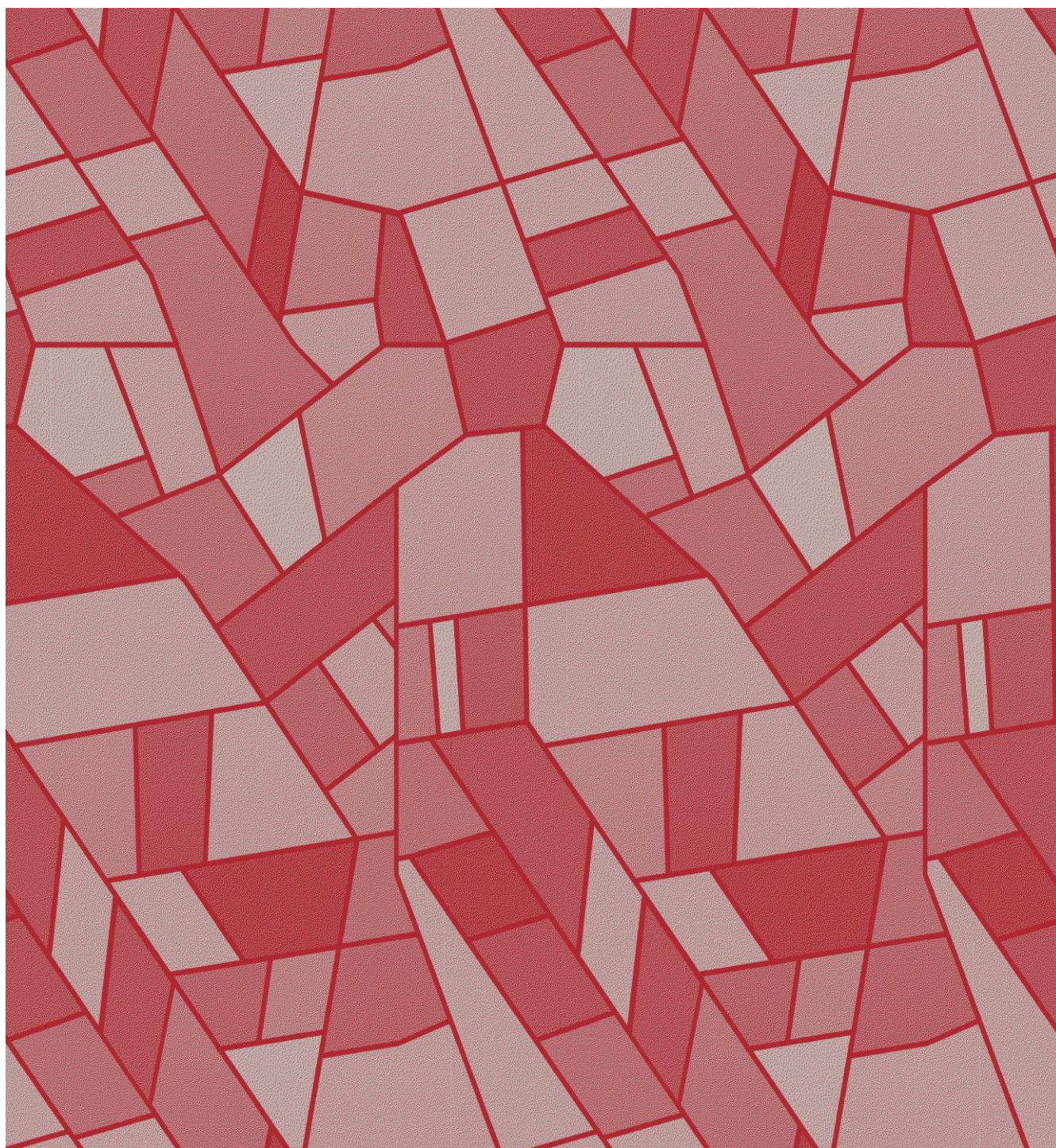


# Estado del arte de definiciones de edificación cero energía neta y cero emisiones netas en el contexto regulatorio internacional

Informe de nro 3

Marzo 2021





## **Equipo del proyecto**

**EBP**

Antonio Espinoza

Franco Morales

**CTeC**

Natalia Reyes

EBP Chile SpA AG

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

Impresión: 24. junio.aa

20200803\_EE Convvet.docx

Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, CTeC

Plaza Ercilla 883

Piso 1, Of. 108

Comuna Santiago

Santiago de Chile

Chile

Teléfono +56 2 2978 0749

# Índice

|  |    |
|--|----|
| Lista de figuras   | 4  |
| Lista de tablas  | 4  |
| 1. Vista general   | 7  |
| 2. Definiciones  | 8  |
| 3. Definición edificaciones de consumo de energía neta cero  | 11 |
| 3.2 Conceptos clave integrados a la definición   | 13 |
| 3.2.1 Estructura y jerarquía   | 13 |
| 3.3 Aspectos relevantes para la definición   | 15 |
| 3.4 Conclusiones definición edificaciones de consumo de energía neta cero  | 19 |
| 4. Definición edificaciones de carbono neto cero   | 20 |
| 4.1 Aspectos relevantes definición de edificaciones de carbono neto cero   | 20 |
| 4.1.2 Conclusión definición edificaciones de carbono neto cero   | 29 |
| 5. Conclusión  | 30 |
| 6. Bibliografía  | 32 |
| A1 Anexo de aspectos técnicos referenciales em edificaciones de consumo de energía neta cero   | 34 |
| A2 Anexo resultado encuesta sobre una definición de edificaciones de consumo de energía neta cero y carbono neto cero para el sector edificación | 41 |

## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Vista general proyecto .....  | 7  |
| Figura 2 Esquema propuesto de jerarquía. Elaboración propia en base al programa “Advancing Net Zero” (UK GBC, 2019).....   | 13 |
| Figura 3 esquema tipo de proceso de validación de edificaciones de consumo de energía neta cero. Elaboración propia .....  | 16 |
| Figura 4 Etapas del ciclo de vida de la construcción en base a norma EN 15978, fuente: Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones, Resumen para Tomadores de Decisiones, 2da ed. Publicado por Instituto de la Construcción, 2020. Santiago, Chile .. | 20 |
| Figura 5 huella de carbono en el ciclo de vida de un edificio. Elaboración propia basado en el London Energy Transformation Initiative .....   | 22 |
| Figura 6 Pasos para la edificación carbono neto cero. Elaboración propia basado en el London Energy Transformation Initiative .....  | 24 |
| Figura 7 esquema de etapas norma UNE-EN 15978:2012 identificando las distintas opciones de herramientas y marco normativo presente en Chile. Elaboración propia. ....  | 26 |

## Lista de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Referencias de los aspectos considerados para edificaciones residenciales de consumo de energía neta cero .....   | 16 |
| Tabla 3 Referencias de los aspectos considerados para edificaciones de consumo de energía neta cero .....   | 17 |
| Tabla 5 Referencias en intensidad de carbono en materiales (LETI, 2020).....  | 22 |
| Tabla 6 Identificación del contexto regulatorio y herramientas de cuantificación a nivel nacional, en base a las etapas del ciclo de vida de la construcción, según norma UNE-EN 15978:2012. Fuente: Elaboración propia. .... | 27 |
| Tabla 5 Identificación de aspectos relevantes a considerar en edificios residenciales ....  | 35 |
| Tabla 6 Propuesta general de requerimientos técnicos para edificios de uso público, comerciales y oficinas de consumo de energía neta cero .....  | 38 |

## Resumen ejecutivo

El presente informe corresponde a la tercera entrega y final de la consultoría denominada “Estado del arte de definiciones de consumo de energía neta cero y carbono neto cero en el contexto regulatorio internacional”. En este informe se abordan los objetivos 4 y 5 de los términos de referencia, que incluyen los siguientes aspectos:

- Realizar la propuesta de definición de edificaciones de consumo de energía neta cero y edificaciones de carbono neto cero.
- Identificar normativa asociada a la consolidación de ambas definiciones, en Chile.
- Recomendación de una definición de alcance para materiales y ciclo de vida del edificio, en Chile.

De lo analizado en las distintas fuentes y experiencias revisadas a lo largo del estudio, se tiene una base robusta de información para edificaciones de consumo de energía neta cero, en la cual se observa como estructura, el desarrollo de una definición marco, clara y precisa, integrada en instrumentos regulatorios, la cual es complementada luego con una metodología que describe sus alcances, formato de implementación, cálculo y métricas asociadas, que consolida la definición. Dicho formato es el considerado en este informe, donde se presenta la siguiente definición para edificaciones de consumo de energía neta cero, respecto a la cual se ha realizado una propuesta de alcance metodológico:

*“Edificio de alto rendimiento energético, cuya energía anual consumida es cubierta por fuentes de energía renovable generadas en el sitio o cercano a este”.*

La definición descrita anteriormente, se acompaña con una descripción general de la jerarquía de acciones que conducen hacia una edificación de consumo de energía neta cero, de acuerdo a lo analizado en las experiencias estudiadas, que son: diseño pasivo, eficiencia en el rendimiento de los sistemas, generación de energías renovables y monitoreo de los consumos energéticos. Esto, Sumado a recomendaciones sobre aspectos técnicos que sustentan dichos pasos.

Respecto a este punto cabe señalar, que a nivel nacional se cuenta herramientas consistentes (normativa, reglamentación, certificaciones), desde las cuales se puede fundamentar una metodología de cálculo y verificación para este tipo de edificaciones. Este es el caso de la Calificación Energética de Vivienda y la futura Calificación Energética de Edificios, que constituirían una base sólida para integrar indicadores necesarios orientados a la transición hacia edificaciones de consumo de energía neta cero en el marco regulatorio nacional. Junto a lo anterior, se tienen los sistemas Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) y Certificación Edificio Sustentable (CES), como herramientas voluntarias que pueden ser consideradas sinérgicamente, bajo un esquema de metodológico virtuoso que permita traccionar el mercado, agilizando su migración hacia edificaciones de consumo de energía neta cero.

Para el caso de la definición de edificaciones de carbono neto cero, se propone que esta sea abordada a partir del concepto de ciclo de vida y la integración de dos indicadores esenciales: el carbono incorporado y el operacional, considerando además, su vínculo con la definición de edificaciones de consumo de energía neta cero, como se manifiesta a continuación:

*“Edificio de consumo de energía neta cero, que durante su ciclo de vida (producción, construcción, operación, fin de vida útil), logra minimizar sus emisiones de carbono incorporado y compensar cualquier saldo carbono restante”.*

Donde, para poder habilitar este tipo de edificaciones a nivel nacional, se ha identificado que es clave poder desarrollar y/o adaptar herramientas de cuantificación del carbono incorporado. En este sentido, las herramientas ya utilizadas como ABACO, pueden ser potenciales calculadoras de carbono en etapas de construcción para el sector edificación, que podrían ser alimentadas con información de calidad, desde declaraciones ambientales

de producto (DAP). Lo que, llevado al contexto nacional, ya está siendo incipientemente abordado por los requerimientos voluntarios contemplados en las certificaciones CES y CVS.

Finalmente, cabe señalar que este informe comprende e integra los resultados obtenidos de la encuesta sobre definiciones de edificaciones de consumo de energía neta cero y edificaciones carbono neto cero, realizada a un conjunto de expertos en la materia. Las visiones que han presentado han servido de insumo para las variables que están descritas en este informe. El equipo consultor ha optado por rescatar los aportes más relevantes en este ámbito para incorporarlos en los capítulos de aspectos relevantes de cada definición.

# 1. Vista general

Las actividades del Informe 3 corresponden a los objetivos 4 y 5 de los términos de referencia.

## VISTA GENERAL PROPUESTA DE TRABAJO

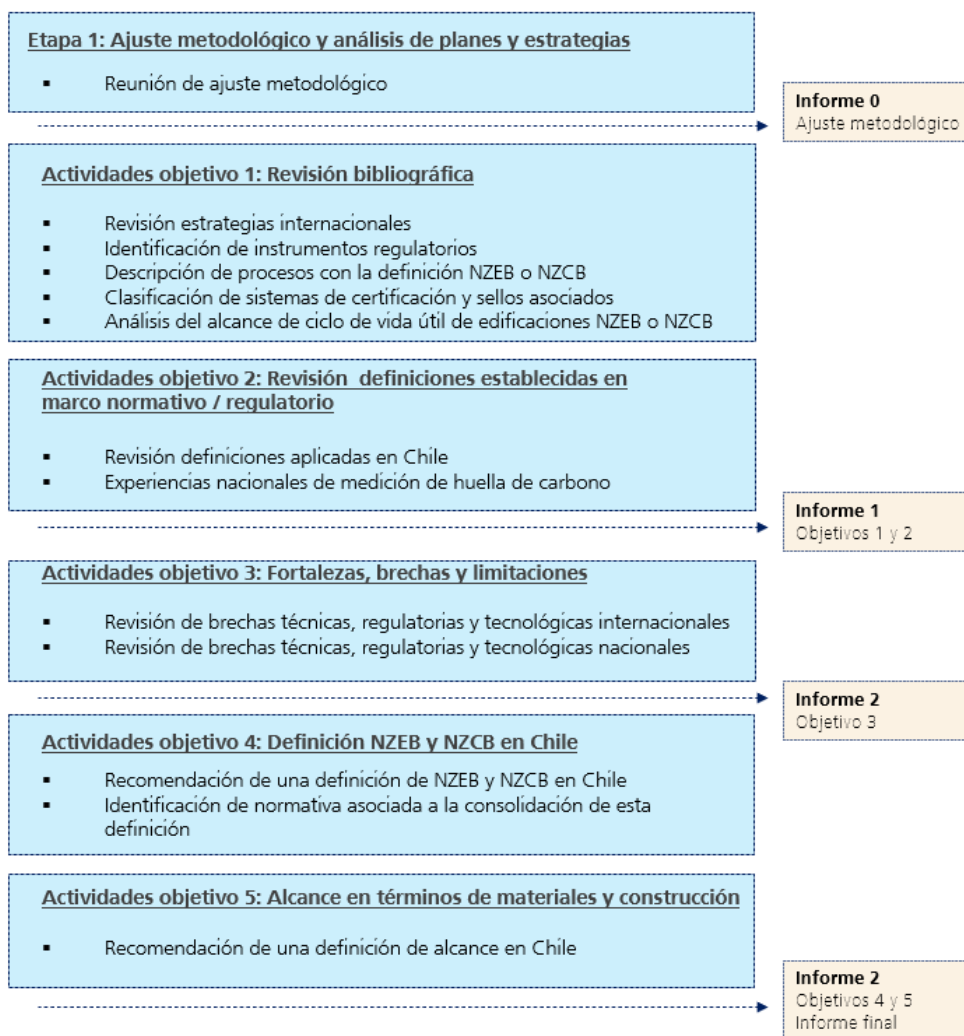


Figura 1 Vista general proyecto

## 2. Definiciones

A lo largo del informe se consideran las siguientes definiciones que el equipo de trabajo ha considerado relevante tener a la vista durante el desarrollo de la consultoría.

**Demanda de energía:** Cantidad de energía (en kWh/m<sup>2</sup> año) requerida para calefaccionar o refrigerar un espacio o edificio, compensando el efecto de las pérdidas y ganancias térmicas, y así mantener una condición de temperatura o confort térmico interior en base a los requerimientos individuales de cada recinto (Instituto de la Construcción, 2014).

**Demanda de calefacción y enfriamiento:** Energía estimada para suplir la diferencia entre pérdidas y ganancias de calor en períodos fríos o calurosos del año, considerando los fenómenos térmicos que se dan en una vivienda. (MINVU, 2018).

**Consumo energético:** Energía efectiva utilizada para cubrir la demanda, incorporando el tipo de instalación, el efecto de su eficiencia y sus pérdidas por distribución (Instituto de la Construcción, 2014)

**Método prescriptivo:** Método que fija reglas o estándares mínimos o máximos para elementos en un edificio, entre los que se destacan, para este caso, valores de transmitancia térmica para diferentes elementos de la envolvente, tasas de infiltración o requisitos de eficiencia para los sistemas mecánicos, tales como calentadores de agua y equipos de climatización (adaptado de AHFC, 2011) (MINVU, 2018).

**Método prestacional o de desempeño:** Control del conjunto de características cualitativas y cuantitativas de una edificación o parte de ella, identificadas y medidas objetivamente, que contribuyen a determinar su aptitud para responder a las distintas funciones para las que ha sido diseñada. (Ariel Bobadilla, 2014)

**Envolvente térmica:** Elementos perimetrales de las edificaciones que las separan del ambiente exterior (aire, terreno, agua), de un espacio contiguo abierto o un espacio no acondicionado. (MINVU, 2018)

**Puentes térmicos:** Parte de la envolvente térmica de la edificación, en que la resistencia térmica uniforme es drásticamente modificada por:

- a) Penetración total o parcial de la envolvente térmica del edificio por materiales con una conductividad térmica distinta, como elementos estructurales o tuberías de las instalaciones; y/o
- b) Una diferencia entre las áreas interna y externa, como la que ocurre en las conexiones de muros/pisos/techos y los elementos que conforman los vanos de la edificación. (MINVU, 2018)

**Resistencia térmica total:** Inverso de la transmitancia térmica del elemento. Suma de las resistencias de cada capa especial del elemento. Se expresa en (m<sup>2</sup>\*K)/W. (MINVU, 2018)

**Transmitancia térmica, U:** Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en W/(m<sup>2</sup>\*K). (MINVU, 2018)

**Diseño pasivo:** Metodología de diseño arquitectónico que busca reducir el acondicionamiento artificial de espacios, mediante el aprovechamiento de fenómenos



naturales como la radiación solar y los vientos, con el fin de generar ambientes confortables con bajo costo de mantenimiento e impacto ambiental. (MINVU, 2018)

**Zonificación térmica:** zonas climático-habitacionales basadas en la NCh 1079:2016. En ella se diferencian zonas costeras del país con zonas ubicadas entre estas y la cordillera de Los Andes. (MINVU, 2018)

**Energía no renovable:** energía de una fuente que se agota por extracción (un ejemplo es la energía de los combustibles fósiles). (INN, 2021)

**Energía renovable:** energía renovable no fósil, a saber, energía eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidroeléctrica, biomasa, gas de vertedero, gas de planta de tratamiento de aguas residuales y biogás. (INN, 2021)

**In situ:** locales y predio en el que se encuentra ubicado el edificio y el edificio en sí mismo. In situ se define un fuerte vínculo entre la fuente de energía (localización e interacción) y el edificio. (INN, 2021)

**Energía primaria:** energía que no ha sido sometida a ningún proceso de conversión o transformación. La energía primaria incluye energía no renovable y energía renovable. Si se tienen en cuenta ambos se puede denominar energía primaria total. (INN, 2021)

**Energía secundaria:** Se denomina energía secundaria a los productos resultantes de las transformaciones posteriores o elaboración de recursos energéticos primarios; por ejemplo, la energía eléctrica, derivada del petróleo, carbón mineral, gas de ciudad, etc. El origen de toda energía secundaria es un centro de transformación (termoeléctricas, etc.) y el destino es un centro de consumo (hogar, servicios públicos, empresa, etc.) (Agencia de Sostenibilidad Energética, s.f.)

**Emisiones de carbono (o huella de carbono):** se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO<sub>2</sub> equivalentes, y sirve como una útil herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones, cómo podemos mejorarlas y realizar un uso más eficiente de los recursos (Ministerio del Medio Ambiente, s.f.).

**Energía total:** energía que proviene de fuentes renovables y no renovables. La energía total es la suma de energía renovable y no renovable. (INN, 2021)

**Coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub>:** coeficiente que describe la cantidad de CO<sub>2</sub> que se libera al realizar una determinada actividad, como quemar una tonelada de combustible en un horno. En general, los coeficientes de emisión de CO<sub>2</sub> del consumo específico de energía (ISO 50001:2011, 3.7) se cuantifican sobre la base de factores de emisión de CO<sub>2</sub> para el uso de la energía. Los coeficientes de emisión de CO<sub>2</sub> pueden diferir por año. El coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> también puede incluir las emisiones equivalentes de otros gases de efecto invernadero (por ejemplo, metano). (INN, 2021)

**Carbono incorporado:** Emisiones de carbono asociadas a la producción de materiales y procesos de construcción en todo el ciclo de vida de un edificio o infraestructura. Se divide comúnmente en carbono incorporado en etapa inicial o de producto, carbono de etapa de funcionamiento y carbono de etapas finales. Ejemplos de fuentes de carbono incorporado

son: los materiales de construcción iniciales y los utilizados en rehabilitaciones como ventanas y revestimientos, entre otros. (Normas ISO 21930 y EN 15978) (Wiche et al., 2020)

**Carbono operacional:** es el carbono asociado al uso de energía durante la operación del edificio. Se piensa que el carbono operacional puede llegar a representar el 60% del impacto sobre el cambio climático durante la vida del edificio, estimada en 60 años. (Normas ISO 21930 y EN 15978) (Wiche et al., 2020)

**Carbono biogénico:** Carbón contenido en el material de origen biológico excluyendo el material incrustado en formaciones geológicas y material transformado en material fosilizado (ISO, 2018).

**Declaración ambiental tipo III; declaración ambiental de producto, DAP:** Declaración ambiental que proporciona datos ambientales cuantificados utilizando parámetros predeterminados y, cuando corresponda, información ambiental adicional (NCh3423:2017). (Wiche et al., 2020).

**Calidad aceptable del aire:** Aire ambiental que no contiene concentraciones perjudiciales para la salud humana de contaminantes y que es considerada aceptable para el 80% de los ocupantes (ASHRAE 62.1-2010) (Ariel Bobadilla, 2014).

**Hermeticidad al aire:** Característica física de la envolvente que describe su capacidad para oponerse a las infiltraciones. Está relacionada con la materialidad de la envolvente y la calidad de la ejecución. (Ariel Bobadilla, 2014)

**Compensaciones:** La compensación es el proceso de compensar el balance de emisiones de carbono restante mediante contribuyendo, por lo general financieramente, a soluciones para reducir las emisiones en otros lugares. Normalmente, esto se pone en de carbono que invierten en energías renovables y otras que invierten en energías renovables y otras medidas de carbono (LETI, 2020).

**Energía primaria:** Se denomina energía primaria a los recursos naturales disponibles para su uso energético, sin necesidad de someterlos a un proceso de transformación posterior (petróleo crudo, gas natural, nuclear, hidroenergía, biomasa, etc.). Para que las energías primarias estén disponibles para su consumo, se requieren varias operaciones de extracción, captación y transporte, desde los yacimientos hasta el consumidor final (hogar, servicios públicos, empresa, etc.).” (EBP, 2018).

**Energía distrital:** Corresponde a un sistema de generación y distribución de energía térmica que abastece a múltiples clientes en una determinada área, región o distrito. La distribución es realizada mediante una red de tuberías altamente aisladas que transportan un líquido portador de energía térmica. La fuente de generación puede ser una o más centrales térmicas, de igual o distintas tecnologías, conectadas a una misma red de distribución. Como tipos de Energía Distrital, se puede encontrar la “calefacción distrital” o de “enfriamiento distrital” (EBP, 2018).

### 3. Definición edificaciones de consumo de energía neta cero

La definición propuesta para las edificaciones de consumo de energía neta cero se propone como:

Definición general edificios de consumo de energía neta cero

***Edificio de alto rendimiento energético, cuya energía anual consumida es cubierta por fuentes de energía renovable generadas en el sitio o cercano a este.***

La referencia de esta definición es una adaptación de la definición adoptada en España (MITMA, 2020). Adicionalmente, para poder habilitar esta definición, es necesario que tener presente los términos que son parte de esta, y que se detallan a continuación.

En el siguiente esquema se presenta una representación de esta definición, con alcances de propuesta para fortalecer cada aspecto.

## EDIFICACIONES DE CONSUMO DE ENERGÍA NETA CERO

PROPUESTA GENERAL

### DISEÑO Y RENDIMIENTO

EDIFICACIONES DE DEMANDA ENERGÉTICA REDUCIDA GRACIAS A LAS VARIABLES DE CLIMA Y USUARIO

#### INTEGRACIÓN REGULATORIA

LA DEMANDA ENERGÉTICA SE CUANTIFICA EN HERRAMIENTAS COMO LA CEV Y ES PARTE DE LOS REQUERIMIENTOS DE CVS Y CES.

#### AVANCE PROPUESTO

DEFINIR EL ALCANCE EN USOS FINALES DE LA ENERGÍA Y LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA DEMANDA PARA EL EDIFICIO COMPLETO

### RENDIMIENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

EFICIENCIA DE SISTEMAS DE

- GENERACIÓN DE CALOR PARA ACS Y CALEFACCIÓN
- REFRIGERACIÓN
- ILUMINACIÓN
- VENTILACIÓN Y CONTROL DE LA HUMEDAD

#### INTEGRACIÓN REGULATORIA

EL CONSUMO ENERGÉTICO NO ESTÁ CUANTIFICADO EN LAS HERRAMIENTAS DISPONIBLES.

#### AVANCE PROPUESTO

FORTALECER LA CUANTIFICACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub> ASOCIADAS EN LAS HERRAMIENTAS EXISTENTES.

### GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE

BAJO DOS ESQUEMAS

- 1- EN SITIO, EJEMPLO: SIST. FOTOVOLTAICO, GEOTERMIA, BIOMASA
- 2- CERCANO AL SITIO: LÍMITE EN ÁREA DE CONCESIÓN

#### INTEGRACIÓN REGULATORIA

LAS ENERGÍAS RENOVABLES GENERADAS EN SITIO SE ENCUENTRAN ADOPTADAS GRACIAS A LA LEY DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA 20.571. LAS ENERGÍAS GENERADAS CERCANAS AL SITIO SE HABILITAN EN LA LEY 21.118.

#### AVANCE PROPUESTO

ESTABLECER UN REQUERIMIENTO MÍNIMO ACORDE A LA REALIDAD CLIMÁTICA DE LAS ZONAS DE CHILE.

### MONITOREO DEL CONSUMO DE ENERGÍA

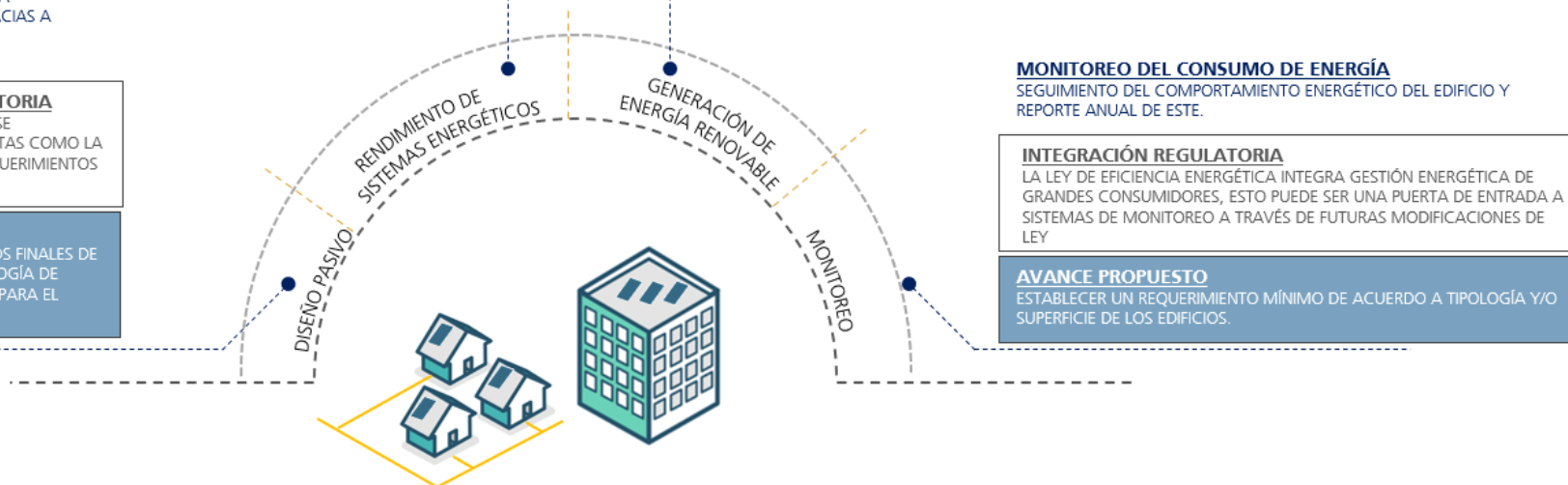
SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO Y REPORTE ANUAL DE ESTE.

#### INTEGRACIÓN REGULATORIA

LA LEY DE EFICIENCIA ENERGÉTICA INTEGRA GESTIÓN ENERGÉTICA DE GRANDES CONSUMIDORES, ESTO PUEDE SER UNA PUERTA DE ENTRADA A SISTEMAS DE MONITOREO A TRAVÉS DE FUTURAS MODIFICACIONES DE LEY

#### AVANCE PROPUESTO

ESTABLECER UN REQUERIMIENTO MÍNIMO DE ACUERDO A TIPOLOGÍA Y/O SUPERFICIE DE LOS EDIFICIOS.



Aplicabilidad de la definición

De acuerdo con la literatura, se ha observado que los requerimientos de edificios de consumo de energía neta cero, aplican a la totalidad del parque nuevo y renovaciones. Sin embargo, se establece un criterio de no aplicabilidad o exención, en casos particulares como se explica en el punto 2 del artículo 4 de la Directiva Europea 31/2010, la cual indica que los Estados miembros podrán decidir no aplicar los requisitos en las siguientes categorías de edificios (Diario Oficial de la Unión Europea, 2010):

- a) edificios protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, en la medida en que el cumplimiento de determinados requisitos mínimos de eficiencia energética pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto;
- b) edificios utilizados como lugares de culto y para actividades religiosas;
- c) construcciones provisionales con un plazo de utilización igual o inferior a dos años, instalaciones industriales, talleres y edificios agrícolas no residenciales de baja demanda energética y edificios agrícolas no residenciales que estén siendo utilizados por un sector cubierto por un acuerdo nacional sectorial sobre eficiencia energética;
- d) edificios de viviendas utilizados, o destinados a ser utilizados, bien durante menos de cuatro meses al año, o bien durante un tiempo limitado al año y con un consumo previsto de energía inferior al 25 % de lo que resultaría de su utilización durante todo el año;
- e) edificios independientes con una superficie útil total inferior a 50 m².

En el contexto nacional, esta consultoría recomienda mantener una mirada que permita esta clase de exenciones, enfocándola en los siguientes criterios:

- Edificaciones de baja intensidad de ocupación, o de uso esporádico como edificios de culto.
- Edificios categorizados de acuerdo a la Ley 17.288 de Monumentos Nacionales.
- Edificaciones de baja intensidad energética como talleres, edificios agrícolas, bodegas, galpones.

Alternativamente, las exenciones podrán ser definidas en el proceso de calificación energética de edificaciones de uso público.

3.2 Conceptos clave integrados a la definición

El equipo consultor considera que los siguientes puntos son aspectos clave que se integran en la definición y deben ser revisados en mayor detalle.

3.2.1 Estructura y jerarquía

En el caso de los edificios de consumo de energía neta cero, la definición sigue una jerarquía que tiene en su inicio el diseño pasivo (arquitectura y envolvente) del edificio, para avanzar en el rendimiento de sistemas, generación de energía en sitio o cercano a este, y finalmente en compensaciones en casos puntuales que se definen en este informe.



\* Los sistemas se definen en el punto de Usos finales de la energía

Figura 2 Esquema propuesto de jerarquía. Elaboración propia en base al programa “Advancing Net Zero” (UK GBC, 2019)



Edificio de alto rendimiento energético

Por el concepto de alto rendimiento energético, se entiende al desarrollo de un diseño de arquitectura de baja demanda, esto está actualmente integrado como exigencia en CES y CVS, no así en CEV. En este punto se tiene que considerar la variable de diseño pasivo.

El término diseño pasivo no está directamente integrado en la definición, sin embargo, es una herramienta necesaria a considerar para los edificios de consumo de energía neta cero. El diseño pasivo es aquel que considera las variables de clima y uso que determinan particularidades que deben ser tomadas en cuenta en el proceso de diseño. De acuerdo con los Términos de Referencia Estandarizados con Eficiencia Energética del Ministerio de Obras Públicas, *“el diseño arquitectónico pasivo de una edificación pública debe basarse en una completa comprensión del clima en el que está inserto el edificio. La relación entre el clima y la arquitectura es un aspecto clave en el diseño arquitectónico, pues la obra de arquitectura se beneficia de los aspectos positivos del clima y busca protegerse de sus inclemencias”* (Ministerio de Obras Públicas, 2015).

El concepto de diseño de un edificio de alto rendimiento se integra en la definición puesto que la demanda energética se debe limitar en desde la etapa de concepción del edificio.

Rendimiento energético de sistemas

El rendimiento energético de los sistemas es un aspecto clave para lograr un edificio de consumo de energía neta cero. A nivel internacional en las definiciones analizadas, se puede observar que los usos finales principales considerados para el balance anual neto de las edificaciones es el siguiente:

- Generación de calor para calefacción y agua caliente sanitaria
- Generación de frío para refrigeración
- Iluminación
- Ventilación y control de la humedad o condensación

Al analizar estos usos finales de energía con los observados en Chile, el Informe Final de Usos de la Energía de los Hogares en Chile, presenta los mismos usos finales de energía (con excepción de la ventilación y control de la humedad o condensación), que a nivel ponderado alcanzan un total de 77% (CDT, 2018).

Adicionalmente, respecto de los equipos y cargas de procesos de las edificaciones, esta consultoría considera relevante lo siguiente:

- En edificaciones residenciales considerar avanzar hacia esquema “full electric” como se da en el caso de esquema Green Star for Homes, donde la definición de “net zero energy homes” incluye que estas son 100% eléctricas (Green Building Council Australia, 2020)
- En edificaciones residenciales y no residenciales, se recomienda definir una línea base estimada de cargas de procesos y equipos (no instalados durante el proceso de construcción), de manera que la generación de energía renovable en sitio (o cercano a este) sea equivalente o superior a la totalidad de energía regulada en los usos finales, sumada a la energía estimada de procesos y equipos.

Energía renovable producida en el sitio

Una vez que se ha demostrado la reducción de demanda energética de la edificación gracias al diseño pasivo y a la eficiencia del rendimiento energético de sistemas, se deberá demostrar que la energía consumida por el edificio es igual o menor a la generada por las fuentes renovables de preferencia en el sitio, las principales fuentes de energía renovable disponibles en sitio son las siguiente:

| Energía renovable para uso térmico   | Energía renovable para producción de electricidad  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Biomasa</li><li>▪ Solar térmica</li><li>▪ Geotermia</li><li>▪ Aerotermia</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Solar fotovoltaica</li><li>▪ Sistemas de co generación</li></ul> |

Energía renovable producida cercana al sitio

Con respecto a las fuentes cercanas al sitio, esta consultoría propone considerar las siguientes alternativas:

- Generación térmica distrital: Por la naturaleza de las centrales de energía térmica distrital se considerará que estas siempre son cercanas al sitio<sup>1</sup>. En cuanto al energético utilizado en la

<sup>1</sup> Las centrales de energía térmica distrital generan agua caliente para distribuirla a través de tuberías subterráneas para abastecer de calefacción, ACS y agua caliente para otros procesos a sus clientes. Las pérdidas energéticas por distribución pueden llegar a ser del orden de 16% en sistemas antiguos, por lo que las centrales no pueden estar muy alejadas de los centros de consumo.

central, este deberá ser energía renovable o calor residual en al menos un 75% de la generación anual.

- Generación eléctrica cercana al sitio: Considera aquellas plantas de generación eléctrica en las cuales los usuarios finales cuenten con equipamiento de generación de energía eléctrica de manera individual o colectiva de acuerdo a lo que defina el reglamento de la Ley 21.118/2018 de Ministerio de Energía. Se requerirá además que las instalaciones de generación eléctrica o térmica sean en base a energías renovables<sup>2</sup>.

En referencia a lo indicado en la Ley 21.118, se tiene que esta entrega un criterio respecto a las asociaciones *“Los usuarios finales sujetos a fijación de precios que se agrupen para ejercer el derecho señalado en el inciso anterior deberán estar conectados a las redes de distribución del mismo concesionario de servicio público de distribución y acreditar la propiedad conjunta del equipamiento de generación eléctrica. Dichos usuarios deberán suscribir un contrato con las menciones mínimas establecidas en el reglamento, entre las que se deberán considerar, al menos, la identificación completa de todos los usuarios, sus domicilios, la participación de cada uno de ellos en la propiedad del equipamiento de generación, el nombre del representante de los usuarios ante la concesionaria y las reglas de repartición de las inyecciones”* (Economía, 2018).

### Monitoreo de energía

La integración de sistemas de monitoreo y reporte de consumo energético es un aspecto integrado en países que han integrado una regulación de edificios de consumo de energía neta cero, por ejemplo, el caso del esquema Minergie A (Minergie, s.f.), el cual tiene los siguientes requerimientos generales:

- Máximo consumo final de energía para edificios nuevos de 35 kWh/m<sup>2</sup> anual
- La generación anual del sistema fotovoltaico debe cubrir el requerimiento energético anual para el funcionamiento del edificio (como energía final neta)
- Producción de energía mínima de acuerdo a normativa MuKEn 2014 (referencia 10 W/m<sup>2</sup>)
- Renovación de aire controlada
- Operación sin combustibles fósiles
- Monitoreo de energía requerido para todas las edificaciones (en edificios de menos de 2000 m<sup>2</sup> de superficie no se requiere monitoreo de calefacción y agua caliente sanitaria).

## 3.3 Aspectos relevantes para la definición

En el proceso de levantamiento de los antecedentes para llegar a una definición de edificios de consumo de energía neta cero, se ha identificado que en todos los países se han adoptado 1. una definición marco y 2. una bajada técnica de alcance (Anexo 1 – EPBD) de edificios de consumo de energía neta cero.

En el caso de la definición española de edificios de consumo de energía casi neta cero, esta se acompaña de una serie de los requisitos técnicos como se abordan en el Documento Básico HE del Código Técnico de España, donde se dividen en las siguientes (Fomento, 2019):

- HE0 Limitación del consumo energético
- HE1 Condiciones para el control de la demanda energética
- HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas
- HE3 Condiciones de las instalaciones de iluminación
- HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria
- HE5 Generación mínima de energía eléctrica

Dado lo anterior esta consultoría ha recomendado revisar la estructura de dichos aspectos técnicos que facilitan la aplicación de edificaciones de edificios de consumo de energía neta cero. Un aspecto relevante a tener presente es que las definiciones o aspectos técnicos considerados en este informe deben ir acompañados por una metodología de cálculo que puede ser una adaptación de los instrumentos existentes.

---

<sup>2</sup> Se recomienda revisar esta definición para incorporar la compra de energía renovable a través de un comercializador de energía. Al momento de elaboración de este informe, el proyecto de ley se encuentra en el primer trámite constitucional (boletín 13782-08 de la Cámara de Diputados)

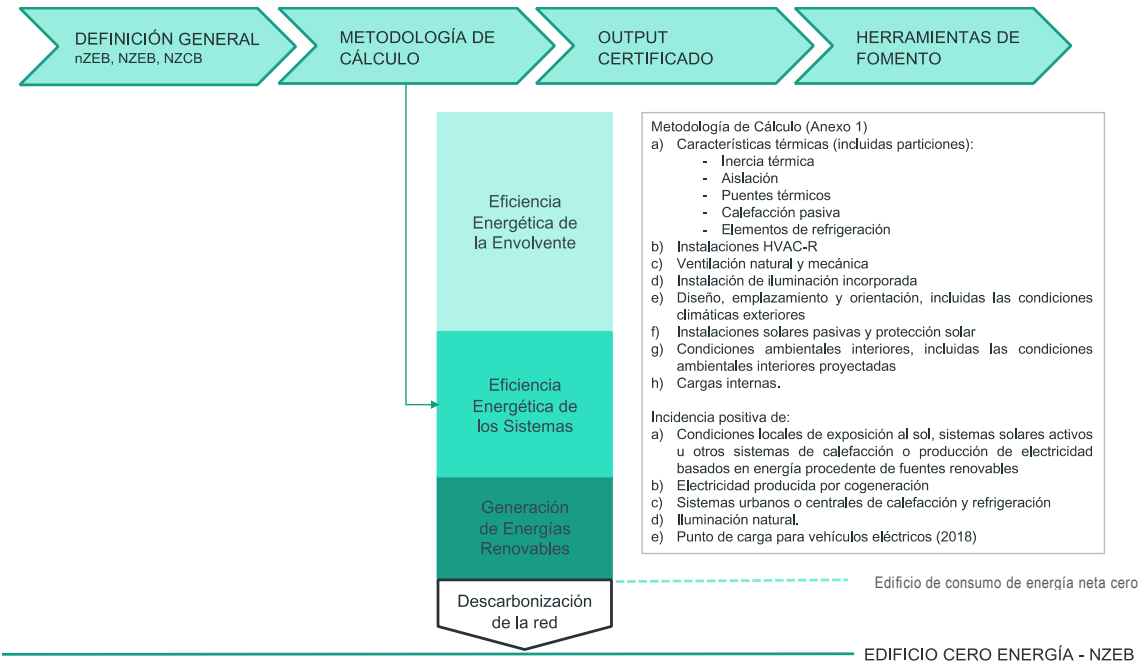


Figura 3 esquema tipo de proceso de validación de edificaciones de consumo de energía neta cero. Elaboración propia

Referencias detalle de definiciones para edificios residenciales de consumo de energía neta cero

Para efectos de definir técnicamente los aspectos que se incluirán como detalle de propuesta general de edificios residenciales de consumo de energía neta cero, se proponen las siguientes referencias:

Tabla 1 Referencias de los aspectos considerados para edificaciones residenciales de consumo de energía neta cero

| Aspecto  | Referencia  | Comentario / explicación  |
|--|---|---|
| Valor de transmitancia de la envolvente                  | Propuesta de modificación de la reglamentación térmica (MINVU, 2019)  | Actualmente esta propuesta no está oficialmente aprobada. El adoptar esta propuesta de valores de transmitancia, elevará las exigencias a un nivel similar al que se cuenta en la definición de edificaciones de consumo de energía neta cero de España (Fomento, 2019) |
| Máximo porcentaje de ventana                             |   |   |
| Control de condensación en elementos constructivos       |   | La Certificación de Vivienda Sustentable integra el requerimiento de reducción de riesgo de condensación en req. 1.1.2.b  |
| Índice de horas sobre el límite superior de confort      | Solo se identifica un índice general para un máximo de horas fuera del rango de confort en el manual de aplicación 1 CVS (MINVU, 2019)                              | Este valor ya se genera en la CEV, y se utiliza como un valor mínimo en la CVS, se puede fortalecer esta medición.  |
| Sistema de ventilación mecánica                          | Propuesta de modificación de la reglamentación térmica (MINVU, 2019)  | En este caso se integra para edificaciones residenciales en las zonas centro y sur  |
| Sistema de recuperación de calor                         | Se considera para edificaciones ubicadas en la zona sur como obligatorio  | La referencia para este requerimiento es la eficiencia que se considera en la definición de Finlandia   |
| Aislamiento de cañerías de agua caliente                 | Se contempla de acuerdo con el documento Estándares de Construcción Sustentable del MINVU (MINVU, 2018)   | El nivel de aislación aplica para agua caliente y agua fría (calefacción y frío, respectivamente)   |
| Eficiencia de los sistemas de recuperación de calor      | Se propone tener como referencia la eficiencia de los sistemas de recuperación de calor de las viviendas Passivhaus (International Passive House Association, s.f.) | Este valor no existe en la normativa chilena.   |
| Nivel de consumo máximo de energía primaria no renovable | No existe normativa de referencia, se propone aplicar el nivel máximo de demanda energética, adaptado a consumo que se describe en el Tomo                          | Los FEP indicados en la CES fueron elaborados el año 2011, por lo que se debe analizar su vigencia.   |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   | II Energía de los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas (MINVU, 2018) y aplicar “Factores de Energía Primaria” (FEP) de la Certificación de Edificio Sustentable.  |  |
| Generación de energía renovable solar fotovoltaica en sitio | En este caso, las referencias que existen en las normativas o certificaciones locales no hacen referencia a este índice, se proponen dos opciones de cumplimiento, de acuerdo con Países Bajos (Hans van Eck, 2016), y de acuerdo con España (Fomento, 2019) | Se proponen dos esquemas: <ul style="list-style-type: none"><li>- Esquema en base a aporte mínimo en base a un esquema similar a lo definido el cumplimiento de la EPD de Países Bajos</li><li>Esquema en base a la superficie del edificio y la superficie de cubierta de acuerdo con el código técnico español</li></ul> |
| Generación de energía renovable solar fotovoltaica en sitio | No existe referencia para edificios residenciales en marco normativo chileno, se propone de acuerdo con una adaptación del CTE de España   | Se propone una adaptación del CTE español en base a las cargas internas de un edificio   |

En el A1 se presentan las indicaciones técnicas que se recomienda revisar para los aspectos de los edificios de consumo de energía neta cero.

Referencias detalle de definiciones para edificios de uso público, comerciales y oficinas de consumo de energía neta cero

Para efectos de definir técnicamente los aspectos que se incluirán como detalle de propuesta general de edificios de consumo de energía neta cero, se proponen las siguientes referencias:

Tabla 2 Referencias de los aspectos considerados para edificaciones de consumo de energía neta cero

| Aspecto   | Referencia   | Comentario / explicación  |
|---|--|---|
| Valor de transmitancia de la envolvente                     | Certificación CES requerimiento voluntario ARQ Energía 5 versión cumplimiento prescriptivo (Instituto de la Construcción, 2014)  | Se considera el nivel máximo  |
| Factor solar modificado                                     |  | Este índice no ha generado aceptación entre todos los actores   |
| Hermeticidad de la envolvente                               | Certificación CES requerimiento voluntario ARQ Energía 6 Hermeticidad de la envolvente (Instituto de la Construcción, 2014)  | Este valor se propone de acuerdo con el nivel máximo de hermeticidad del requerimiento voluntario.          |
| Eficiencia mínima de sistemas                               | Certificación CES Requerimientos Inst Energía 16.2 Climatización y ACS   | Para el caso de sistemas unitarios se propone como referencia el requerimiento voluntario de                |
| Sistema de recuperación de calor                            | Se considera una eficiencia mínima de 45% de referencia.   | Propuesta de implementación de la EPD de Finlandia  |
| Nivel de consumo máximo de energía primaria no renovable    | Se proponen dos aproximaciones <ul style="list-style-type: none"><li>- De acuerdo con el CTE de España, en base al nivel de carga interna (Fomento, 2019)</li><li>- De acuerdo con consumo máximo de energía primaria definida en estándar Minergie (Minergie, s.f.)</li></ul>   | Se presenta una adaptación en base a cargas internas estandarizadas para el caso de la alternativa 1.       |
| Generación de energía renovable solar fotovoltaica en sitio | Se proponen dos esquemas: <ul style="list-style-type: none"><li>- Esquema en base a aporte mínimo en base a un esquema similar a lo definido el cumplimiento de la EPD de Países Bajos</li><li>- Esquema en base a la superficie del edificio y la superficie de cubierta de acuerdo al código técnico español</li></ul> | En este caso, las referencias que existen en las normativas o certificaciones locales no hacen referencia a |
| Monitoreo de energía  | En el caso de edificaciones sobre 2.000 m2 construidos   | Referencia certificación Minergie (Minergie, s.f.)  |

En el anexo A1 se detallan de manera general las diferentes áreas propuestas.



### 3.4 Conclusiones definición edificaciones de consumo de energía neta cero

De lo propuesto y revisado anteriormente, es posible concluir lo siguiente

- Actualmente en Chile existen herramientas que, al ser fortalecidas, podrán ser adoptadas como la metodología de cálculo y verificación de las edificaciones de consumo de energía neta cero. Este es el caso de la Calificación Energética de Vivienda y la futura Calificación Energética de Edificios, las que son bases sólidas para integrar indicadores necesarios para facilitar la transición hacia edificaciones de consumo de energía neta cero en el marco regulatorio nacional. El fortalecimiento de estas herramientas pasa por integrar variables como el consumo energético, la eficiencia de sistemas energéticos, y la exigencia de un mínimo de aporte de energía renovable.
- Con respecto a la energía renovable, se ha identificado que las fuentes en el sitio del proyecto no presentan dificultad regulatoria, sino que deben ser integradas como indicadores mínimos. Para el caso de las fuentes de energía renovable generadas fuera del sitio, los sistemas térmicos distritales no están actualmente normados, sin embargo, estos son una oportunidad para habilitar edificaciones de consumo de energía neta cero, junto con reducir los índices de contaminación atmosférica en zonas saturadas.
- Uno de los puntos relevantes a definir es la metodología de cálculo para habilitar las edificaciones de consumo de energía neta cero. Esta metodología debe incluir los aspectos técnicos de relevancia que han sido presentados en la jerarquía de la definición.
- En este informe se considera el monitoreo y reporte de energía como una medida necesaria para contar con comportamiento basado en evidencia de las edificaciones de consumo de energía neta cero.

## 4. Definición edificaciones de carbono neto cero

La definición propuesta para las edificaciones de carbono neto cero es la siguiente:

### Definición general propuesta edificios carbono neto cero

***Edificio de consumo de energía neta cero, que durante su ciclo de vida (producción, construcción, operación, fin de vida útil), logra minimizar sus emisiones de carbono incorporado y compensar cualquier saldo carbono restante.***

Donde, de manera equivalente a la definición de edificios de consumo de energía neta cero, a continuación, se describen los principales aspectos incluidos en la presente definición:

### 4.1 Aspectos relevantes definición de edificaciones de carbono neto cero

#### Ciclo de vida de la edificación

La definición de edificaciones de carbono neto cero contempla la totalidad de las etapas del ciclo de vida en la edificación, de acuerdo con lo definido en la norma UNE-EN 15978:2012 (UNE-EN, 2012), que se indican en la Figura 4. Donde el concepto de ciclo de vida toma un alcance que busca que todos los elementos y proceso que constituyen la construcción, operación y fin de la vida útil del edificio, generen la menor cantidad de carbono.

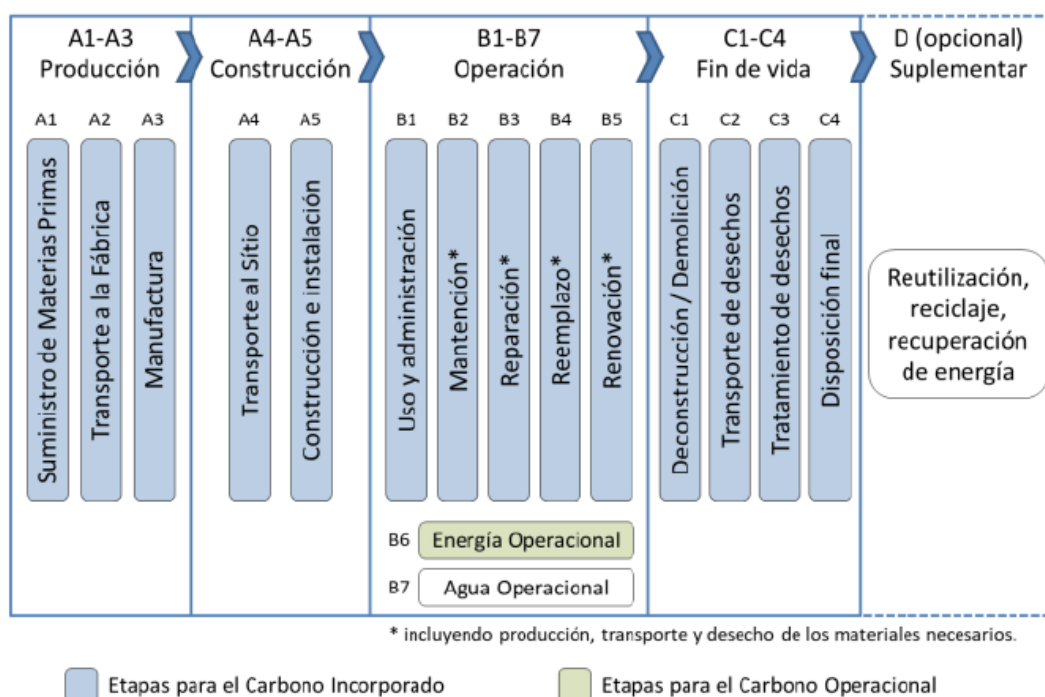


Figura 4 Etapas del ciclo de vida de la construcción en base a norma EN 15978, fuente: Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones, Resumen para Tomadores de Decisiones, 2da ed. Publicado por Instituto de la Construcción, 2020. Santiago, Chile

Las etapas **A1-A3** tienen relación con el carbono asociada a los materiales, desde la extracción de materias primas hasta la puesta en los centros de distribución de los proveedores (conocido en inglés como “cradle to gate”), la **A1** es la extracción del material desde su lugar de origen, luego la **A2**, es el transporte de la materia prima extraída hasta la planta de procesamiento del material, la **A3** es la manufactura mixta del producto. Estos datos provienen de fuentes oficiales conocidas como declaraciones ambientales de productos (EPD por sus siglas en inglés), las cuales indican el valor de las tres etapas de forma consolidada.

La etapa **A4** corresponde al transporte de los materiales hasta el sitio de construcción. La etapa **A5** guarda relación con el proceso constructivo in situ, la energía utilizada en las instalaciones y maquinarias, consumos de agua, etc.

Las etapas **B1-B5** abarcan el carbono incorporado en los materiales y servicios de construcción utilizados para proteger y conservar el estado de la edificación durante su operación. El límite del sistema para la evaluación debe excluir los impactos y aspectos de los electrodomésticos, muebles y otros accesorios que no estén relacionados con el edificio en sí.

La etapa **B6** tiene relación con la energía utilizada por los sistemas técnicos integrados en el edificio durante su operación (calefacción, suministro de agua caliente sanitaria, aire acondicionado (enfriamiento y humidificación/deshumidificación), ventilación, iluminación, energía auxiliar usada para bombas, control y automatización). El rendimiento energético de un edificio se determina sobre la base de la energía anual calculada o real que se utiliza para satisfacer las diferentes necesidades asociadas a los usos definidos.

Las etapas **C1-C4** comienzan cuando el edificio es dado de baja y no está destinado a ningún uso posterior. Desde este punto comienza la demolición o deconstrucción, donde se puede considerar una salida de múltiples materiales, productos y elementos de construcción que deben ser descartados, recuperados, reciclados o reutilizados. El edificio se considera que ha llegado a su vida útil cuando se han retirado todos los componentes y materiales que debían eliminarse del sitio o cuando el sitio esté listo para su futura reutilización.

Bajo este contexto, surgen entonces dos conceptos relevantes, el carbono incorporado y el carbono operacional.

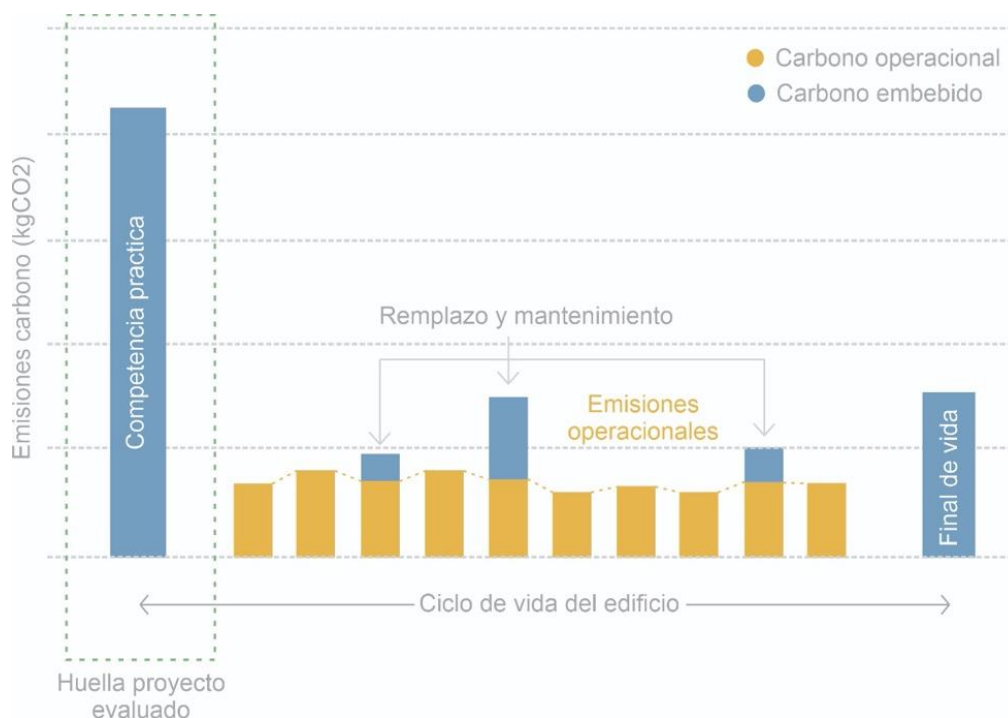


Figura 5 huella de carbono en el ciclo de vida de un edificio. Elaboración propia basado en el London Energy Transformation Initiative

### Carbono incorporado

Emisiones de carbono asociadas a la producción de materiales y procesos de construcción en todo el ciclo de vida de un edificio o infraestructura. Se divide comúnmente en carbono incorporado en etapa inicial o de producto, carbono de etapa de funcionamiento y carbono de etapas finales. Ejemplos de fuentes de carbono incorporado son: los materiales de construcción iniciales y los utilizados en rehabilitaciones como ventanas y revestimientos, entre otros. (Normas ISO 21930 y EN 15978) (Wiche et al., 2020).

Como referencia, de acuerdo a la clasificación de materiales presentada en el reporte "Embodied Carbon Primer" del London Energy Transformation Initiative (LETI, 2020), se presenta una clasificación de la intensidad de carbono incorporado con datos extraídos de declaraciones ambientales de productos. Esta lista es una referencia que puede servir de guía para una futura aplicación de requerimientos para materiales de construcción.

Tabla 3 Referencias en intensidad de carbono en materiales (LETI, 2020)

| Material        | Rango de intensidad de carbono   |   |
|-----------------|--|---|
| <b>Hormigón</b> | Baja intensidad  | Alta intensidad   |
|                 | 70% de sustituto de la escoria de alto horno molida para el cemento<br><b>0.034 kg CO2/kg.</b> | Hormigón armado sin sustitución de cemento<br><b>0.172 kg CO2/kg.</b> |
| <b>Madera</b>   | Intensidad media incluyendo el secuestro de carbono  | Intensidad media incluyendo el secuestro de carbono                   |

|                 |   |  |
|-----------------|---|--|
|                 | 0.493 kg de CO <sub>2</sub> e/kg  | -1,03 kg de CO <sub>2</sub> e/kg                                     |
| <b>Ladrillo</b> | 0.213kg CO <sub>2</sub> e/kg a 0.454 kg CO <sub>2</sub> e por ladrillo estándar de 2.13kg.                |  |
| <b>Acero</b>    | Barra de refuerzo cuna a la puerta<br><b>1.99 kg de CO<sub>2</sub>e/kg</b>                                | Barra de refuerzo reciclada<br><b>-0.79 kg de CO<sub>2</sub>e/kg</b> |
| <b>Vidrio</b>   | Vidrio, general (2,5kg de vidrio por mm. de espesor), por m2 promedio de <b>1,44kg CO<sub>2</sub>e/kg</b> |  |

Cabe señalar, que una especial atención debe tener los materiales en base a madera, los cuales “capturan” carbono (carbono biogénico).

“El elemento carbono del CO<sub>2</sub> absorbido permanece bloqueado en la madera hasta su fin de vida útil. Sin embargo, el carbono secuestrado solo debe considerarse un beneficio en el alcance de la evaluación de carbono de toda la vida cuando la madera se obtiene de forma sostenible, certificada por FSC, PEFC o equivalente. Esto es para asegurar que cualquier árbol talado sea sustituido por un mínimo de la misma cantidad de árboles plantados y, por lo tanto, no contribuya a la deforestación y no comprometa la capacidad general de absorción de carbono de los bosques.

Con respecto al fin de la vida útil de los productos de la madera, cuando la madera se descarta y se deja descomponer, como cuando se deposita en vertederos, se liberan tanto CO<sub>2</sub> como CH<sub>4</sub> (metano). El CH<sub>4</sub> tiene un GWP 28 veces mayor que el del CO<sub>2</sub> según el último informe del IPCC, según lo declarado por el Greenhouse Gas Protocol. Por lo tanto, es fundamental, desde la perspectiva del carbono de toda la vida, tener en cuenta en los cálculos los impactos de la vida útil de la madera en la vida útil” (RICS, 2017).

#### **Carbono operacional:**

Es el carbono asociado al uso de energía durante la operación del edificio. Se piensa que el carbono operacional puede llegar a representar el 60% del impacto sobre el cambio climático durante la vida del edificio, estimada en 60 años. (Normas ISO 21930 y EN 15978) (Wiche et al., 2020). Sin embargo, en proyectos diseñados con un alto nivel de eficiencia energética el carbono operacional puede llegar a ser solo el 25% del impacto climático en todo el ciclo de vida.

Dentro de la definición, el carbono operacional es abordado integrando el concepto de “Edificación de consumo de energía neta cero”.

#### **Pasos edificaciones carbono neto cero**

En el siguiente diagrama se presenta una propuesta de enfoque secuencial necesario para llegar a alcanzar una edificación carbono neto cero.



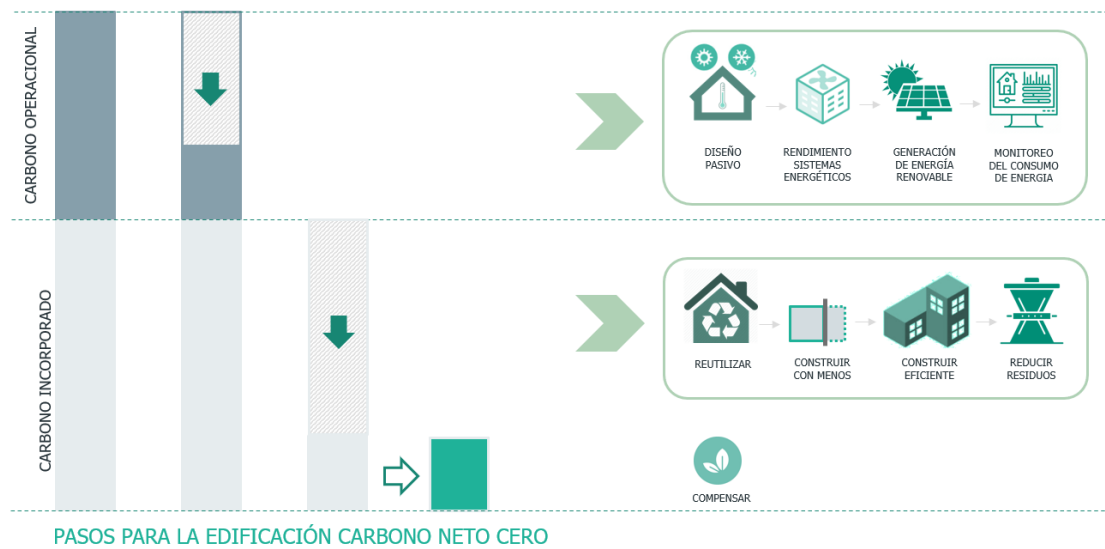


Figura 6 Pasos para la edificación carbono neto cero. Elaboración propia basado en el London Energy Transformation Initiative

Donde los pasos asociados a la reducción del carbono operacional están directamente asociados con la secuencia jerárquica descrita para la definición de edificaciones de consumo de energía neta cero, mientras que los pasos asociados a la reducción del carbono incorporado corresponderían a los siguientes:

- **Reutilizar** estructuras existentes y materiales, lo que permitirá reducir carbono incorporado y es una forma de llevar principios de la economía circular a la vida.
- **Construir con menos** intensidad de materiales ( $\text{Kg/m}^2$ ). Este aspecto conlleva a la optimización de los sistemas constructivos, y también del programa en el partido general.

Este aspecto es importante, dado que para reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$ , es esencial contar con información de las intensidades de material ( $\text{kg/m}^2$ ), y sus respectivos coeficientes de carbono ( $\text{kg CO}_2/\text{m}^2$ ).

- **Construir eficiente.** La prefabricación externa permite una alta eficiencia procesos, incluida la economía circular. Si la prefabricación se lleva a cabo cerca de un sitio de desarrollo además se pueden lograr reducciones de carbono gracias a menores emisiones de transporte.
- **Reducir Residuos.** Diseño en base a criterios de economía circular. Evitar materiales compuestos, que puede ser difícil de deconstruir en el futuro.
- **Compensar:** siempre existirá un remanente de emisiones de  $\text{CO}_2$  que no podrá ser reducido mediante la implementación de medidas o que será muy costoso de reducir. En este caso se recurre a la compensación de emisiones a través de bonos de carbono<sup>3</sup>, financiando proyectos que pueden ser de energías

<sup>3</sup> Se denomina bonos de carbono a las Reducciones Certificadas de Emisiones de GEI, que corresponde a una tonelada métrica de  $\text{CO}_2\text{e}$ . Siguiendo esta definición, el mecanismo de compensación de emisiones de GEI se basa en la neutralización de 1 tonelada de  $\text{CO}_2\text{e}$  del inventario de carbono de una organización por cada bono adquirido. Fuente: Informe Final "Medición y Mitigación de la Huella de Carbono en la Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2011.

renovables, gestión de residuos, o eficiencia energética, entre otros. Este último paso permite optar a la certificación carbono neutro

Dentro de los principales métodos de compensación (adaptado de LETI Embodied Carbon Primer. Supplementary guidance to the Climate Emergency Design Guide), que se podrían considerar, se encuentran:

- Forestación: cultivo de árboles y mejora del manejo de los bosques existentes.
- Construir con biomasa: usar materiales forestales en los edificios prolongan el tiempo de almacenamiento del carbono y permite que la tierra se utilice para nuevas actividades forestales, aumentando así la absorción de CO<sub>2</sub>.
- Restauración de hábitats: mejora de turberas y humedales costeros para que puedan almacenar más carbono y ayudar a garantizar el carbono que ya almacenan.
- Instalación para la generación de energía renovable fuera del sitio.
- Realización de medidas de eficiencia energética en edificios existentes.

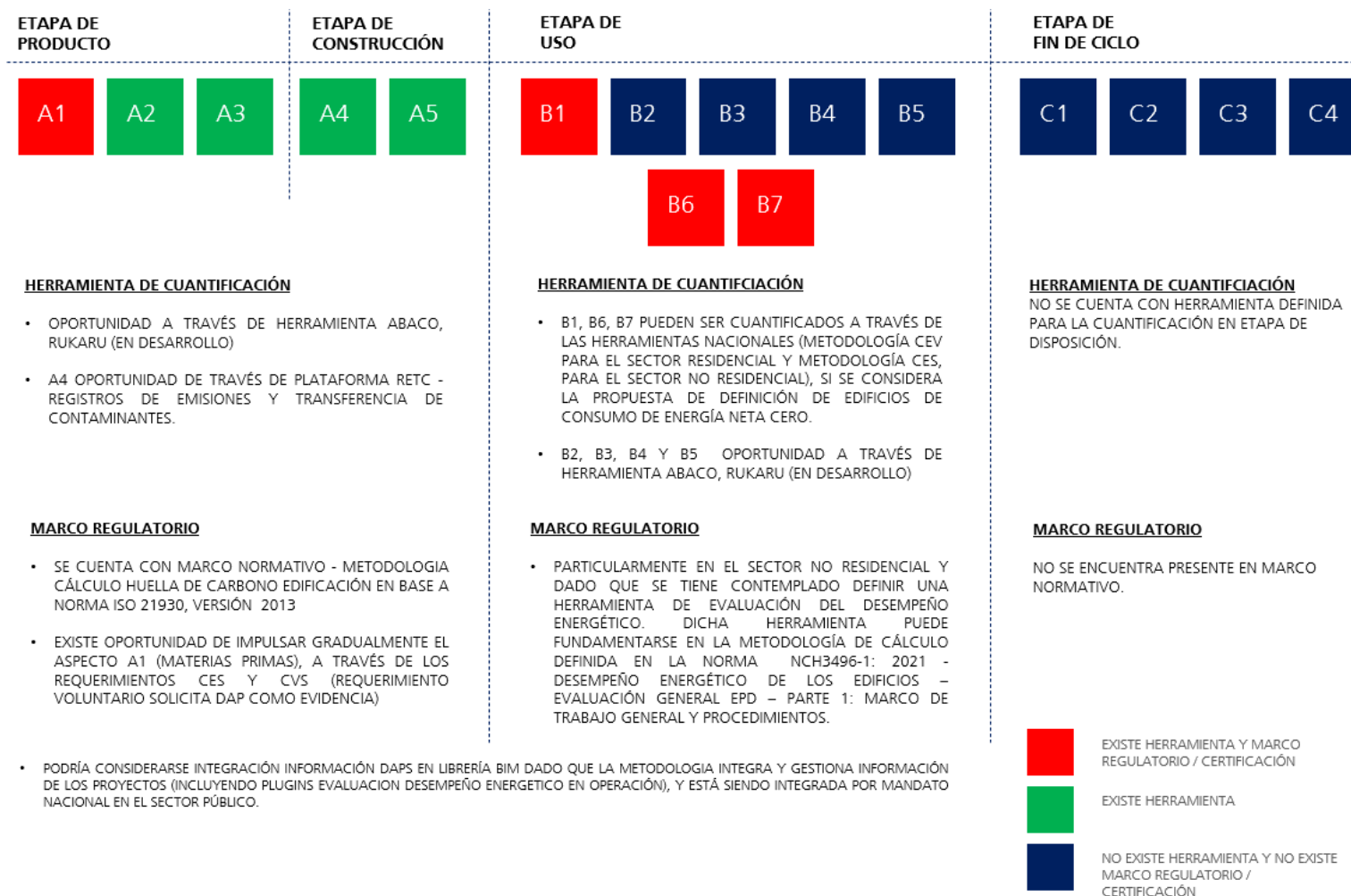


Figura 7 esquema de etapas norma UNE-EN 15978:2012 identificando las distintas opciones de herramientas y marco normativo presente en Chile. Elaboración propia.

A continuación, se presenta el análisis de las etapas presentadas en el esquema.

Tabla 4 Identificación del contexto regulatorio y herramientas de cuantificación a nivel nacional, en base a las etapas del ciclo de vida de la construcción, según norma UNE-EN 15978:2012. Fuente: Elaboración propia.

| Etapa     | Aspecto              | Marco regulatorio   | Herramienta / oportunidad de cuantificación  |
|-----------|----------------------|---|--|
| <b>A1</b> | Materias primas      | No existe este aspecto como un punto obligatorio en la regulación   | En la herramienta Ábaco se incluye la referencia del programa Ecoinvent versión 3.0 (UBB, 2018)  |
|           |                      | Es un aspecto que se puede fortalecer gradualmente si es incorporado en las certificaciones como un requerimiento que avance hacia un grado de obligatoriedad | La adopción de métricas utilizadas en otros esquemas o países es una oportunidad para dinamizar los cálculos de carbono incorporado en los materiales y edificaciones, y permitirá establecer una línea base transitoria, mientras la base de datos de intensidad de material se ajusta a la realidad chilena. |
| <b>A2</b> | Transporte           | No existe dentro del marco regulatorio  | En la herramienta Ábaco (UBB, 2018), se indica que se incluye el transporte en la carga de energía o CO <sub>2eq</sub> de la confección de cada material   |
| <b>A3</b> | Manufactura          | No existe dentro del marco regulatorio  | De acuerdo con lo que se indica en el manual de la herramienta Ábaco, esta considera el impacto en huella de carbono del proceso de construcción. Sin embargo, esto no se evidencia en la revisión de la herramienta.  |
| <b>A4</b> | Transporte (a obra)  | No existe dentro del marco regulatorio  | Existe la oportunidad de fortalecer este índice mediante herramientas como Abaco (UBB, 2018), la cual incluye un índice de traslado de materiales a obra.  |
| <b>A5</b> | Proceso constructivo | No existe dentro del marco regulatorio  | Similar a puntos anteriores, la energía utilizada en el proceso constructivo es considerada dentro de la herramienta Ábaco, aunque no se indica el procedimiento en el Manual de Operación.  |
| <b>B1</b> | Uso                  | No existe dentro del marco regulatorio  | No se identifica una herramienta para la cuantificación. Se requiere la definición de tiempo de ciclo de vida de los distintos materiales de la edificación.   |
| <b>B2</b> | Mantenición          |   |  |
| <b>B3</b> | Reparación           |   |  |
| <b>B4</b> | Reacondicionamiento  |   |  |
| <b>B5</b> | Recambio             |   |  |
| <b>B6</b> | Energía operacional  | Existe incorporado a la CEV en referencia a los consumos de energía para  | Aspecto abordado en la Tabla 6 Propuesta general de requerimientos técnicos para edificios de uso público, comerciales y oficinas de consumo de energía neta cero del presente informe   |
| <b>B7</b> | Agua operacional     | Existe incorporado a la CES y CVS, se desconoce si existe   | Tanto CES como CVS cuentan con herramientas de cuantificación de consumo de agua. Se requiere la conversión de este consumo a CO <sub>2eq</sub>  |

|           |                           |   |   |
|-----------|---------------------------|---|---|
|           |                           | marco regulatorio de consumo máximo de agua.  |   |
| <b>C1</b> | Demolición                | No se identifica marco regulatorio para el aspecto indicado.  | No se identifica herramienta que permita cuantificar la huella de carbono asociada al proceso de demolición. Eventualmente este puede ser un porcentaje de la huella de carbono proveniente del proceso de construcción, sin embargo, no se cuenta con una referencia.              |
| <b>C2</b> | Transporte                |   | En el caso de transporte de residuos de construcción se   |
| <b>C3</b> | Procesamiento de residuos | En el caso de disposición y procesamiento de residuos, actualmente la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor. Si bien esta no incluye requerimientos a materiales de construcción, se puede considerar esta herramienta como inicio al requerimiento. | Las certificaciones CES y CVS cuentan con indicadores y metodología de cálculo de reciclaje o reutilización de residuos de construcción, no así de demolición de la edificación estudiada, sin embargo, existe una oportunidad de incorporar este índice en dichas certificaciones. |
| <b>C4</b> | Disposición final         |   |   |



#### 4.1.2 Conclusión definición edificaciones de carbono neto cero

La definición elaborada para edificios carbono neto cero, se fundamenta en dos aspectos esenciales: establecer la mirada del ciclo de vida del edificio y la integración de dos indicadores esenciales: el carbono incorporado y el operacional.

Dado lo anterior, para poder habilitar este tipo de edificaciones a nivel nacional, se ha identificado como relevante el poder desarrollar y/o adaptar herramientas de cuantificación del carbono incorporado. En este sentido herramientas ya utilizadas como ABACO, pueden ser potenciales calculadoras de carbono en etapas de construcción para el sector edificación.

Por su parte, las declaraciones ambientales de producto (DAP), se consideran esenciales para alimentar dicha calculadora de huella de carbono, con información de alta calidad. Lo que, llevado al contexto nacional, ya está siendo incipientemente abordado por los requerimientos voluntarios contemplados en las certificaciones CES y CVS.

Si bien, hoy no se cuenta con datos precisos en un rango de materiales que permita establecer una línea base de carbono incorporado, esta consultoría considera relevante la adopción de metodologías o bases de cálculo de referencia. De acuerdo al documento “Whole life carbon assessment for the built environment” (RICS, 2017), las fuentes aceptadas para obtener información de equivalencias de carbono incorporado en la

- Declaraciones medioambientales de tipo III (EPD y equivalentes) y conjuntos de datos de acuerdo con EN 15804
- Declaraciones medioambientales de tipo III (DPE y equivalentes) y conjuntos de datos equivalentes) y conjuntos de datos de acuerdo con ISO 21930
- Declaraciones medioambientales de tipo III (DPE y equivalentes) y conjuntos de datos equivalentes) y conjuntos de datos de acuerdo con ISO 14067
- DAP y conjuntos de datos de acuerdo con las normas ISO 14025, ISO 14040 y 14044
- Declaraciones medioambientales de tipo III (DPE y equivalentes) y conjuntos de datos de acuerdo con PAS 2050.

## 5. Conclusión

Durante el proceso de levantamiento de información bibliográfica del proyecto, se han identificado aspectos que son relevantes detallar al momento de concluir el estudio:

- En los países donde se ha llevado adelante un proceso de adopción de definiciones que se analizan en este estudio se acompañó de aspectos técnicos de relevancia que reflejan una jerarquía de importancia u orden. Esta jerarquía siempre tiene su origen en la arquitectura y envolvente del edificio, para avanzar hacia temas técnicos y posteriormente en generación de energía renovable. Es necesario incorporar en la regulación chilena esta estructura descrita para posteriormente definir los requerimientos técnicos asociados a cada tema.
- La mejora continua es de gran importancia, la revisión de los estándares y metodologías dentro de un plazo conocido y de preferencia, validado con la industria, permitirá avanzar en: 1) el establecimiento de una línea base, y 2) una ambición con respecto a dicha línea base.
- Las herramientas existentes en Chile (y en desarrollo) son un punto de partida robusto para definir líneas base de consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> operaciones en edificaciones. Estas podrán fortalecerse en aspectos técnicos, incorporando gradualmente los requerimientos técnicos necesarios para habilitar edificaciones de consumo de energía neta cero y carbono operacional neto cero.
- Existe un desafío en la implementación de edificaciones de carbono neto cero, especialmente en la velocidad en que la industria adopta métricas necesarias para tener una base de datos que permita tener niveles de ambición que a largo plazo permitan alcanzar la meta de carbono neutralidad hacia el año 2050. En este caso, se propone que esta ambición se realice mediante un trabajo colaborativo entre los sectores público, academia e industria.
- Entre las definiciones presentadas en esta consultoría, se puede ver que existe una oportunidad en las edificaciones de consumo de energía neta cero, especialmente porque las herramientas existentes tienen los indicadores necesarios para medir el consumo de energía, siempre que se consideren las variables que se requiere fortalecer. En el caso de las edificaciones de carbono neto cero, se observa que el desafío es mayor, especialmente por la falta de bases de datos en los elementos y proceso de construcción. Para esto, se ve necesario adoptar el concepto de ciclo de vida como catalizador para fortalecer una visión global del impacto de cada etapa de la edificación.
- En el caso del vacío de información existente en intensidad de material y coeficiente de carbono, si bien hoy no se cuenta con datos precisos de una gama de materiales aceptable para realizar cuantificaciones que reflejen el escenario base en Chile, sí se puede decir que existen bases de datos internacionales que se podrán adoptar para iniciar el proceso de cuantificación y estimación de líneas base. Si bien este ejercicio no será preciso, permitirá contar con una línea base referencial carbono asociado a la construcción de edificaciones. En una primera etapa, se recomienda realizar un estudio cuantitativo de emisiones asociadas a distintas tipologías de edificaciones como son: edificios residenciales, educacionales, salud y comerciales. Esta cuantificación podrá ser adoptada como una línea de referencia base y ser alimentada con datos de mayor precisión.

- Junto con lo indicado anteriormente, es necesario fomentar el desarrollo de declaraciones ambientales de productos nacionales (o eco etiquetados tipo III) para nutrir el esquema de información en el sector construcción en Chile.

## 6. Bibliografía

- Agencia de Sostenibilidad Energética, s.f. *Guía para el uso eficiente de la energía para la familia y su entorno*. [En línea]  
Available at: <http://www.drto.cl/ACHEE/contenido/familia/guion0.html>
- Ariel Bobadilla, A. G. C. M. T., 2014. *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*, s.l.: CITEC UBB & DECON UC.
- Bustamante, 2009. *Guía de Diseño para la Eficiencia energética en la Vivienda Social*, s.l.: s.n.
- CDT, 2018. *Informe Final de Usos de la Energía de los Hogares en Chile*, s.l.: s.n.
- Diario Oficial de la Unión Europea, 2010. *DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO*, s.l.: s.n.
- EBP, 2018. *Manual de Desarrollo de Proyectos de Energía Distrital*, s.l.: s.n.
- Economía, M. d., 2018. *DFL 4/20018 FIJA TEXTO REFUNDIDO, COORDINADO Y SISTEMATIZADO DEL DECRETO CON FUERZA DE LEY Nº 1, DE MINERÍA, DE 1982, LEY GENERAL DE SERVICIOS ELÉCTRICOS, EN MATERIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. s.l.:s.n.
- Fomento, M. d., 2019. *Documento Básico HE Ahorro de energía*. s.l.:s.n.
- Fomento, M. d., 2019. *Documento Básico HE Ahorro de Energía*. s.l.:s.n.
- Green Building Council Australia, 2020. *Green Star Homes - Submission Guidelines Draft for Consultation*, s.l.: s.n.
- Haakana, M., 2016. *EPBD Implementation in Finland*, s.l.: s.n.
- Hans van Eck, 2016. *EPBD Implementation in The Netherlands*, s.l.: s.n.
- INN, I. N. d. N., 2021. *NCh3496/1:2021*. s.l.:s.n.
- Instituto de la Construcción, 2014. *Certificación Edificio Sustentable, Manual de Evaluación y Calificación*, s.l.: s.n.
- International Passive House Association, s.f. *Passive House Guidelines*. [En línea]  
Available at: [https://passivehouse-international.org/index.php?page\\_id=80](https://passivehouse-international.org/index.php?page_id=80)  
[Último acceso: 2021].
- ISO, 2018. *ISO 14067:2018(es) Gases de efecto invernadero - Huella de carbono de productos - Requisitos y directrices para cuantificación*. [En línea]  
Available at: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>
- Jorn Sterne, M. J. A. O. R. L. G., 2018. *State of the Art Analysis of Nearly Zero Energy Buildings*, Oslo: SINTEF Academic Press.
- LETI, 2020. *Climate Emergency Design Guide*, Londres: s.n.
- Minergie, s.f. *Minergie.ch*. [En línea]  
Available at: <https://www.minergie.ch/de/zertifizieren/minergie/?l>  
[Último acceso: 14 Marzo 2021].
- Minergie, s.f. *Mit Minergie-A zertifizieren*. [En línea]  
Available at: <https://www.minergie.ch/de/zertifizieren/minergie-a/>
- Ministerio de Obras Públicas, 2015. *Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética*, Santiago: s.n.
- Ministerio del Medio Ambiente, s.f. *MMA/Cambio Climático / Huella de Carbono*. [En línea]  
Available at: <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- MINVU, 2018. *Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile Tomo II Energía*. Santiago: s.n.
- MINVU, 2019. *Manual de Aplicación de la Certificación de Vivienda Sustentable*. s.l.:s.n.
- MINVU, 2019. *PROPUESTA DE MODIFICACIÓN OGUC, EN EL SENTIDO DE ACTUALIZAR SUS NORMAS TÉCNICAS REFERIDAS AL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO*, s.l.: s.n.

MITMA, 2020. *Conceptos básicos sobre la modificación del Código Técnico de la Edificación*, Ministerio de Transporte Movilidad y Agenda Urbana Gobierno de España: s.n.

Normalización, I. N. d., 2021. *NCh3496/1:2021*. s.l.:s.n.

RICS, 2017. *Whole life carbon assessment for the built environment*, s.l.: Royal Institution of Chartered Surveyors.

UBB, U. d. B. B., 2018. *Ábaco Chile - Acceso a bases ambientales y costos*, s.l.: s.n.

UK GBC, 2019. *Consultation on a Definition for Net Zero Carbon Buildings in the UK*, s.l.: s.n.

UNE-EN, 2012. *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo..* s.l.:s.n.

Wiche et al., P. R. B. G. D., 2020. *Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones: Resumen para Tomadores de Decisiones*, Santiago de Chile: Instituto de la Construcción.

Yuste, P. S., 2019. *Certificados Energéticos*. [En línea]  
 Available at: <https://www.certificadosenergeticos.com/como-calculas-nivel-carga-interna-cfi-edificio>  
 [Último acceso: 2021].

## A1 Anexo de aspectos técnicos referenciales em edificaciones de consumo de energía neta cero

A continuación, se presenta una propuesta de cómo abordar los aspectos técnicos que se deben integrar en una definición de edificios de consumo de energía neta cero. Es importante señalar que las definiciones técnicas presentadas a continuación son producto de una recopilación de variables que pueden ser más exigentes que la regulación actual, o que no están integradas, por lo que se hace necesario proponer una línea base por sobre la cual construir los requerimientos técnicos que se deben adoptar a futuro para habilitar una definición en el contexto chileno.

Tabla 5 Identificación de aspectos relevantes a considerar en edificios residenciales

| Zonificación térmica (Referencia CEV) |   |  |  |      |      |      |      |      |      |      | Descripción y normativa asociada a la definición |  |
|---------------------------------------|---|--|--|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
| Envolvente y diseño pasivo            | Valor de transmitancia de la envolvente | Elemento   | A  | B    | C    | D    | E    | F    | G    | H    | I  | En referencia a la propuesta de modificación de la reglamentación térmica de viviendas (MINVU, 2019) |
|                                       |   | Techumbre [W/m²K]  | 0,84   | 0,47 | 0,47 | 0,38 | 0,33 | 0,28 | 0,28 | 0,25 | 0,25   |  |
|                                       |   | Muros [W/m²K]  | 2,10   | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,60 | 0,45 | 0,4  | 0,3  | 0,35   |  |
|                                       |   | Pisos ventilados [W/m²K]   | 3,6  | 0,7  | 0,87 | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,39 | 0,32 | 0,32   |  |
|                                       |   | Puertas opacas [W/m²K]   | —  | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70   |  |
|                                       | Valor de resistencia térmica            | Aislación en sobre cimientos R100 [(m²K)/W]x100  | —  | 45   | 45   | 45   | 45   | 91   | 91   | 91   | 91   | valor de resistencia térmica R100 [(m2K)/W]x100  |
|                                       |   | Aislación en piso en contacto con terreno R100 [(m²K) /W] x 100  | —  | 243  | 115  | 167  | 167  | 200  | 256  | 313  | 313  | Este requerimiento no existe en la propuesta de norma<br><br>valor de resistencia térmica            |
|                                       |   | Valor de transmitancia de la envolvente vidriada [W/m²K]   | 3,6  | 3,6  | 3,6  | 3    | 3    | 2,4  | 2,4  | 2,4  | 2,4  | Referencia Certificación de Vivienda Sustentable (MINVU, 2019)                                       |
|                                       |   | Protección solar de ventanas   |  |      |      |      |      |      |      |      |  | Valor por definir  |
|                                       |   | Puentes térmicos   | Transmitancia térmica igual o menor a la requerida para evitar el riesgo de condensación superficial y formación de moho en la superficie interior del elemento. |      |      |      |      |      |      |      |  | NCh3136_1/2008   |
| Hermeticidad de la envolvente         |   | Test de infiltración por la envolvente n50 (1/h), con RAH iguales o menores a las indicadas en la Tabla 10 de requerimiento voluntario ARQ 6 Hermeticidad de la envolvente opción 2. Evaluación prescriptiva (Instituto de la Construcción 2014) |  |      |      |      |      |      |      |      |  |  |



|  |   |  |  |  |  |  |  |
|--|---|--|--|--|--|--|--|
|  | Control de condensación en elementos constructivos      |  | Evidenciar no existencia de riesgo de condensación de acuerdo con NCH 1973 |  |  |  | En referencia a la propuesta de modificación de la reglamentación térmica de viviendas (MINVU, 2019)   |
|  | Índice de horas sobre el rango de confort máximo (HD+). |  |  |  |  |  | Este índice se debe extraer de alguna referencia, dado que el presentado en la CVS abarca frío y calor |

|  |  |                |                       |  |                          |                           |  |   |
|--|--|----------------|-----------------------|--|--------------------------|---------------------------|--|---|
| Sistemas de generación de frío y calor y ventilación | Sistema de ventilación mecánica                          |                | Alternativa           | Exigencia  |                          |                           | En referencia a la propuesta de modificación de la reglamentación térmica de viviendas (MINVU, 2019)   |   |
|  |  |                | Alternativa 1         | Las edificaciones destinadas al uso residencial, educación y salud, deberán contar con un sistema de ventilación que garantice la calidad aceptable del aire interior de los recintos que la conforman, de acuerdo a los caudales mínimos indicados en las NCh 3308 y NCh 3309, según corresponda. |                          |                           |  |   |
|  |  |                | Alternativa 2         | Mediante Informe elaborado por un profesional competente, acreditando el cumplimiento de los caudales mínimos de aire indicando el cumplimiento de caudales mínimos de aire indicados en la NCh 3308 y NCh 3309, según corresponda   |                          |                           |  |   |
|  | Eficiencia sistema de recuperación de calor              |                | 75%                   |  |                          |                           | Referencia Passive House (International Passive House Association, s.f.)   |   |
|  | Aislamiento de cañerías de agua caliente [mm]            |                | Temperatura de fluido |  |                          |                           | De acuerdo con Tabla 2.19 del documento “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile, Tomo II Energía” (MINVU, 2018)<br><br>Se considera el valor máximo de aislamiento |   |
|  |  |                | >40...60              | >60...100  |                          | >100...180                |  |   |
|  |  |                | 45 mm                 | 50 mm  |                          | 60 mm                     |  |   |
|  |  |                |                       |  |                          |                           |  |   |
|  | Eficiencia de los sistemas de generación de frío y calor | Tipo de equipo | Categoría de tamaño   | Tipo de generación de calor  | Sub categoría            | Eficiencia mínima         |  | Fuente: Department of Energy, Minimum Efficiency Requirements for Heating and Cooling in Federal Acquisition Documents. |
|  |  |                |                       |  |                          |                           |  |   |
|  |  |                |                       |  | Sistema split            | 12,5 EER                  |  |   |
|  |  |                |                       |  | Sistema compacto         | 12,0 EER                  |  |   |
|  |  |                |                       |  | Sistema split y compacto | 11,8 EER; 3,4 COP a 8,5°C |  |   |
| 10,9 EER; 3,3 COP a 8,5°C                            |  |                |                       |  |                          |                           |  |   |
| 9,5 EER  |  |                |                       |  |                          |                           |  |   |

|  |  |   |                                  |                                |                                       |
|--|--|---|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
|  |  | Geotermia, bucle cerrado agua-aire      |                                  | 17,1 EER; 3,6 COP (monofásico) |                                       |
|  |  | Geotermia, bucle abierto agua-aire      |                                  | 21,1 EER; 4,1 COP (monofásico) |                                       |
|  |  | Geotérmica, bucle cerrado agua-agua     |                                  | 16,1 EER; 3,1 COP (monofásico) |                                       |
|  |  | Geotérmica, bucle abierto agua-agua     |                                  | 20,1 EER; 3,5 COP (monofásico) |                                       |
|  |  | Geotérmica, DGX                         |                                  | 16,0 EER; 3,6 COP (monofásico) |                                       |
|  |  |   |                                  |                                |                                       |
|  |  | Sistema co generación a nivel distrital | Rendimiento igual o mayor al 80% |                                | De acuerdo a Manual CVS (MINVU, 2019) |

|   |  |               |              |                     |              |  |
|---|--|---------------|--------------|---------------------|--------------|--|
| Nivel de consumo máximo de energía primaria | Consumo máximo de energía [kWh/m2 año] | Zonas A,B,C,D |              | Zonas E, F, G, H, I |              | Elaboración propia en base a Tabla 2.1 y 2.2 del documento “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile, Tomo II Energía” (MINVU, 2018) |
|   |  | Calefacción   | Enfriamiento | Calefacción         | Enfriamiento |  |
|   |  | 15            | 5            | 30                  | 0            |  |

| Generación de energía renovable | Aporte mínimo requerido de generación mediante energía renovable en sitio (fotovoltaica)          |                              | Zonas A,B,C,D  | Zonas E, F, G, H, I |  |
|---------------------------------|---|------------------------------|--|---------------------|--|
|                                 |   | Alternativa 1                | 50%  | 40%                 | Elaboración propia en base al aporte de energía renovable definida en Países Bajos (Hans van Eck, 2016)  |
|                                 |   | Alternativa 2                | Producción fotovoltaica equivalente a<br>Potencia [kW] mínima instalada<br>$P_{min}= 0,01 \cdot \text{Superficie construida del edificio [m}^2\text{]}$<br>Sin superar la siguiente expresión<br>Potencia limite<br>$P_{lim}= 0,05 \text{ Sc (Superficie construida de cubierta[m}^2\text{])}$ |                     | Cálculo de aporte de acuerdo a Código Técnico Español Sección 5 (Fomento, 2019)  |
|                                 | Aporte mínimo de energía solar térmica para edificios con demanda de ACS, climatización o piscina | Demanda total edificio (l/d) | Porcentaje de aporte solar en agua caliente sanitaria  |                     | En este caso se presenta la opción media extraída del CTE de España (Fomento, 2019). El requerimiento es variable de acuerdo a zona climática. Para este caso se presenta la opción media. |
|                                 |   | 50 – 5.000                   | 50%  |                     |  |
|                                 |   | 5.000 – 6.000                | 55%  |                     |  |
|                                 |   | 6.000 – 7.000                | 61%  |                     |  |

|  |  |               |     |  |
|--|--|---------------|-----|--|
|  |  | 7.000 – 8.000 | 63% |  |
|  |  | 8.000 – 9.000 | 65% |  |
|  |  | >9.000        | 70% |  |

Tabla 6 Propuesta general de requerimientos técnicos para edificios de uso público, comerciales y oficinas de consumo de energía neta cero

|                            |   |   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|----------------------------|---|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Envolvente y diseño pasivo | Valor de transmitancia de la envolvente | Elemento  | NL  | ND   | NVT  | CL   | CI   | SL   | SI   | SE   | An   | En referencia al requerimiento voluntario ARQ 5 Demanda de energía opción 2. Evaluación prescriptiva (Instituto de la Construcción, 2014) La versión 1.1 de la certificación CES está próxima a ser lanzada al momento de redacción de este informe. |
|                            |   | Techumbre [W/m²K]   | 0,40  | 0,25 | 0,40 | 0,35 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,15 | 0,15 |  |
|                            |   | Muros [W/m²K]   | 2,10  | 0,80 | 0,90 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,30 | 0,50 |  |
|                            |   | Pisos ventilados [W/m²K]  | 0,40  | 0,25 | 0,40 | 0,35 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,15 | 0,15 | Este requerimiento no existe en la propuesta de norma valor de resistencia térmica residencial. (MINVU, 2018)  |
|                            |   | Puertas opacas [W/m²K]  | –   | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 |  |
|                            |   | Aislación en piso en contacto con terreno R100 [(m²K) /W] x 100 | –   | 243  | 115  | 167  | 167  | 200  | 256  | 313  | 313  | Este requerimiento no existe en la propuesta de norma valor de resistencia térmica residencial. Solo aplica a recintos en acondicionados en contacto con terreno   |
|                            |   | Valor de transmitancia de la envolvente vidriada [W/m²K]        | 3,6   | 2,8  | 2,8  | 2,8  | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,2  | 1,6  | Referencia Certificación de Vivienda Sustentable (MINVU, 2019)   |
|                            | Factor solar modificado                 | N / NE / NO   | 0,5   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,7  | 0,7  | –    | –    | En referencia al requerimiento voluntario ARQ 5 Demanda de energía opción 2. Evaluación prescriptiva (Instituto de la Construcción, 2014)  |
|                            |   | E / O   | 0,4   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,6  | 0,6  | –    | –    |  |
|                            | Hermeticidad de la envolvente           |   | Test de infiltración por la envolvente n50 (1/h), con RAH iguales o menores a las indicadas en la Tabla 10 de requerimiento voluntario ARQ 6 Hermeticidad de la envolvente opción 2. Evaluación prescriptiva (Instituto de la Construcción, 2014) |      |      |      |      |      |      |      |      | Acreditación mediante ensayo   |

|  |   |  |                                   |                    |             |                  |        |   |
|--|---|--|-----------------------------------|--------------------|-------------|------------------|--------|---|
|  | Eficiencia mínima de sistemas unitarios o partidos de aire acondicionado y bomba de calor | Tipo de distribución                             | Potencia (en modo refrigeración ) | Modo refrigeración |             | Mofo calefacción |        | Los requerimientos de este punto se extraen del requerimiento voluntario Inst. Energía 16.2 Climatización y ACS. De sufrir una modificación   |
|  |   | Aire   | <40                               | ≥3.1               |             | ≥3.3 (a 8°Cbs)   |        |   |
|  |   |  | ≥40kW y <70kW                     | ≥3.0               |             | ≥3.2 (a 8°Cbs)   |        |   |
|  |   |  | >70kW                             | ≥2.7               |             | ≥3.1 (a 8°Cbs)   |        |   |
|  |   | Agua o evaporación                               | <40                               | ≥3.3               |             | ≥4.2 (a 8°Cbs)   |        |   |
|  |   |  | ≥40kW y <70kW                     | ≥3.1               |             | ≥3.2 (a 8°Cbs)   |        |   |
|  |   |  | >70kW                             | ≥2.6               |             | ≥3.1 (a 8°Cbs)   |        |   |
|  |   |  |                                   |                    |             |                  |        |   |
|  | Sistema de recuperación de calor  | Se debe incluir con una eficiencia mínima de 45% |                                   |                    |             |                  |        | Como referencia se considera el requerimiento de recuperadores de calor de la norma de construcción de Finlandia (Haakana, 2016).   |
|  |   |  |                                   |                    |             |                  |        |   |
|  | Máximo nivel de consumo de energía primaria total [kWh/m² año]                            |  | Ejemplo carga interna             | NL , ND            | NVT, CL, CI | SL, SI           | SE, An | La subdivisión de climas se propone de acuerdo con el requerimiento ARQ Energía 5 de la versión 1 de CES (Instituto de la Construcción, 2014).<br><br>El nivel de consumo de energía primaria renovable viene de la combinación y adaptación propia del reglamento de construcción de España, Documento Básico HE Ahorro de Energía (Fomento, 2019)<br><br>La estimación de cargas internas se extrae del ejemplo presentado en la página web “Certificados Energéticos” (Yuste, 2019). |
|  | Opción 1 (de acuerdo con adaptación de Código Técnico de España)                          | Carga interna baja (ej: educación)               | < 6 W/m²:                         | 209                | 194         | 184              | 174    |   |
|  | Usos finales considerador<br>- Calefacción<br>- Refrigeración<br>- Ventilación}           | Carga interna media (ej: comercio, oficinas)     | 6 W/m² < CFI < 9 W/m²             | 236                | 221         | 211              | 201    |   |
|  | - Control de humedad<br>- ACS<br>- Iluminación  | Carga interna alta (ej: salud)                   | > 9 W/m² ²                        | 263                | 258         | 238              | 228    |   |
|  |   |  |                                   |                    |             |                  |        |   |

|  | Opción 2 directa de acuerdo a nivel exigente (Minergie, s.f.)<br><br>- Calefacción<br>- Refrigeración<br>- Ventilación}<br>- Control de humedad<br>- ACS<br>- Iluminación | Tipo de edificación | Límite de consumo de energía primaria en edificios nuevos | Referencia directa desde el esquema de certificación Minergie (Minergie, s.f.). |
|--|---|---------------------|---|---|
|  |   | Comercio            | 85  |   |
|  |   | Restaurant          | 70  |   |
|  |   | Asamblea            | 60  |   |
|  |   | Salud               | 100   |   |
|  |   | Educación           | 45  |   |

|  |   |   |   |  |
|--|---|---|---|--|
|  |   | Alternativa 1                               | 50%   | De acuerdo a la referencia de la estrategia de Países Bajos para la implementación de la EPDB (Hans van Eck, 2016) |
|  | Mínimo aporte de energía renovable<br>Alternativa 1 en base a superficie del edificio | Alternativa 2                               | Producción fotovoltaica equivalente a<br>Potencia [kW] mínima instalada<br>$P_{min}= 0,01 \cdot \text{Superficie construida del edificio [m}^2\text{]}$<br>Sin superar la siguiente expresión<br>Potencia limite<br>$P_{lim}= 0,05 \cdot S_c \text{ (Superficie construida de cubierta[m}^2\text{])}$ | Cálculo de aporte de acuerdo a Código Técnico Español Sección 5 (Fomento, 2019)                                    |
|  | Monitoreo de energía  | Requerido para edificaciones sobre 2.000 m² |   | Referencia estándar de certificación Minergie (Minergie, s.f.)   |

## A2 Anexo resultado encuesta sobre una definición de edificaciones de consumo de energía neta cero y carbono neto cero para el sector edificación

Como un ejercicio de calibración acotado y preliminar, respecto a las definiciones de edificios de consumo de energía neta cero y de carbono neto cero desarrolladas por el equipo de trabajo, se efectuó una encuesta orientada a conocer la opinión de expertos, representantes de distintas áreas del sector, sobre líneas claves y determinantes de la definición, que permitiese refinar los principios del marco.

La encuesta fue efectuada entre los días 19 y 21 de abril y fue dirigida a 23 expertos, obteniéndose resultados desde los siguientes:

| Persona                | Organización         | Correo   |
|------------------------|----------------------|--|
| María Fernanda Aguirre | Chile GBC            | <a href="mailto:mfaguirre@chilegbc.cl">mfaguirre@chilegbc.cl</a>                 |
| Gabriela Sabadini      | Chile GBC            | <a href="mailto:gsabadini.chilegbc@gmail.com">gsabadini.chilegbc@gmail.com</a>   |
| Sofía del Pero         | Echeverría Izquierdo | <a href="mailto:sdelpero@ei.cl">sdelpero@ei.cl</a>                               |
| Patricia Martínez      | UV                   | <a href="mailto:patricia.martinez@uv.cl">patricia.martinez@uv.cl</a>             |
| David Cabieles         | ASE                  | <a href="mailto:dcabieles@agenciase.org">dcabieles@agenciase.org</a>             |
| Bárbara Rodríguez      | Minergia             | <a href="mailto:brodriguez@minenergia.cl">brodriguez@minenergia.cl</a>           |
| Hermes Sepúlveda       | Minvu                | <a href="mailto:hesepulveda@minvu.cl">hesepulveda@minvu.cl</a>                   |
| Hernan Madrid          | IC                   | <a href="mailto:hmadrid@iconstruccion.cl">hmadrid@iconstruccion.cl</a>           |
| Paola Valencia         | Minvu                | <a href="mailto:pvalenciam@minvu.cl">pvalenciam@minvu.cl</a>                     |
| Daniel Menares         | Minergia             | <a href="mailto:dmenares@minenergia.cl">dmenares@minenergia.cl</a>               |
| Nicolas Schulz         | STO                  | <a href="mailto:nschultz@stocorp.com">nschultz@stocorp.com</a>                   |
| Matias Yachan          | Consultora E3        | <a href="mailto:matias.yachan@e3ingenieria.cl">matias.yachan@e3ingenieria.cl</a> |

A continuación se manifiestan los resultados obtenidos en cada pregunta:

### PREGUNTA 1

**¿Está de acuerdo con la definición propuesta para edificaciones de consumo de energía neta cero?**

|    |   |
|----|---|
| Sí | 7 |
| No | 4 |

Justificación respuesta negativa:

- Pienso que debiera ser en su ciclo de vida
- Al usar energía primaria, que incluye el efecto de pérdidas por la red de distribución, me parece que nos es consistente con el uso de energía renovable en sitio o cercana.
- Está de más establecer que es neto cero energía por su diseño pasivo y/o alto rendimiento energético de sus sistemas ya que no necesariamente es gracias a eso, ni que su consumo de energía es nulo, ya que no es preciso porque si consumen energía. Mi definición sería

*"Edificio donde la energía neta anual consumida es cubierta por fuentes de generación de energía renovable in situ o fuera de este".*

- Esta propuesta no incluye carbono incorporado. La definición oficial de "carbono neto cero" debe incluir la reducción del carbono operacional y carbono incorporado explícitamente. lo que se describe es perfecto para edificación de energía cero neta.
- Edificación que tiene un balance de energía anual cero.
- Es necesario precisar la definición de fuentes "cercanas al sitio".

## PREGUNTA 2

**La definición cuenta con una jerarquía de niveles que incluyen, el diseño pasivo, sistemas térmicos, producción de energía renovable dentro o cercano al sitio. Entendiendo que existen edificaciones de alta complejidad (ej. Hospitales) ¿Está de acuerdo con incorporar dentro de ésta jerarquía el concepto de compensaciones?**

|    |   |
|----|---|
| Sí | 9 |
| No | 2 |

Justificación respuesta negativa:

- Las compensaciones hacen referencia a la definición de edificio neto cero carbono, no energía. Se sugiere ver las definiciones del Advancing Net Zero del WorldGBC.
- En general, el concepto de "compensaciones" lo encuentro riesgoso, por poder usarse para declarar "net zero" cualquier solución que no considere un fuerte esfuerzo por mejorar su desempeño energético y de emisiones. En caso de usar el concepto, sugiere que se limite su alcance.
- No se entiende el concepto de Compensaciones.

Sugerencias:

- Acotar su uso a casos muy puntuales
- Respondí sí, pero las compensaciones no solo deben ser en ciertos casos sino promovidas en todo tipo de edificaciones y siempre de fuentes certificadas y transadas a través de empresas u organismos competentes verificados y validados.

## PREGUNTA 3

**Los edificios de carbono neto cero y de consumo de energía neta cero deberán transparentar su impacto a través de sus emisiones carbono o consumo a través de un certificado emitido por una autoridad competente. ¿Está de acuerdo con que sean los siguientes indicadores los que se incorporen en el certificado energético de la edificación?**

|    |   |
|----|---|
| Sí | 7 |
| No | 4 |

Justificación respuesta negativa:

- Creo que debería hablarse del CO2 equivalente y no directamente emisiones
- Falta, dependiendo de la definición (cero carbono o energía), los indicadores de energía renovable generada y el balance, así como las compensaciones cuando el caso lo amerite, y su respectivo balance.
- No queda claro si se habla solo de la etapa operacional o también incluye energía y carbono incorporado. Muchos tipos de edificaciones tienen su mayor porcentaje de carga de carbono en la etapa de diseño y construcción que en la de operación. Ahora, esta autoridad



competente debería ser una nueva secretaría interministerial, es decir, que no solo dependa de los ministerios de energía o de MMA. Y de todas formas avanzar a incluir carbono social para edificación pública y proyectos de alta complejidad e impacto urbano y social.

- Energía Primaria y Emisiones de CO<sub>2</sub> debería estar descrito tanto para carbono incorporado como carbono operacional. En total el certificado debería incluir 4 indicadores.

Sugerencias:

- pero por favor dejar claro que es energía primaria y secundaria residencial y con ejemplos
- Adicionalmente, en segundo orden, el valor total anual (no por unidad de superficie)

**PREGUNTA 4 Los casos internacionales de definición de edificaciones de consumo de energía neta cero abarcan en general los siguientes usos finales de energía.**

|    |   |
|----|---|
| Sí | 8 |
| No | 3 |

Justificación respuesta negativa:

- Falta incluir "otros equipos". Por algo certificaciones internacionales como Energy Star incluyen equipos y sistemas asociados a energía de procesos, mismo ítem que se evalúa en simulaciones de energía de acuerdo a ASHRAE 90.1 y que en ciertos proyectos es hasta de un 25%. Ejemplo Data Center.
- están bien las categorías indicadas, pero debemos agregar una categoría para cargas adicionales o "plug in". Un problema que explica la brecha de desempeño energético (diferencia entre lo simulado y la demanda) en la mayoría de los edificios.
- Para términos operacionales me parece bien. Sin embargo falta acotar que la estrategia o el programa que se está diseñando es solo para consumos y emisiones operacionales, descartando energía y carbono contenido.

–

**PREGUNTA 5 En países que han avanzado en definiciones aplicadas de edificios de consumo de energía neta cero, se requiere demostrar el cumplimiento del consumo de energía neta cero durante el proceso de tramitación de una obra de edificación. ¿Está de acuerdo con que este requerimiento se integre en nuestra regulación como parte del proceso de tramitación?**

|    |    |
|----|----|
| Sí | 10 |
| No | 1  |

Justificación respuesta negativa:

- Creo que debe existir un beneficio a los proyectos que lo tengan, sin embargo aún es un proceso muy complejo como para integrarlo directamente en el proceso de tramitación

Sugerencias:

- Pero en el largo plazo, primero debe funcionar regularmente la calificación energética obligatoria.
- Siempre y cuando se diversifiquen alternativas como por ejemplo sistemas de certificación y no cerrarse solo a "productos ministeriales" como pasa con la Ley de Eficiencia Energética y la CEV.

**PREGUNTA 6 ¿Está de acuerdo con la definición propuesta para edificaciones de carbono neto cero?**

|    |   |
|----|---|
| Sí | 6 |
| No | 5 |

Justificación respuesta negativa:

Creo que falta integrar la calidad de vida de las personas que habitan este tipo de edificación. Hacer referencia a la definición del ANZ, ya que falta el cómo neutraliza [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/ANZ%20Status%20Report%202020\\_PUBLICATION.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/ANZ%20Status%20Report%202020_PUBLICATION.pdf)

Es bueno incluir lo del ciclo de vida, pero aquí les recomiendo complementar con lo que indica el WRI y es que la energía que se provea al edificio ya sea on-site u off-site sea de fuentes renovables libres o bajas en carbono. Se los comento porque así como se lee, implicaría que compensar es suficiente para neutralizar y se desmarca del tema energético.

Considerando esta definición se debería incluir energía y carbono contenido, tal como se indicó en respuestas anteriores.

Edificios que durante las etapas de construcción mitigan parcialmente sus emisiones, y durante las etapas de operación logran neutralizar sus emisiones de carbono incorporado y operacional.

**PREGUNTA 7 Las edificaciones de carbono neto cero deberán medir y reportar la huella de carbono asociada al proceso completo de la construcción de una obra. Esta cuantificación deberá ser realizada por la empresa constructora y será reportada para la base de datos general del sector. ¿Está de acuerdo con la afirmación anterior?**

|    |   |
|----|---|
| Sí | 5 |
| No | 6 |

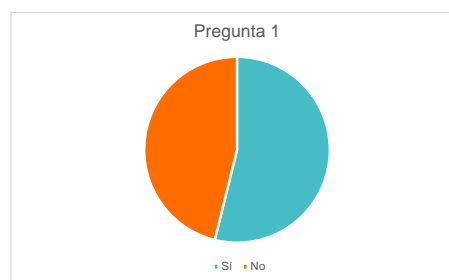
Justificación respuesta negativa:

- Es importante generar los caminos para que esto sea real, y eso depende en gran parte de los proveedores. Además, hay que considerar el costo adicional que esto implicaría en un rubro que se encuentra altamente presionado por la baja productividad, aumento del costo de la mano de obra y baja industrialización
- Debería poder diferenciarse, por las características propias de los materiales y procesos, con los valores reales del proyecto y no solo un valor general. El valor general debe servir de referencia y para los casos en que no se aborde en detalle por el equipo de diseño y construcción.
- Las constructoras no cuentan con las capacidades de hacerlo, se sugiere establecer que la constructora debe contratar un profesional o empresa con las competencias para hacerlo.
- La cuantificación deberá ser realizada por una empresa externa independiente y que se encuentre en registros gestionados por una entidad interministerial (por ejemplo el Comité de Huella de Carbono).
- Me preocupa que sea una barrera de entrada demasiado grande. Quizás los proveedores podrían aportar en dicho tema.
- Los procesos de medición, reporte y verificación deben ser entregados por la empresa constructora por medio de una metodología o protocolo definido por un ente externo. Similar a la metodología CAPE que ofrece la Agencia de Sostenibilidad Energética.

## CONCLUSIONES

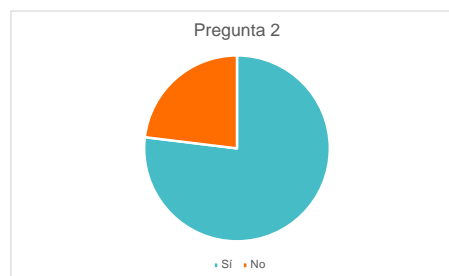
### **Pregunta 1 – Sobre la validación de la definición de “Edificio de consumo de energía neta cero”**

Se considera que la definición no es precisa, pues se establece que el edificio es de consumo de energía neta cero por su diseño pasivo y/o alto rendimiento energético de sus sistemas. Se propone la siguiente definición: *"Edificio donde la energía neta anual consumida es cubierta por fuentes de generación de energía renovable in situ o fuera de este"*.



### **Pregunta 2 – Sobre la aplicabilidad de compensaciones en la definición**

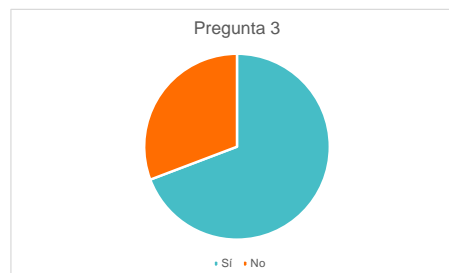
Las compensaciones hacen referencia a la definición de edificio de consumo de energía neta cero y carbono neto cero. Se sugiere ver las definiciones del Advancing Net Zero del WorldGBC. Junto a esto se sugiere acotar su uso a casos muy puntuales, para todo tipo de edificaciones y desde fuentes certificadas y transadas a través de empresas u organismos competentes verificados y validados.



### **Pregunta 3 – Sobre los indicadores principales asociados al Certificado Energético**

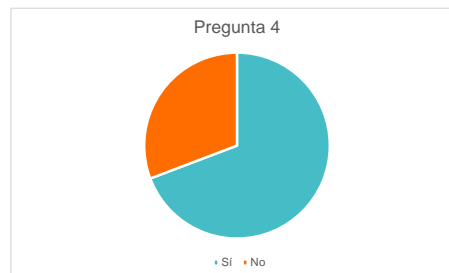
Se plantea corregir a emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente y considerar según definición (cero carbono o energía), los indicadores de energía renovable generada y el balance, así como las compensaciones cuando el caso lo amerite, y su respectivo balance.

Junto a lo anterior, aclarar si a nivel de indicadores, se aborda sólo la etapa operacional, o también se debiese considerar el carbono incorporado.



### **Pregunta 4 – Sobre los usos finales de la energía**

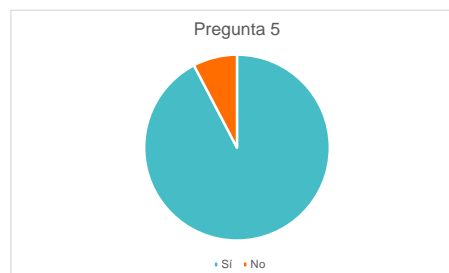
Se propone considerar "otros equipos". Certificaciones internacionales como Energy Star incluyen equipos y sistemas asociados a energía de procesos, mismo ítem que se evalúa en simulaciones de energía de acuerdo a ASHRAE 90.1 y que en ciertos proyectos es hasta de un 25%. Ejemplo Data Center. En este contexto, se manifiesta también que el tipo de equipos "plug in", debe ser declarado, pues explica la brecha de desempeño energético



(diferencia entre lo simulado y la demanda) en la mayoría de los edificios.

**Pregunta 5 - Sobre la integración de la definición en la regulación como parte del proceso de tramitación del proyecto**

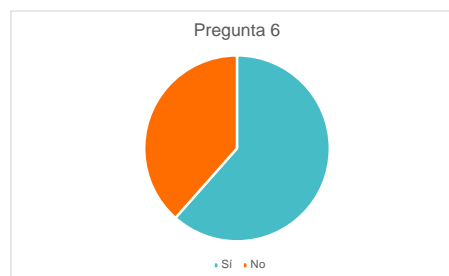
En términos generales se plantea como válido, pero a largo plazo, una vez que funcione regularmente la calificación energética en el caso de viviendas y en la medida que se diversifiquen alternativas como por ejemplo sistemas de certificación.



**Pregunta 6 – Sobre la validación de la definición “Edificio de Carbono Neto Cero”**

Se recomienda complementar con lo que indica el WRI y es que la energía que se provea al edificio ya sea on-site u off-site sea de fuentes renovables libres o bajas en carbono. Junto con revisar la definición para que no se infiera que compensar es suficiente para neutralizar.

Adicionalmente, se indica que debiese integrarse en la definición la energía y carbono contenido.



**Pregunta 7 – Sobre la medición y reportabilidad de la huella de carbono asociada al proceso completo de la construcción de una obra**

Se considera relevante, sin embargo dado el contexto actual del sector (baja productividad, aumento del costo de la mano de obra y baja industrialización), se considera necesario habilitar un esquema para que la medición y reportabilidad sea viable. En este sentido, se releva el rol de los proveedores en términos de la información y que la cuantificación debe ser realizada por una empresa externa independiente mediante protocolo definido.

