



Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones

RESUMEN PARA TOMADORES DE
DECISIONES

Sobre este informe

Autores: Pia Wiche Latorre (EcoEd), Bárbara Rodríguez Droguett (Universidad de Chile) y Danilo Bianchi Granato (EcoEd).

Revisores:

Evelyne Medel, Ministerio de Obras Públicas

Paola Valencia Marticorena, Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Este informe fue producido en el marco de la licitación “Estado del arte nacional e internacional de alternativas metodológicas para levantamiento de datos, monitoreo, reporte y verificación y calculadoras de Huella de Carbono” y fue publicado en marzo de 2020.

El Resumen para Tomadores de Decisiones se basa en los siguientes tres informes técnicos:

1. Alternativas Metodológicas para Levantamiento de Datos de Huella de Carbono
2. Alternativas Metodológicas para Monitoreo, Reporte y Verificación de Huella de Carbono
3. Alternativas Metodológicas de Calculadoras de Huella de Carbono

Cómo citar este archivo:

Wiche, P., Rodríguez, B., Granato, D. Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones: Resumen para Tomadores de Decisiones. Publicado por Instituto de la Construcción, 2020. Santiago, Chile.

Notas sobre derechos de autor y marca registrada:

LEED®, IPMVP®, BREEAM® son marcas registradas y de propiedad de sus respectivos dueños.

La foto de portada es de autoría de Pia Wiche. Varsovia, Polonia.

Los trabajos citados son de propiedad de sus autores.

Contenidos

Índice de Tablas.....	iii
Índice de Figuras.....	iii
Índice de Cuadros.....	iii
Glosario.....	iv
1 La construcción es un contribuyente importante al cambio climático.....	1
2 Fuentes de carbono en el ciclo de vida de la construcción.....	4
2.1 Metodologías para determinar la huella de carbono en el ciclo de vida completo de la construcción.....	6
3 Calculadoras de huella de carbono en la construcción.....	7
4 Los desafíos para la implementación de una metodología, sistema de MRV y calculadora de huella de carbono para el ciclo de vida de la edificación en Chile.....	10
4.1 Un sistema de medición, reporte y verificación (MRV) que facilite el cálculo de la huella de carbono en la industria.....	10
4.2 Definir un modelo de gestión sostenible para el sistema de MRV.....	10
4.3 Una transformación más rápida del sector hacia la construcción baja en carbono, impulsada por las asociaciones.....	11
4.4 Establecer incentivos transversales que aceleren la medición de la huella de carbono en todo el ciclo de vida de las edificaciones.....	11
4.5 Hacer más transparente el proceso de medición de la huella de carbono.....	12
4.6 Estandarizar códigos y prácticas para aumentar la comparabilidad de los resultados..	12
4.7 Crear herramientas de uso masivo que faciliten la medición de la huella de carbono en todo el ciclo de vida de la edificación.....	13
4.8 Generar más datos de huella de carbono y conectar los resultados de todo el ciclo de vida de las edificaciones.....	14
Referencias.....	16

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación de alcance entre estándares ISO 21930 y EN 15804.	6
Tabla 2. Herramientas revisadas en este informe, por aplicación, tipo y procedencia.....	7

Índice de Figuras

Figura 1. Proporción de la Demanda Energética en Chile 2018, separado por usuario. (Elaboración propia a partir de Balance Energético Nacional 2018 [8]).	1
Figura 2. Esquema del Sistema MRV para la industria del cemento en Sudáfrica [19].	3
Figura 3. Etapas del ciclo de vida de la construcción. Reproducción de gráfico en ISO 21930.	4
Figura 4: Relación entre los principales estándares internacionales para la cuantificación de impactos ambientales de la edificación.	6
Figura 5. Ejemplos de fuentes de datos usados en calculadoras, agrupados por su calidad.	8
Figura 6. Distintos tipos de análisis realizados por la Calculadora Tally según el estadio de desarrollo del proyecto y documentación disponible en cada etapa [21].	13

Índice de Cuadros

Cuadro 1. ¿Qué es <i>carbono</i> ?.....	5
Cuadro 1. Variaciones en la denominación de variables críticas	12

Glosario

Término	: Definición
<i>Absorción de GEI</i>	: Las fuentes de absorción son principalmente producto de renovales de bosque nativo, regeneración del bosque nativo manejado y plantaciones forestales, mayoritariamente exóticas [1].
<i>Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (por sus siglas en inglés NAMA)</i>	: son mecanismos emergentes de mercado que permiten a las economías en desarrollo alinear el desarrollo sustentable con las prioridades económicas nacionales [2].
<i>Análisis de incertidumbre</i>	: Procedimiento sistemático para cuantificar la incertidumbre introducida en los resultados de un análisis de inventario de ciclo de vida debido a los efectos acumulativos de la imprecisión del modelo, de la incertidumbre de las entradas y de la variabilidad de los datos (ISO 14025: 2006).
<i>Aseveración comparativa</i>	: Declaración ambiental en relación con la superioridad o la equivalencia de un producto con respecto a un producto competidor que realiza la misma función (ISO 14064:2006).
<i>Categoría de producto</i>	: Grupo de productos que pueden cumplir funciones equivalentes (ISO 14025: 2006).
<i>Competencia</i>	: Atributos personales y aptitud demostrada para aplicar conocimientos y habilidades (ISO 14025: 2006).
<i>Contribución Nacionalmente Determinada (NDC)</i>	: Contribuciones Nacionalmente Determinadas son planos nacionales, incluyendo metas, políticas y medidas que el gobierno busca implementar en respuesta al cambio climático y en contribución a la acción climática (CMNUCC).
<i>Declaración ambiental</i>	: Postulado que indica los aspectos ambientales de cualquier bien(es) o servicio(s) (NCh3419:2017).
<i>Declaración ambiental tipo III; declaración ambiental de producto, DAP</i>	: Declaración ambiental que proporciona datos ambientales cuantificados utilizando parámetros predeterminados y, cuando corresponda, información ambiental adicional (NCh3423:2017).
<i>Energía primaria</i>	: Es la energía que se encuentra en la naturaleza antes de ser sometida a procesos de transformación. Esta se encuentra en el carbón, el petróleo, el gas natural, la radiación solar, el agua embalsada o en movimiento, las mareas, el viento, el uranio, calor almacenado en la tierra (geotermia), etc. (Aprendo con Energía, 2020).
<i>Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)</i>	: Masa total de un GEI liberado a la atmósfera en un periodo determinado (ISO 14064:2006).

Término	: Definición
<i>Measuring, Reporting and Verification (MRV)</i>	: Término usado para describir todas las medidas que los Estados adoptan para recoger datos sobre las emisiones, las acciones de mitigación y de apoyo, para compilar esta información en los informes e inventarios, y que son posteriormente sometidos a algún tipo de revisión o análisis internacional (MMA, 2015).
<i>Medición y Verificación (M&V)</i>	: Proceso de planear, medir, recolectar y analizar datos para el propósito de verificar y reportar ahorros de energía resultantes de la implementación de medidas de mejora de la eficiencia energética (MMEEs) en una instalación individual (EVO, 2017).
<i>Parte interesada</i>	: Persona u organismo interesado o afectado por el desarrollo y utilización de una declaración ambiental tipo III (UNE-EN ISO 14025).
<i>Producto:</i>	: Cualquier bien o servicio (UNE-EN ISO 14025).
<i>Reglas de categoría de producto, RCP</i>	: Conjunto de reglas, requisitos y guías específicas para el desarrollo de las declaraciones ambientales tipo III para una o más categorías de producto (NCh3423:2017).
<i>Verificación</i>	: Proceso sistemático, independiente y documentado para la evaluación de una declaración (ISO 14064:2006).

1 La construcción es un contribuyente importante al cambio climático

En el marco del Acuerdo de París, Chile se ha comprometido a alcanzar la carbono neutralidad al año 2050 y llegar a un pico de emisiones de gases de efecto invernadero el año 2027 [3].

Para alcanzar la carbono neutralidad a 2050 se considera que una de las estrategias más costo-efectivas es descarbonizar el sector de la edificación [4], porque:

- Las ciudades ocupan solo el 3% de la superficie del planeta, pero representan el 75% de las emisiones de carbono y consumen entre el 60 y 80% de la energía [5].
- Se estima que el 36% del uso de energía primaria en el mundo y casi el 40% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) estuvieron asociadas al sector edificación durante el 2018 [6]. De estas emisiones un 28% proviene de la operación del edificio y un 11% de sólo tres productos de construcción: cemento, acero y aluminio [7]. En Chile, el 22% de la energía total consumida se utiliza en la operación de edificaciones [8] (ver Figura 1).

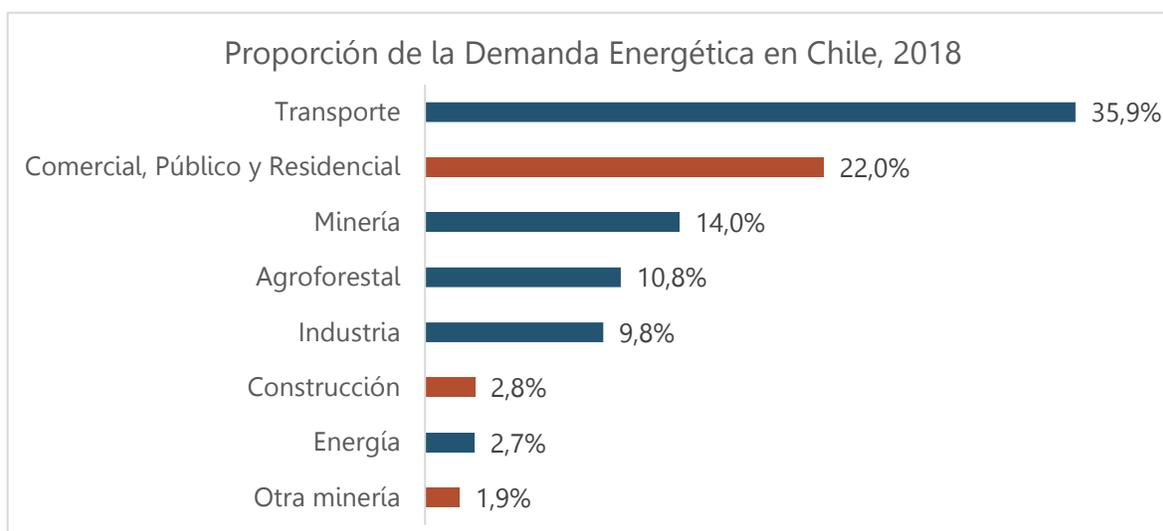


Figura 1. Proporción de la Demanda Energética en Chile 2018, separado por usuario. (Elaboración propia a partir de Balance Energético Nacional 2018 [8]).

La necesidad de medir la huella de carbono para gestionarla es clara. Lo que no es tan claro es cómo realizarlo, especialmente considerando que existen múltiples actores que están interesados en información sobre la huella de carbono de las edificaciones, como:

- **Usuarios sectoriales:** como Ministerios o la Academia, necesitan información para definir políticas públicas o realizar estudios técnicos. Por ejemplo, el Ministerio de Medio Ambiente, para el cálculo del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero o la definición de Contribuciones Determinadas Nacionalmente (NDC);
- **Industria de la construcción:** requiere información de huella de carbono para alcanzar certificaciones, diferenciarse en el mercado inmobiliario o acceder a financiamiento;

- **Industria de los productos de construcción:** que necesitan información para diferenciarse en el mercado y mejorar sus procesos productivos.

Alrededor del mundo hay múltiples programas, sistemas de certificación de edificaciones e iniciativas que fomentan la medición del carbono de materiales de construcción o de edificaciones para públicos específicos. Por ejemplo, la organización WorldSteel genera metodologías y recolecta datos para la medición de la huella de carbono del acero [9], mientras que certificaciones como LEED incluyen la huella de carbono de una edificación a lo largo de todo su ciclo de vida dentro de sus múltiples créditos [10]. Cada programa funciona de forma independiente y con metodologías diferentes puesto que una consiste en la medición de huella para un producto de construcción mientras que la otra considera una edificación completa.

Para responder a los compromisos nacionales se requiere definir una metodología común para el sector, así como calculadoras de huella de carbono que sean amigables con los usuarios y faciliten el proceso de reporte. Estos resultados deben pasar por un proceso de control de calidad, o verificación, que asegure la exactitud del reporte, de forma que los múltiples usuarios de la información puedan trabajar con ella.

Los sistemas de medición, reporte y verificación (MRV) surgieron al alero de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) para asegurar la calidad de los datos reportados. Este aseguramiento de la calidad aumenta la confianza de los usuarios en el sistema. Además, la alta calidad de los datos puede ser usada para múltiples usos, como la definición de políticas públicas, comparación entre proyectos, decisiones de financiamiento, entre otras.

Un sistema de MRV involucra múltiples actores, no solo para recolectar información, sino para que ellos tengan beneficios.

Un ejemplo de tal sistema se ve en la Figura 2, donde se grafican las interacciones entre los diversos participantes del sistema MRV para el cemento en Sudáfrica. Los productores de cemento levantan información y calculan su huella de carbono para diferenciarse en el mercado, el gremio ofrece información de utilidad pública manteniendo la privacidad de sus socios y el gobierno obtiene información para alimentar políticas públicas y reportes internacionales.

Los MRV se utilizan comúnmente en mercados del carbono, como los mercados de transacción de derechos de emisión en Europa (EU-ETS) y California (CARB); los Mecanismos de Desarrollo Limpio de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (MDL-CMNUCC); o las Acciones de Mitigación Apropriadas para la Nación (NAMA).

La instalación de un sistema de MRV completo para el carbono de la construcción constituye una gran innovación en el sector, por cuanto hasta el momento prevalecen los sistemas de Medición y Verificación (M&V) para energía, como IPMVP.

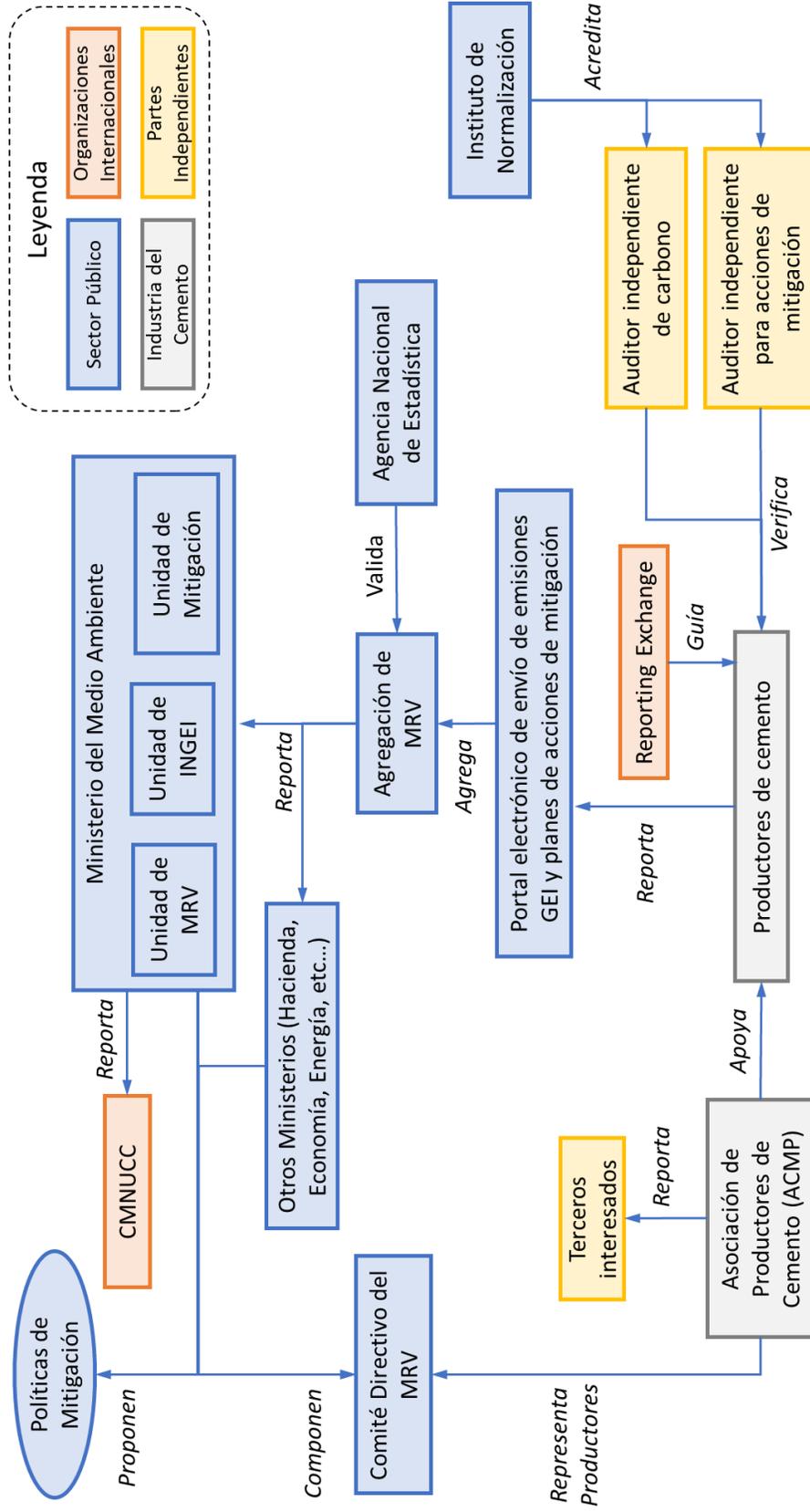


Figura 2. Esquema del Sistema MRV para la industria del cemento en Sudáfrica [19].

2 Fuentes de carbono en el ciclo de vida de la construcción

El *ciclo de vida* de un producto es el conjunto de etapas consecutivas e interconectadas que comienzan con la extracción de las materias primas para producirlo y terminan en el fin de vida útil del producto [11]. Para una edificación, el ciclo de vida empieza con la extracción de árido y otros recursos no renovables, y finaliza con la demolición de la obra y el desecho de los residuos. Los estándares ISO 21930 y EN 15978 estandarizan las etapas del ciclo de vida de la construcción y sus actividades [12], [13], como se muestra en la Figura 3.

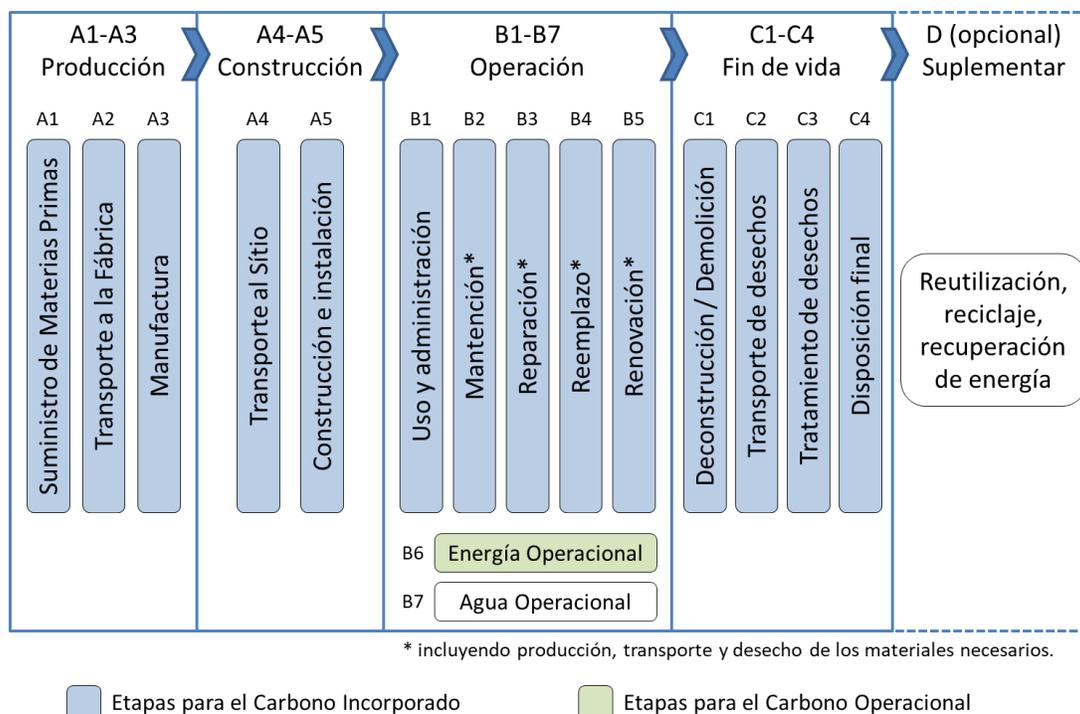


Figura 3. Etapas del ciclo de vida de la construcción. Reproducción de gráfico en ISO 21930.

En la Figura 3 se muestran las etapas del ciclo de vida de una edificación donde se puede gestionar el carbono: el carbono **incorporado** y el carbono **operacional**.

1. **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 (color celeste en la Figura 3). Se divide comúnmente en carbono incorporado en etapa inicial o de producto (etapas A1-A5), carbono de etapa de funcionamiento (etapas B1-B7) y carbono de etapas finales (Etapas C1-D) [14]. Ejemplos de fuentes de carbono incorporado son: los materiales de construcción iniciales y los utilizados en rehabilitaciones como ventanas y revestimientos, entre otros.
2. **Carbono operacional:** es el carbono asociado al uso de energía durante la operación del edificio (en verde en la Figura 3). 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 [6].

La mayoría de las huellas de carbono de la construcción reflejan solo el carbono operacional, ya que se toman desde el consumo energético de las edificaciones.

Históricamente se consideraba que las emisiones durante la operación de una edificación producto de calefacción, refrigeración y otros usos fueran mucho mayores a las del carbono incorporado, coherente con el foco en la eficiencia energética de los edificios. Sin embargo, las emisiones incorporadas han comenzado a dominar producto de las mejoras en eficiencia energética durante la operación a nivel global [9]. El carbono en etapa inicial o de producto es responsable de entre un 35 a 50% de las emisiones totales, dependiendo del uso de la edificación [6], [15].

Actualmente se desconoce la total magnitud del impacto asociado al carbono incorporado de los productos de construcción en el ciclo de vida completo de

las edificaciones. Estas emisiones se originan en la extracción de materiales, su transporte hasta el lugar de edificación, el proceso de construcción y el fin de vida de la obra, incluyendo los impactos de los materiales de construcción importados al país.

Un ejemplo de esto es la renovación reiterada de los sistemas de climatización y de la habilitación interior de una oficina con un ciclo de vida de 60 años. En ese periodo se estiman cuatro ciclos de desecho y de reinstalación de productos de construcción. Estas renovaciones resultan en una huella de carbono igual o mayor a la del sistema estructural del edificio [16].

Asimismo, cualquier sistema de gestión del carbono en la operación debe considerar la brecha de performance del carbono. El diseño de la edificación es una etapa relevante de este ciclo de vida, por cuanto determina su tamaño, materialidad y eficiencia energética, entre otras y estos elementos definen la mayor parte de los impactos ambientales que tendrá en todo su ciclo de vida. Sin embargo, existen diferencias entre el edificio diseñado y el construido, lo que se denomina *brecha de performance de carbono*.

Por eso, para lograr edificaciones menos intensivas en carbono, es relevante tener un sistema de gestión que considere tanto el diseño como la construcción y operación de la edificación.

Cuadro 1. ¿Qué es *carbono*?

Carbono es un nombre genérico para los *gases de efecto invernadero* (GEI), todos los cuales empeoran el cambio climático.

Existen cientos de GEI, todos con diferentes efectos sobre el cambio climático por kilogramo de gas. Para sumar los efectos de todos, se comparan con el efecto que tendría un kg de dióxido de carbono (el GEI más prevalente).

Por ejemplo, el impacto sobre el cambio climático de un kg de metano equivale al impacto de 25 kg de CO₂.

Por eso los resultados de una huella de carbono se expresan como kgCO₂e (la "e" quiere decir *equivalente*).

El uso de esta unidad ha llevado a la denominación genérica "carbono" al impacto de cualquier GEI sobre el cambio climático.

2.1 Metodologías para determinar la huella de carbono en el ciclo de vida completo de la construcción

Los estándares para calcular la huella de carbono en la construcción se basan en el análisis de ciclo de vida, definido por las normas ISO 14040 y ISO 14044, como se muestra en la Figura 4.

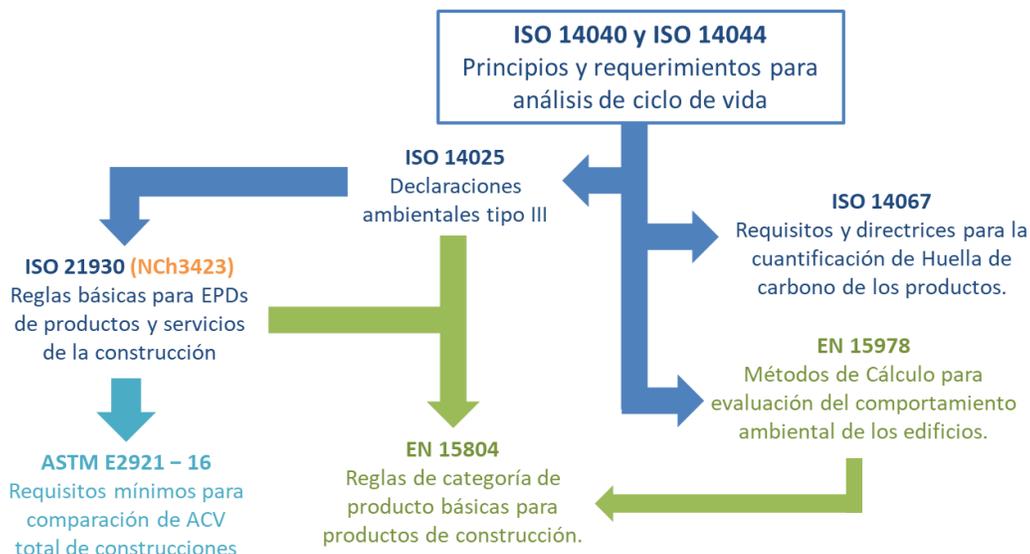


Figura 4: Relación entre los principales estándares internacionales para la cuantificación de impactos ambientales de la edificación.

Una declaración ambiental de productos (DAP) es una forma de reportar el cálculo ambiental de un producto de manera que se pueda comparar con otros. La producción de DAP está normada en la ISO 21930 y EN 15978. La DAP incluye el cálculo de la huella de carbono de un producto de construcción o edificación, utilizando *reglas por categoría de producto (RCP)*.

Las reglas por categoría de producto (RCP) definen cómo se debe hacer el cálculo de impactos ambientales para edificaciones, incluyendo la huella de carbono. Son normadas por los estándares ISO 21930 y EN 15804.

En Chile se encuentra adoptada la norma ISO 21930, pero en su versión de 2013. La actualización de esta norma a su versión de 2017 dejaría en el país una metodología robusta y actualizada para realizar el cálculo de la huella de carbono de edificaciones, como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de alcance entre estándares ISO 21930 y EN 15804.

Aspectos que cubre la norma	ISO 21930	EN 15804
<i>Directrices para RCP</i>	•	•
<i>Directrices para DAP</i>	•	**
<i>Última actualización</i>	2017	2019
<i>Actualización de carbono biogénico</i>	•	•

** En la familia EN, las DAP son normadas por el estándar EN 15978:2011

3 Calculadoras de huella de carbono en la construcción

La gestión del carbono en la construcción es una necesidad urgente, pero la medición de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel de producto y de edificación es un proceso complejo que solo expertos pueden realizar con precisión, limitando su aplicación masiva para el sector de la construcción.

Las calculadoras de impactos ambientales en la construcción son creadas para resolver este desafío, ofreciendo soluciones tecnológicas que ayudan a orientar el diseño de productos y obras de construcción de forma simplificada.

Existe una gran variedad de calculadoras de construcción, que cubren distintos módulos de información (A1 a D), utilizan datos de diferentes calidades, consideran metodologías de cálculo distintas y ofrecen sus resultados en formatos únicos. En la Tabla 2 se muestran 30 calculadoras diferentes para construcción, entre las cuales ECOBASE y Ábaco son chilenas.

Tabla 2. Herramientas revisadas en este informe, por aplicación, tipo y procedencia.

Alcance		Excel	Online	Software	Plug-in BIM
Producto	Pública	ECOBASE ³			
	Privada	GHG Protocol ²	ERFMI TEPPFA Climate Earth GCCA EPD tool	SimaPro ¹ GaBI ¹ Umberto ¹ Open LCA ^{1,2}	
Edificación	Pública	Ábaco ²	TOTEM ² OERCO2 ²	Elodie	
	Privada		Ecómetro ² EC3 deQo	AthenalE OneClick LCA etoolLCD IES Legep	Tally
Otra infraestructura	Pública		HueCO2 ² asPECT ²		
	Privada			Athena Pavement	
Transporte	Privada		Sea freight ² Flexport		
Políticas públicas	Privada	GHG Protocol ²			

¹ Software de ACV que permite el cálculo de huellas de carbono para cualquier producto o servicio.

² Herramienta gratuita

³ Herramienta en desuso.

Las calculadoras suelen ser herramientas informáticas complejas, que se enfocan en satisfacer usos específicos, como:

1. **Calculadoras para productos de construcción:** La aplicación al nivel de producto es para el cálculo de los impactos ambientales de los insumos de la construcción: cemento, hormigón, cristal, madera, acero, etc. Estas calculadoras pueden ser específicas, para un tipo de producto o generales, para varios productos diferentes.
2. **Calculadoras para edificaciones:** Las calculadoras a nivel de edificación ofrecen una interfaz amigable con el usuario, basada en elementos y materiales de construcción, con diseños en formatos geométricos (2D o 3D) y relación con los presupuestos de obra. Solicitan del usuario la cubicación y otros detalles de la obra y transforman esa información en una huella de carbono usando datos de fuentes variadas, como bases de datos genéricas, producto específicas y basadas en declaraciones ambientales de productos (DAP).
3. **Calculadoras para iniciativas sectoriales:** Las aplicaciones sectoriales se enfocan en el seguimiento del impacto de políticas públicas y repositorios centralizados, alimentados por el uso de la propia calculadora.

También existen las calculadoras genéricas para realizar análisis de ciclo de vida (ACV), como Gabi, Simapro, Umberto u OpenLCA, que se pueden utilizar tanto para cálculo a nivel de producto o de edificio. Estas son bastante más complejas precisas, pero requieren usuarios entrenados y con experiencia y tiempo para hacer modelos representativos de los edificios, lo que las hace poco atractivas para la incorporación en la industria de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC, por sus siglas en inglés).

Asimismo, los cálculos se realizan con datos de múltiples fuentes (ver Figura 5), que pueden ser primarios o secundarios, lo que afecta la incertidumbre del resultado final.

Los **datos primarios** son datos reales ya sea de las emisiones del producto usados en la edificación, como es el caso de las declaraciones ambientales de producto (DAP). Cuando se sabe la huella de carbono de los materiales específicos usados y la cantidad realmente usada en la obra, se puede determinar con mayor confianza la huella de carbono de la edificación. Estos datos son útiles a la hora de calcular la huella de carbono real del edificio construido.

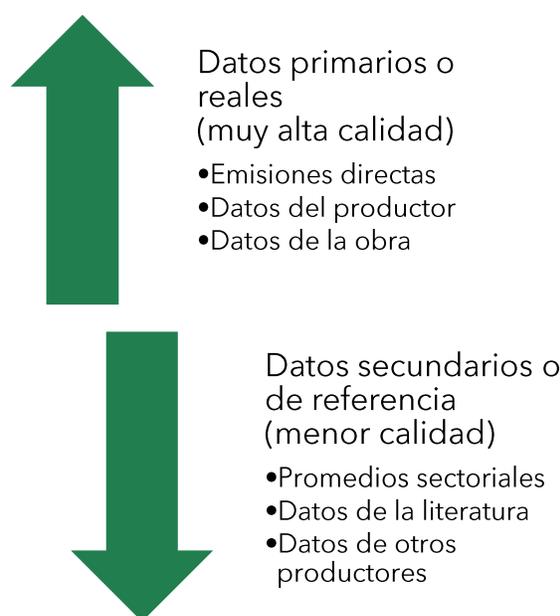


Figura 5. Ejemplos de fuentes de datos usados en calculadoras, agrupados por su calidad.

Por otro lado, los **datos secundarios** o de referencia son mejores a la hora de diseñar edificios, ya que permiten comparar entre distintos sistemas constructivos de forma rápida, sin tener que definir primero quién será el proveedor de los materiales.

Las declaraciones ambientales de producto (DAP) pueden alimentar una calculadora de huella de carbono de la edificación con información de alta calidad. Muchas de las calculadoras que existen actualmente usan datos secundarios para determinar la huella de carbono de una edificación. Consecuentemente, suelen usarse para orientar el diseño de edificios, pero no para certificar la huella de carbono del edificio real o para determinar la brecha de performance de carbono.

En Chile ya existe experiencia en la producción de calculadoras complejas para la construcción. Además de las calculadoras ECOBASE y Ábaco mencionadas, dentro del ámbito de la construcción hay una larga lista de herramientas y certificaciones que consideran complejos modelos para la determinación del carbono operacional (asociado al consumo de energía), como la Calificación Energética de Viviendas (CEV). Este modelo provee los datos para estimar el carbono operacional.

En el ámbito sectorial, el país ha tenido éxito con la centralización de la base de datos de Registros de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Este Registro contará también con un Reporte Único de Gases de Efecto Invernadero [17], que se espera entregue soporte a las diversas políticas públicas de Cambio Climático vigentes.

Éstos son solo algunos de los antecedentes cubiertos en el tercer informe técnico que acompaña a este Resumen para Tomadores de Decisiones, sobre *Alternativas Metodológicas de Calculadoras de Huella de Carbono*. En conclusión, se observa que existe competencia para la producción de una calculadora para la edificación en el país.

4 Los desafíos para la gestión de la huella de carbono en el ciclo de vida de la edificación en Chile

El sector de la construcción es un lugar clave para reducir la huella de carbono del país y, en alianza con otros sectores económicos, alcanzar la carbono neutralidad nacional al 2050. Sin embargo, no existe hasta ahora un sistema de *certificación* de huella de carbono de productos (incluyendo edificios) que considere todas las emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida completo de la edificación.

A nivel macro, los sistemas para la medición de la huella de carbono cubiertos en esta revisión tienen dos grandes tipos de objetivos:

- Análisis de decisiones de diseño: Apoyar el diseño más sustentable;
- Certificar el desempeño de un producto de construcción o una edificación.

Dada la brecha de performance del carbono, es necesario alcanzar ambos objetivos si se desea gestionar de forma efectiva la huella de carbono en el ciclo de vida de las certificaciones en Chile.

4.1 Un sistema de medición, reporte y verificación (MRV) que facilite el cálculo de la huella de carbono en la industria

Para lograrlo, se requiere una metodología robusta, un sistema que asegure la medición, reporte y verificación de los datos, y una herramienta que facilite el cálculo en la industria.

Una calculadora de huella de carbono para el ciclo de vida de la construcción podría entregar información oportuna y fidedigna a los sectores, para la implementación de políticas públicas; a la industria de la edificación, para diseñar edificios bajos en carbono; y a los productores de materiales de construcción, para reducir el impacto de sus productos en el cambio climático.

También permitiría reducir la incertidumbre sobre el precio de la huella de carbono y abriría un mercado interesante para la expansión de la competencia técnica en el país.

Para lograr esos y otros beneficios, existen algunos desafíos para la implementación de una calculadora de huella de carbono para el ciclo de vida completo de las edificaciones en Chile.

4.2 Definir un modelo de gestión sostenible para el sistema de MRV

El mayor desafío en todas las áreas es **asegurar un modelo económico y de gestión sólido** que permitan actualizar, mantener y adaptar la calculadora en el tiempo.

Este modelo económico puede estar ligado a los incentivos de utilización de la herramienta a través de sistemas de certificación de edificaciones, etiquetas, sellos o exigencias para la licitación.

4.3 Una transformación más rápida del sector hacia la construcción baja en carbono, impulsada por las asociaciones

Las asociaciones pueden tener un rol protagónico en la estimación de la huella de carbono para la construcción. El sector público y los gremios pueden tener el protagonismo en la producción de datos de huella de carbono en el ciclo de vida de los productos y edificaciones a través de iniciativas sectoriales para aumentar la competitividad. Algunos ejemplos de esto son la calculadora GCCA para el cemento, los sistemas de certificación de edificaciones y los repositorios masivos de información como EC3.

4.4 Establecer incentivos transversales que aceleren la medición de la huella de carbono en todo el ciclo de vida de las edificaciones

Comprender las necesidades de todos los sectores es necesario para generar incentivos que aumenten la medición, reporte y verificación de huellas de carbono en el ciclo de vida completo de la edificación. Asimismo, es necesario para definir un sistema que genere reportes compatibles con las necesidades de todos los usuarios, como el sistema *cap-and-trade* de California [18].

La creación de sistemas electrónicos para la medición de emisiones de gases de efecto invernadero (al estilo de EU-ETS) abre oportunidades para el involucramiento de los diversos actores del ciclo de vida de la edificación. Así como la generación de bases de datos multipropósito que permitan informar tanto al gobierno, como a otras partes interesadas.

Algunos incentivos comunes para la producción de huellas de carbono en edificación son los puntos que se entregan dentro de sistemas de certificación de edificaciones (SCE), como los internacionales LEED y BREEAM, o los nacionales CES o CVS.

Estos sistemas de certificación tienen orígenes diferentes, pero coinciden en sus principales metas: lograr el diseño y la operación de edificios menos intensivos en carbono (reflejado usualmente como menos intensivos en energía).

A nivel nacional, el mayor incentivo para el reporte de datos de huella de carbono son los impuestos verdes para fuentes móviles y fijas. Asimismo, el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) exige legalmente el reporte de las emisiones. Por su parte, la calculadora Ábaco busca ser una herramienta de apoyo para la elección de proveedores en licitaciones de construcción en el sector público.

Desde el punto de vista de las medidas voluntarias, el programa de huella de carbono corporativa Huella Chile ofrece como incentivo al cálculo de la huella de carbono el uso de sus sellos de Medición, Reducción y Neutralización.

Las certificaciones o sellos benefician directamente a los oferentes de productos, ya que les permite una diferenciación en el mercado.

4.5 Hacer más transparente el proceso de medición de la huella de carbono

Un mercado activo genera un ciclo virtuoso de información sobre huella de carbono. La necesidad de información de parte de clientes y sectores motiva a su vez al sector de los productos de la construcción a generar más declaraciones ambientales de productos (DAP). Esto ha ocurrido en Estados Unidos y otros países.

Pero la desinformación sobre los reales costos del cálculo y verificación de una huella de carbono pueden enfriar el mercado. En este punto una calculadora también puede ayudar, ofreciendo una alternativa estandarizada y conocida para la producción de huellas de carbono.

4.6 Estandarizar códigos y prácticas para aumentar la comparabilidad de los resultados

A nivel internacional, existen múltiples metodologías para calcular la huella de carbono de productos de construcción y edificaciones. Sin embargo, la mayoría referencia a las normas ISO 21930 o EN 15978. En este sistema normativo también se tienen reglas por categoría de producto, que clarifican la metodología a utilizar para el cálculo de la huella de carbono. Además del estándar de la construcción, en Chile ya se ha adoptado la ISO 14067, que define el cálculo de la huella de carbono de productos (incluyendo edificaciones) y servicios. Esta norma también permite calcular la huella de carbono de proyectos dentro de la vida útil de la edificación, como las renovaciones.

Cuadro 2. Variaciones en la denominación de variables críticas

Para ejemplificar la barrera a la comparabilidad que representa el amplio número de parámetros únicos se plantea el siguiente ejemplo. El indicador de intensidad de carbono comúnmente expresado en $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ ha sido utilizado con cada vez más frecuencia en los reportes de huella de carbono de edificación [20]. Para masificar el uso de este indicador, es imperativo que los reportes se realicen en base a la misma definición de "superficie total" expresada en m^2 . Los reportes que describen las "características del área" de la unidad funcional en el área total bruta del piso no se pueden comparar con otros reportes que usan el área interna neta tal como se ejemplifica a continuación.

Area characteristics	Gross internal floor area (GIFA)
	Units for functional equivalent
	Total gross floor area
	The total net gross floor area (GFA)
	The total floor area
	The ground area
	Site area, m^2
	Reference area, m^2
	Net Internal floor area (NIA) (m^2)
	Net internal floor area (NIA)
	Land area (m^2)
	GSA (m^2)
	Gross internal area (GIA)
	Gross floor area (GFA) (m^2)
	Gross Building Area (ft^2)
Floor area, m^2	

La tabla se ha mantenido en inglés para no variar los sentidos de los términos en la traducción.

Estas normas tienen actualizaciones regulares, estando las más recientes (desde 2017) enfocadas en el carbono. No obstante en Chile la ISO 21930 fue adoptada con modificaciones en la NCh 3423 y no se ha actualizado. Por eso, es relevante **adoptar la ISO 21930 en su versión más reciente como norma chilena**.

Además, la falta de **estandarización en el lenguaje de la construcción** puede causar confusiones. Un ejemplo práctico de esto se ve en el cuadro 1, donde se muestran múltiples definiciones para el área de un edificio. En Estados Unidos se ataca esta dificultad gracias a sistemas de estandarización como OMNICLASS. Esta estandarización es necesaria para la construcción de cualquier sistema informático.

4.7 Crear herramientas de uso masivo que faciliten la medición de la huella de carbono en todo el ciclo de vida de la edificación

La mayoría de las calculadoras disponibles para la estimación de la huella de carbono de edificaciones son de **apoyo a las decisiones de diseño, pero no sirven para certificar el desempeño de la obra una vez construida**, como se comenta en el tercer informe técnico de esta serie, sobre *Alternativas Metodológicas de Calculadoras de Huella de Carbono*, donde se cubren las calculadoras mencionadas en la Tabla 2 (página 7).

Esto se debe básicamente a la calidad y cantidad de datos utilizados en cada etapa del diseño para la estimación de la huella de carbono, como se muestra en la Figura 6.

En la Figura 6 se muestra que en las primeras etapas de diseño (diseño esquemático) se utiliza información referencial sobre los componentes de la construcción. Esta información orienta el diseño para llegar a alternativas de diseño arquitectónico. Estas alternativas, que incluyen el diseño completo, son evaluadas también en base a datos de referencia. Finalmente, cuando el edificio se construye y se tiene la documentación, se puede realizar un análisis del edificio completo, lo que permite construir una huella de carbono del ciclo de vida del edificio.

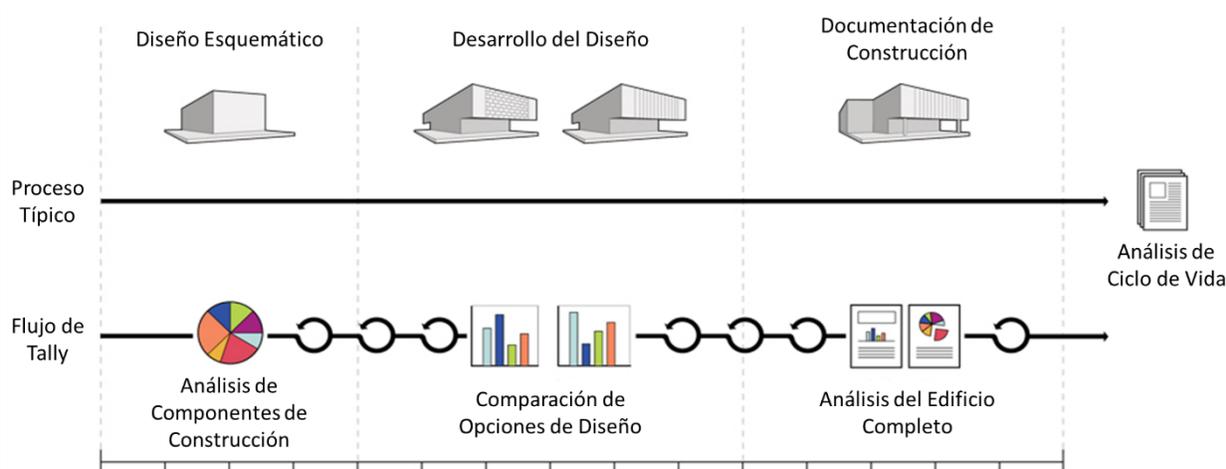


Figura 6. Distintos tipos de análisis realizados por la Calculadora Tally según el estadio de desarrollo del proyecto y documentación disponible en cada etapa [21].

La industria necesita herramientas que se adecúen a su flujo natural de trabajo, de forma de bajar los costos de calcular la huella de carbono.

La estimación de la huella de carbono en el ciclo de vida de una edificación es un proceso complejo y que requiere una gran cantidad de datos de fuentes diversas. Debido a que la mayoría de los profesionales AEC no tiene conocimiento, el tiempo ni el financiamiento para el desarrollo de estudios detallados, es necesario simplificar el proceso. Se requieren calculadoras fáciles de entender, rápidas de implementar y que permitan la aplicación sin un amplio conocimiento y experiencia en huella de carbono en el ciclo de vida. El proceso de entrada de datos debe ser simplificado y los datos deben restringirse a los aspectos más relevantes en la caracterización del objeto de análisis.

En esta línea se ha desarrollado una enorme variedad de calculadoras para el cálculo de huella de carbono y análisis de ciclo de vida (ACV) de productos de la construcción y edificaciones. Prácticamente todas estas herramientas están enfocadas en apoyar la etapa de diseño del edificio, donde se puede hacer la mayor cantidad de cambios al menor costo. En todo lo demás, las calculadoras son muy diferentes.

Los modelos de demanda energética de edificaciones son una herramienta ampliamente utilizada en el sector AEC chileno, y son también una excelente fuente de información para estimar el carbono operacional de la edificación. Ese conocimiento y técnica puede ser incorporado dentro de la calculadora, ofreciendo información apropiada para la geografía de la obra, y por lo tanto, de alta calidad para el cálculo de la huella de carbono.

La adopción de calculadoras está relacionada a su capacidad de integrarse a los flujos de trabajo que ya se dan en el sector AEC. En Chile estos flujos de trabajo son diferentes que en el extranjero, lo que afecta la incorporación de nuevas herramientas en el sector.

Las calculadoras a nivel de edificación deben integrarse en las etapas de diseño a través de los procesos y herramientas actuales de la industria. La utilización de modelos en BIM o con estándares informáticos comunes para toda la industria facilita la integración de las calculadoras con el flujo de trabajo normal en una oficina de arquitectura.

Para lograr este tipo de integración es necesario avanzar en la **digitalización de la construcción**.

4.8 Generar más datos de huella de carbono y conectar los resultados de todo el ciclo de vida de las edificaciones

Un desafío estructural para levantar datos de huella de carbono en el ciclo de vida completo de una edificación es la **desconexión documental entre los varios actores involucrados en una edificación** como oficinas de arquitectura (que definen el diseño), constructoras (que eligen los materiales y proveedores), inmobiliarias y residentes (quienes determinan cuánta energía se gasta), entre otros actores. Cada uno de ellos tiene información relevante para el cálculo, pero su desconexión dificulta el proceso de cálculo de la huella de carbono.

La calidad de los datos varía según el objetivo que se persigue. Si se define que la huella de carbono es para apoyar la toma de decisiones de diseño en edificaciones, entonces se puede utilizar los datos de cubicación y una base de datos de referencia robusta, aunque no nacional (como Ecoinvent) para estimar los impactos. Si por otro lado el objetivo es certificar el desempeño, el levantamiento de datos debe considerar los consumos reales productos de construcción y materiales en la edificación (incluyendo pérdidas) y se requieren factores de emisión locales.

Pocas empresas chilenas de materiales han desarrollado su huella de carbono de producto o declaración ambiental de producto, lo que puede estar relacionado a la poca competencia técnica en el país o al poco incentivo para la producción de huellas de carbono de producto.

Esto redundaría en pocos datos nacionales de referencia que apoyen la producción de una huella de carbono de la edificación. Tal vez por este motivo, iniciativas como Ábaco aprovechan bases de datos extranjeras con información de otros países.

Si bien esa información se puede utilizar para orientar el diseño de edificios, no puede usarse para determinar con suficiente precisión la contribución de este sector a la huella de carbono nacional.

Por ser Chile un país extenso con centros de producción concentrados, otro aspecto relevante a modernizar en la industria de la construcción es la logística de materiales, buscando la **trazabilidad del transporte**, de forma de tener datos sobre esta etapa del ciclo de vida, que se hace más relevante mientras más lejos está la obra de los centros de producción de los materiales.

Referencias

- [1] Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente, and Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), "Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático." p. 397, 2018.
- [2] Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), "NAMA Vivienda Sustentable en Mexico: Vivienda Nueva," México, 2012.
- [3] Climate Action Tracker, "Pledges And Targets: Chile," 2019. [Online]. Available: <https://climateactiontracker.org/countries/chile/pledges-and-targets/>. [Accessed: 22-Jan-2020].
- [4] World Green Building Council (WorldGBC), "Bringing embodied carbon upfront," London, 2019.
- [5] Organización de las Naciones Unidas, "Objetivo del Desarrollo Sostenible 11: Ciudades." [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>. [Accessed: 27-Jan-2020].
- [6] Global ABC, IEA, and UNEP, *2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. 2019.
- [7] International Energy Agency (IEA), "Material efficiency in clean energy transitions," Paris, 2019.
- [8] Comisión Nacional de Energía, "Balance nacional de energía – Energía Abierta." [Online]. Available: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>. [Accessed: 28-Jan-2020].
- [9] World Steel, "Life cycle inventory methodology report." 2017.
- [10] US Green Building Council (USGBC), "LEED v4.1," 2019. [Online]. Available: <https://www.usgbc.org/leed/v41>. [Accessed: 24-Feb-2020].
- [11] The International Standards Organisation, "ISO 14040:2006 Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Principios y marco de referencia." 2006.
- [12] European Standards Organisation, "EN 15978:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo." 2012.
- [13] The International Standards Organisation, "ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services." International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017.
- [14] World Green Building Council (WorldGBC), "Reducción de las emisiones de carbono: Acción coordinada del sector de la edificación y la construcción para hacer frente a las emisiones de carbono incorporado - Resumen Ejecutivo," London, United Kingdom, 2019.
- [15] Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), "Whole life carbon assessment for the built

- environment," p. 41, 2017.
- [16] B. X. Rodriguez, H. W. Lee, K. Simonen, and M. Huang, "LCA for Low Carbon Construction: Embodied Carbon Estimates of Mechanical, Electrical, Plumbing and Tenant Improvements," Seattle, WA, 2019.
 - [17] Ministerio del Medio Ambiente, "Datos RETC." [Online]. Available: <https://retc.mma.gob.cl/datos-retc/>. [Accessed: 15-Feb-2020].
 - [18] California Air Resources Board, "Cap-and-Trade Program," 2020. [Online]. Available: <https://ww3.arb.ca.gov/cc/capandtrade/capandtrade.htm>. [Accessed: 12-Mar-2020].
 - [19] Y. Pang *et al.*, "Medición, Reporte, Verificación: Como establecer un Sistema Nacional de MRV. Borrador 4.2."
 - [20] C. De Wolf, F. Yang, D. Cox, A. Charlson, A. Seif Hattan, and J. Ochsendorf, "Material quantities and embodied carbon dioxide in structures," in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 2015, pp. 1–12, doi: 10.1680/ensu.15.00033.
 - [21] KT Innovations, "How can we better understand embodied environmental impacts in order to expand the boundaries of sustainable design?," 2020. [Online]. Available: <https://kierantimberlake.com/pages/view/95/tally/parent:4>. [Accessed: 15-Mar-2020].