

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

Informe final  
Diciembre 2021



## **Equipo del proyecto**

Antonio Espinoza  
Monserrat Bobadilla  
Mauricio Villaseñor

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

Impresión: 3. mayo.aa  
20211027\_EE\_Museo Regio Ñuble.docx

## Índice

1.	Alcance	4
2.	Objetivos	4
3.	Objetivos	5
4.	Productos de la etapa	6
4.1	Análisis de sensibilidad	6
4.2	Metodología de análisis	6
4.3	Escenarios de sensibilización	7
4.3.1	Escenario 1 - Base	10
4.3.2	Escenario 2 ciclo de vida	13
4.3.3	Escenario 3 transporte	16
4.3.4	Escenario 4 aporte solar 40%	19
4.3.5	Escenario 5 100% electricidad fotovoltáica	22
5.	Identificación de brechas	25
5.1	Evaluación de metodologías y herramientas de cuantificación	25
6.	Resumen escenarios y conclusiones	33

## 1. Alcance

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 realiza utilizando al menos dos metodologías existentes, identificando brechas y/o limitaciones en este proceso. Para la cuantificación del carbono operacional, se utilizan las mediciones que se declaran en el estudio de simulación energética del proyecto, presente en la documentación de los requerimientos de Energía de la Certificación de Edificio Sustentable (CES), desarrollada para el proyecto piloto

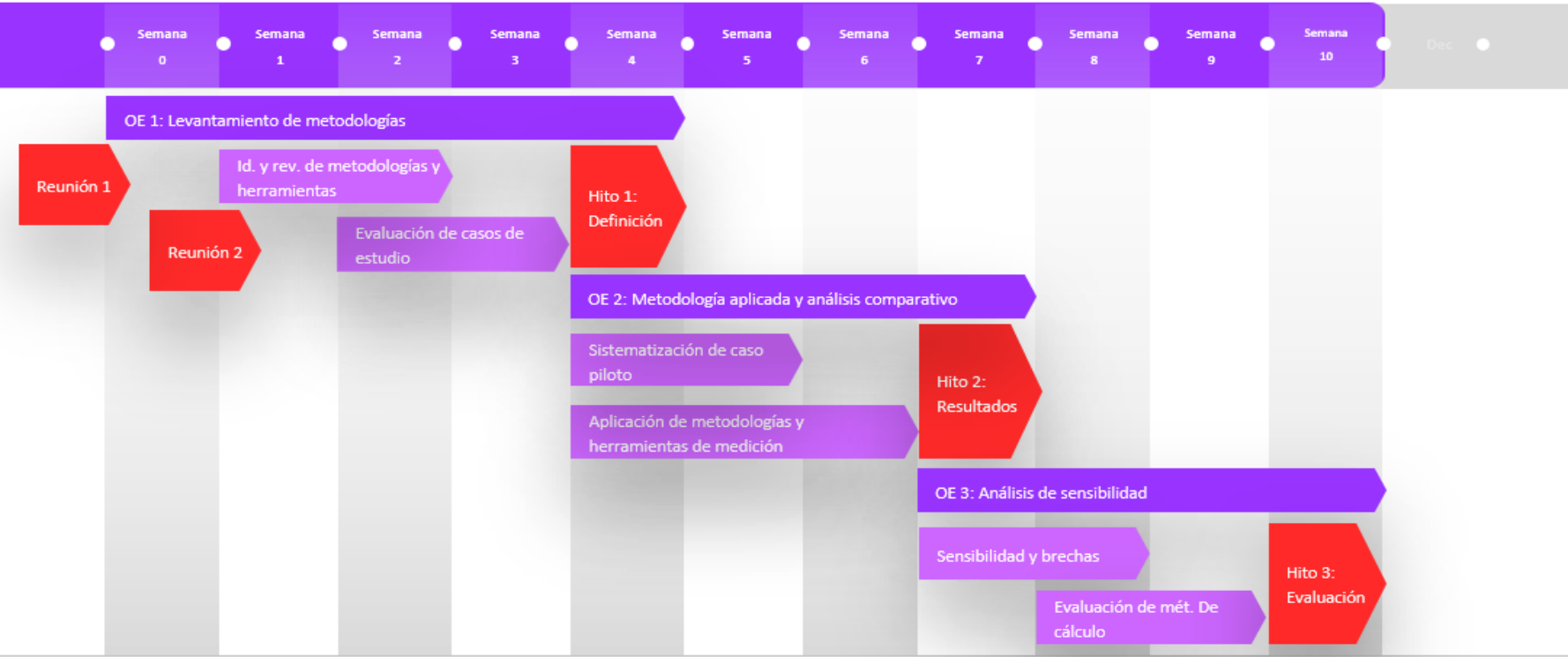
## 2. Objetivos

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

- Desarrollar un análisis de sensibilidad para los escenarios de operación, renovaciones y remodelaciones propuestos, en línea con la experiencia internacional levantada en el informe 1.
- Desarrollar un análisis de sensibilidad al considerar al aporte parcial de las partidas a los módulos A (A1 a A5), B (B1 a B7) y C (C1 a C4) de la estructura de ACV según la norma EN15978.
- Levantamiento de brechas de datos requeridos por módulo: A materiales y terminaciones, B MRV y remodelaciones/reparaciones (levantamiento de 3 escenarios de operación, mantención y reemplazo) y C fin de ciclo.
- En base a los resultados entregados tras la aplicación de metodologías y herramientas de cálculo, evaluar la factibilidad de utilizar las metodologías y herramientas de cálculo seleccionadas en el contexto nacional.

### 3. Objetivos

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



## 4. Productos de la etapa

### 4.1 Análisis de sensibilidad

En el informe 2 de este estudio, se observa que un análisis de ciclo de vida de una edificación otorga varios resultados parciales y totales. Esta variedad de resultados puede ser difícil de interpretar si no se visualizan los resultados desglosados, ya sea respecto a cada módulo del ciclo de vida o sobre las distintas componentes que conforman el edificio. Realizar análisis de sensibilidad, testeando diferentes alternativas dentro de etapas parciales del ciclo de vida, permite identificar con mayor claridad los elementos que generan mayores impactos (materiales, sistemas de construcción, fuentes de energía) y determinar posibles mejoras en un edificio. Este tipo de análisis es útil además para detectar errores producto del ingreso incorrecto de datos o de suposiciones que se han definido para el estudio.

### 4.2 Metodología de análisis

Para el desarrollo de los escenarios de sensibilización, se ha optado por las siguientes actividades:

1. Se opta por hacer el análisis de los escenarios utilizando la plataforma One Click LCA. Esto responde a que dicha herramienta no presenta brechas para la evaluación de todas las etapas del ciclo de vida, a diferencia de las otras dos herramientas.
2. Posterior a los resultados, se podrá concluir las brechas existentes para que las herramientas con las que se cuenta en Chile, puedan generar la información necesaria para el análisis de ciclo de vida del proyecto.
3. Los resultados se presentan de manera esquemática, y en los anexos de este informe se incluye el detalle de la información bajo la metodología RICS. La selección de esta metodología responde a que esta levanta la información en todas las etapas que se busca medir en este proyecto.
4. El resultado se presenta en general (TonCO<sub>2</sub>eq) y normalizado para su comparación.

### 4.3 Escenarios de sensibilización

En este informe se presentan los escenarios de sensibilización que se planifica tener para el estudio. Estos análisis de sensibilización han sido acordados en reunión con el equipo de trabajo y el mandante. La descripción de los escenarios son los siguientes:

Tabla 1 Escenarios de sensibilización

Escenario	Criterio	Modificación
<b>Escenario 1 - Base</b>	Se aplica objetivo específico 3 señalado en el TdR con respecto a los análisis de sensibilidad, relacionado al ciclo de vida del edificio.	Solo se analizan los requerimientos mínimos indicados por RICS en un ciclo de vida de 60 años.
<b>Escenario 2</b>	Se aplica objetivo específico 3 señalado en el TdR con respecto a los análisis de sensibilidad, relacionado al ciclo de vida del edificio.	Se extiende el ciclo de vida de 60 a 100 años.
<b>Escenario 3</b>	Se aplica objetivo específico 3 señalado en el TdR con respecto a los análisis de sensibilidad, relacionado al transporte de materiales.	Se modifica la distancia de extracción y producción de los materiales a 1000 kilómetros.
<b>Escenario 4</b>	Se aplica objetivo específico 3 señalado en el TdR con respecto a los análisis de sensibilidad, con respecto al consumo.	Se incorpora un sistema de energía fotovoltaica capaz de generar el 40% de energía eléctrica neta anual del edificio.
<b>Escenario 5</b>	Se aplica objetivo específico 3 señalado en el TdR con respecto a los análisis de sensibilidad, con respecto al consumo.	Se incorpora un sistema de energía fotovoltaica capaz de generar el 100% de energía eléctrica neta anual del edificio y se cambia la caldera de condensación actual por una bomba de calor

Como referencia, se debe tener presente que, independiente del ciclo de vida que se asigne al edificio, el ciclo de vida de sistemas y materiales se considera de la siguiente forma.

Tabla 2 Promedio ciclo de vida de materiales, según documento RICS “Whole life carbon assessment for the built environment”

Parte del edificio	Componentes/elementos del edificio	Promedio de vida
Techumbre	Cubiertas de techo	30 años
Super estructura	Tabiques internos y revestimientos secos	30 años
Terminaciones	Terminaciones de muro: Pinturas	10 a 30 años
	Terminaciones de piso: Piso técnico elevado y capas de terminación	30/10 años respectivamente
	Terminaciones de cielo: Substratos y pinturas	20/10 años respectivamente
Mobiliario	Mobiliario suelto y accesorios	10 años
Servicios e instalaciones	Fuentes de calor, calderas y calentadores	20 años
	Calentadores de espacios y tratamiento de aire	20 años
	Ductos	20 años
	Instalaciones eléctricas	30 años
	Iluminación	15 años
	Instalaciones de controles y comunicaciones	15 años
	Instalaciones de agua	25 años
	Artículos sanitarios	20 años
	Instalaciones elevadoras y transportadoras	20 años
Fachada	Revestimiento de fachada modular opaco: ej. Paneles de madera, pantallas de lluvia	30 años
	Revestimiento acristalado/muro cortina	35 años
	Ventanas y puertas exteriores	30 años

Con el objetivo de obtener resultados comparables, se ha considerado la misma vida útil de materiales y sistemas en todos los casos evaluados. Dada la ausencia a nivel nacional de un documento transversal y de uso tan masivo como lo es la Guía de la metodología RICS, la cual establece vidas útiles para las diferentes componentes de una edificación. Se ha optado por adoptar los períodos definidos en dicho documento para el desarrollo de los análisis de ciclo de vida.

Durante la ejecución de los análisis de este estudio, se ha comprobado, además, que varias de las vidas útiles propuestas por RICS coinciden con los números indicados por los proveedores de materiales espacialmente y son un poco menos favorables con respecto a las vidas útiles de los elementos de sistemas y tecnologías declaradas en las DAP de proveedores. Esto supone que los análisis realizados, podrían ser un poco más optimistas, si se afinara la evaluación con datos más específicos de



proveedores, especialmente en los módulos B3-B4, ya que podría prescindirse en algunos casos del reemplazo de elementos durante la vida útil de evaluación del edificio (60 años).

#### 4.3.1 Escenario 1 - Base

En este escenario se consideraron para el cálculo de ciclo de vida los datos mínimos obligatorios que pide RICS, los cuales corresponden a elementos de la subestructura y superestructura en las etapas A1-A2-A3-A4-A5. El ciclo de vida considerado es de 60 años. Se mantienen los datos operacionales del edificio como el sistema de calefacción, el cual es caldera a gas, sistema de iluminación LED, horario de operación de 08:00-18.00 y energía eléctrica 100% de matriz.

Es importante mencionar que en los componentes A1 a A3 se observa una diferencia considerable frente al escenario 0. Esto responde a que se ha modificado la información de declaración de impacto ambiental del hormigón y el acero, por componentes con menor contenido reciclado.

El resultado general se presenta a continuación.

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

## Resultados etapa de sensibilización\_ ESCENARIO 1 - Base

Datos extraídos de los resultados bajo la metodología RICS

### Datos constructivos edificio

- Superficie: 843 m2
- Ciclo de vida: 60 años
- Materialidad:
  - Muros: Muros de hormigón aislados exteriormente
  - Cubierta: Cercha metálica aislada
  - Pisos: Radier 10 cm hormigón
  - Ventana: Termopanel 2,8 W/m2K

### Datos operacionales edificio

- Sistema de calefacción: Caldera a gas
- Sistema de iluminación: LED
- Horario de operación: 08:00 – 18:00
- Energía eléctrica: 100% matriz

### Resultado general tonCo2eq



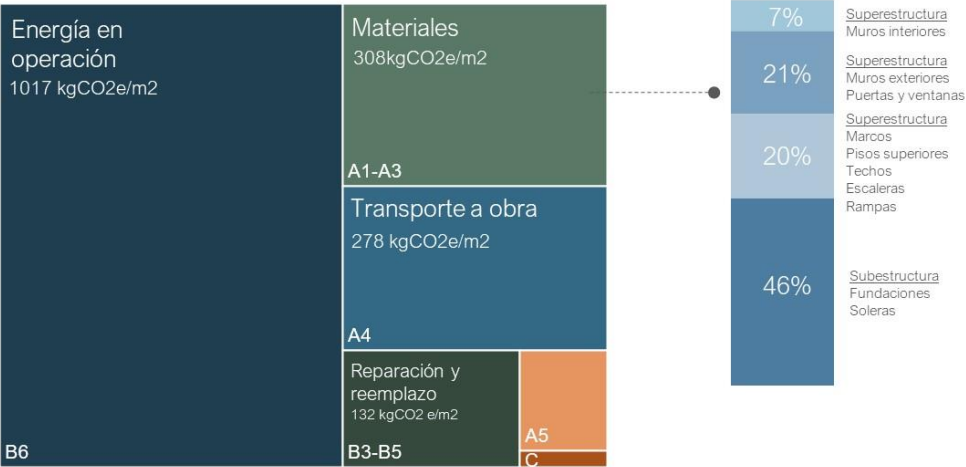
### Descripción sensibilización

En este escenario se consideraron para el cálculo de ciclo de vida los datos mínimos obligatorios que pide RICS, los cuales corresponden a elementos de la subestructura y superestructura en las etapas A1-A2-A3-A4-A5.



Vista del proyecto. Fuente: arqvasquez.cl

### Resultado por etapa



En el caso del escenario descrito anteriormente muestran que la huella de carbono total en el ciclo de vida tiene una base de 1.466 TonCO<sub>2</sub>e en un plazo de 60 años. Como se puede observar que la electricidad es el principal componente del carbono total en el ciclo de vida de la edificación. Desde el punto de vista de los materiales, se puede ver que el transporte de cimientos (sub estructura) tiene una componente mayor que el mismo material, lo que representa un reto en una zona extrema como Punta Arenas.



Gráfico 1 Resultado por etapas del caso base.

#### 4.3.2 Escenario 2 ciclo de vida

En este escenario se consideraron para el cálculo de ciclo de vida los datos mínimos obligatorios que pide RICS, los cuales corresponden a elementos de la subestructura y superestructura en las etapas A1-A2-A3-A4-A5. El ciclo de vida considerado es de 100 años. Se mantienen los datos operacionales del edificio como el sistema de calefacción, el cual es caldera a gas, sistema de iluminación LED, horario de operación de 08:00-18.00 y energía eléctrica 100% de matriz.

Adicionalmente, la extensión hecha en el ciclo de vida que impacta en la operación y en las etapas de reparación y reemplazo.

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

## Resultados etapa de sensibilización\_ ESCENARIO 2

Datos extraídos de los resultados bajo la metodología RICS

### Datos constructivos edificio

- Superficie: 843 m2
- Ciclo de vida: 100 años
- Materialidad:
  - Muros: Muros de hormigón aislados exteriormente
  - Cubierta: Cercha metálica aislada
  - Pisos: Radier 10 cm hormigón
  - Ventana: Termopanel 2,8 W/m2K

### Datos operacionales edificio

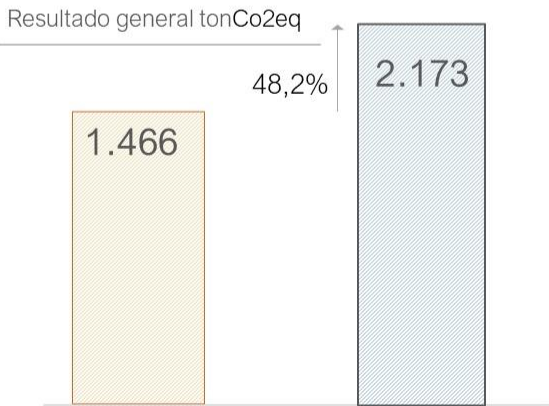
- Sistema de calefacción: Caldera a gas
- Sistema de iluminación: LED
- Horario de operación: 08:00 – 18:00
- Energía eléctrica: 100% matriz

### Descripción sensibilización

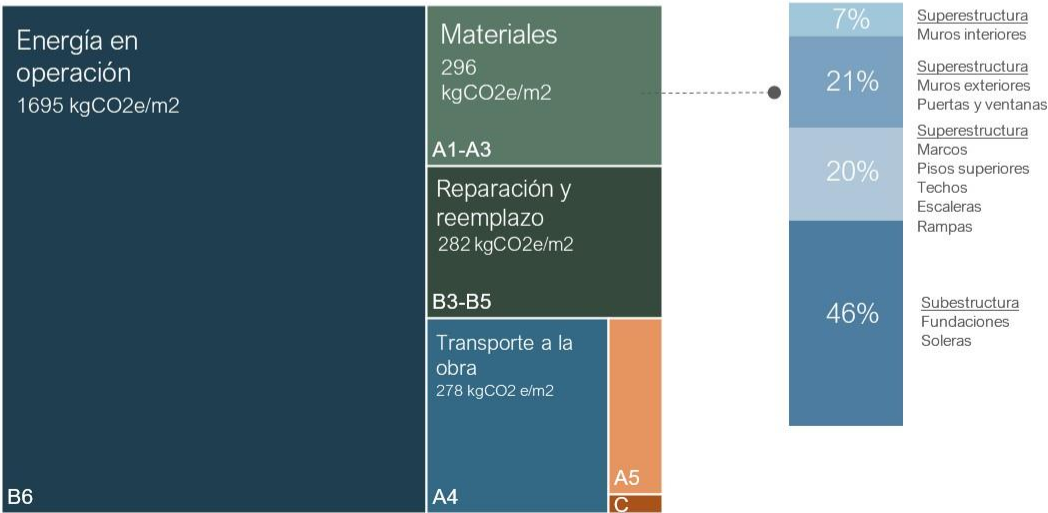
En este escenario se consideraron para el cálculo de ciclo de vida los datos mínimos obligatorios que pide RICS, los cuales corresponden a elementos de la subestructura y superestructura en las etapas A1-A2-A3-A4-A5. Adicionalmente, el ciclo de vida se considera en 100 años.



Vista del proyecto. Fuente: arqvasquez.cl



### Resultado por etapa



Como se observa anteriormente se produce un aumento relevante en el carbono asociado a la energía operacional (39% de incremento). Así mismo, se puede ver una disminución de la proporcionalidad de otros componentes, siendo el componente de transporte, inferior al de reemplazo y reparación. El desglose general de las etapas del carbono total del ciclo de vida se presenta en el siguiente gráfico.



Gráfico 2 Resultado por etapas del caso 100 años de ciclo de vida

### 4.3.3 Escenario 3 transporte

Este escenario corresponde a la modificación de distancia de los recursos y materiales de construcción del proyecto. Los 1000 km se definieron como un caso genérico de evaluación que corresponde al emplazamiento del edificio en relación con sus principales fuentes de materiales. Esto ha sido tomado como referencia y es producto de un criterio del equipo consultor propuesto al mandante. Lo anterior se refiere a que los materiales son: extraídos, fabricados y transportados a una distancia no mayor a 1.000 km de distancia del proyecto, es decir se consideran las etapas A y B (no así la etapa C). Este escenario, al igual que los anteriores incluye el alcance **mínimo establecido por RICS**. En este caso se mantiene el ciclo de vida de 60 años.



Figura 1 Distancia de materiales considerada



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

## Resultados etapa de sensibilización\_ ESCENARIO 3

Datos extraídos de los resultados bajo la metodología RICS

### Datos constructivos edificio

- Superficie: 843 m2
- Ciclo de vida: 60 años
- Materialidad:
  - Muros: Muros de hormigón aislados exteriormente
  - Cubierta: Cercha metálica aislada
  - Pisos: Radier 10 cm hormigón
  - Ventana: Termopanel 2,8 W/m2K

### Datos operacionales edificio

- Sistema de calefacción: Caldera a gas
- Sistema de iluminación: LED
- Horario de operación: 08:00 – 18:00
- Energía eléctrica: 100% matriz

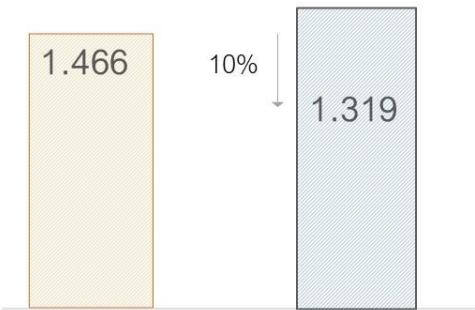
### Descripción sensibilización

En este escenario se consideraron para el cálculo de ciclo de vida los datos mínimos obligatorios que pide RICS. Adicionalmente, se considera la extracción y producción de materiales a una **distancia de 1000 km.**

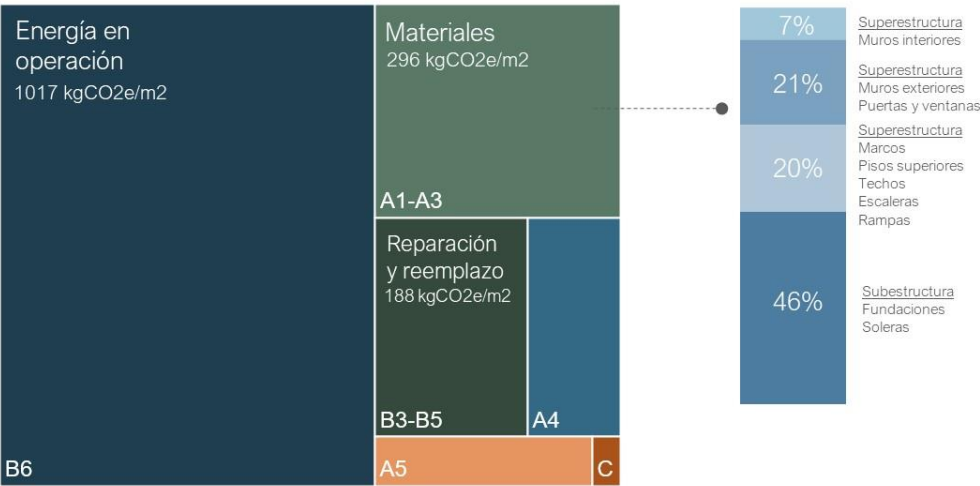


Vista del proyecto. Fuente: arqvasquez.cl

### Resultado general tonCo2eq



### Resultado por etapa



Como se observa en el resultado presentado en la lámina anterior se produce una reducción importante en el componente A4 (transporte) en el carbono total en el edificio. Si se compara el Gráfico 3 con el Gráfico 1, se observa una reducción relevante en el transporte de los elementos de cimientos, y la relación de huella incorporada en la sub estructura se modifica, siendo menor la huella asociada a transporte. Esto implica un desafío para edificaciones en zonas extremas, por lo que en una futura cuantificación o regulación de este componente, se debiese tener presente esta dificultad.



Gráfico 3 Resultado por etapas del caso transporte

#### 4.3.4 Escenario 4 aporte solar 40%

Este corresponde a la incorporación de un sistema de energía fotovoltaica en la cubierta del edificio. En este escenario se propone que el sistema sea capaz de proveer el 40% de energía eléctrica del edificio. Las características del sistema son las siguientes:

- Capacidad total instalada de 6,094 kWp
- Total de superficie de paneles fotovoltaicos 35 m<sup>2</sup>.
- Capacidad de generación anual 5,98 MWh

La descripción gráfica de la instalación fotovoltaica se muestra en la siguiente

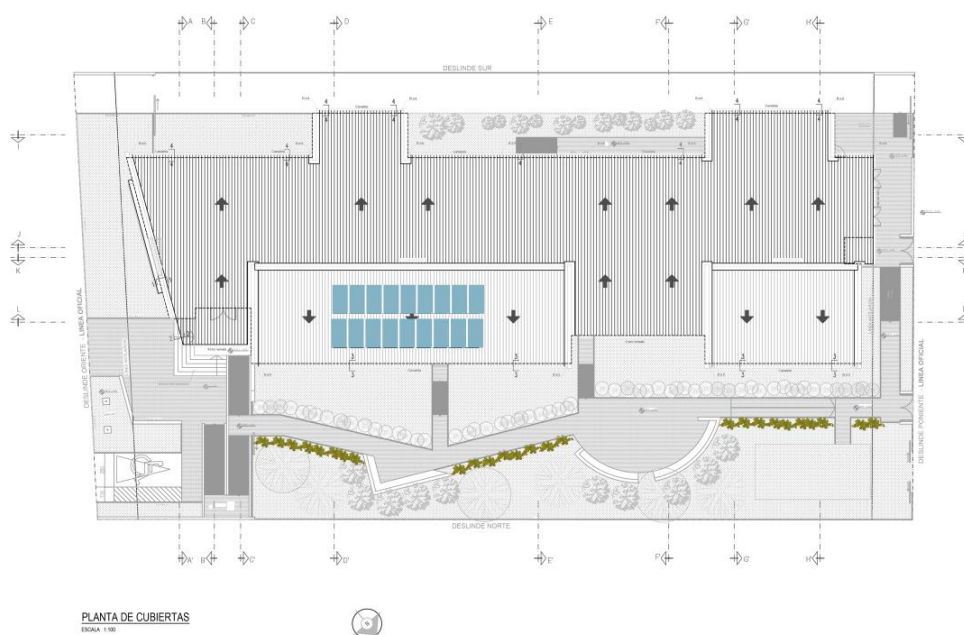


Figura 2 Esquema de energía renovable en el proyecto

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

## Resultados etapa de sensibilización\_ ESCENARIO 4

Datos extraídos de los resultados bajo la metodología RICS

### Datos constructivos edificio

Superficie: 843 m2  
Ciclo de vida: 60 años  
Materialidad:  
Muros: Muros de hormigón aislados exteriormente  
Cubierta: Cercha metálica aislada  
Pisos: Radier 10 cm hormigón  
Ventana: Termopanel 2,8 W/m2K

### Datos operacionales edificio

Sistema de calefacción: Caldera a gas  
Sistema de iluminación: LED  
Horario de operación: 08:00 – 18:00  
Energía eléctrica: 100% matriz  
Aporte fotovoltaico: 40%

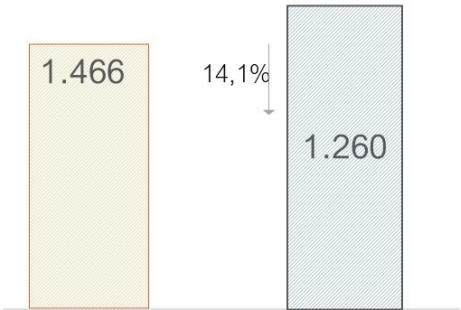
### Descripción sensibilización

En este escenario se consideraron para el cálculo de ciclo de vida los datos mínimos obligatorios que pide RICS. Se considera un aporte de **energía fotovoltaica capaz de producir un 40% de la energía eléctrica en operación**

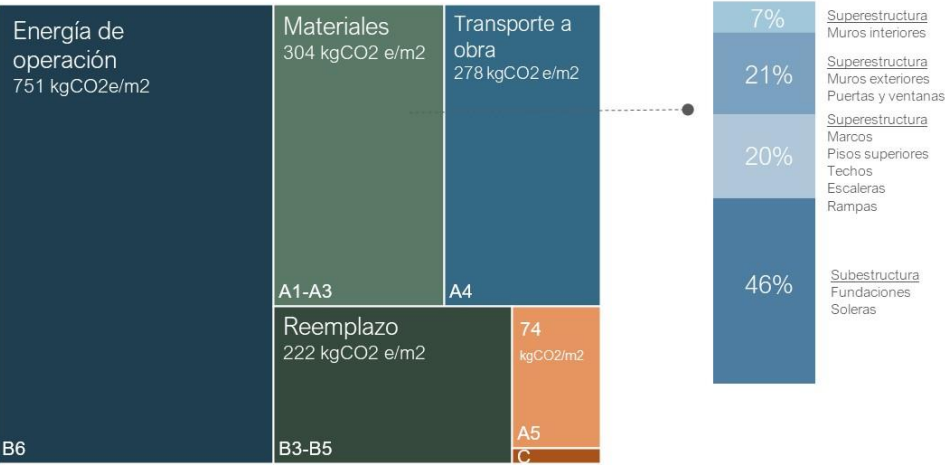


Vista del proyecto. Fuente: arqvasquez.cl

### Resultado general tonCo2eq



### Resultado por etapa



Como se puede ver en el gráfico anterior, se observa una reducción general de un 14% del carbono total en el ciclo de vida de la edificación. De la misma forma, la electricidad utilizada se reduce en un 22%. Es importante considerar que solo se reduce en este caso requerimiento eléctrico, por lo que el requerimiento de calefacción sigue siendo cubierto con la caldera a gas.

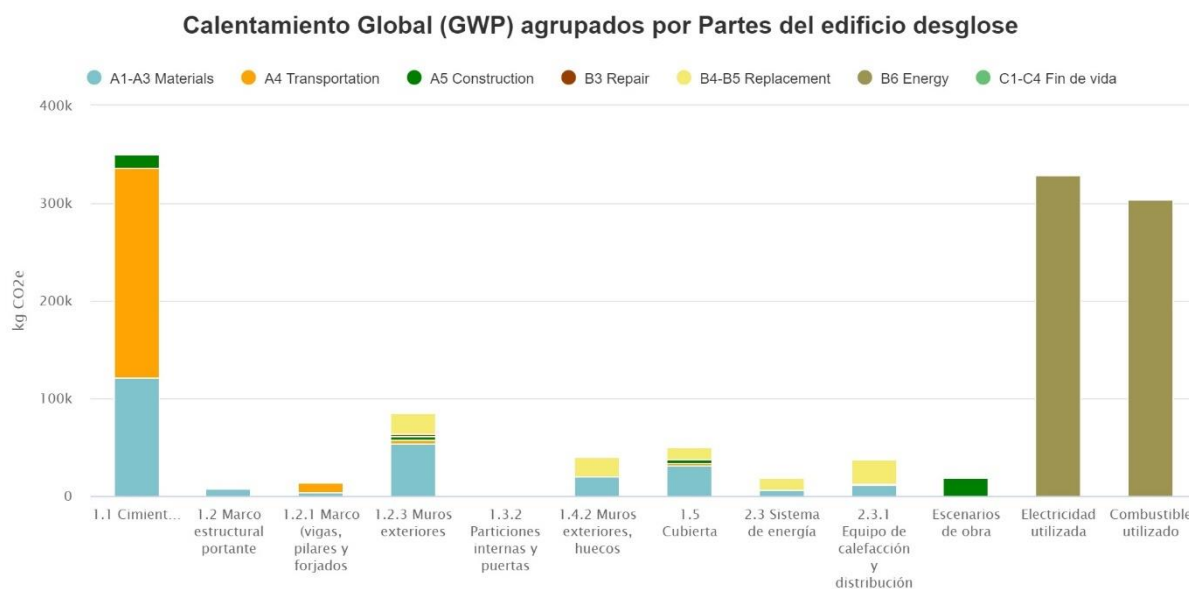


Gráfico 4 Resultado por etapas del caso 40% aporte solar

#### 4.3.5 Escenario 5 100% electricidad fotovoltaica

Este corresponde a la incorporación de un sistema de energía fotovoltaica en la cubierta del edificio. En este escenario se propone que el sistema sea capaz de proveer el 100% de energía eléctrica del edificio. Las características del sistema son las siguientes:

- Capacidad total instalada de 34,24 kWp
- Total de superficie de paneles fotovoltaicos 107 m<sup>2</sup>.

La descripción gráfica de la instalación fotovoltaica se muestra en la siguiente

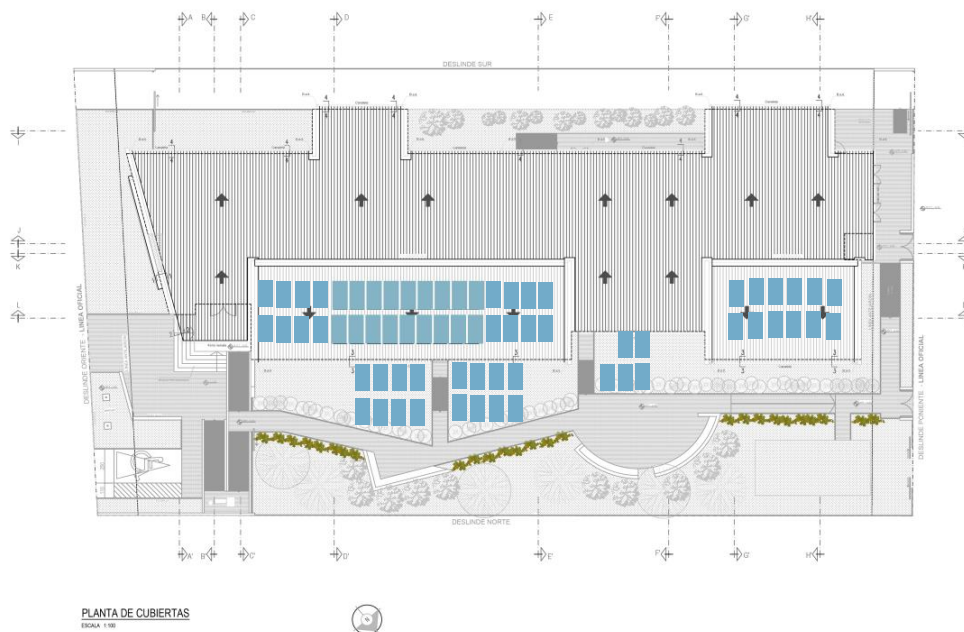


Figura 3 Esquema de energía renovable en el proyecto

Esta propuesta cubriría el 100% de la demanda energética para iluminación, electrodomésticos, calefacción y ACS, gracias a la autoproducción de energía mediante paneles fotovoltaicos. En este caso se han considerado paneles de 320 Wp de 1,6m<sup>2</sup> cada uno.

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

## Resultados etapa de sensibilización\_ ESCENARIO 5

Datos extraídos de los resultados bajo la metodología RICS

Datos constructivos edificio  
Superficie: 843 m2  
Ciclo de vida: 60 años  
Materialidad:  
Muros: Muros de hormigón aislados exteriormente  
Cubierta: Cercha metálica aislada  
Pisos: Radier 10 cm hormigón  
Ventana: Termopanel 2,8 W/m2K

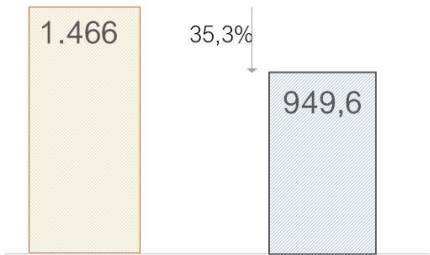
Datos operacionales edificio  
Sistema de calefacción: Caldera a gas  
Sistema de iluminación: LED  
Horario de operación: 08:00 – 18:00  
Energía eléctrica: 100% matriz  
Aporte fotovoltaico: 40%

Descripción sensibilización  
En este escenario se consideraron para el cálculo de ciclo de vida los datos mínimos obligatorios que pide RICS. Se considera un aporte de **energía fotovoltaica capaz de producir un 100% de la energía eléctrica en operación**

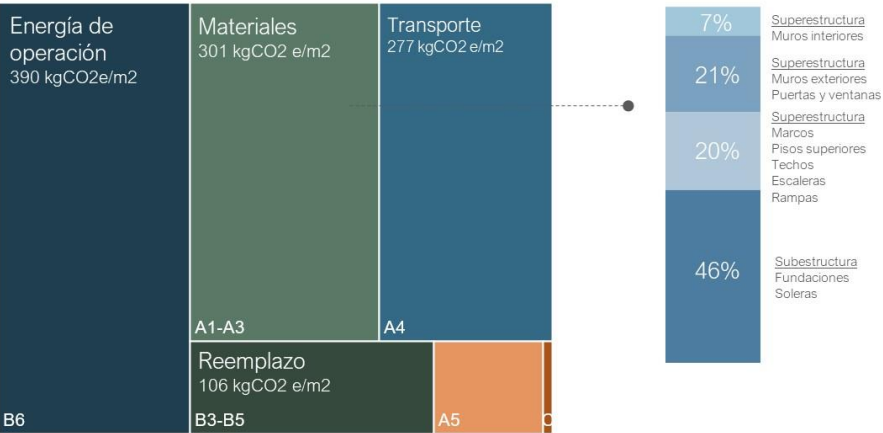


Vista del proyecto. Fuente: arqvasquez.cl

Resultado general tonCo2eq



Resultado por etapa





En este caso, se observa una importante reducción de la huella total del edificio, de 1.466 tonCO<sub>2</sub>eq a 532 tonCO<sub>2</sub>eq, esto es una reducción de un 63% del carbono total en el ciclo de vida del edificio. Se destaca en este caso la reducción del componente B6 (energía operacional) de 1.017 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> a 0 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, gracias a la autoproducción de energía mediante paneles fotovoltaicos. Es importante mencionar que alcanzar un caso de energía neta cero, requeriría de una alta cantidad de paneles fotovoltaicos (aproximadamente 67 paneles, dependiendo de su potencia), lo que es posible en este caso gracias a la gran superficie de techumbre con la que cuenta el proyecto. De lo contrario, sería necesario disponer de una superficie extra en terreno para cubrir la demanda restante.

Se observa además que el módulo A1A3 aumenta con respecto a los escenarios anteriores, debido a la consideración de una alta cantidad de paneles fotovoltaicos y asimismo aumenta la incidencia del módulo B4, ya que los paneles consideran una vida útil de 20 años de acuerdo a la metodología RICS utilizada en estos análisis.

No obstante, la reducción del carbono operacional es tan significativa, que a pesar del incremento del carbono incorporado producto de la incorporación de paneles fotovoltaicos, la huella de carbono total del edificio se reduce notoriamente.

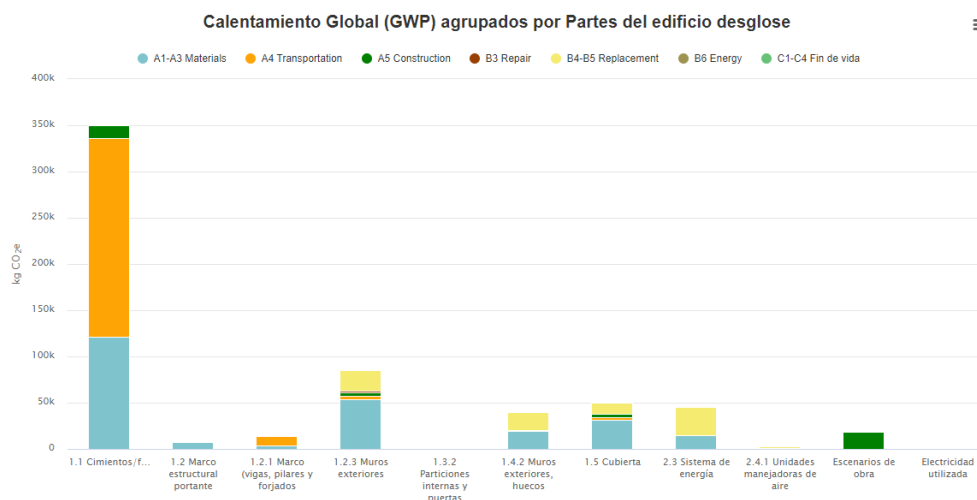


Gráfico 5 Resultado por etapas del caso 100% aporte solar



## 5. Identificación de brechas

Para esto, fue necesario contar con la claridad respecto de los procesos de elaboración de un estudio de cuantificación de huella de carbono. Debido a esto, se procede a evaluar las metodologías y herramientas de cálculo empleadas con el fin de contar con una base clara y precisa que facilite la comprensión de las brechas.

### 5.1 Evaluación de metodologías y herramientas de cuantificación

De acuerdo al proceso realizado para calcular la huella de carbono del proyecto piloto presentado, se ha podido establecer un proceso común aplicable al análisis de las dos metodologías y las tres herramientas de cálculo evaluadas (ver Figura 15).

Este flujo se divide en 3 grandes etapas: Entradas, Procesos y Salidas. En el primer grupo, la fase de identificación de proyecto permite establecer los objetivos y alcance de la evaluación de huella de carbono. Junto con ella, las fases de Demandas energéticas y Bases de datos contribuyen a elaborar el inventario que dará consistencia a la evaluación, en donde es favorable el contar con referentes y líneas base, conformando así la fase de Puntos de referencias.

El segundo grupo es factible analizarlo desde dos subprocesos: Metodológicos, asociados a aspectos comunes de las metodologías evaluadas en el presente estudio y que son internacionalmente aceptados (ISO 14040), el cual es de carácter iterativo, para lograr dar cumplimiento con los objetivos, métodos y resultados esperados, de manera consistentes, exhaustivos y relevantes, mediante la fase de Interpretación. Por otra parte, los procesos de Herramientas de cálculos consisten en reconocer las etapas de cada una de ellas, comprendiendo que es opcional su uso, dado que la cuantificación de las emisiones de GEI es factible de obtener mediante procesos conocidos, aunque requieren de un gran manejo de datos y precisión en su operación.

Finalmente, la etapa de Salida corresponde a la comunicación de los resultados tanto externa como internamente, a través de reportes estandarizados y de aprendizajes que potencien las capacidades de evaluaciones, según los objetivos buscados.

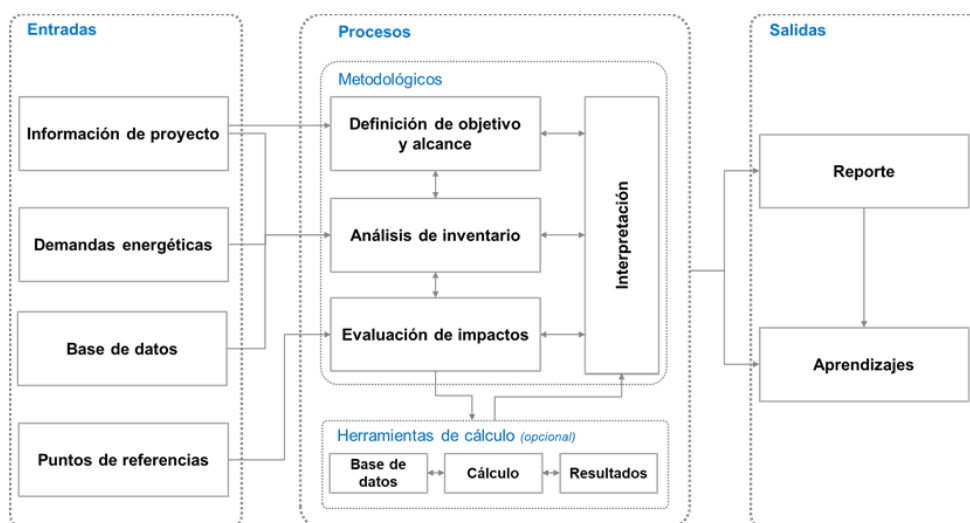


Figura 3 Flujo de proceso para cuantificación de huella de carbono

A continuación, se presenta una tabla con el detalle de cada Etapa y Escenarios esperados en función de las evaluaciones realizadas.

Finalmente, con el fin de lograr una aproximación inicial al carbono en la edificación, es necesario que la solicitud de información de los proyectos incluya como mínimo los componentes de mayor relevancia, como por ejemplo:

Elementos	Unidad y variables
<b>Sub estructura</b> Correspondiente a cimientos, fundaciones, vigas de piso, sobrecimientos (todos los elementos bajo nivel de terreno)	Volumen y/o cantidad y tipo de fundaciones
<b>Superestructura</b> Correspondiente a estructura superior (losas, vigas, pilares)	Volumen, superficie y/o cantidad y tipos de elementos
<b>Super estructura</b> Correspondiente a muros de envolvente con su aislación, barreras de humedad	Volumen, superficie y/o cantidad y tipos de elementos.
<b>Superestructura</b> Correspondiente a Puertas y ventanas exteriores	Cantidad o superficie y tipos de ventanas y puertas
<b>Superestructura</b> Correspondiente a Cubiertas	Volumen, cantidad y/o superficie y tipos de elementos
<b>MEP</b> Correspondiente a Instalaciones y sistemas	Variable, de acuerdo con el tipo de instalación (potencia, capacidad) Consumos energéticos

Etapa	Fase	Descripción	Escenarios
Entradas	<b>Información de proyecto</b>	Características volumétricas y cuantificables del proyecto, que permiten identificar sus componentes, materiales, junto con información general, situación y entorno del proyecto y participantes.	<b>Mínimo:</b> Planimetría, Especificaciones Técnicas, Cubicaciones, Presupuesto, Emplazamiento.
			<b>Adicional:</b> Consumos de obra, Factor de Generación y Valorización de RCD, Programación, Presupuesto final.
			<b>Ideal:</b> Modelo BIM, Facturas de proveedores, Plan de mantenimiento de activo, Vida útil de activo y/o elementos.
	<b>Demandas energéticas</b>	Energía estimada requerida para la operación del activo de acuerdo a las condiciones de habitabilidad o funcionamiento, considerando energía de calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y equipos domésticos o laborales, junto con información relativa a la energía requerida para sistemas de ACS.	<b>Mínimo:</b> Valores de demanda energética.
			<b>Adicional:</b> Informes de sistema de calificación o certificación.
			<b>Ideal:</b> Modelo y simulación energética.
	<b>Base de datos</b>	Recopilación organizada de información o datos requeridos para el cálculo, relativos a impactos ambientales y factores que permiten su determinación. Han de ser consistentes temporal y territorialmente, pudiendo declarar ajustes realizados.	<b>Mínimo:</b> GWP de materiales y productos, Factores de Emisión de combustibles.
			<b>Adicional:</b> Distancia de proveedores
			<b>Ideal:</b> Combustible de transporte
	<b>Puntos de referencias</b>	Línea base o referentes de similares características físicas, operacional o económicas que permitan una comparación para el establecimiento de rankings o estrategias de mejora.	<b>Mínimo:</b> No requerido.
			<b>Adicional:</b> No aplica
			<b>Ideal:</b> Línea base nacional, estándar nacional de inmuebles

Procesos metodológicos	<b>Definición de objetivo y alcance</b>	Declaración del propósito y límites del sistema del estudio, estableciendo unidades funcionales, aspectos claves del proceso y flujo de materiales y consumos.	<div> <b>Mínimo:</b> Establecimiento de componentes y módulos mínimos.                 </div> <div> <b>Adicional:</b> Definición de componentes y módulos de mayor peso en las emisiones totales de GEI.                 </div> <div> <b>Ideal:</b> Evaluación integral del carbono.                 </div>
	<b>Análisis de inventario</b>	Obtención y tratamiento de datos e información relevante para cada módulo, definiendo entradas y salidas para mantener consistencia, normalizando unidades para uso en herramientas de cálculo o comparación.	
	<b>Evaluación de impactos</b>	Relación entre entradas y salidas pudiendo clasificar, caracterizar y evaluar los impactos generados.	
	<b>Interpretación</b>	Fase recurrente que permite identificar problemas o ausencia de datos ingresados, sus ajustes y la calidad de los resultados. Tras ello, se generarán conclusiones respecto a los resultados de huella de carbono	
Procesos de herramientas de cálculo	<b>Base de datos</b>	Librería propia de impactos ambientales y factores determinantes, en función de la lectura y procesamiento por parte del motor de cálculo.	<div> <b>Mínimo:</b> Base de datos de materiales asociada a fase de producto (A1-A3), en función de características de datos de entrada, en unidades de común uso por parte del sector.                 </div> <div> <b>Adicional:</b> Base de datos de materiales ampliando los módulos restantes y Factores de Emisión por combustible.                 </div> <div> <b>Ideal:</b> Base de datos masiva, con posibilidad de seleccionar el GWP (a través de tabla o DAP disponibles) tanto de materiales, consumos y factores que determinan el cálculo de la huella de carbono según EN 15978.                 </div>
	<b>Cálculo</b>	Motor de cálculo que opera cuantías y factores para determinar el impacto ambiental.	<div> <b>Mínimo:</b> Corresponde a un proceso inmediato, común en todas las herramientas.                 </div> <div> <b>Adicional:</b> No aplica                 </div>

Salidas			<b>Ideal:</b> Visualización de impactos y resultados a tiempo real, durante el mismo proceso de ingreso y cálculo, ofreciendo alternativas.
	Resultados	Visualización de los valores resultantes de la fase de cálculo.	<b>Mínimo:</b> Tabla de emisiones por elemento, componentes y módulos de acuerdo con EN 15978
			<b>Adicional:</b> Gráficas de emisiones por elemento, componentes y módulos de acuerdo con EN 15978.
			<b>Ideal:</b> Gráficas dinámicas mediante selección de variables y reportes según metodología aplicada.
	Reporte	Informe de declaración de procesos metodológicos, información del proyecto y resultados, estandarizando su comunicación y velando por la transparencia.	<b>Mínimo:</b> Reporte de información de proyecto y declaración de principios metodológicos, junto con resultados generales.
			<b>Adicional:</b> Matriz de resultados por componentes y módulos, con resultados normalizados.
			<b>Ideal:</b> Plataforma de benchmarking para carga de reporte y comparación con proyectos similares.
	Aprendizajes	Fase de evaluación del proceso completo, permitiendo reconocer lecciones, brechas, hallazgos y oportunidades.  Son propias del equipo que efectúa la medición y no es factible de relacionar con metodologías ni herramientas de cálculo.	<b>Mínimo:</b> Comparación entre proyectos de similares características.
			<b>Adicional:</b> Aprendizajes útiles para diseño y cumplimiento de metas para proyecto evaluado.
			<b>Ideal:</b> Aprendizajes de proceso de aplicación de procesos metodológicos y comunicación vía reportes.

En cuanto a las metodologías, se aprecia que ambas dan cumplimiento a las fases del flujo del proceso. Si bien, la metodología de CLF es similar a las fases evaluadas y presentes en el flujo de proceso elaborada, logrando una cobertura integral a ellas, la metodología RICS descompone tales fases en otras más, aunque refieren a las mismas, pudiendo agruparse de la manera en que se aprecia en la siguiente tabla.

Etapa	Fase	RICS	CLF
Procesos metodológicos	<b>Definición de objetivo y alcance</b>	1. Definición de alcance y límites de la evaluación	1. Definición de objetivo y alcance
	<b>Análisis de inventario</b>	2. Recopilación de información 3. Elaboración de inventario	2. Recopilación de inventario
	<b>Evaluación de impactos</b>	4. Evaluación de emisiones según módulos de EN 15978	3. Evaluación de impacto
	<b>Interpretación</b>	5. Se declara constante a lo largo de la metodología	4. Interpretación de resultados
Salidas	<b>Reporte</b>	6. Elaboración de Reporte	5. Elaboración de reporte

Luego, es factible el analizar el desempeño de cada metodología, en donde se aprecia el cumplimiento a aspectos comunes y a mismos niveles, salvo en la fase de Reporte, en donde RICS se fortalece a través de una base de datos de proyectos que han cuantificado su huella de carbono, ayudando a la evaluación comparativa de los activos inmuebles.

Tabla 3 Evaluación de metodologías en función de etapas y fases de flujo de proceso

Etapa	Fase	RICS	CLF
Procesos metodológicos	<b>Definición de objetivo y alcance</b>	Ideal	Ideal
	<b>Análisis de inventario</b>	Ideal	Ideal
	<b>Evaluación de impactos</b>	Ideal	Ideal
	<b>Interpretación</b>	Ideal	Ideal

Salidas	Reporte	Ideal	Adicional
---------	---------	-------	-----------

En cuanto a las herramientas de cuantificación, sus desempeños son variables, de acuerdo a las fases del flujo de proceso, principalmente por sus bases de datos y formato de entrega de resultados. Esta valoración se presentada en la tabla a continuación.

Tabla 4 Descripción de desempeño de herramientas de cálculo en función de etapas y fases de flujo de proceso

Etapa	Fase	One Click LCA	Rukaru	Ábaco Chile
Entradas	<b>Información de proyecto</b>	Ingreso de información característica, desde diversos formatos	Ingreso de información característica, a través de ficha descriptiva	Ingreso de información característica, a través de ficha descriptiva
	<b>Demandas energéticas</b>	Ingreso de datos y configuración según Factor de emisión local y combustibles	Ingreso de datos y configuración según Factor de emisión local y combustibles	No lo considera
	<b>Base de datos</b>	Ingreso en unidades de medida apropiadas y configurables	Ingreso en unidades de medida apropiadas y configurables	Ingreso en unidades de medida apropiadas
	<b>Puntos de referencias</b>	Comparación de materiales a tiempo real y con proyectos al final del proceso	Comparación con proyectos al final del proceso	No lo considera
Proceso de Herramienta de cálculo	<b>Base de datos</b>	Extensa, con presencia de DAP nacionales y la posibilidad de seleccionar GWP por defecto	Ofrece solo una alternativa de GWP de materiales y productos representativos a nivel nacional a partir de DAP actualizados periódicamente	Ofrece una alternativa de GWP de materiales y productos mediante base de dato internacional ajustada a matriz energética local de 2017, la cual varía año a año.
	<b>Cálculo</b>	Inmediato y a tiempo real, indicando pesos relativos y	Proceso rápido de operación	Proceso rápido de operación

		semaforización según niveles de emisión		
	<b>Resultados</b>	Visualización en múltiples formatos descargables y ajustables, muy útiles para distintos objetivos de estudio	Visualización en formato de tabla y gráficas comunes no configurables, junto con <i>benchmarks</i> de otros proyectos similares que posee en su base de datos	Tabla de emisiones unitarias y totales por componente ingresado

Así, en función de la descripción de la Tabla anterior y evaluando el nivel de cumplimiento respecto de los escenarios expuestos en la Tabla 15, se logra una adecuada comparación entre estas herramientas, quedando tal como se expone a continuación.

Tabla 5 Evaluación de herramientas de cálculo en función de etapas y fases de flujo de proceso

Etapas	Fase	One Click LCA	Rukaru	Ábaco Chile
<b>Entradas</b>	<b>Información de proyecto</b>	Ideal	Adicional	Mínimo
	<b>Demandas energéticas</b>	Ideal	Mínimo	Mínimo
	<b>Base de datos</b>	Ideal	Ideal	Mínimo
	<b>Puntos de referencias</b>	Ideal	Mínimo	Mínimo
<b>Proc. Herr. cálculo</b>	<b>Base de datos</b>	Ideal	Adicional	Mínimo
	<b>Cálculo</b>	Ideal	Mínimo	Mínimo
	<b>Resultados</b>	Ideal	Adicional	Mínimo



## 6. Resumen escenarios y conclusiones

En el desarrollo del estudio se tienen las siguientes conclusiones:

### **Acerca de la metodología de análisis**

En el presente estudio se ha propuesto desarrollar un ACV siguiendo los requerimientos mínimos obligatorios que solicita una de las metodologías estudiadas en los informes anteriores. Nos referimos a la propuesta metodológica de RICS. El uso de esta metodología ha sido de gran utilidad para evitar errores de análisis al definir los alcances de evaluación desde un principio y ha sido fundamental para lograr resultados comparativos especialmente frente a los diferentes escenarios de sensibilidad. Se recomienda mantener esta metodología como mínimo en el futuro para las edificaciones de uso público.

Lo anterior requerirá una organización de la información que defina como mínimo las siguientes partidas: 1. Subestructura, 2. Super estructura, 3. Estructuras verticales y fachadas, 4. Puertas y ventanas, 5 cubiertas, y 6. Sistemas (MEP).

### **Acerca de las herramientas de evaluación base del carbono total en el ciclo de vida**

Las herramientas analizadas han demostrado contar con distintas aproximaciones y fortalezas. En el caso de este proyecto, el equipo consultor ha optado por realizar el cálculo de ciclo de vida con la herramienta One Click LCA, dada la versatilidad que esta presenta, y a la facilidad de generar escenarios de sensibilización.

En relación a los instrumentos nacionales analizados, ABACO – CHILE y Rukaru, ambas presentan fortalezas y pueden ser escalables a mayor cantidad de etapas del ciclo de vida.

En el caso de ABACO – CHILE, esta herramienta tiene su fortaleza en las funcionalidades que tiene como ser una plataforma de elaboración de presupuestos que, a su vez, genera información de parámetros ambientales y sociales. En lo que respecta a cuantificación de huella de carbono, ABACO – CHILE se concentra en las etapas A1 – A 3, es decir, etapa de producto. Esta herramienta es favorable para una cuantificación para etapas de carbono incorporado en etapa de diseño, no así en ciclo de vida.

En el caso de la herramienta Rukaru, esta se enfoca solo en la cuantificación del carbono y aplica la metodología RICS para clasificación y representación de datos. Una de las ventajas que presenta esta herramienta, es que considera las instalaciones (climatización, eléctrico, sanitario) en la cuantificación de los módulos A1 a A5. La componente B6 se integra directamente, ya se a partir de los consumos del edificio, o simulación energética.

En ambas herramientas, se recomienda avanzar en los módulos de reemplazo y reparación, que representan una componente importante en el cálculo de carbono total del ciclo de vida de una edificación.

### Acerca de la evaluación y sensibilizaciones

Posterior a la revisión de los cinco escenarios analizados, se tiene el siguiente resultado.

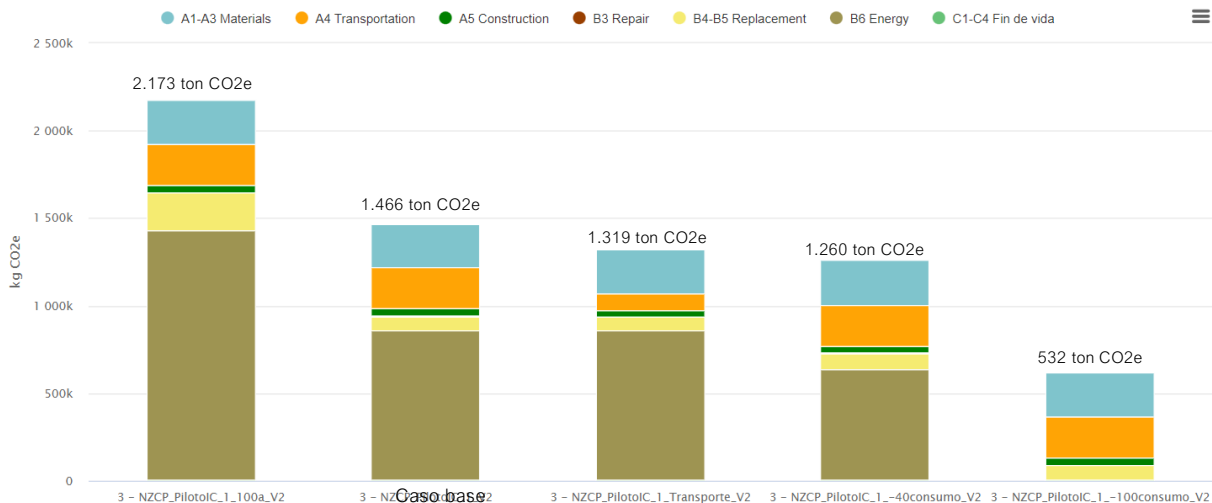


Gráfico 6 comparación de resultados generales de sensibilización

Según lo indicado en el Gráfico 6, se tienen las siguientes conclusiones.

- En todos los casos de cálculo del carbono total del ciclo de vida se ha demostrado que la reducción del carbono total del ciclo de vida de la edificación es un ejercicio que puede ser realizado tanto posterior al diseño, como previo al cierre de este.
- Si bien el componente de energía operacional representa la mayor generación de CO2 a lo largo del ciclo de vida, se debe tener presente que en el caso de este proyecto, el transporte de materiales (en construcción y reemplazo) llega a ser equivalente a las emisiones generadas por la producción de los mismos materiales. Esto solo se reduce en el escenario en que la materialidad es estimada en una distancia de 1.000km de la obra.
- Es importante considerar que se ha aplicado un sistema de caldera a gas para calefacción. En este caso, no se ha tenido presente el componente B1 (fuga de refrigerante). Este componente será de mayor relevancia en edificaciones que utilicen sistemas de generación de frío y calor. Así mismo, este proyecto no considera sistemas de ventilación, por lo que se puede estimar que los sistemas MEP aumentarían de manera relevante el carbono total del edificio. Como referencia en el programa “London Energy Transformation Initiative”, en edificios de servicios, la componente de instalaciones es el equivalente al 15% del carbono total en la edificación.
- Finalmente, al ser un edificio de mediana complejidad, sin sistema de generación de frío para refrigeración, y sin sistema de ventilación, se puede ver que es posible reducir el carbono total en el ciclo de vida, en

la medida que el componente B6 sea considerado desde el inicio del diseño. En este caso, la selección del energético para la generación de calor es de alta relevancia, por lo que acciones posteriores que apunten a reducir la huella de carbono en materiales o productos tendrán una menor relevancia si el energético utilizado como base es de origen fósil.

Frente a los resultados expuestos, se recomienda como próximos pasos, establecer una línea base de distintas edificaciones en zonas climáticas variadas en Chile, y a su vez, establecer una mirada integral de las edificaciones. Actualmente, gracias a los procesos de implementación BIM en la edificación pública, y a la integración de la certificación CES, se cuenta con una disponibilidad de datos importante que permitiría definir líneas base en edificios diseñados y construidos recientemente. Un ejemplo de esto son las tipologías de edificios como comisarías o recintos educacionales mediana complejidad. De acuerdo a la experiencia de este equipo consultor, si se realiza un análisis de este tipo de edificaciones (de superficie cercana a 1.000 m<sup>2</sup>), se puede contar con datos relevantes de edificaciones que cuentan con programa arquitectónico similar, pero con las particularidades de diseño de las distintas zonas climáticas de Chile.