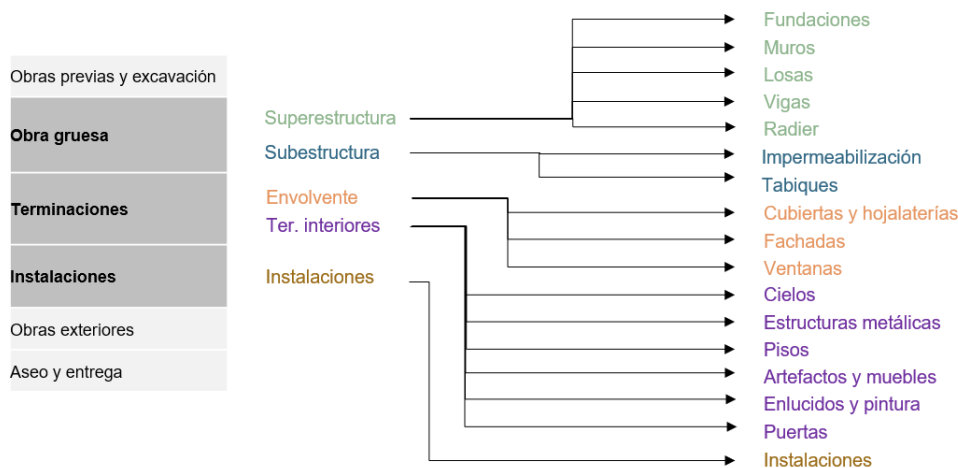


Ilustración 13: División de partidas desarrollada para el caso del edificio MIND. Elaboración propia

Con respecto a los datos de ingreso, RUKARU es una plataforma de fácil configuración y carga de datos, en ella es posible cruzar datos con diversas fuentes y es escalable.

GaBI

Comienzo (año)	Institución responsable	País de origen
----------------	-------------------------	----------------

1989	Sphera Company	Alemania
-------------	-----------------------	-----------------

También conocida como Sphera's Life Cycle Assessment es un software de pago que aplica el enfoque integral de ACV a todo tipo de producto, sistema o servicios, mediante el modelamiento de los procesos y flujos junto con la caracterización de las unidades, pudiendo determinar todas las Categorías de Impacto con que se cuente información.

Diseñado bajo una arquitectura de módulos y parámetros, permite establecer procesos con diferentes modelos de producción, que se trazan con un inventario de más de 12.700 datos recopilados internamente, permitiendo igualmente el incorporar otras bases de datos externas tanto ambientales, económicas o sociales, logrando una evaluación de los impactos conducentes a la optimización o minimización deseada.

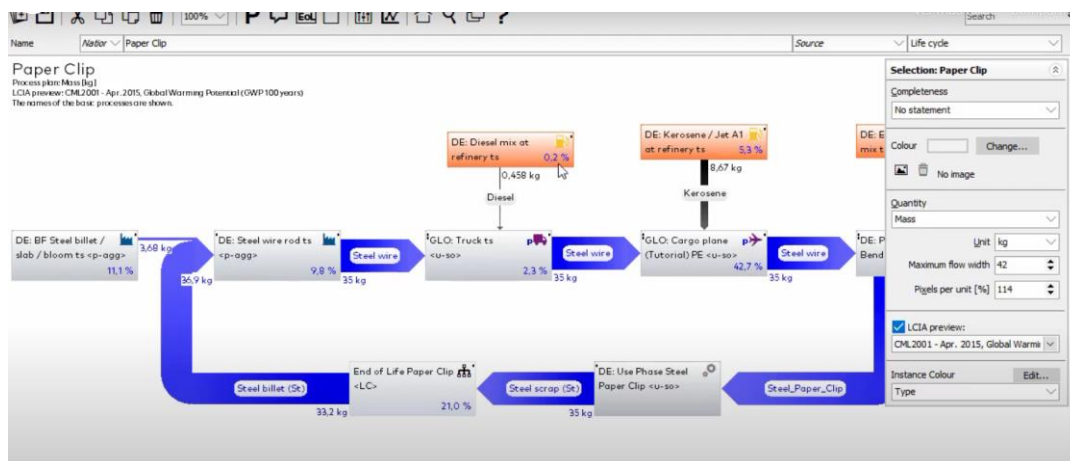


Ilustración 14: Software GaBi. Fuente: <https://gabi.sphera.com>

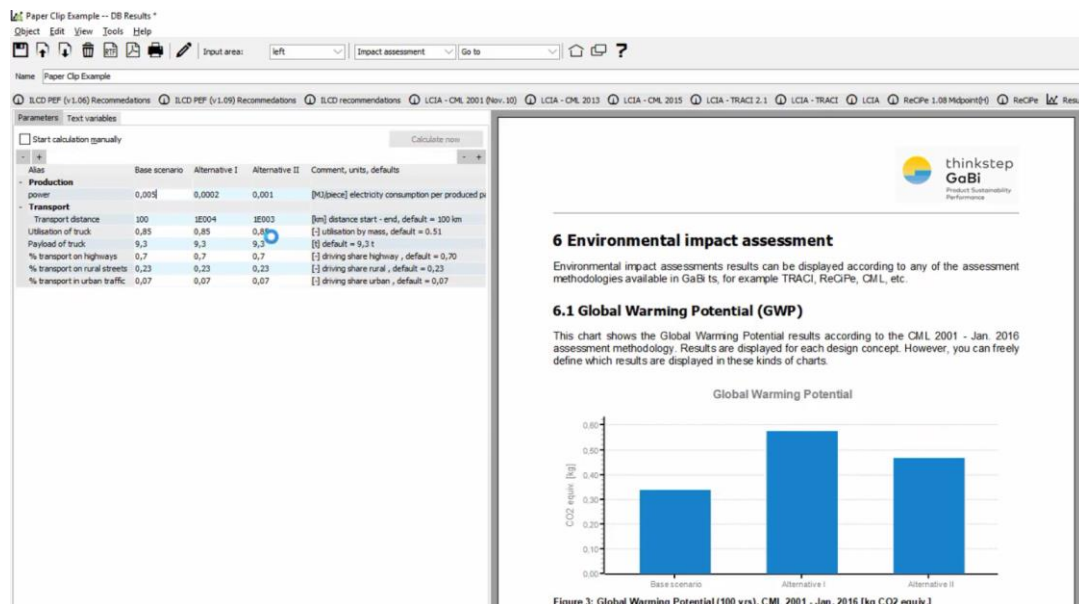


Ilustración 15: Software GaBi. Fuente: <https://gabi.sphera.com/>

EC3

Comienzo (año)	Institución responsable	País de origen
2019	Building Transparency	EEUU

Embodied Carbon in Construction Calculator (EC3) es una herramienta online gratuita desarrollada por la organización Building Transparency y apoyada por entidades de la industria para poder disponer un amplio catálogo de DAP certificadas por terceros.

Permite evaluar el Carbono incorporado en las fases iniciales de los proyectos, de la cuna a la puerta (A1-A3) a partir del inventario que ingrese el usuario manualmente o desde modelos BIM y cruzándolo con la base de datos de DAP con que cuenta.

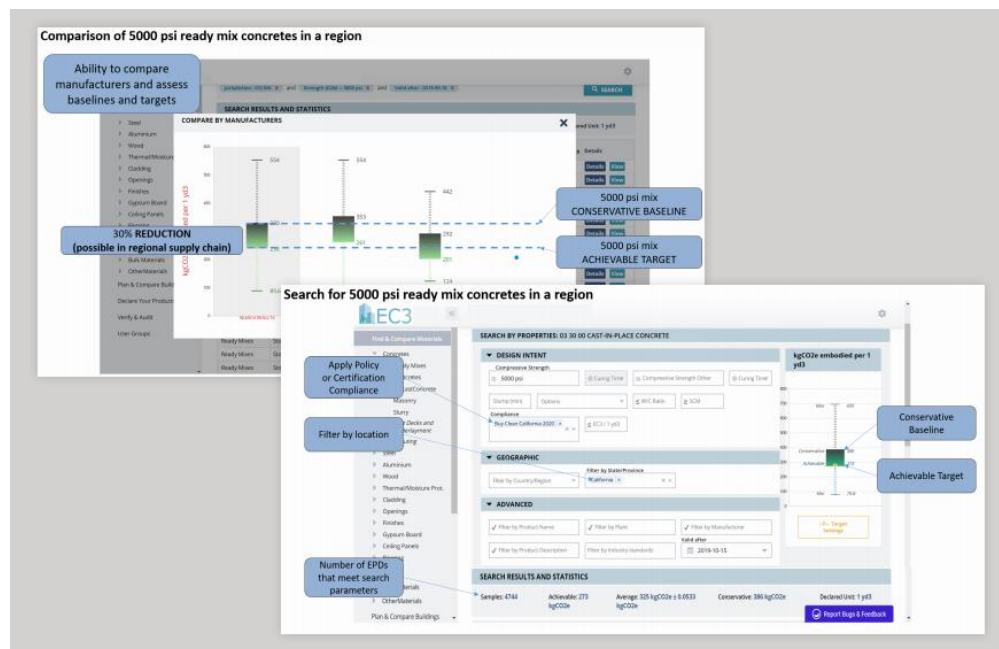


Ilustración 16: Herramienta EC3. Clasificación y visualización de la cadena de suministro de material con DAP. Fuente: EC3 Key Features

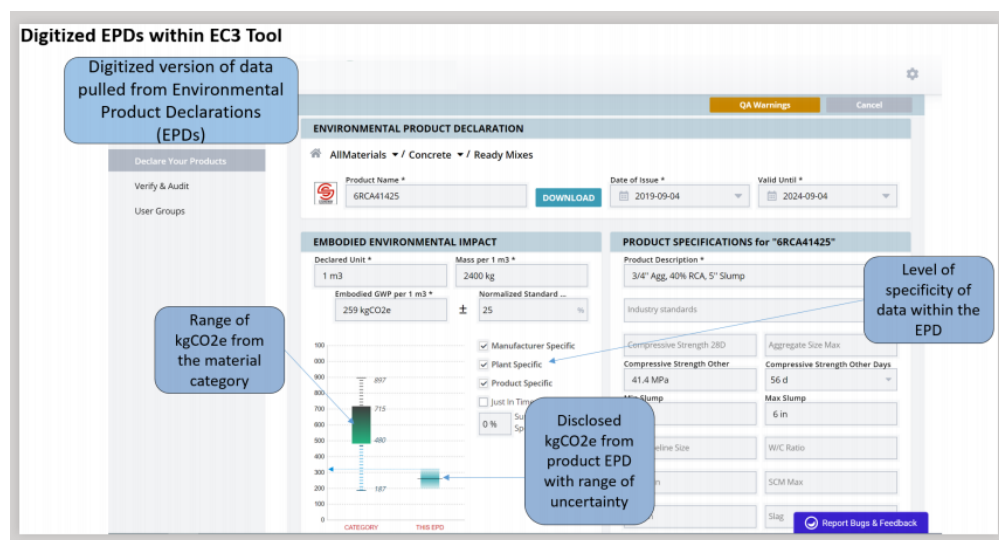


Ilustración 17: Herramienta EC3. Plataforma digitalizada y automatizada de productos con DAP. Fuente: EC3 Key Features

Tabla 3 identificación de herramientas de cuantificación de medición de huella de carbono en edificaciones

Herramienta de cálculo	País de Origen	Alcance Módulos ACV	Ventajas	Desventajas
OneClick LCA	Finlandia	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	<ul style="list-style-type: none"> -Fácil configuración y de amplios recursos, ajustable a contextos locales mediante Factores de Emisión. -Amplia base de datos con factores de referencia para actividades y etapas del ACV difíciles de cuantificar. -Diversidad de gráficas facilita interpretación de resultados. -Desglose por módulos de ACV y elementos del sistema. 	-Alto costo de licencia anual.
Tally	EE.UU.	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	-Adaptada para entorno BIM, con amplios recursos.	<ul style="list-style-type: none"> -No es configurable a contexto nacional. -Restringida a integración con modelos 3D.
Athena IE	Canadá	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4	<ul style="list-style-type: none"> -Fácil y rápida configuración. -Gratuita. -Ofrece base de datos propia. 	<ul style="list-style-type: none"> -Configuraciones cerradas a opciones del mercado norteamericano. -Falta de actualización en base de datos. -Requiere interpretación para aplicar a contexto nacional.
ABACO - CHILE	Chile	A1-A3	<ul style="list-style-type: none"> -De sencillo uso. -Gratuita. -Integra resultados científicos de evaluación de huella de carbono de la matriz eléctrica chilena, la cual se adapta cada año a las emisiones estimadas, con enfoque de ciclo de vida para esta, a diferencia de las 	<ul style="list-style-type: none"> -enfocada en módulos de ACV, sin embargo cuenta con alto potencial de escalabilidad en más módulos de las etapas A, B o C del ciclo de vida de la edificación. - Aplica el contexto geográfico de Chile.

Herramienta de cálculo	País de Origen	Alcance Módulos ACV	Ventajas	Desventajas
			emisiones directas que hoy reporta la CNE. -Escalable. -Herramienta reconocida en contexto nacional y respaldada por la academia. -Financiamiento estatal.	
Rukaru	Chile	A1-A5, B1-B7	-De fácil configuración y carga de datos. -Cruza datos de inventario con diversas fuentes de GWP, DAP. -Escalable.	-Herramienta en desarrollo. -Limitada actualmente en el alcance de módulos de ACV. -De pago.
GaBI	Alemania	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	- Alta configuración y detalle que permite amplios análisis. -Amplia base de datos disponible, con configuración superior al resto.	-Alto costo. -Compleja manipulación y aprendizaje.
EC3	EE.UU.	A1-A3	-Rápida y temprana configuración. -Gratuita.	-Limitada en el número de materiales y sistemas disponible. -Limitada en el alcance de módulos de ACV.

En la tabla anterior se representa en color verde a las herramientas de cálculo que poseen mayor número de ventajas que desventajas, en color amarillo las que poseen igual número de ventajas y desventajas y en color rojo las que poseen más desventajas que ventajas.

La comparación de las herramientas de cuantificación se facilita si realizamos una evaluación con criterios comunes a todas para evaluar el enfoque y jerarquización de cada herramienta. En este ámbito, se ha realizado un taller de trabajo junto a la contraparte técnica de este estudio, para definir los elementos o características deseables en una herramienta de cálculo, además de su probabilidad de aplicación en el contexto nacional.

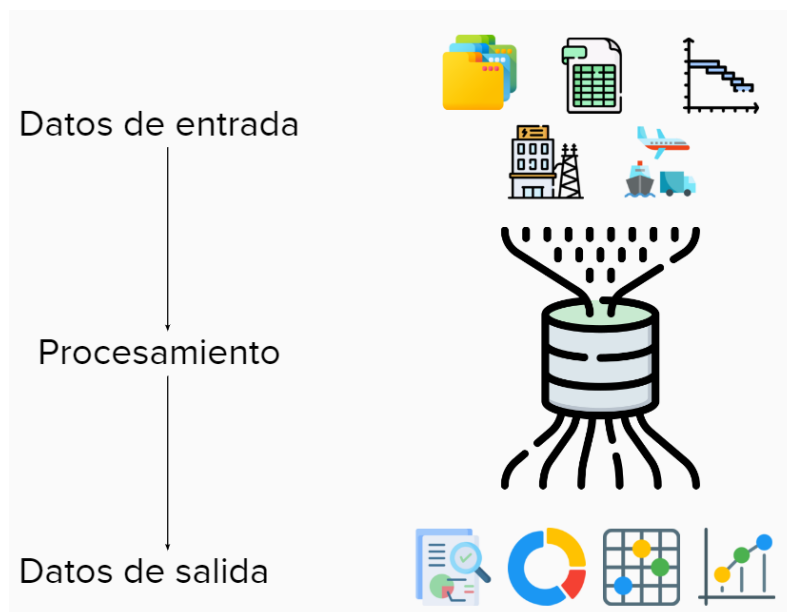


Ilustración 18: Funcionamiento herramientas de cuantificación. Elaboración propia

Teniendo en cuenta el esquema de funcionamiento de las herramientas de cálculo, en que es importante evaluar criterios en 3 etapas fundamentales: datos de entrada, procesamiento y datos de salida, hemos definido 3 categorías de validación:

1. **Desempeño:** Capacidad de una herramienta para cumplir sus objetivos eficazmente en cuanto a calidad de datos de entrada y salida, volumen de información, aplicabilidad a diversidad de tipologías, y los tiempos de obtención de sus resultados.
2. **Compatibilidad:** Flexibilidad que ofrece una herramienta para operar con otros componentes, sistemas y metodologías. Destaca su interoperabilidad con otras herramientas y nivel de coexistencia con diversas fuentes y formatos de información, como bases de datos y documentación de entrada y salida.
3. **Usabilidad:** Facilidad con la que un usuario puede utilizar el software, sus variables de entrada y resultados, considerando aspectos como tiempo de aprendizaje, eficiencia, satisfacción, memorización y errores.

Y, para cada categoría de validación, sus criterios a evaluar son:

Categoría Desempeño

- **Aplica enfoque ACV:** Utiliza metodología de recopilación y evaluación de las entradas, salidas e impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida (ISO 14040)
- **Compara “peso relativo” de módulos:** Procesa datos de entrada y resultados de acuerdo a los módulos declarados por EN 15978.
- **Reporte para usuario:** Genera documentación de resumen, interpretación, resultados, conclusiones, pudiendo ajustarse a estándares o líneas base.
- **Rendimiento volumen/eficiencia:** Calidad del resultado en función de la capacidad de la herramienta y su uso.

Categoría Usabilidad

- **Facilidad de aprendizaje:** Calidad de la herramienta a ser comprendida por parte del usuario.
- **Accesibilidad:** Disponibilidad de la herramienta, según licencia o gratuita.
- **Flexibilidad:** Capacidad de configuración de datos de ingreso, interpretación y reporte.
- **Confiabilidad en datos de ingreso:** Calidad de fiabilidad de la(s) base(s) de datos vinculadas y del motor de cálculo para los resultados.
- **Portabilidad:** Formato de uso e instalación.

Categoría Compatibilidad

- **Interoperabilidad:** Capacidad de permitir su uso con otras aplicaciones o formatos de datos.
- **Compatibilidad con bases de datos:** Posibilidad de uso de diversas bases de datos disponibles.
- **Alcance de módulos en ACV:** Establecimiento de los límites del sistema a evaluar.
- **Alcance global o sólo local:** Potencial de uso en diversos contextos territoriales, tanto por uso de bases de datos y ajustes de configuraciones de proyectos.
- **Compatible con certificaciones locales:** Referencia y uso para estándares y/o certificaciones.
- **Datos de ingreso:** Valoración de la configuración y carga de datos a la herramienta.
- **Actualizaciones:** Sistema de mantenimiento de la herramienta y alimentación de bases de datos.



Ilustración 19: Hoja de trabajo del taller realizado en conjunto con la Contraparte Técnica.

Dentro de cada categoría de validación, encontramos los siguientes aspectos, que nos permiten contar con información comparable entre todas las herramientas de cálculo.

Tabla 4 Evaluación de herramientas de cuantificación según categoría de desempeño. Verde: alto desempeño, Amarillo: mediano desempeño, Rojo: bajo desempeño

Herramienta de cálculo	Aplica enfoque de ACV	Compara "peso relativo" de módulos	d e s e m p e ñ o	
			Reporte para usuario	Rendimiento volumen/eficiencia
One Click LCA	Sí	Sí	Gráficas y Tablas por Categoría de Impacto y Módulos, ajustada a criterios LEED v4, BREEAM, DGNB, Zero Carbon Certification	-Alta capacidad de ingreso de datos. -Alta precisión en el manejo de la información. -Alta eficiencia con resultados parciales y totales actualizándose constantemente.
Tally	Sí	Sí	Gráficas y Tablas por Categoría de Impacto y Módulos trazable con modelo	-Alto rendimiento (resultados en función del sistema de ingreso de datos) -Alta capacidad de análisis en distintas etapas del proceso de diseño (partido general, comparación de casos de estudio, proyecto, construcción)
Athena IE	Sí	Sí	Gráficas y Tablas por Categoría de Impacto y Módulos	-Mediano rendimiento con resultados amplios pero dependientes de base de datos rígida (no contextualizable) -Alta capacidad de comparaciones rápidas.
ABACO-CHILE	Sí	No	Informes descargables en Excel y PDF	-Mediana capacidad de ingreso de datos. -Relativa precisión en el manejo de la información ³ .
Rukaru	Sí	Sí	Gráficas y Tablas por Categoría de Impacto y Módulos	-Mediana capacidad de ingreso de datos -Alta precisión en el manejo de la información. -Alta eficiencia en función del resultado en etapas tempranas y definitivas
GaBI	Sí	Sí	Gráficas y Tablas por Categoría de Impacto y Módulos, ajustada a certificaciones	-Alta capacidad de ingreso de datos -Alta precisión en el manejo de resultados. -Mediana eficiencia por amplio esfuerzo en la configuración
EC3	Sí	No	Gráficas y Tablas	-Mediana capacidad de comparaciones al estar restringidas únicamente a sistemas constructivos. -Bajo rendimiento con resultados inciertos en calidad

³ ABACO CHILE como herramienta de elaboración de presupuestos integra indicadores ambientales y sociales del Ministerio de Desarrollo Social y Familia

Tabla 5 Evaluación de herramientas de cuantificación según categoría de usabilidad. Verde: alta usabilidad, Amarillo: media usabilidad, Rojo: baja usabilidad.

u s a b i l i d a d					
Herramienta de cálculo	Facilidad de aprendizaje	Accesibilidad	Flexibilidad	Confiabilidad en datos ingreso	Portabilidad
One Click LCA	-Alta facilidad (integración de inventarios y caracterización) -Media (importar modelo 3D.	Media (de pago)	-Alta en configuración. -Media (amplia base de datos interna, limitada en contextualización).	-Alta (DAP vigentes y certificadas, es posible ver sus detalles)	Online /Plug-in
Tally	-Media (importar modelo 3D configurado para relación con DAP)	Media (de pago)	-Baja en configuración (sólo datos desde REVIT) -Media (diversas bases de datos)	-Alta (Bases de Datos de EE.UU., de GaBI software y de diversas DAP certificadas)	Plug-in
Athena IE	-Media (interpretación de datos para un correcto contexto local)	Alta (gratuita)	-Media en configuración limitada a inventario interno. -Baja con base de datos local, no contextualizable.	-Baja (Base de datos interna cerrada con periodos extensos de actualización)	Software
ABACO-CHILE	-Alta (sólo requiere manejo de planillas tipo Excel)	Alta (gratuita)	-Media en configuración ajustada solo a inventario interno. -Media con uso exclusivo de base de datos contextualizada.	-Media (sujeta a actualizaciones de bases de datos que la fundamentan y volver a contextualizar)	Online
Rukaru	-Alta (sólo requiere manejo de planillas tipo Excel)	Baja (uso exclusivo)	-Media en configuración (perfil del proyecto junto con el detalle del inventario) -Alta (diversas bases de datos contextualizables)	-Media (diversas bases de datos y actualización de factores para contextualizar)	Online
GaBI	-Baja (sistemas de flujos, balances y diagramas de procesos para una correcta entrada de datos e interpretación)	Media (de pago)	-Alta en configuración (amplio inventario) -Alta (amplia base de datos interna y posibilidad de nuevas bases de datos)	-Alta (amplia base de datos mantenida constantemente y DAP certificadas)	Software
EC3	-Alta facilidad (sólo requiere manejo de planillas tipo Excel)	Alta (gratuita)	-Baja (ingreso de cantidad de materiales) -Baja limitada a pocos DAP	-Media (usa DAP certificados, pero de limitados productos)	Online

Tabla 6 Evaluación de herramientas de cuantificación según categoría de compatibilidad. Verde: alta compatibilidad, Amarillo: media compatibilidad, Rojo: baja compatibilidad.


c o m p a t i b i l i d a d						
Herramienta de cálculo	Interoperabilidad	Compatibilidad con bases de datos	Alcance de módulos en ACV	Alcance global o sólo local	Compatible con certificaciones	Actualizaciones
One Click LCA	-Alta (diferentes formatos 3D actualización automática + planillas Excel)	-Media (Amplio catálogo interno con DAP de diferentes países)	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	-Global (posibilidad de algunos ajustes locales)	Sí	-Frecuente (sistema y base de datos)
Tally	-Media (modelo 3D actualización automática)	-Media (DAP y bases de datos locales (USA))	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	-Local (no ajustable a contexto nacional)	No	-Frecuente (base de datos)
Athena IE	-Baja (diseños en 2D (CAD))	-Baja (Base de datos propia, local (USA))	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4	-Local (con cierta aproximación por diversas matrices energéticas)	No	-Distante (cada 10 años)
ABACO-CHILE	-Baja (Excel)	-Media (Base de datos basada en una versión de catálogo internacional, contextualizada)	A1-A3	-Local (ajustada para contexto nacional) pero con potencial de escalabilidad	No (sin embargo las herramientas nacionales pueden tener una futura compatibilidad con certificaciones como CES y CVS)	-Medio (sujeto a presupuesto estatal)
Rukaru	-Baja (Excel)	-Media (libre referencia de DAP y bases de datos disponibles, sin catálogo interno)	A1-A5, B1-B7	-Global (posibilidad de ajuste a contexto local)	No	-Medio (plataforma y uso de DAP vigentes) ⁴
GaBI	-Media (modelo 3D actualización automática)	-Alta (amplia base de datos propia con posibilidad de usar otras existentes)	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	-Global (posibilidad de ajuste a contexto local)	Sí	-Frecuente (sistema y catálogo de DAP vigentes)


⁴ No se clasifica dentro de actualizaciones frecuentes, ya que es una herramienta muy nueva con un plan de mantención, pero sin historial de actualizaciones.

c o m p a t i b i l i d a d						
Herramienta de cálculo	Interoperabilidad	Compatibilidad con bases de datos	Alcance de módulos en ACV	Alcance global o sólo local	Compatible con certificaciones	Actualizaciones
EC3	-Baja (Excel)	-Baja (no utiliza base de datos, solo refiere a DAP de limitados sistemas y materiales)	A1-A3	-Local (no ajustable a contexto nacional)	No	-Medio (según vigencia de DAP disponibles)

Para continuar con el proceso de selección de la alternativa más adecuada para su aplicabilidad a nivel nacional y para utilizarla en los objetivos 2 y 3 de este estudio, hemos otorgado una calificación en escala de Likert de 3 y 5 alternativas, según la pregunta, en base a la revisión bibliográfica de cada herramienta de cálculo.

Tabla 7 Ejemplo de escala de valoración

Aspecto: Facilidad de aprendizaje		
Instrucción: ¿Qué tan relevante le parece este aspecto en la definición de una herramienta de cálculo aplicable al contexto nacional?		
		
1	2	3
Nada relevante	Neutral	Muy relevante

Aspecto: Evaluación de Herramienta de cálculo XX por categoría				
Instrucción: En base a la caracterización de la herramienta de cálculo de acuerdo con los diferentes aspectos de la categoría de desempeño, ¿Le parece una opción adecuada para su aplicación/adaptación al contexto nacional? (puede incorporar comentarios en caso de que elija la alternativa 2, 3 o 4)				
				
1	2	3	4	5
No aplicable	Sólo como referencia	Probable con adaptación	Aplicable con pequeños cambios	Muy Adecuada

Aspecto: Evaluación de Herramientas de cuantificación por categoría XX	
Instrucción: De todas las herramientas de cuantificación evaluadas y en base al gráfico de caracterización comparativo, ¿Cuál de las herramientas de cálculo le parece la mejor opción para su aplicación/adaptación al contexto nacional? (puede incorporar comentarios en caso de ser necesario)	
1	Alternativa 1
2	Alternativa 2
3	Alternativa 3
4	Alternativa 4
5	Alternativa 5
6	Alternativa 6
7	Alternativa 7

4.1.3. Descripción de características de herramientas de cálculo

En base a la clasificación de aspectos para cada herramienta de cálculo, se obtiene una caracterización de cada herramienta respecto a parámetros comunes. Los resultados de este proceso se representan mediante gráfico de barra para facilitar una rápida lectura del enfoque de cada herramienta.

Los aspectos considerados por herramienta de cálculo corresponden a los clasificados mediante evaluación tipo “semáforo de 3 colores” en las tablas del capítulo anterior, incluyendo:

Categoría	Aspecto evaluable
Desempeño	Aplica enfoque ACV Compara “peso relativo” de módulos Reporte para usuario Rendimiento volumen/eficiencia.

Categoría	Aspecto evaluable
Usabilidad	Facilidad de aprendizaje Accesibilidad Flexibilidad Confiabilidad en datos de ingreso Portabilidad

Categoría	Aspecto evaluable
Compatibilidad	Interoperabilidad Compatibilidad con bases de datos Alcance de módulos de ACV Alcance global o local Compatible con certificaciones locales Actualizaciones

Mediante la clasificación tipo “semáforo” de cada herramienta de cálculo, se ha otorgado un puntaje a cada color:

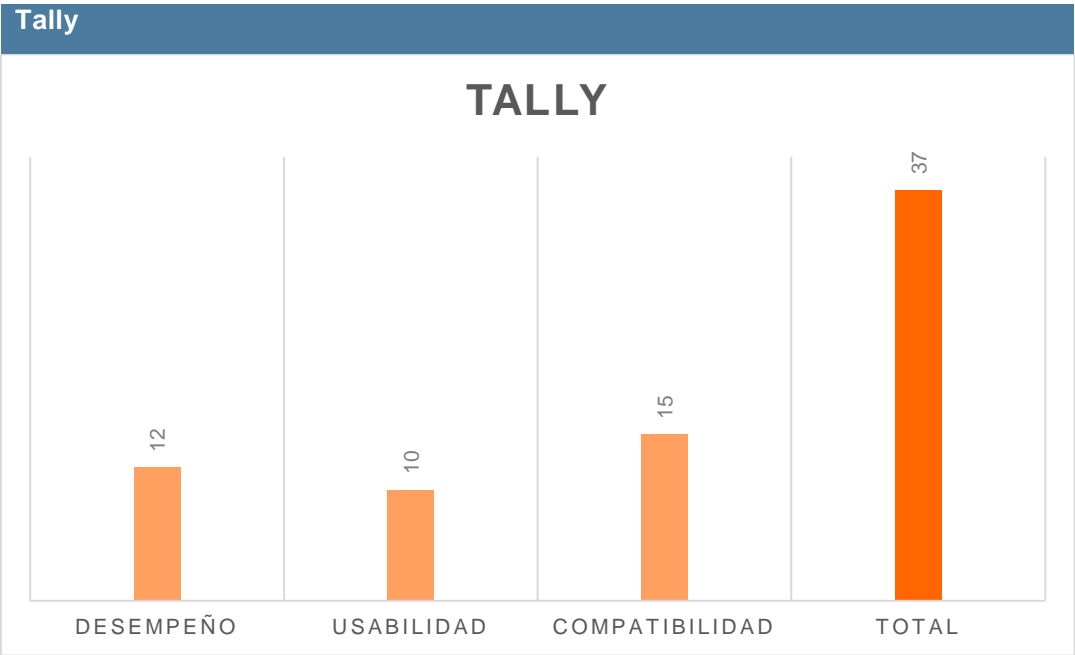
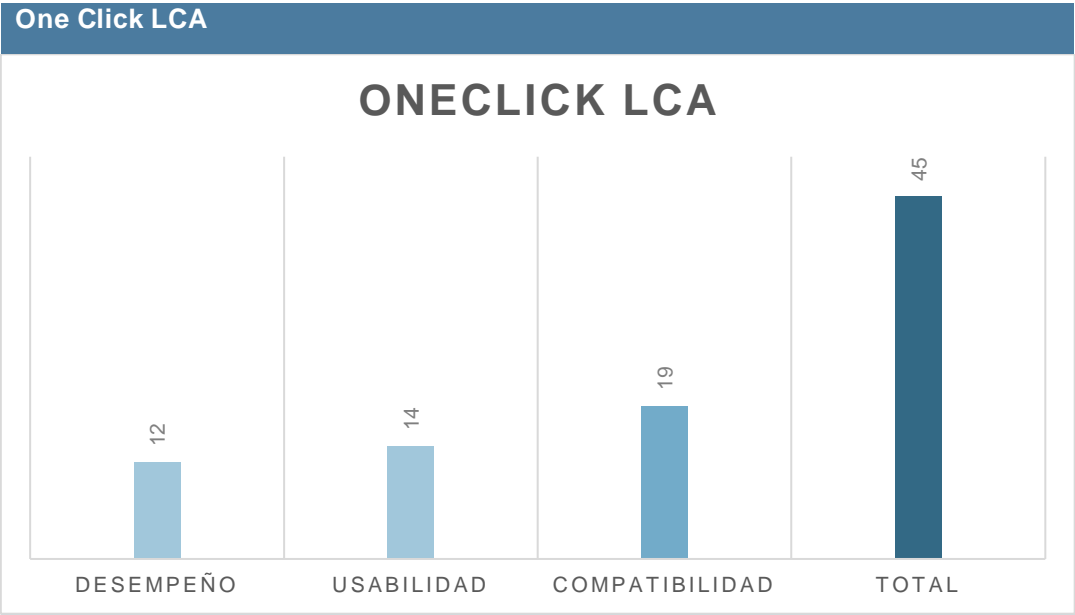
Verde: 3 puntos

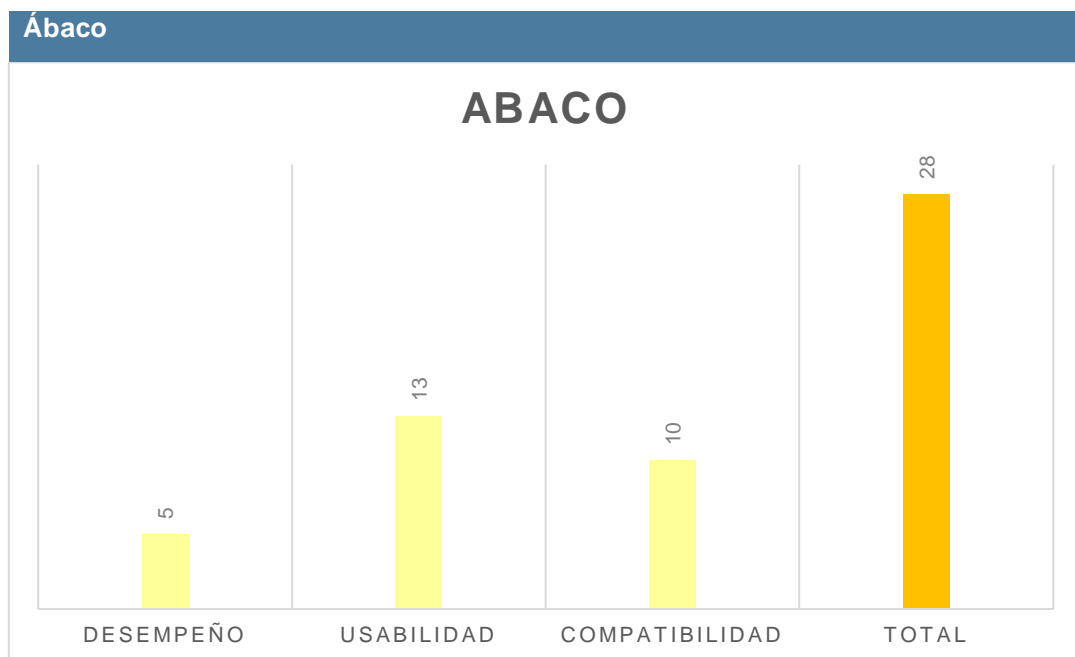
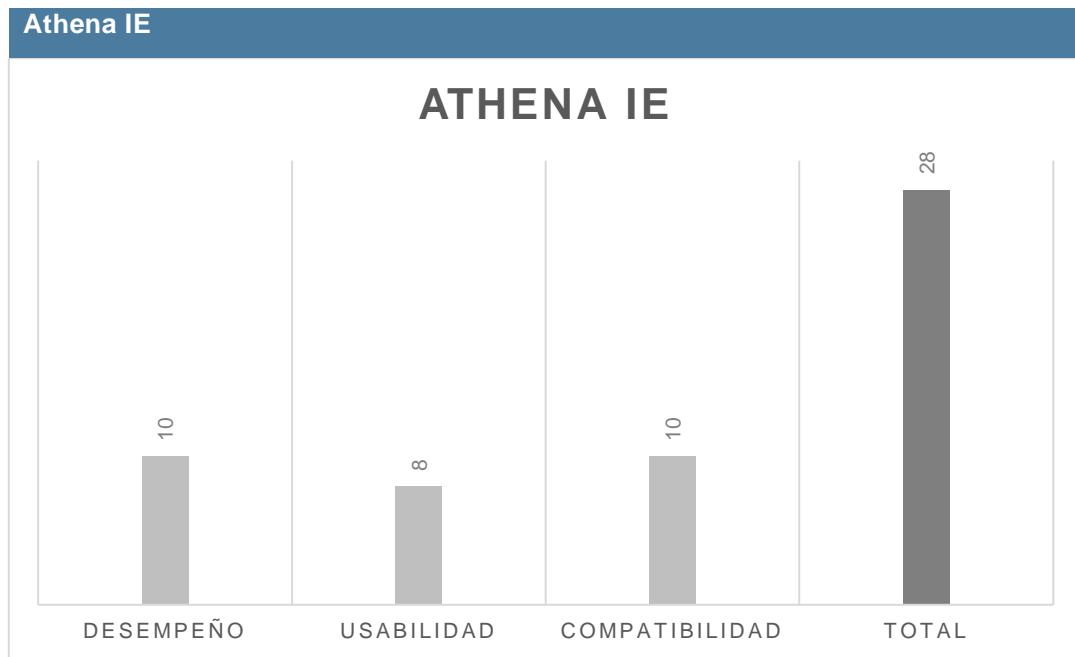
Amarillo: 2 puntos

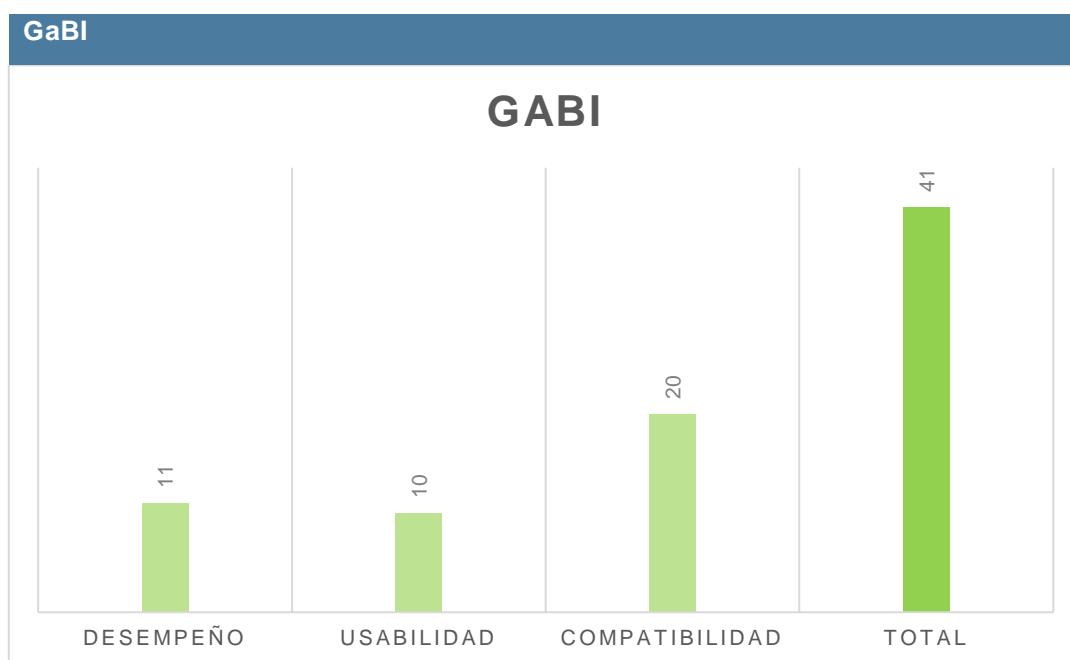
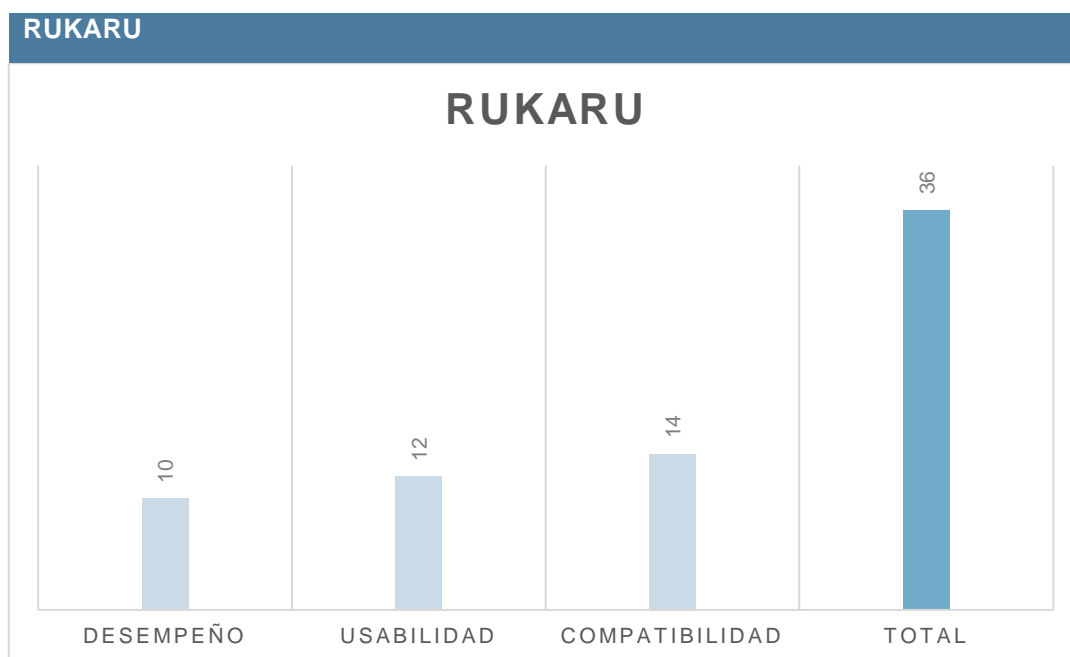
Rojo: 1 punto

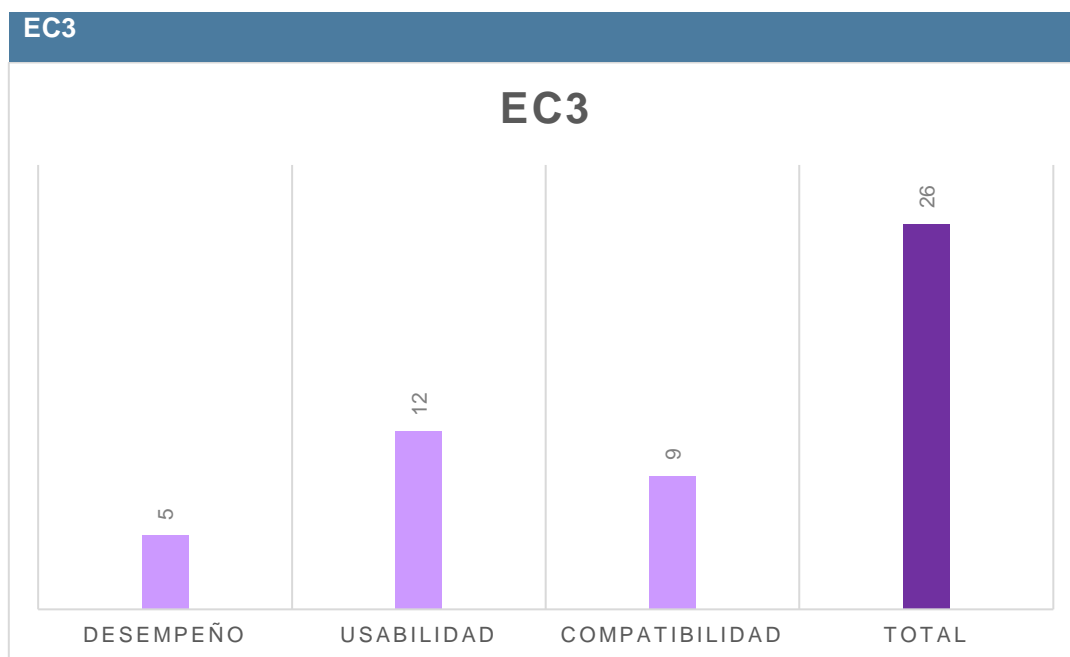
En base a esta estructura de evaluación, se ha otorgado un puntaje por categoría y un total a cada herramienta de cálculo, lo que nos permite hacer comparaciones entre ellas de manera parcial y/o total. A continuación, se indican los totales obtenidos por herramienta de cálculo y luego el desglose por cada aspecto evaluado en cada categoría (desempeño, usabilidad, compatibilidad).

Características por herramienta de cálculo:

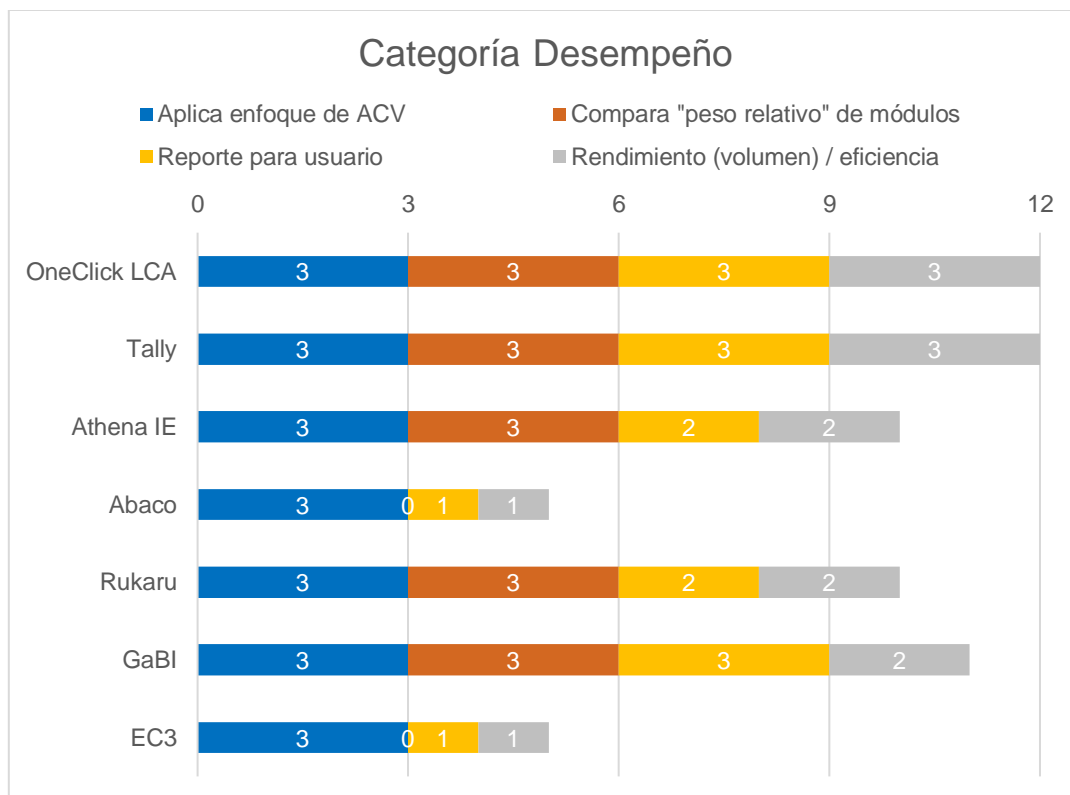


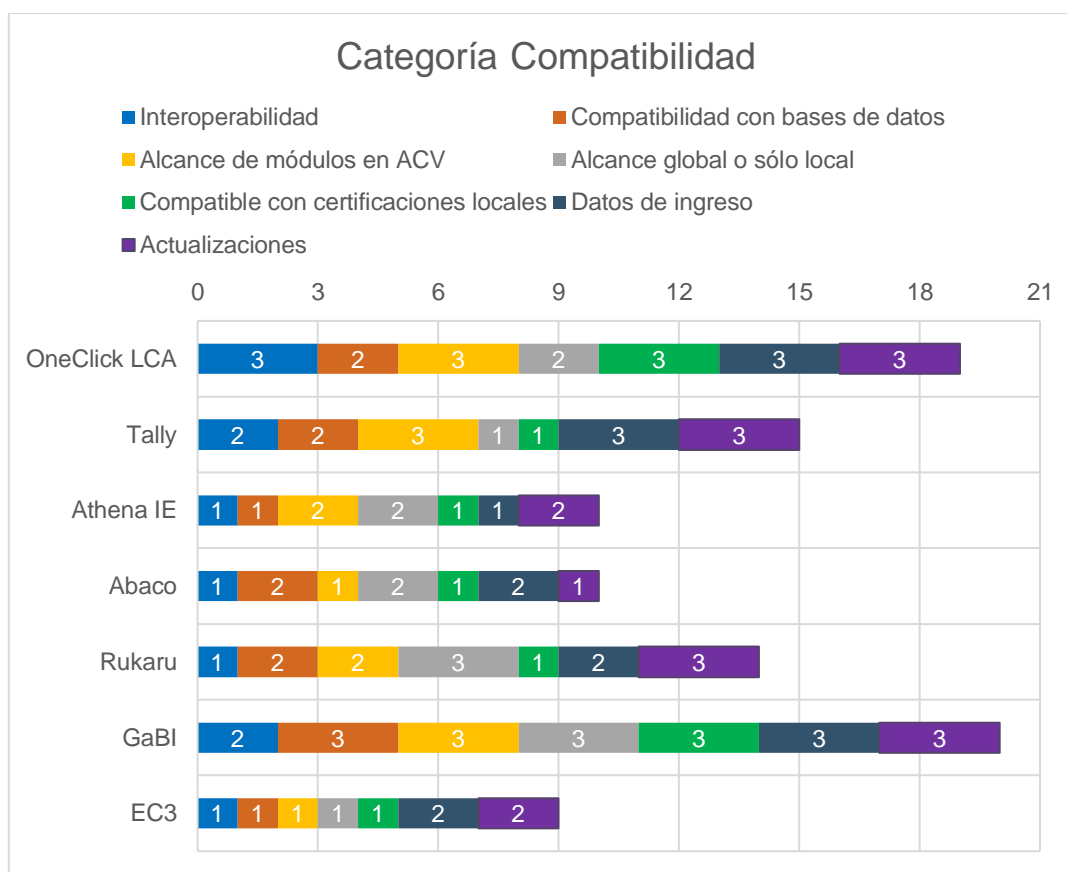
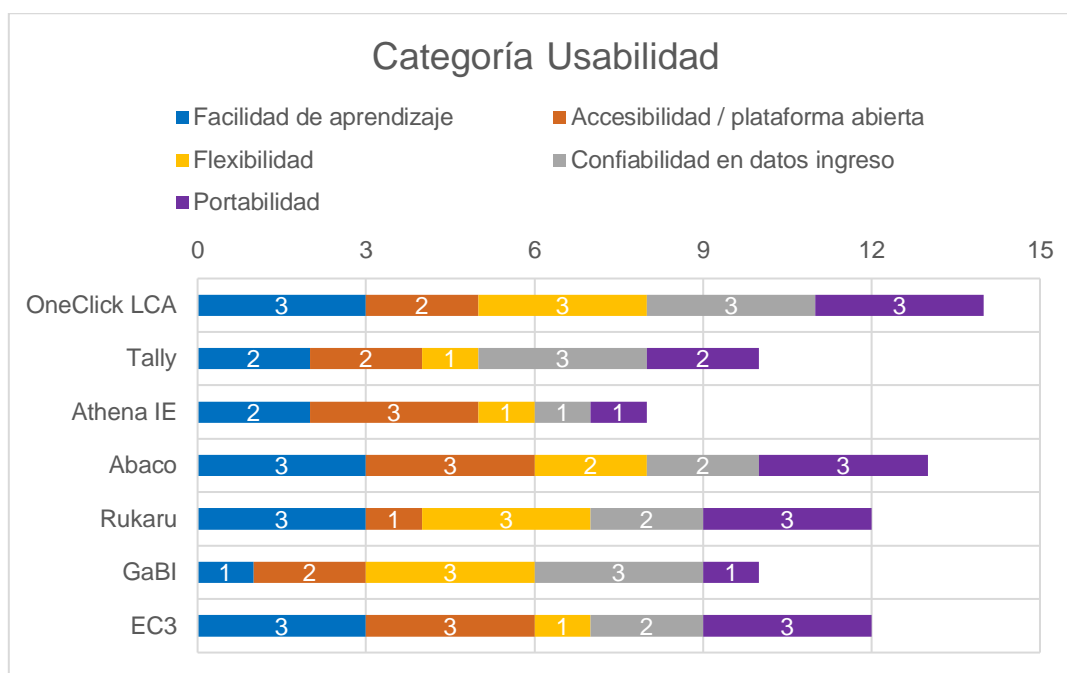






Comparación por categorías





Se debe tener presente que, en el caso de ABACO CHILE, esta herramienta presenta otras funcionalidades, dado que es en primer lugar, una herramienta de elaboración de presupuestos, que integra variables ambientales y sociales, entre ellas la cuantificación de la huella de carbono en la etapa de construcción. Esto explica las puntuación que se le otorga en las categorías de usabilidad y compatibilidad.

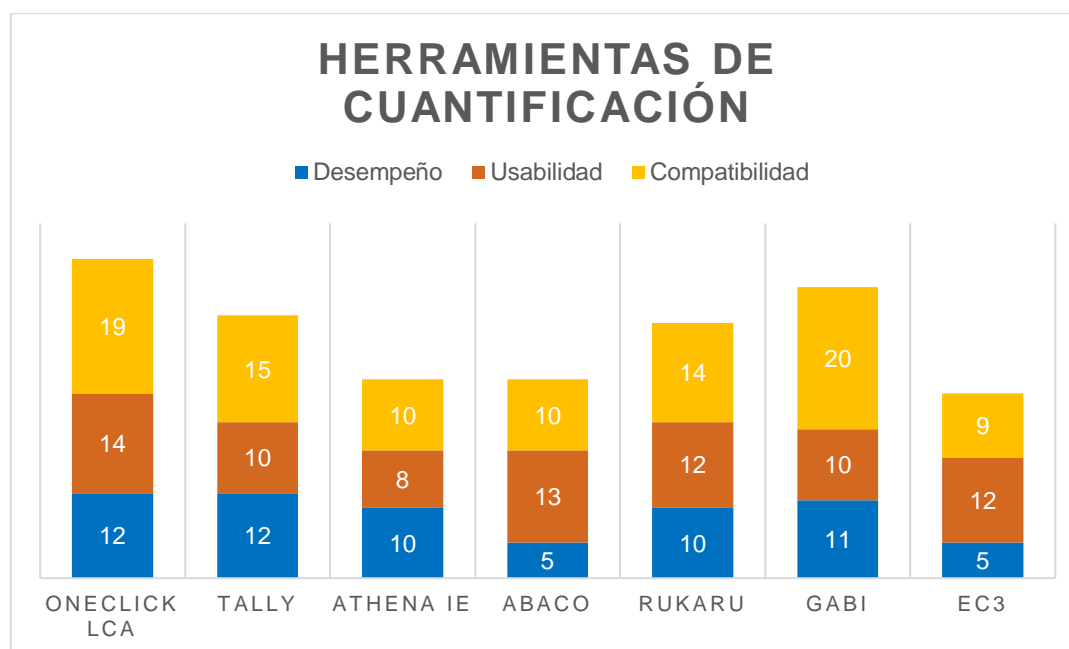


Figura 2 Resultados de evaluación de herramientas de cuantificación de medición de huella de carbono en edificaciones

La caracterización de cada herramienta de cálculo, con la propuesta de valorización de cada una de ellas, se ha enviado a la Contraparte Técnica, a través de una encuesta en donde les será posible opinar respecto a esta propuesta. La encuesta se realiza mediante la plataforma *Google Forms* y en ella se pregunta, mediante escala de Likert, sobre la factibilidad de aplicabilidad en el contexto nacional y si la alternativa satisface las características que debe poseer la herramienta de cálculo de huella de carbono, de acuerdo con lo trabajado y discutido en el taller inicial, mencionado en la sección “Identificación de instrumentos disponibles”

Resultados de la aplicación de la encuesta

El proceso de evaluación mediante encuesta resultó difícil de contestar debido a la complejidad de evaluar una herramienta de cálculo sin haber visto todo su proceso de análisis aplicado a un caso de ejemplo. Esto debido a que son instrumentos relativamente nuevos en nuestro país y a que es difícil predecir, antes de aplicarla a un caso, si la información disponible del proyecto y de declaraciones ambientales que utiliza cada una, podrá dialogar adecuadamente con el contexto nacional.

Es por esto, que la encuesta ha tenido una baja representatividad como para expresar una decisión respecto a la herramienta de cálculo más adecuada para aplicar al Caso Piloto de este estudio y entre el comité contraparte y el equipo asesor, se ha acordado utilizar en la evaluación las 2 herramientas nacionales disponibles (Ábaco y Rukaru), además de una herramienta de cálculo internacional.

Para la definición de ésta última, se ha considerado la herramienta de cálculo con la mejor evaluación obtenida en la propuesta de evaluación⁵ del equipo consultor, respecto a las categorías evaluadas de desempeño, usabilidad y compatibilidad. La herramienta de cálculo internacional seleccionada es OneClick LCA, recomendada por el equipo consultor y apoyada por las opiniones obtenidas del Comité Contraparte de este estudio.

⁵ Ver Figura 2 de Resultados de evaluación de herramientas de cuantificación de medición de huella de carbono en edificaciones



4.1.4. Identificación y clasificación de sistemas de certificación

Se identifican y clasifican algunos sistemas de certificaciones y sellos relacionados, que expresan la intensidad de emisiones de carbono incorporado y operacional en el ciclo de vida de una edificación. Para un entendimiento global sobre estos sistemas, se ha desarrollado una tabla comparativa con información común y relevante de conocer, alimentando una variable más a considerar en la elección de la mejor alternativa de herramienta de cálculo para integrar al contexto nacional. Se han considerado las certificaciones y sellos más utilizadas a nivel internacional, además de las más utilizadas a nivel nacional y que evalúan además la Eficiencia Energética, Calidad del Ambiente Interior y en general la Sustentabilidad de las Edificaciones.

Certificación Living Building Challenge, ILFI (International Living Future Institute) (International Living Future Institute. Living Building Challenge 4.0 2019)

Esta certificación propone un nivel de ambición avanzado respecto a sostenibilidad en el entorno construido, definiendo como actuar para disminuir rápidamente la brecha entre los límites actuales y las soluciones positivas finales que buscamos. El desafío Living Building Challenge, se centra en los edificios, es en esencia una herramienta unificada para un pensamiento transformador, lo que permite visualizar un futuro que sea socialmente justo, culturalmente rico y ecológicamente restaurador.

El objetivo del desafío es transformar la forma en que se piensa sobre cada acto de diseño y construcción como una oportunidad para impactar positivamente la vida y el tejido cultural de nuestras comunidades humanas. El programa se define primero como una filosofía, en segundo lugar, como una herramienta de promoción y en tercer lugar como un programa de certificación.

Living Building Challenge puede ser aplicado para evaluar cualquier tipología de edificación, ya sea una construcción nueva, una edificación existente o una habilitación interior, así mismo incluye edificaciones tanto residenciales, como no residenciales.

Zero Carbon Certification, ILFI (International Living Future Institute) (International Living Future Institute s.f.)

Otra de las certificaciones desarrolladas por ILFI, es **Zero Carbon**, lanzada el 2018, para abordar el papel del sector de la construcción en la crisis climática mundial. Es un

estándar que valida que tanto las emisiones de carbono operacionales, como incorporadas de un proyecto, han sido neutralizadas.

Se pueden certificar nuevas construcciones y existentes, demostrando una reducción de un 10 por ciento en el carbono incorporado de materiales primarios (fundaciones, estructura, envolvente), con respecto a un caso base o con respecto a los materiales in-situ en el caso de edificios existentes. El carbono asociado a construcción y materiales instalados en el proyecto (módulos A1-A5) no debe sobrepasar los 500kg CO₂e/m².

La verificación se realiza a través del desempeño medido, en lugar de resultados previstos, y demuestra liderazgo a través de un compromiso auténtico con la descarbonización.

- **Carbono Operativo** se define como las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso operativo de energía de un edificio. Esto incluye todo el carbono asociado a la energía necesaria para calentar y alimentar el edificio, incluidos, entre otros, la iluminación, las cargas de enchufe, la calefacción y refrigeración y la cocina.
- **Carbono Incorporado** se define como las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la extracción, fabricación y procesamiento de materias primas, transporte e instalación de todos los materiales de construcción.

La Certificación Cero Carbono se estructura en torno a tres estrategias clave:

- **Reducir** emisiones de carbono operativas e incorporadas a través de la optimización del diseño, el uso de sistemas de construcción eficientes y libres de combustión y la selección responsable de materiales;
- **Revelar** el consumo de energía real del edificio y el carbono incorporado de los materiales instalados y el proceso de construcción;
- **Compensar** todas las emisiones de carbono asociadas con el proyecto a través de la adquisición de energía renovable, materiales secuestradores de carbono y compensaciones de carbono.

Los proyectos que buscan la certificación Cero Carbono deben cumplir un objetivo de eficiencia energética durante un período de desempeño de 12 meses. Los objetivos se especifican según el tipo de edificio, el tamaño y la ubicación:

Para nuevos edificios se requiere:

- Cumplir con la meta de eficiencia energética en un periodo de desempeño de 12 meses: reducción del 25% de la intensidad de uso de energía (EUI, por sus siglas en inglés) en comparación con un edificio nuevo que cumpla con ASHRAE 90.1-2010.
- El 100% de la energía operacional asociada con el proyecto debe ser compensada con energía renovable generada en el sitio o fuera de él.
- No añadir nuevas fuentes de combustión al proyecto.
- Las emisiones de carbono incorporado de los materiales principales deben ser reducidas en un 10% en comparación con las de un edificio base, el total de emisiones no deben exceder 500 kg CO₂e/ m² y el 100% de las emisiones del proyecto deben ser declaradas y compensadas en sitio con materiales absorbentes de carbono o con una compra de compensación de carbono proveniente de alguna fuente aprobada por el ILFI.

Para edificios existentes se requiere:

- Cumplir con la meta de eficiencia energética en un periodo de desempeño de 12 meses: reducción del 30% de la intensidad de uso de energía (EUI, por sus siglas en inglés) en comparación con un edificio existente típico.
- El 100% de la energía operacional asociada con el proyecto debe ser compensada con energía renovable generada en el sitio o fuera de él.
- No añadir nuevas fuentes de combustión al proyecto.
- Las emisiones de carbono incorporado de los materiales principales deben ser reducidas en un 10% en comparación con las de un edificio base, el total de emisiones no deben exceder 500 kg CO₂e/ m² y el 100% de las emisiones del proyecto deben ser declaradas y compensadas en sitio con materiales absorbentes de carbono o con una compra de compensación de carbono proveniente de alguna fuente aprobada por el ILFI.

En términos del proceso, la Certificación Cero Carbono contempla dos etapas para su obtención:

1. Una Auditoría Listo al finalizar la construcción
2. Una Auditoría Final después de un periodo de desempeño de 12 meses.

Lo anterior permite el reconocimiento temprano de los sistemas implementados, así como la verificación basada en el desempeño, para garantizar que se logren los resultados previstos.



Ilustración 20: Cero Carbono Estándar 1.0, 2020. Fuente: <https://www2.living-future.org/zero-carbon-standard>

Minergie Eco (Minergie AG 2020)

Minergie es desde 1998 el estándar suizo de confort, eficiencia y bienestar. Se centra en el confort de los usuarios en edificaciones residenciales y no residenciales, incluyendo nuevas construcciones y remodelaciones. Minergie ECO desde el año 2006, es un complemento para las otras etiquetas de la certificación (Minergie, Minergie A y Minergie P) e incluye directamente aspectos relacionados con la salud y la ecología de la construcción.

En esta certificación se privilegian, los sistemas pasivos del edificio: envolvente de alta calidad y ventilación controlada, la cual tiene un rol muy importante. Se apunta a demandas energéticas muy reducidas y al suministro de energía a través de energías renovables, evitando las fuentes de energía fósil en el sitio.

El estándar Minergie A corresponde al nivel más exigente y se refiere a los edificios de consumo energético neto cero. El alcance de los usos finales del estándar MINERGIE-A corresponde a las tecnologías incorporadas en las edificaciones, es decir:

- Calefacción
- Agua caliente sanitaria
- Ventilación y aire acondicionado con recuperación de calor
- Protección solar móvil

— Sistemas de climatización sin uso de energía fósil

La definición de edificaciones NZEB contenida en Minergie se describe en la siguiente tabla

Tabla 8 Descripción requerimientos Minergie (Minergie AG 2020)

Aspectos	Descripción
Consumo energético de las viviendas	35 kWh/m ² año
Usos finales considerados	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía de calefacción - Consumo de energía de ACS - Consumo de energía de renovación de aire - Consumo de energía de artefactos eléctricos e iluminación <p>Todos los anteriores deben ser cubiertos (neto anual) con fuentes de energía renovable en sitio, además:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Control de ganancias solares mediante protección - Monitoreo energético
Variaciones de acuerdo a los sistemas	<p>Dependiendo del tipo de generación de calor aplican distintos tipos de envolvente ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bomba de calor eléctrica aplica norma MuKen estándar - Sistema en base a energía fósil, los muros son de U=0,15 W/m²K y ventanas 0,8 W/m²K
Sistemas tecnológicos	<p>Ventilación controlada con recuperación de calor</p> <p>Estanqueidad en diseño (sellos) y medida</p> <p>Sistema de calefacción sin combustibles fósiles</p> <p>Monitoreo de energía</p> <p>Sistema de generación fotovoltaica equivalente a 10 wp/m²</p>
Energía incorporada en la edificación	Voluntario, máximo de 50 kW energía primaria no renovable / m ²

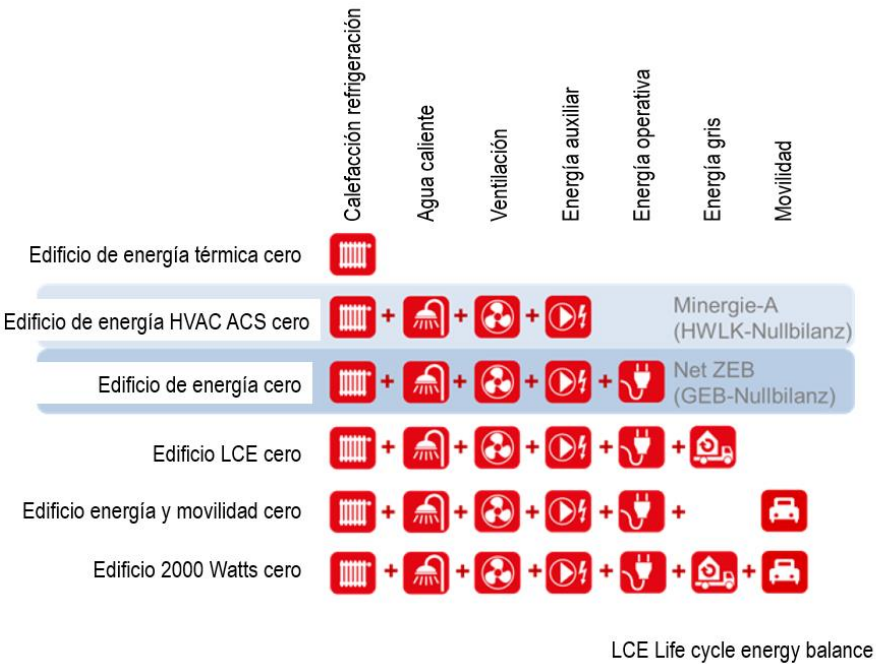


Ilustración 21: Balance energético considerado por Minergie



Ilustración 22 Minergie ECO

Los límites de energía gris y emisiones de Co2 del estándar Minergie ECO se encuentran establecidas en las normas Suizas SIA 2032 y SIA 2040, que además establecen factores de energía primaria para diferentes elementos de la construcción. Minergie ECO junto a Ecobau, proponen una metodología de cálculo para la energía gris y las emisiones de CO2 en los proyectos, incluyendo diferentes escenarios de ambición. Se destaca en estos cálculos que se separan los resultados para espacios acondicionados y no acondicionados térmicamente (subterráneo, techumbre).

Nutzung	Grenzwert GWPEAE1 kWh/m ² *a	Grenzwert GWPEAE2 kWh/m ² *a	GWPE(GF-AE)1 kWh/m ² *a	GWPE(GF-AE)2 kWh/m ² *a
	Bzgl. Energiebezugsfläche AE		Bzgl. unbeheizte Fläche (GF-AE)	
Wohnen MFH	25.0	36.1		
Kleine Wohnbauten	27.8	40.3		
Verwaltung	30.6	41.7		
Schule	25.0	36.1		
Verkauf	47.2	58.3		
Restaurant	33.3	44.4	8.3	13.9
Museen	38.9	50.0		
Spital	44.4	55.6		
Industrie	38.9	50.0		
Kleine Schulbauten	27.8	40.3		
Sportbauten	38.9	50.0		

Ilustración 23 Valores de energía gris para distintas tipologías de edificios Minergie

Nutzung	Grenzwert GWTHAE1 kg CO ₂ /m ² *a	Grenzwert GWTHAE2 kg CO ₂ /m ² *a	GWTH(GF-AE)1 kg CO ₂ /m ² *a	GWTH(GF-AE)2 kg CO ₂ /m ² *a
	Bzgl. Energiebezugsfläche AE		Bzgl. unbeheizte Fläche (GF-AE)	
Wohnen MFH	8.0	10.0		
Kleine Wohnbauten	8.0	10.5		
Verwaltung	8.0	11.0		
Schule	8.0	11.0		
Verkauf	11.0	16.0		
Restaurant	8.0	13.0	2.8	4.7
Museen	11.0	14.0		
Spital	11.0	16.0		
Industrie	11.0	14.0		
Kleine Schulbauten	8.0	11.5		
Sportbauten	11.0	14.0		

Ilustración 24 Valores de carbono para distintas tipologías de edificios Minergie

LEED Zero Carbon (U.S. Green Building Council 2020)

La certificación LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), es un sistema voluntario y consensuado, elaborado en Estados Unidos en el año 2000 por el U.S. Green Building Council o USGBC, que mide entre otras cosas, el uso eficiente de la energía y el agua, la correcta utilización de materiales, el manejo de desechos en la construcción y la calidad del ambiente interior en las edificaciones.

LEED Zero es un complemento de la certificación LEED para lograr las siguientes metas Net Zero en edificios existentes:

- LEED Zero Carbon (cero carbono)
- LEED Zero Energy (cero energía)
- LEED Zero Water (cero agua)
- LEED Zero Waste (cero residuos)

LEED Zero Carbon reconoce emisiones carbono neutrales, a través de emisiones evitadas o compensadas en un período de 12 meses.

Los proyectos que desean certificarse LEED Zero, deben además haberse certificado LEED BD+C (diseño y construcción) o LEED O+M (operación y mantenimiento). El reconocimiento otorgado tiene una validez de 3 años.

El balance del carbono en esta certificación contabiliza las emisiones de carbono generadas del consumo de energía (carbono operacional) y del transporte utilizado por los usuarios del edificio.



Ilustración 25 esquema de carbono neutralidad, LEED Zero Carbon

BREEAM

Método internacional desarrollado por la organización BRE Global de Reino Unido que nos permite medir el grado de sostenibilidad ambiental en edificaciones. BREEAM nació en el Reino Unido y ha promovido la reducción en consumos energéticos y emisiones de CO₂ en edificaciones, desde la primera versión lanzada en 1990.

Un reciente análisis de datos de certificaciones mostró que los edificios evaluados por BREEAM consiguen una reducción promedio de un 22% en emisiones de CO₂ y en los últimos años ha trabajado con el sector inmobiliario y de la construcción para aumentar la cantidad de edificios certificados con su correspondiente ahorro en emisiones de CO₂.

En el año 2003, la Directiva de Rendimiento de Energía de Edificios (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) comenzó a exigir a los países miembro de la Unión Europea (Reino Unido incluido en ese entonces), incluir una metodología de cálculo de ACV para evaluar emisiones de carbono. En el año 2006 se incorpora este requerimiento en el marco regulatorio a partir de la metodología de cálculo existente desarrollada por BREEAM y adoptando un método nacional de ACV para edificios. Desde entonces, “BREEAM New Construction” (nuevas construcciones) se ha alineado con la regulación para evitar carga innecesaria para los equipos de diseño y premiar las mejoras respecto al requerimiento mínimo de rendimiento exigido en la regulación, para evaluar escenarios de mejora en cuanto a emisiones de CO₂. Hasta la fecha no existe una definición en el marco regulatorio respecto a los límites de emisiones de CO₂ por tipología de edificación.

Este sistema de certificación incluye diferentes tipologías de proyectos para el Análisis de Ciclo de Vida:

- BREEAM New Constructions (nuevas construcciones) residenciales y no residenciales
- BREEAM Communities (comunidades) para proyectos de gran escala y planes maestros.
- BREEAM In-Use (en uso) para edificios existentes no residenciales
- BREEAM Refurbishment (remodelaciones) para reparaciones y remodelaciones de edificios residenciales y no residenciales

La certificación, usa un sistema de puntos muy sencillo y transparente que evalúa características ya definidas de los edificios en distintas fases de desarrollo: diseño, construcción, mantenimiento, acondicionamiento, restauración, etc. Las categorías evaluadas son diez: **gestión, salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales, residuos, uso ecológico del suelo, contaminación e innovación**. Cada una de estas ellas aborda los factores más influyentes, entre ellos el diseño de bajo impacto y la reducción de las emisiones de carbono; la durabilidad; la adaptación al cambio climático y el valor ecológico y la protección de la biodiversidad.

Por otro lado, el certificado BREEAM clasifica los edificios en función de un sistema de créditos agrupados en nueve categorías principales y premia medidas que contribuyan a un mayor bienestar de los ocupantes del inmueble y la protección del medio ambiente.

Su metodología de cálculo de ACV considera tres parámetros de rendimiento de edificio para determinar la cantidad de créditos que se obtiene para esta categoría:

1.-Demanda de energía: Evalúa la reducción de demanda energética para calefacción y refrigeración influenciada por factores que incluyen materiales del edificio, pérdidas energéticas e infiltraciones de aire.

2.-Consumo de energía primaria: Evalúa la eficiencia del edificio en cuanto a demandas energéticas, influenciada por factores como los sistemas de servicio del edificio y la eficiencia en generación de energía e infraestructura de distribución instalada y utilizada.

3.-Emisiones de CO₂: Evalúa la cantidad de emisiones de dióxido de carbono que emite el edificio, considerando sus demandas energéticas operacionales. Influenciadas por factores como rendimiento de materiales del edificio, eficiencia de sistemas y distribución y tipo de combustibles. La especificación de formas de generación de energía bajas o nulas en carbono (en el sitio, cercana al sitio o fuentes renovables externas acreditadas) son contabilizadas en este parámetro.

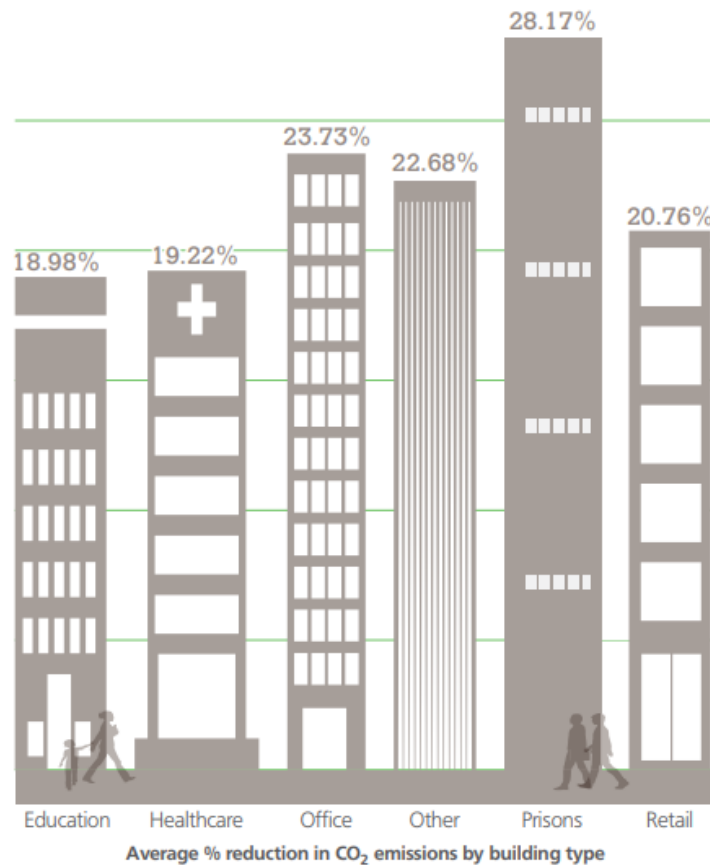


Ilustración 26 Porcentaje promedio de reducción de emisiones de CO₂ en tipologías de edificios BREEAM



Figure 2: Average CO₂ emissions savings associated with different BREEAM ratings

Ilustración 27 Ahorro promedio de emisiones de CO₂ asociado a los niveles de certificación BREEAM

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre las certificaciones anteriormente expuestas y sus aspectos relacionados con la huella de carbono en edificaciones:

Tabla 9 Resumen comparativo de certificaciones analizadas.

Certificación y/o sello	País de aplicación	Reporte de intensidad de emisiones de CO ₂	Carbono incorporado y/o operacional	Alcance en el Ciclo de Vida	Tipo de edificación
Certificación Living Building Challenge, ILFI	Internacional	Solicita reporte de intensidad de emisiones	Carbono incorporado	A1-A5	Edificación nueva y existente. Edificios Residenciales, no residenciales, habilitación interior y paisajismo.
Zero Carbon Certification, ILFI	Internacional	Solicita reporte de intensidad de emisiones	Carbono incorporado y operacional	A1-A5, B6	Edificación nueva y existente. Edificios Residenciales, no residenciales.
Minergie Eco	Suiza	Solicita reporte de intensidad de emisiones	Carbono incorporado y energía Gris	A-A5, B4, C1-C4	Edificación nueva y existente (modernización). Edificios Residenciales y no residenciales.
LEED Zero	Estados Unidos y otros	Solicita reporte de intensidad de emisiones	Carbono incorporado y operacional	A1-A4, B1-B7, C1-C4	Edificación nueva y existente. Edificios Residenciales, no residenciales, habilitación interior y paisajismo.
BREEAM	Reino Unido	Solicita reporte de intensidad de emisiones	Carbono incorporado y operacional	A1-A5, B1-B7, C1-C4	Edificación nueva y existente. Edificios Residenciales, no residenciales., habilitación interior.

Identificación de materiales y equipos con DAP

En esta sección presentamos la primera etapa de desarrollo de una base de datos de materiales y equipos del proyecto piloto a analizar. Para su elaboración, hemos tomado principalmente información declarada en las Especificaciones Técnicas del Proyecto Piloto, además de los detalles expresados en la planimetría. Este material ha sido entregado por el Instituto de la Construcción al equipo consultor. La siguiente etapa de desarrollo de este inventario, quedará sujeto al envío del itemizado de obra indicando cantidades de material utilizado por cada partida y/o un modelo BIM del cual pueda obtenerse dichos datos específicos.

Como fuente de información sobre materiales y equipos con DAP vigente, se ha privilegiado el uso de bases de datos nacionales para la construcción ya que, en otros contextos, podrían no verse representados los procesos productivos a nivel nacional.

Las fuentes utilizadas son:

- EPD Hub Latin America
- Portal Verde, de Chile GBC,
- Portal de Proveedores.

Por su parte, se ha desestimado la referencia de ECOBASE, base de datos nacionales desarrollada por IDIEM, CDT y Fundación Chile; debido a que actualmente no se encuentra operativa por lo que sus resultados no son posibles de verificar.

En la siguiente tabla, se identifican en color rojo, los materiales con potenciales de calentamiento global (GWP) más elevados y que podrían significar mayores impactos en el ACV. Dentro de éstos, encontramos las ventanas y marcos, dentro del grupo de elementos constructivos “envolvente” y los aceros dentro del grupo de elementos constructivos “superestructura”. Ambos elementos se encuentran usualmente altamente representados de manera cuantitativa en los edificios, por lo que la probabilidad de que generen altos impactos en el ACV se incrementa. Es importante mencionar, que en Chile, la industria del acero ha logrado hacer avances respecto a la posibilidad de reutilización de sus productos, además de las Declaraciones Ambientales de Productos (DAP) que tienen a disponibilidad para aplicar en evaluaciones de impactos ambientales. De este modo, será interesante verificar el aporte de este material en el módulo D (más allá del fin de ciclo del edificio).

En color amarillo se observa el hormigón en la categoría de “superestructura”, como un material que también podría tener altos impactos considerando los aspectos mencionados en el párrafo anterior.

Sección	Grupo	Producto	Descripción	Proveedor	Operador de DAP	Vigencia	Estándar	Unidad Declarada	Ítem	Potencial de Calentamiento Global A1-A3 [kgCO ₂ e]
Obra Gruesa	Superestructura	Hormigón	Hormigón	Cementos Bio Bio	EPD Latin América	15.10.2024	ISO 14025 EN 15804	1 m ³	Hormigón Ready-Mix G25 (10)-20-12-28-B	294,00
		Acero	Barra de refuerzo	CAP	EPD Latin América	29.04.2025	ISO 14025 EN 15804	1 ton	A440-280H A630-420H Diám: 6-36 mm	1436,00
			Barra de refuerzo	AZA	EPD Latin América	28.04.2022	ISO 14025 EN 15804	1 ton	A440-280H A630-420H Diám: 6-36 mm	767,00
	Subestructura	Yeso Cartón	Placa Yeso Cartón	Volcán	DAPCO	01.12.2021	ISO 14025 ISO 21930 EN15804	1 m ²	ST 8 [mm]	2,00
									ST 10 [mm]	2,50
									ST 12,5 [mm]	3,10
									ST 15 [mm]	3,80
									RH 12,5 [mm]	3,20
									RH 15 [mm]	3,80
									RF 12,5 [mm]	3,50
									RF 15 [mm]	4,20
									XR 12,5 [mm]	4,30
									XR 15 [mm]	4,90
									XR RH 15 [mm]	4,90
		Aislación Térmica	Lana Mineral en colchoneta	Volcán	DAPCO	01.12.2021	ISO 14025 ISO 21930 EN15804	1 m ²	Libre 40 [mm]	3,45
									Libre 50 [mm]	4,31
									Libre 80 [mm]	6,90
									Papel una cara 40 [mm]	3,19
									Papel una cara 50 [mm]	4,54
									Papel una cara 80 [mm]	7,27
									Papel dos caras 50 [mm]	4,54
									Papel dos caras 80 [mm]	7,27
				Volcán	DAPCO	01.12.2021		1 m ²	Panel Libre 50 mm	5,00

Sección	Grupo	Producto	Descripción	Proveedor	Operador de DAP	Vigencia	Estándar	Unidad Declarada	Ítem	Potencial de Calentamiento Global A1-A3 [kgCO ₂ e]
			Lana de Vidrio múltiples versiones				ISO 14025 ISO 21930 EN15804		Panel Libre 60 mm	5,90
									Panel Papel Una Cara 50 mm	5,10
									Rollo Libre 40 mm	1,50
									Rollo Libre 50 mm	1,90
									Rollo Libre 60 mm	2,20
									Rollo Libre 80 mm	3,00
									Rollo Libre 100 mm	3,70
									Rollo Libre 120 mm	4,50
									Rollo Libre 140 mm	5,20
									Rollo Libre 160 mm	5,90
									Rollo Papel Una Cara 40 mm	1,50
									Rollo Papel Una Cara 50 mm	1,90
									Rollo Papel Una Cara 60 mm	2,30
									Rollo Papel Una Cara 80 mm	3,10
									Rollo Papel Una Cara 100 mm	3,90
									Rollo Papel Una Cara 120 mm	4,60
									Rollo Papel Una Cara 140 mm	5,40

Sección	Grupo	Producto	Descripción	Proveedor	Operador de DAP	Vigencia	Estándar	Unidad Declarada	Ítem	Potencial de Calentamiento Global A1-A3 [kgCO ₂ e]
Terminaciones	Envolvente	Revestimiento	Fibrocemento múltiples formatos	Volcán	DAPCO	01.12.2021	ISO 14025 ISO 21930 EN15804	1 m ²	Rollo Papel Una Cara 160 mm	6,20
									Rollo Aislanroll 25 mm	1,10
									Volcanboard 4 mm	0,50
									Volcanboard 5 mm	0,63
									Volcanboard 6 mm	0,75
									Volcanboard 8 mm	1,00
									Volcanboard 10 mm	1,30
									Backer Volcan 6 mm	0,75
									Panel Volcan 6 mm	0,75
									Alistonado Volcan 6 mm	0,75
									Siding Volcan 6 mm	0,75
		Ventana	Perfil de ventana de PVC	DVP	EPD Latin América	30.12.2025	ISO 14025 EN 15804	1 kg	Perfil Blanco	3572,00
									Perfil Gris	3012,00
									Perfil Caramelo	2986,00
									Perfil marrón	2969,00
									Perfil antracita	4432,00
									Perfil nogal	4877,00
									Perfil roble	5053,00
	Terminaciones Interiores	Yeso	Yeso Construcción	Volcán	DAPCO	01.12.2021	ISO 14025 ISO 21930 EN15804	1 kg	Express	0,20
									Súper	0,20

Propuesta de caso de estudio en alcance de materiales y vida útil

En base a la experiencia internacional, se propone para este proyecto un esquema de revisión del caso de estudio. En este punto se aborda el desglose de ciclo de vida para definir los hitos en los que se incorporarán datos de entrada, cuándo se obtendrán resultados por alcance y las metodologías y procedimiento de aplicación de herramientas de cuantificación a la evaluación del caso piloto. Paralelamente se determinan los puntos en los que será necesario estimar procesos de reemplazo o recambio de materiales, reparación y remodelación.

Es importante mencionar que, para este estudio, se considerará una vida útil de referencia igual a la vida útil requerida del edificio piloto (de acuerdo con lo establecido en la norma EN15978) y se considerará un período de análisis de la cuna a la tumba de 60 años, de acuerdo con lo indicado para edificios no residenciales en la metodología de RICS y que se alinea con los períodos de referencia indicados por las tablas 10 (SII), ilustración 26 SIA 2032 y la tabla de referencia de RICS (ilustración 30). Es importante mencionar que el período de vida útil de los edificios de 60 años, es considerado en muchas certificaciones internacionales (LEED, BREEAM, Minergie) como lineamiento para los Análisis de Ciclo de Vida. De esta manera, los edificios evaluados bajo diferentes certificaciones aumentan su posibilidad de comparación.

En esta sección obtendremos además las bases propuestas para la evaluación del piloto, en cuanto a selección de datos de entrada y tiempos asociados a los módulos B3, B4 y B5.

Para estimar los años en los que será necesario un recambio parcial o total de los sistemas del edificio, se tomarán en consideración tanto las “Tablas de Vida Útil de los Bienes Físicos del Activo Inmovilizado”, que se refiere a los bienes físicos del activo inmovilizado fijada por el Servicio de Impuestos Internos (SII) para los bienes existentes al 31-12-2002, como también la propuesta de períodos de vida útil de referencia propuesto por la metodología de RICS y el actual marco normativo para la planificación de la vida útil en edificaciones, basadas en:

- NCh 3447/1 Edificios y activos construidos – Planificación de la vida útil. Parte 1: Principios generales y marco (ISO 15686-1)
- NCh 3447/2 Edificios y activos construidos – Planificación de la vida útil. Parte 2: Procedimientos de predicción de vida útil (ISO 15686-2)
- NCh 3447/3 Edificios y activos construidos – Planificación de la vida útil. Parte 3: Auditorías y revisiones de rendimiento (ISO 15686-3)
- NCh 3447/4 Edificios y activos construidos – Planificación de la vida útil. Parte 4: Planificación de la vida útil utilizando el modelado de información del edificio (BIM) (ISO 15686-4)
- NCh 3447/5 Edificios y activos construidos – Planificación de la vida útil. Parte 5: Costos del ciclo de vida (ISO 15686-5)
- NCh 344/7 Edificios y activos construidos – Planificación de la vida útil. Parte 7: Evaluación del rendimiento para la retroalimentación de los datos de la vida útil de la práctica (ISO 15686-7)

- NCh 3447/8 Edificios y activos construidos – Planificación de la vida útil. Parte 8: Vida del servicio de referencia y estimación de la vida útil (ISO 15686-8)
- NCh 3447/10 Edificios y activos construidos – Planificación de la vida útil. Parte 10: Cuándo evaluar el rendimiento funcional (ISO 15686-10)

Estas referencias permitirán precisar la estimación de la vida útil de cada elemento y componente de la edificación evaluada, pudiendo establecer escenarios en base a uso y planes de mantenimiento, considerando que las renovaciones interiores en oficinas y edificios públicos pueden ser generalmente más periódicas que en viviendas.

Building part	Building elements/components	Expected lifespan
Roof	Roof coverings	30 years
Superstructure	Internal partitioning and dry lining	30 years
Finishes	Wall finishes: Render/Paint	30/10 years respectively
	Floor finishes Raised Access Floor (RAF)/Finish layers	30/10 years respectively
	Ceiling finishes Substrate/Paint	20/10 years respectively
FF&E	Loose furniture and fittings	10 years
Services/MEP	Heat source, e.g. boilers, calorifiers	20 years
	Space heating and air treatment	20 years
	Ductwork	20 years
	Electrical installations	30 years
	Lighting fittings	15 years
	Communications installations and controls	15 years
	Water and disposal installations	25 years
	Sanitaryware	20 years
	Lift and conveyor installations	20 years
Facade	Opaque modular cladding e.g. rain screens, timber panels	30 years
	Glazed cladding/Curtain walling	35 years
	Windows and external doors	30 years

Ilustración 28 Períodos de referencia conservadores de vida útil de elementos constructivos. RICS professional standards and guidance, UK

Tabla 10 “Vida útil de los Bienes Físicos del Activo Inmovilizado”, que se refiere a a los bienes físicos del activo inmovilizado fijada por el Servicio de Impuestos Internos (SII) para los bienes existentes al 31-12-2002.

VIDA ÚTIL ESTIMADA	Años de Vida Útil	
	Normal	Acelerada
Edificaciones		
Oficinas y casa Habitación	80	26
Construcciones de hormigón armado	60	20
Estructura metálica	25	8
Redes de agua potable		
Cañerías PVC	30	10
Válvulas	40	13
Cámara Cemento D.O.S	50	16
Grifos	30	10
Redes de alcantarillado		
Fierro galvanizado	20	6
Acero	15	5
PVC	20	6
Hormigón armado	30	10
Cemento comprimido	20	6
Cámaras de concreto	50	16
Instalaciones de infraestructura		
Instalaciones generales	10	3
Redes telefónicas telecomunicaciones, plantas eléctricas	10	3
Muebles y enseres		
De oficina	10	3
De casino	10	3

Adicionalmente, tenemos como base de referencia, la normativa SIA 2032:2020, utilizada en Suiza y que define la metodología de cálculo de huella carbono para el sector construcción, incluyendo “tiempos de amortización” para diferentes elementos de la construcción.

En este documento, se refiere al “tiempo de amortización” como a la vida útil de los componentes de la ilustración 26. Esta información se sostiene en una convención que permite equilibrar datos comparativos entre diferentes edificios.

Anhang C (normativ) Amortisationszeit

Diese Amortisationszeiten gelten nur für die Berechnungen gemäss diesem Merkblatt und dürfen nicht für andere Zwecke verwendet werden.

Tabelle 5 Amortisationszeiten

eBKP-H		Bezeichnung nach eBKP-H	Element bzw. Ausführung	Bemerkungen	Jahre				
Hauptgruppe	Elementgruppe				60	40	30	20	
B		Vorbereitung							
	B06.01, B06.02	Aushub			X				
	B06.04, B07.02	Baugrubenabschluss, Pfählung			X				
C		Konstruktion Gebäude							
	C01	Fundament, Bodenplatte			X				
	C02.01 (A)	Aussenwandkonstruktion (unter Terrain)		ohne Bekleidung nach E01	X				
	C02.01 (B)	Aussenwandkonstruktion (über Terrain)		ohne Bekleidung nach E02	X				
	C02.02	Innenwandkonstruktion		tragend	X				
	C03	Stützenkonstruktion			X				
	C04.01	Geschossdecke		ohne Bekleidung nach G02 und G04	X				
	C04.04, C04.05	Dachkonstruktion		ohne Bedachung nach F	X				
	C04.08	Aussen liegende Konstruktion				X			
D		Technik Gebäude							
	D01	Elektroanlage		inkl. Solarzellen			X		
	D05	Wärmetechnische Anlage	D05.02 Wärmeerzeugung	allg. Wärmeerzeugung				X	
				Erdwärmesonden		X			
				Solkollektoren			X		
			D05.04, D05.05 Wärmeverteilung, Wärmeabgabe				X		
	D07	Lufttechnische Anlage					X		
	D08	Wassertechnische Anlage	Sanitäranlage				X		

Tabelle 5 Amortisationszeiten (Fortsetzung)

eBKP-H		Bezeichnung nach eBKP-H	Element bzw. Ausführung	Bemerkungen	Jahre				
Hauptgruppe	Elementgruppe				60	40	30	20	
E		Äussere Wandbekleidung Gebäude							
	E01	Äussere Wandbekleidung unter Terrain			X				
	E02	Äussere Wandbekleidung über Terrain	E02.01 Äussere Beschichtung	Putz direkt auf der Konstruktion			X		
			E02.02 Aussenwärmedämmung	Kompaktfassade			X		
			E02.03 Fassadenbekleidung (hinterlüftet)				X		
			E02.04 Systemfassade				X		
			E02.05 Bekleidung Untersicht	inkl. Auskragungen			X		
	E03	Element in Aussenwand		Fenster, Türen, Tore			X		
F		Bedachung Gebäude							
	F01	Dachhaut	F01.01 Dachabdichtung unter Terrain		X				
			F01.02 Bedachung Flachdach	Schutz- und Nutzschicht			X		
			F01.03 Bedachung geneigtes Dach	ab Tragstruktur bis Eindeckung		X			
	F02	Element zu Dach		Dachfenster, Sonnenschutz			X		
G		Ausbau Gebäude							
	G01	Trennwand, Innentür, Innentor		nicht tragend, inkl. Innenfenster			X		
	G02	Bodenbelag					X		
	G03	Wandbekleidung					X		
	G04	Deckenbekleidung		Bekleidungen, Putz			X		

Ilustración 29 Tablas de vida útil de la normativa SIA 2032:2020

Tabla 11 Desglose de materiales, elementos y sistemas de edificio piloto. Propuesta de años de vida útil por elemento constructivo elaborado en base a RICS y SIA 2032:2020

Grupo	Sub grupo	Detalle de materiales	Años de vida útil
Sub estructura	Corresponde al grupo desde las fundaciones en subterráneos	1.	+60
		2.	—
		n.	—
Super estructura	Corresponde a los elementos estructurales como vigas, muros y pilares superior a los subterráneos	1.	+60
		2.	—
		n.	—
Fachadas	Elementos exteriores de la estructura y cierre de paños entre elementos estructurales exteriores	Estructura fachada	60
		Terminación fachada	30
Instalaciones y artefactos	Iluminación, calefacción/refrigeración y ventilación, artefactos	Sistema calefacción y ACS	20
		luminarias	15
		artefactos	10
Terminaciones	Interiores	Pinturas	15
		Puertas, ventanas	30
Artefactos	Equipos instalados de cocina, baño, sanitarios. Adicionalmente se pueden estimar los implementos no instalados fijos como camas, mesas, etc	cañerías	25
		Artefactos sanitarios	20
		mobiliario	10
Obras exteriores	Obras como pavimentos, paisajismo	pavimentos	30

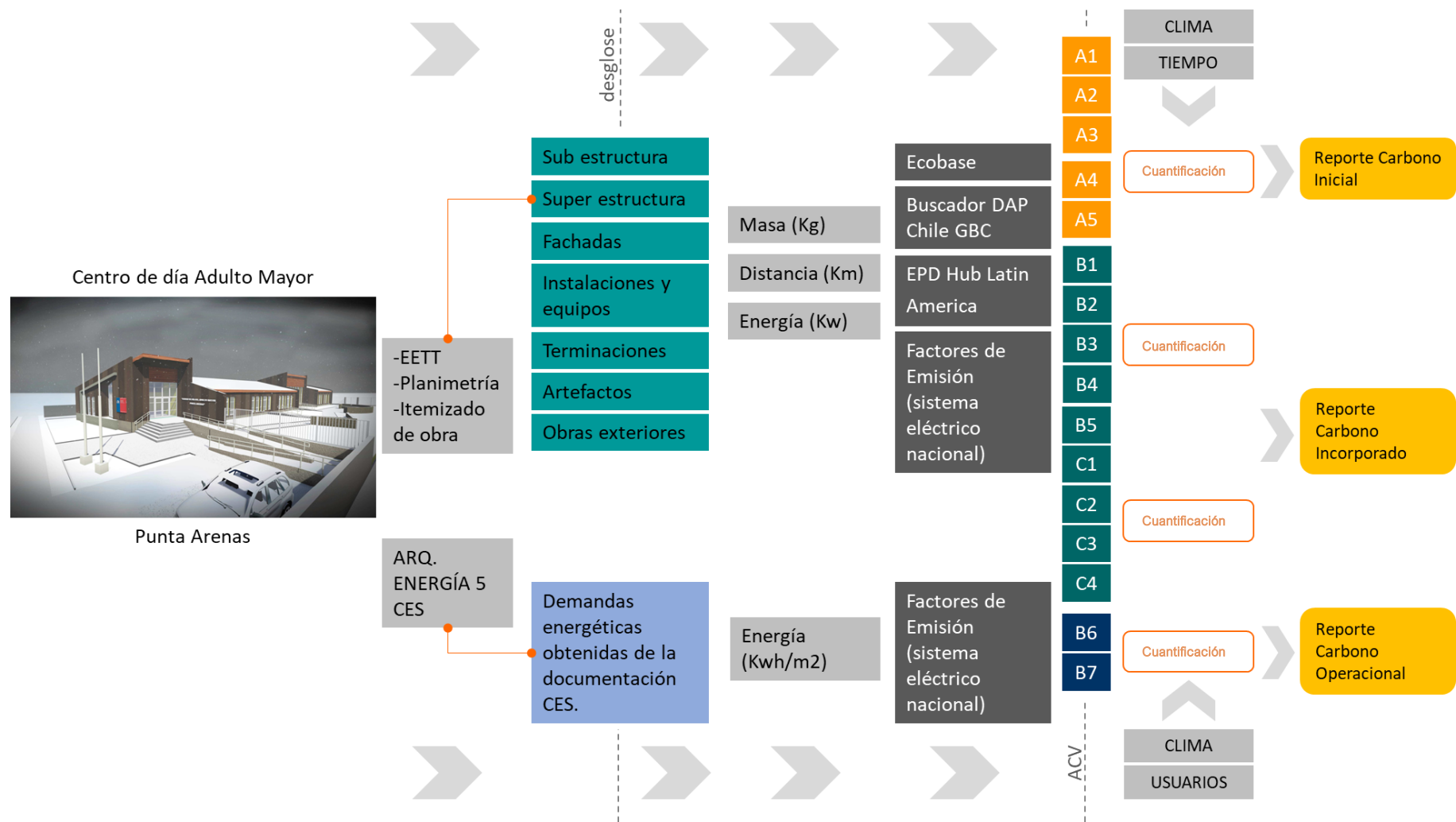


Ilustración 30: Propuesta de desglose y evaluación del proyecto piloto. Elaboración propia

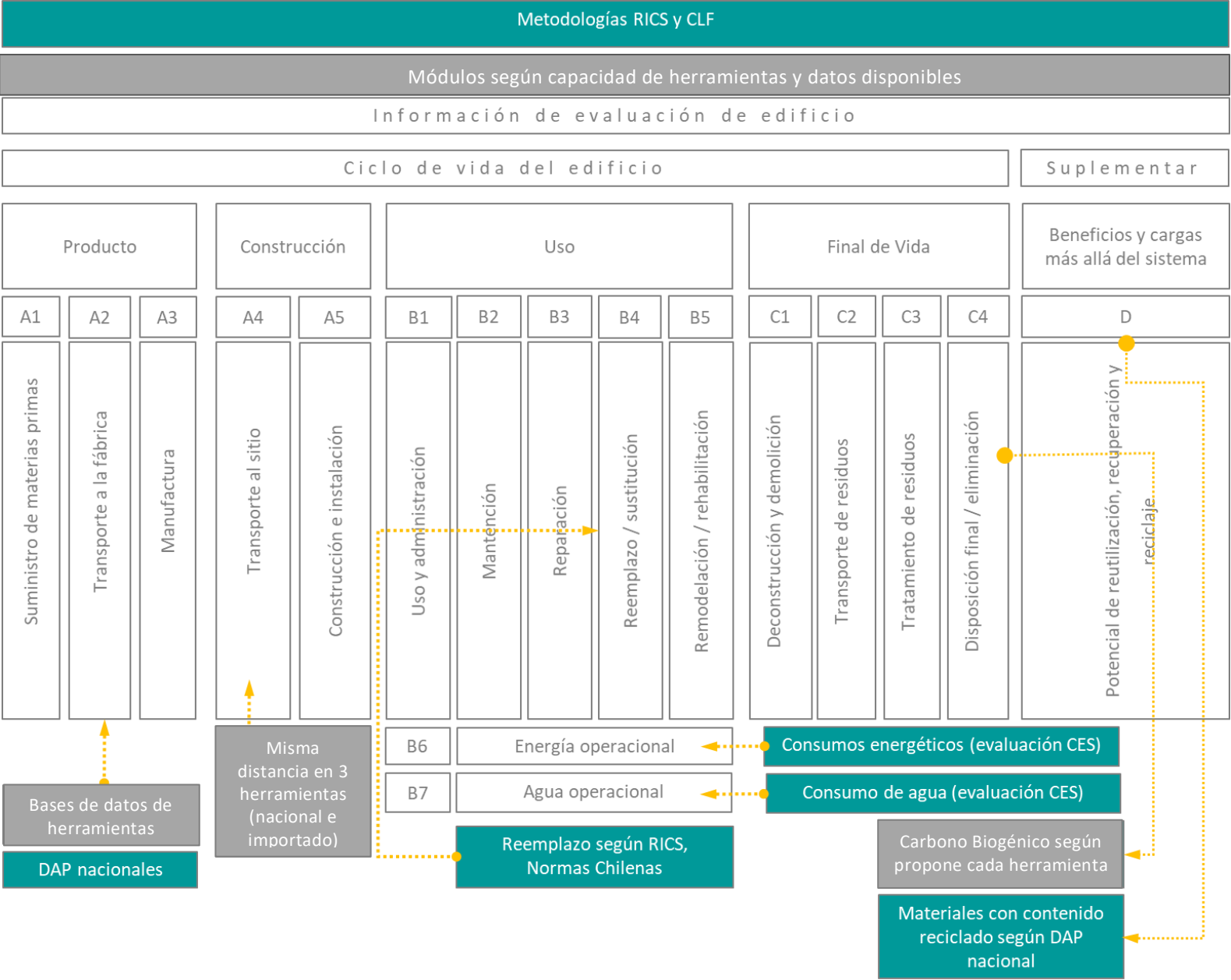


Ilustración 31 Propuesta de aplicación de herramientas de cuantificación y metodologías en el ACV de edificio piloto

Identificación y comparación de casos

El impacto en la reducción de emisiones de CO₂ de un edificio, dependerá fuertemente de su carbono incorporado y su carbono operacional. Actualmente existen fuentes que indican que la incidencia del carbono operacional representa aproximadamente el 60% del impacto sobre el cambio climático durante la vida del edificio (estimada en 60 años). Esta aseveración dependerá del estándar y rendimiento energético del edificio, ya que, en proyectos diseñados con una alta eficiencia energética, el carbono operacional representaría sólo el 25% del impacto climático en todo el ciclo de vida del edificio (London Energy Transformation Initiative LETI 2020). El tipo de edificación (residencial, oficinas, educacional, salud), tendría aparentemente también una relación de incidencia diferente entre carbono incorporado y operacional. En este sentido, es fundamental tener una clara visión de este impacto en todo el ciclo de una edificación de uso público.

Los siguientes casos de estudio corresponden a proyectos en los que ya se ha medido su huella de carbono y cuentan con información sobre emisiones de CO₂e/m² de carbono incorporado y operacional.

Tabla 12 Tablas comparativa de casos de estudio

1 CASO DE ESTUDIO			ENLACE		
CBRE (2020) “Whole Life cycle Assessment: Catalyst Housing Limited and Transport for London”			https://www.harrow.gov.uk/downloads/file/27840/stanmore-wlca-final-15-05-2020		
Descripción	Metodología	Herramienta de cálculo	Incidencia CO ₂ incorporado	Incidencia CO ₂ operacional	Tipo de datos
<p>Evaluación del ciclo de vida realizada por CBRE Limited para un nuevo desarrollo residencial en Stanmore Station Car Park, realizado por Catalyst Housing Limited y Transport for London Stanmore, de 26.785 m², a 60 años.</p> <p>Sistema Constructivo predominante: Hormigón</p>	<p>Sigue la metodología EN15978 y las directrices establecidas por RICS Professional Statement UK – Whole Life Carbon Assessment For The Built Environment.</p> <p>Se consideraron los módulos A1-A3, A4-A5, B4-B6, C1-C4 y D.</p>	One Click LCA	<p>71%</p> <p>593 [kgCO₂e/m²]</p>	<p>29%</p> <p>246 [kgCO₂e/m²]</p>	<p>El inventario fue a partir del itemizado y presupuesto disponible, considerando materiales genéricos para aquellos que aún no se encontraban definidos en el proyecto.</p> <p>Transporte y vida útil fueron establecidas según dicta RICS.</p>

2

CASO DE ESTUDIO			ENLACE		
Athena Building Institute (2017), “Design Building University of Massachusetts, Amherst: An Environmental Building Declaration According to EN 15978 standard”			http://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2017/04/UMass_Environmental_Declaration_31_January_2017.pdf		
Descripción	Metodología	Herramienta de cálculo	Incidencia CO ₂ incorporado	Incidencia CO ₂ operacional	Tipo de datos
<p>Evaluación del ciclo de vida ambiental del edificio de diseño de la Universidad de Massachusetts, en Amherst, Massachusetts de 8.147m² a 60 años.</p> <p>Sistema constructivo predominante: CLT con refuerzos de Hormigón</p>	<p>Siguiendo norma EN 159781, con una interpretación norteamericana para cumplir con adecuación al contexto local.</p> <p>La interpretación de los impactos del ciclo de vida se realizó de acuerdo con la metodología TRACI v2.12 y el modelado de ACV se gestionó en una herramienta propia basada en Excel.</p> <p>Se consideraron los módulos A1-A3, A4-A5, B2-B4, B6-B7 y C1-C4.</p>	Athena IE	<p>14%</p> <p>516 [kgCO₂e/m²]</p>	<p>86%</p> <p>3.290 [kgCO₂e/m²]</p>	Itemizado detallado del proyecto y simulaciones energéticas realizadas.

3	CASO DE ESTUDIO			ENLACE		
Athena Building Institute (2017), “Lafarge Hub: An Environmental Building Declaration According to EN 15978 standard”				http://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2014/08/Lafarge_Hub_Environmental_Declaration_August_2014.pdf		
Descripción	Metodología	Herramienta de cálculo	Incidencia CO ₂ incorporado	Incidencia CO ₂ operacional	Tipo de datos	
Evaluación del desempeño ambiental del Centro de Innovación de Lafarge, Edmonton-Alberta, de 1.470m ² a 75 años. Sistema constructivo predominante: Elementos de hormigón pré-fabricado.	Evaluado de acuerdo con los requisitos de la norma EN 159781. Se consideraron los módulos A1-A3, A4-A5, B2-B4, C1-C4 y D.	Athena IE	100% 78.400 [kgCO ₂ e/m ²]	No evaluado	Itemizado completo	

4	CASO DE ESTUDIO			ENLACE		
Athena Building Institute (2017), “Ponderosa Commons Cedar House, UBC: An Environmental Building Declaration According to EN 15978 standard”				http://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2018/08/Cedar_House_Environmenta_Declaration_20180608.pdf		
Descripción	Metodología	Herramienta de cálculo	Incidencia CO ₂ incorporado	Incidencia CO ₂ operacional	Tipo de datos	
Evaluación del edificio Cedar House, una estructura de 18 pisos más sótano, de 12,838 m ² en West Mall, Vancouver, Columbia	Conforme a la norma EN 159781, considerando la interpretación norteamericana para el contexto local.	Athena IE	23% 459,6 [kgCO ₂ e/m ²]	77% 1.542,3 [kgCO ₂ e/m ²]	Itemizado completo y simulaciones energéticas realizadas.	

Británica, realizada a 100 años. Sistema constructivo predominante: Hormigón					
---	--	--	--	--	--

5		CASO DE ESTUDIO		ENLACE		
Tallwood Design Institute (2018). “CLT Buildings: A WBLCA Case Study Series”				http://tallwoodinstitute.org/sites/twi/files/Case_Studies_Final_2.pdf		
Descripción		Metodología	Herramienta de cálculo	Incidencia CO ₂ incorporado	Incidencia CO ₂ operacional	Tipo de datos
a	District Office, edificio de seis pisos y 9.837,5 m ² , ubicado en Portland, Oregon, evaluado a 75 años. Sistema constructivo predominante: CLT	Ajuste entre estándares ISO y EN 15978. Se consideraron los módulos A1-A3, A4-A5, C1-C4 y D.	Tally Athena IE	<i>Tally c/CB</i> : ⁶ 186 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Tally s/CB</i> : 262 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Athena IE</i> : 90 [kgCO ₂ e/m ²]	No evaluado	Modelo Revit basado en los documentos de construcción del edificio para trabajar con Tally.
b	Carbon12, edificio de uso mixto (7 pisos residenciales + 1 piso comercial) ubicado en Portland, Oregon. Evaluado a 75 años. Sistema constructivo predominante: CLT	Para el uso de la herramienta Tally se consideró evaluar el aporte del Carbono Biogénico (CB).		<i>Tally c/CB</i> : 202 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Tally s/CB</i> : 276 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Athena IE</i> : 185 [kgCO ₂ e/m ²]		Con el reporte extraído de la cuantificación de materiales, se proporcionó información para el software Athena IE.
c	Glenwood CLT Parking Garage, edificación con			<i>Tally c/CB</i> : 93 [kgCO ₂ e/m ²]		

⁶ Evaluación de casos de estudio con 3 alternativas: Tally C/CB (herramienta de cálculo Tally con carbono biogénico), Tally s/CB (herramienta de cálculo Tally sin carbono biogénico), Athena IE (herramienta de cálculo Athena IE)

5

CASO DE ESTUDIO			ENLACE		
Tallwood Design Institute (2018). "CLT Buildings: A WBLCA Case Study Series"			http://tallwoodinstitute.org/sites/twi/files/Case_Studies_Final_2.pdf		
Descripción	Metodología	Herramienta de cálculo	Incidencia CO ₂ incorporado	Incidencia CO ₂ operacional	Tipo de datos
fin de estacionamiento para la ciudad de Springfield, Oregon. Evaluado a 75 años. Sistema constructivo predominante: CLT			<i>Tally s/CB:</i> 180 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Athena IE:</i> 52 [kgCO ₂ e/m ²]		
d CLTHouse, en Washington. Edificación residencial de dos pisos. Evaluado a 75 años. Sistema constructivo predominante: CLT			<i>Tally c/CB:</i> 207 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Tally s/CB:</i> 480 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Athena IE:</i> (-) 936 [kgCO ₂ e/m ²]*		
e BC Passive House Factory, planta de fabricación ubicada en Pemberton, Columbia Británica. Evaluado a 75 años. Sistema constructivo predominante: CLT			<i>Tally c/CB:</i> 119 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Tally s/CB:</i> 260 [kgCO ₂ e/m ²] <i>Athena IE:</i> 123 [kgCO ₂ e/m ²]		

*La estimación de un valor negativo se debe a la alta contribución que le reconoce el software Athena IE al Módulo D.

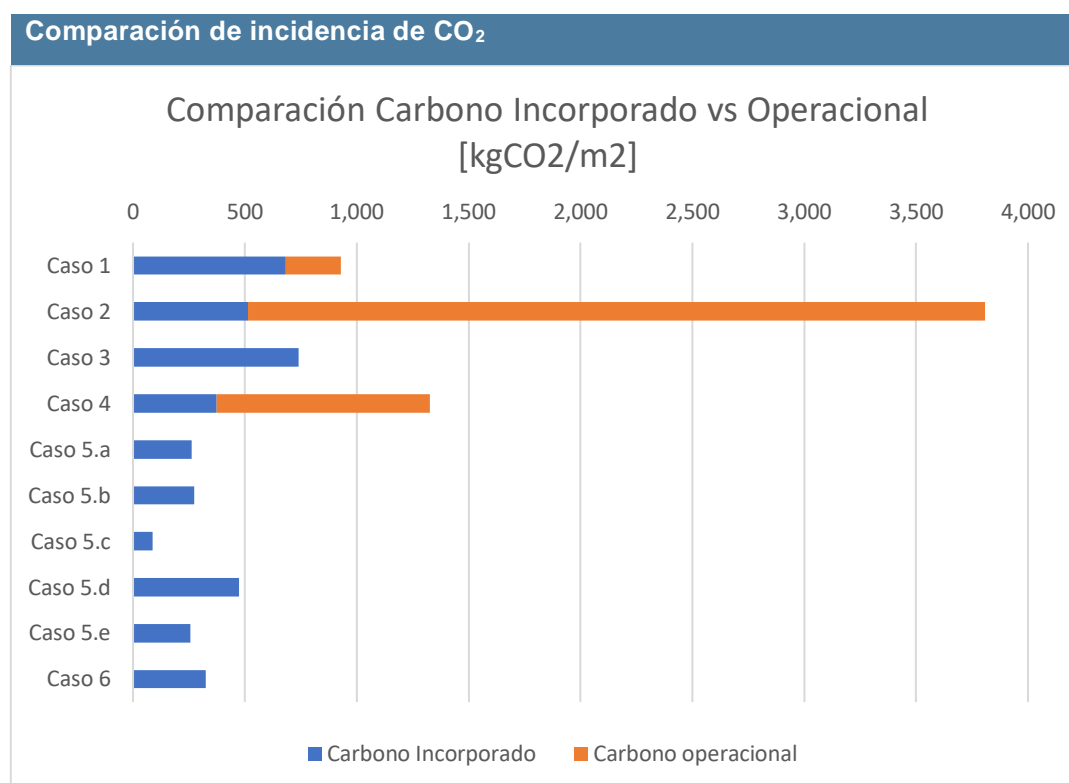
Adicionalmente, se propone un caso de estudio desarrollado en Chile, utilizando la herramienta elaborada por EBP llamada RUKARU. Esta herramienta fue desarrollada gracias a un financiamiento CORFO de la modalidad Crea y Valida, y ha sido planificada como un aporte a la reducción del impacto del sector construcción en el cambio climático.

Tabla 13 Caso de estudio en Chile, con herramienta RUKARU, de EBP

6

CASO DE ESTUDIO					
Edificio MIND, Chile					
Descripción	Metodología	Herramienta de cálculo	Incidencia CO ₂ incorporado	Incidencia CO ₂ operacional	Tipo de datos
<p>Se analiza la huella de carbono incorporada del proyecto “MIND”, de la inmobiliaria Echeverría Izquierdo.</p> <p>El proyecto se encuentra en Av. Irarrazabal 2370, comuna de Ñuñoa, Santiago de Chile.</p> <p>Superficie construida: 15.000m²</p> <p>Sistema constructivo predominante: BauMax (hormigón)</p>	<p>Metodología europea EN-15978.</p> <p>Rukaru</p>	<p>Rukaru</p>	<p>A1-A3, 4220 ton CO₂e</p> <p>A4, 269 ton CO₂e</p> <p>A5, 392 ton CO₂e</p> <p>Total A1-A5: 4881 ton CO₂e</p>	<p>N/A</p>	<p>Planos generales de arquitectura</p> <p>Itemizado de obra</p> <p>Programación de obra</p> <p>Especificaciones técnicas de la construcción</p>

Expresamos, además, la información comparativa de las tablas anteriores de cada caso mediante gráficos para facilitar la comparación y rápida lectura de los casos de estudio.



Se observa que el caso 2 posee una alta incidencia de carbono operacional en relación con los otros casos. El caso 2 corresponde a una Universidad, por lo que es esperable que tenga un alto impacto en operación. Sin embargo, si comparamos con el caso 4, que también tiene un alto impacto en operación debido principalmente a su mayor período de vida útil de referencia (100 años versus 60 años) y que posee un consumo mucho mayor de electricidad en los datos desglosados, entonces se detecta la posibilidad de que se haya producido alguna incongruencia en el reporte de datos. Además, es importante tener en consideración que según estudios de comparación (Carbon Leadership Forum 2018) desarrollados por metodologías como CLF, el carbono incorporado de las etapas A de un edificio, no debiese superar los 1000 kg CO₂e/m². A continuación se detallan los datos de ambos casos de estudio:

Caso 2:

<p>Superficie: 8.147m²</p> <p>Vida útil de análisis: 60 años</p>	
---	--


Normalizado [kgCO₂e/m²]

	Materiales y Productos A1-A3	Construcción A4-A5	Operación B1-B5	Operación B6-B7	Fin de Vida Útil C1-C4	Total
Caso 2	318	73	91	3.294	32	3.808

Table 22: Scenarios – Annual Operational Energy Use (B6)

Energy^a Type	Quantity	Unit
Natural Gas	122,514	m ³
Electricity	240,171	kWh

Caso 4:

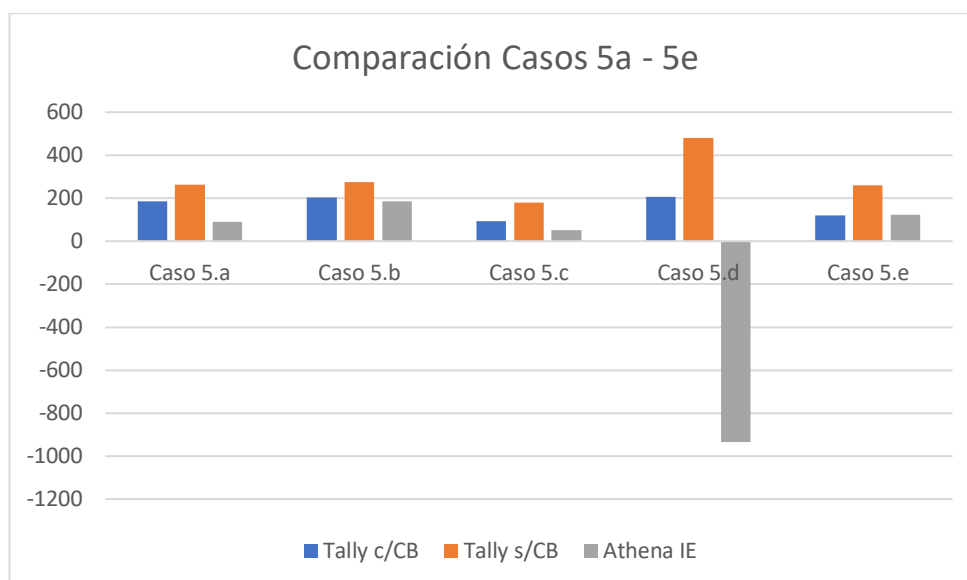
<p>Superficie: 12,838m²</p> <p>Vida útil de análisis: 100 años</p>	
---	---

Normalizado [kgCO₂e/m²]

	Materiales y Productos A1-A3	Construcción A4-A5	Operación B1-B5	Operación B6-B7	Fin de Vida Útil C1-C4	Total
Caso 4	268	24	66	952	17	1.327

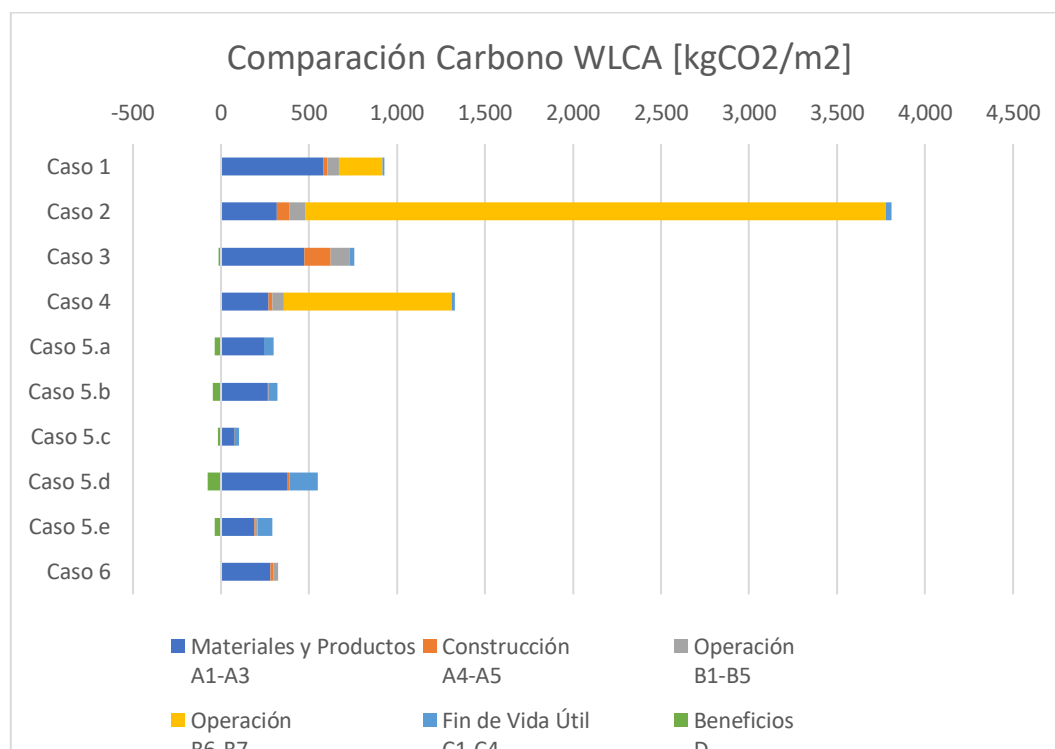
Table 23: Scenarios – Annual Operational Energy Use (B6)

Energy^a Type	Quantity	Unit
Natural Gas	28,937	m ³
Electricity	1,903,203	kWh
Biomass	23,060	kg



Comparando la evaluación de 5 casos con sistema constructivo de CLT evaluados con 2 herramientas de cuantificación (Tally y Athena IE), se observa en el caso 5d la gran contribución de beneficios que considera la herramienta de cálculo Athena IE al ACV gracias, fundamentalmente al carbono biogénico proporcionado por el sistema constructivo de CLT y a beneficios que considera el software al reconocer la estructura del edificio (reciclaje y reutilización). La diferencia con las otras herramientas de cuantificación se produce además por la base de datos de Athena, la cual está muy contextualizada al sitio del proyecto y puede considerar factores más específicos, reutilización de materiales para producción de energía local, entre otros, lo que puede producir una gran cantidad de descuentos por material.

Las 3 alternativas de herramientas de cuantificación representadas en este gráfico consideran los módulos A, B, C y D en su análisis.



**Los valores de los casos 5 considerados en esta gráfica, corresponden a la alternativa de evaluación con Tally s/CB*

Se destaca de esta tabla que en los casos 5 y 3, aparecen beneficios (en color verde) que se contabilizan como valores negativos en la gráfica. En estos proyectos, el sistema constructivo predominante es CLT (madera laminada cruzada o cross laminated timber por sus siglas en inglés). Los valores representados en este esquema no consideran carbono biogénico, por lo que los beneficios declarados en el módulo D corresponden al crédito potencial por la utilización de productos de desecho para la obtención de energía y esto se expresa mediante las emisiones equivalentes evitadas de la electricidad media de la red estadounidense.

Conclusiones de casos de estudio

La revisión de los casos de estudios corresponde a un ejercicio que permite reconocer las metodologías implementadas, sus consideraciones de límites y alcances, las herramientas y recursos utilizados para lograr los objetivos de medición y reporte.

De ellos, destaca el seguimiento de norma EN 15978 para metodología y desglose de módulos. A la vez, se aprecia la posibilidad de aplicar ajustes para posicionarlas y aplicarlas en el contexto local, debiendo priorizar la consistencia y validación de la información disponible para contar con resultados comparables con estudios similares o a partir de análisis dinámicos en el tiempo.

Si bien, se comprende la incerteza en la estimación del Carbono Operacional, más aún cuando los proyectos se encuentran en etapas tempranas, se aprecia la necesidad de contar con tales valores para poder tomar decisiones apropiadas al diseño, construcción, régimen de mantenimiento, conservación y beneficios más allá de los límites del sistema, para apuntar hacia una economía circular.

Complementariamente, los resultados dan señales de la importancia en la consideración del Carbono Biogénico, principalmente por considerar sus beneficios para un país que busca desarrollarse como potencia en edificaciones basadas en la madera.

5. Conclusiones

- Metodologías y herramientas de cuantificación son independientes entre sí. Las herramientas de cuantificación escogen una metodología.
- En una relación rendimiento / volumen / eficiencia, el equipo consultor estima One Click LCA es una herramienta recomendable y destacable por su flexibilidad en la integración de datos, la configuración del modelo e interacción con plataformas como BIM.
- Athena IE, representa una alternativa más viable en un escenario de “uso masivo”, dado que no depende de una compleja elaboración de un modelo previo configurado para la relación con DAP, pero depende mucho de una base de datos interna cerrada, y su contextualización es compleja.
- ABACO -CHILE, Rukaru y EC3, son herramientas de cálculo que abordan menos módulos en el ciclo de vida que las otras herramientas de cuantificación analizadas, sin embargo, en el caso de las alternativas nacionales, éstas tienen un potencial de crecimiento en cuanto a módulos de análisis, contextualización, adaptación, tanto de la herramienta, como de las bases de datos que utilizan (en el caso de ABACO-CHILE). La plataforma Rukaru se presenta como una opción de mayor flexibilidad, pero esta enfocada directamente en la cuantificación de carbono en la edificación. En esta plataforma existe la posibilidad de incorporar datos de ingreso de diversas bases y DAP.
- En el caso de ABACO-CHILE, se debe considerar que esta herramienta no solo se enfoca en cuantificar el carbono, sino que presenta funciones adicionales como lo son la cuantificación de costos desde un punto de vista medio ambiental como social. Sin embargo, el alcance de esta consultoría está en el enfoque de las herramientas que cuantifican el carbono en la edificación y sus alcances.
- Respecto a los casos de estudio, se destaca la importancia de contar con una metodología de respaldo en conjunto con la aplicación de las herramientas de cuantificación. De lo contrario los resultados pueden ser incoherentes y los casos no son comparables. La diferencia en años de vida útil considerado en el estudio, módulos de evaluación a considerar, detección de elementos que tienen posibilidades de impactar más (por cantidad de material o por su alto potencial de calentamiento global) o cómo se considerará el carbono biogénico en el ACV; son todos aspectos que deben quedar claramente definidos al inicio de la evaluación para hacer posible la comparación de resultados y evaluar distintos escenarios en análisis de sensibilidad.

6. Bibliografía

- C. Muñoz, M. Vega, A. Rocha, G. Cereceda, A. Molina and P. González. «Eco-efficiency tool for the decrease of the environmental load in the life cycle of buildings ABACOChile".» Santiago de Chile, 2020.
- Carbon Leadership Forum. «Life Cycle Assessment of Buildings : Technical Guidance.» 2018.
- Dalla Valle, A. «LCA Tools and BIM-Based LCA Methods to Support Decision-Making Process.» En *Change Management Towards Life Cycle AE(C) Practice*, de A. Dalla Valle. 2021.
- ENCORD. «Construction CO2e Measurement Protocol.» 2012.
- GHG Protocol. «Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard.» 2011.
- GHG Protocol. «Estandar Corporativo De Contabilidad Y Reporte.» 2019.
- GHG Protocol. «Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.» 2011.
- GHG Protocol. «Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.» 2011.
- GHG Protocol. «Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria.» 2012.
- International Living Future Institute. <https://living-future.org/zero-energy/certification/>. s.f.
- International Living Future Institute. Living Building Challenge 4.0, A Visionary Path to a Regenerative Future. «livingbuildingchallenge.org.» June de 2019.
- ISO. *ISO 14067:2018(en)*. s.f. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:en> (último acceso: 20 de agosto de 2021).
- ISO. «ISO/TS 14067 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication.» 2013.
- London Energy Transformation Initiative LETI. «LETI Climate Emergency Design Guide.» 2020.
- Minergie AG. *minergie.ch*. 2020. <https://www.minergie.ch/de/zertifizieren/minergie-a/>.
- . *minergie.ch*. 2020. <https://www.minergie.ch/de/zertifizieren/minergie-a/> (último acceso: 2021).
- RICS. «Whole life carbon assessment for the built environment: RICS professional statement, UK.» 2017.
- U.S. Green Building Council. «Leed Zero Program Guide.» Abril de 2020. <https://www.usgbc.org/resources/leed-zero-program-guide>.
- Wang, Shanshan, Weifeng Wang, y Hongqiang Yang. «Comparison of product carbon footprint protocols: Case study on medium-density fiberboard in China.» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018: 1-15.
- Wu, Peng, Bo Xia, y Xiangyu Wang. «The contribution of ISO 14067 to the evolution of global greenhouse gas standards - A review.» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015: 142-150.