



# **Alternativas Metodológicas para Monitoreo, Reporte y Verificación de Huella de Carbono**

INFORME TÉCNICO ESTADO DEL ARTE NACIONAL E  
INTERNACIONAL

## Sobre este informe

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

### Revisores:

Gabriela Sabadini, Chile Green Building Council  
María Fernanda Aguirre, Chile Green Building Council  
Paula Hevia, Chile Green Building Council  
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 febrero de 2020.

### Cómo citar este archivo:

Wiche, P., Rodríguez, B., Granato, D. Alternativas Metodológicas para Monitoreo, Reporte y Verificación de Huella de Carbono. Publicado por Instituto de la Construcción, 2020. Santiago, Chile.

### Notas sobre derechos de autor y marca registrada:

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

Los trabajos citados son de propiedad de sus autores.

# Contenidos

|  |    |
|--|----|
| Índice de Tablas.....  | 3  |
| Índice de Figuras .....  | 4  |
| Índice de Cuadros.....   | 4  |
| Glosario.....  | 5  |
| Resumen ejecutivo .....  | 8  |
| 1 Introducción.....  | 9  |
| 1.1 MRV de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático..... | 11 |
| 1.2 MRV de la Construcción.....  | 13 |
| 1.3 Sistemas de Medición y Verificación de Eficiencia Energética .....           | 18 |
| 1.4 Uso de tecnología en los Sistemas de MRV .....                               | 19 |
| 1.5 Conclusión del Capítulo .....  | 20 |
| 2 Medición.....  | 21 |
| 2.1 Revisión Internacional.....  | 22 |
| 2.2 Revisión Nacional .....  | 30 |
| 2.3 Diagnóstico .....  | 32 |
| 2.4 Conclusión del capítulo .....  | 33 |
| 3 Reporte .....  | 34 |
| 3.1 Revisión Internacional.....  | 36 |
| 3.2 Revisión Nacional .....  | 40 |
| 3.3 Diagnóstico .....  | 41 |
| 3.4 Conclusión del capítulo .....  | 41 |
| 4 Verificación.....  | 42 |
| 4.1 Revisión Internacional.....  | 44 |
| 4.2 Revisión Nacional .....  | 49 |
| 4.3 Diagnóstico .....  | 49 |
| 4.4 Conclusión del capítulo .....  | 50 |
| 5 Conclusión.....  | 51 |
| Referencias .....  | 53 |
| Anexo A: Resúmenes Descriptivos de M&V por tipo de herramienta.....              | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Anexo B: Detalles sobre la NAMA para Vivienda Nueva en México[2] .....   | 65 |
| Anexo C: Taxonomía propuesta por la industria norteamericana para el reporte de Estudios de Huella de Carbono en edificación ..... | 67 |

## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Sistemas de MRV para distintos enfoques de evaluación a distintos niveles: nacional/sectorial y organizacional relevantes para la industria de la construcción. ....    | 10 |
| Tabla 2: Estructura de reportes del sistema MRV para la industria de cemento de Sudáfrica [6].   | 14 |
| Tabla 3. Comparación entre elementos de la NAMA de vivienda nueva y la NAMA de vivienda existente en México. ....  | 15 |
| Tabla 4. Responsables por los sistemas MRV chilenos [20]. ....   | 18 |
| Tabla 6: Definición de niveles de calidad del sistema EU ETS para los datos usados en el cálculo de emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por quema de combustible [29]. .... | 22 |
| Tabla 7: Tipos de indicadores para supervisar políticas y acciones de reducción de GEI (reproducido de [31]). ....   | 24 |
| Tabla 8: Ejemplos de indicadores para políticas relevantes al sector de la construcción (reproducido de [31]). ....  | 25 |
| Tabla 9: Las cuatro opciones metodológicas para procesos de medición de ahorro según estándar IPMVP (elaboración propia a partir de [21]). ....                                  | 28 |
| Tabla 10: Metodologías de medición para el MRV de impuestos verdes en Chile (reproducido de [62]). ....  | 31 |
| Tabla 11: Datos y metadatos comúnmente reportados a nivel de producto y sectorial (Elaboración propia en base a [6]). ....   | 35 |
| Tabla 12. Técnicas para la verificación de huella de carbono (producción propia en base a [6]).  | 43 |
| Tabla 13. Métodos para la Verificación Operacional según el estándar IPMVP [21] .....  | 48 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Ilustración representando diferencias de alcance entre INGEI y MDL. Elaboración propia.   | 10 |
| Figura 2. Capacidades necesarias para establecer un sistema de MRV (adaptado de Singh et al, 2016)  | 11 |
| Figura 3: Sistema MRV del Acuerdo de París para la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (elaboración propia a partir de [6])                                    | 12 |
| Figura 4. Proceso resumido para un proyecto MDL y uso de datos ex-ante y ex-post (elaboración propia en base a [10])  | 13 |
| Figura 5. Esquema del Sistema MRV para la industria del cemento en Sudáfrica [6]  | 16 |
| Figura 6: Esquema de interacción de los actores y sus responsabilidades en el sistema MRV de Turquía.   | 20 |
| Figura 7: Requerimientos de calidad de datos por categoría de empresa y fuentes de emisión para el sistema EU. ETS.   | 23 |
| Figura 8: Usos del estándar GHG Protocol de Política y Acción por actores (elaboración propia a partir de [31])   | 24 |
| Figura 9: Áreas de actuación del Equipo Técnico sobre sistemas MRV en Chile   | 32 |
| Figura 10: Actores responsables por cada nivel de reporte en un sistema MRV. Note que los niveles superiores ocupan la información de los niveles inferiores para hacer sus mediciones. | 35 |
| Figura 11. Metodologías para proyectos de MDL asociados a edificaciones. En base a [98]–[102]   | 36 |

## Índice de Cuadros

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1: Aplicación de estándar basado en resultados en Seattle.</b> | 26 |
| <b>Cuadro 2. Variaciones en la denominación de variables críticas</b>    | 38 |

## Glosario

| <b>Término</b>   | <b>:</b> | <b>Definición</b>   |
|--|----------|---|
| <b><i>Absorción de GEI</i></b>   | :        | Las fuentes de absorción son principalmente producto de renovales de bosque nativo, regeneración del bosque nativo manejado y plantaciones forestales, mayoritariamente exóticas [1]  |
| <b><i>Administrador del programa</i></b>   | :        | Organismo u organismos que llevan a cabo un programa de declaraciones ambientales tipo III (ISO 14025: 2006)  |
| <b><i>Análisis de incertidumbre</i></b>  | :        | 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) |
| <b><i>Aseveración comparativa</i></b>  | :        | 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)  |
| <b><i>Categoría de producto</i></b>  | :        | Grupo de productos que pueden cumplir funciones equivalentes (ISO 14025: 2006)  |
| <b><i>Comisionamiento</i></b>  | :        | Proceso sistemático de puesta en servicio de una construcción (NCh3419:2017)  |
| <b><i>Competencia</i></b>  | :        | Atributos personales y aptitud demostrada para aplicar conocimientos y habilidades (ISO 14025: 2006)  |
| <b><i>Contribución Nacionalmente Determinada (NDC)</i></b>                           | :        | 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).   |
| <b><i>Criterios de validación: Criterios de verificación</i></b>                     | :        | Política, procedimiento o requisito utilizado como referencia frente al cual se compara la evidencia (ISO 14064:2006)   |
| <b><i>Decomisionamiento</i></b>  | :        | Proceso sistemático que transforma una construcción de un estado de servicio a un estado fuera de servicio (NCh3419:2017)   |
| <b><i>Declaración ambiental</i></b>  | :        | Postulado que indica los aspectos ambientales de cualquier bien(es) o servicio(s) (NCh3419:2017)  |
| <b><i>Declaración ambiental tipo III; declaración ambiental de producto, DAP</i></b> | :        | Declaración ambiental que proporciona datos ambientales cuantificados utilizando parámetros predeterminados y, cuando corresponda, información ambiental adicional (NCh3423:2017)   |
| <b><i>Enfoque iterativo</i></b>  | :        | El ACV es una técnica iterativa. Las fases individuales de un ACV utilizan resultados de las otras fases. El enfoque  |

| <b>Término</b>  | <b>: Definición</b>  |
|---|--|
|   | iterativo en y entre las fases contribuye a la integridad y coherencia del estudio y de los resultados presentados (ISO 14040:2006)  |
| <b>Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)</b>                                   | : Masa total de un GEI liberado a la atmósfera en un periodo determinado (ISO 14064:2006)  |
| <b>Etiqueta ambiental, declaración ambiental</b>  | : Manifestación que indica los aspectos ambientales de un producto o servicio (UNE-EN ISO 14025).  |
| <b>Material (aseveración material)</b>  | : Información capaz de influenciar las decisiones de los usuarios previstos del informe (ISO 14064-3:2019)   |
| <b>Medida de Mejora de Eficiencia Energética (MMEE)</b>                                 | : Acción o conjunto de acciones diseñadas para mejorar la eficiencia o conservar energía o agua o gestionar la demanda (MMEE) (EVO, 2017)  |
| <b>Measuring, Reporting and Verification (MRV)</b>                                      | : 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) |
| <b>Medición y Verificación (M&amp;V)</b>  | : 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)   |
| <b>Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (por sus siglas en inglés NAMA)</b> | : son mecanismos emergentes de mercado que permiten a las economías en desarrollo alinear el desarrollo sustentable con las prioridades económicas nacionales [2]  |
| <b>Parte interesada</b>   | : Persona u organismo interesado o afectado por el desarrollo y utilización de una declaración ambiental tipo III (UNE-EN ISO 14025).  |
| <b>Parte responsable</b>  | : Persona o personas responsables de proporcionar información de soporte sobre los GEI (ISO 14064:2006)  |
| <b>Producto:</b>  | : Cualquier bien o servicio (UNE-EN ISO 14025).  |
| <b>Programa de declaración ambiental tipo III</b>                                       | : Programa voluntario para desarrollar y utilizar declaraciones ambientales tipo III, basado en un conjunto de reglas operativas (UNE-EN ISO 14025).   |
| <b>Reglas de categoría de producto, RCP</b>   | : 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)   |
| <b>Remoción emisiones</b>   | : Masa total de un GEI removido de la atmósfera en un determinado período (ISO 14064-1:2006).  |

| <b>Término</b>   | <b>: Definición</b>  |
|--|--|
| <b>Revisión crítica</b>  | : Proceso que pretende asegurar la coherencia entre un análisis del ciclo de vida y los principios y requisitos de las normas internacionales sobre análisis del ciclo de vida. (ISO 14040:2006)   |
| <b>Revisión de las RCP</b>   | : Proceso en que una tercera parte verifica las reglas de categoría de producto (NCh3423:2017)   |
| <b>Seguimiento</b>   | : Evaluación periódica o continua de las emisiones o remociones  |
| <b>Sistema de Automatización de Edificación (BAS por sus siglas en inglés)</b> | : Una medición usando los sistemas de control de la edificación para analizar tendencias de datos y evaluar el desempeño operacional y de consumo de energía de medidas de mejora de eficiencia energética. Los resultados son usados para informar los cálculos de ahorro verificados. (EVO:2017) |
| <b>Tercera parte</b>   | : Persona u organismo reconocido como independiente de las partes involucradas, en lo que concierne a los asuntos en cuestión (NCh3423:2017)   |
| <b>Transparencia</b>   | : Presentación de información de forma abierta, exhaustiva y comprensible.   |
| <b>Validador</b>   | : Persona o personas competentes e independientes con la responsabilidad de llevar a cabo la validación e informar de sus resultados. (ISO 14064:2006)   |
| <b>Validación</b>  | : Proceso sistemático, independiente y documentado para la evaluación de la declaración (ISO 14064:2006)   |
| <b>Verificación</b>  | : Proceso sistemático, independiente y documentado para la evaluación de una declaración (ISO 14064:2006)  |
| <b>Verificación de integridad</b>  | : Proceso para verificar si la información de las fases de un análisis del ciclo de vida es suficientemente completa para llegar a conclusiones, de acuerdo con la definición del objetivo y el alcance (ISO 14040:2006)   |
| <b>Verificación de coherencia</b>  | : Proceso, realizado antes de llegar a conclusiones, para verificar que las suposiciones, los métodos y los datos se aplican de forma coherente en todo el estudio y están de acuerdo con la definición del objetivo y el alcance (ISO 14040:2006)   |
| <b>Verificación del análisis de sensibilidad</b>                               | : Proceso para verificar que la información obtenida de un análisis de sensibilidad es pertinente para extraer conclusiones y formular recomendaciones (ISO 14040:2006)  |
| <b>Verificador</b>   | : Persona o personas competentes e independientes con la responsabilidad de llevar a cabo la verificación e informar sobre el proceso de verificación (ISO 14064:2006)   |



## Resumen ejecutivo

La transformación hacia una economía carbono neutral es una necesidad urgente, pero ¿cómo medir el progreso hacia esa meta?

Desde los inicios del Protocolo de Kioto, de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se comenzaron a definir las características de lo que hoy se conoce como sistemas de medición, reporte y verificación (MRV).

Estos sistemas buscan regular la forma en que se miden los datos para lograr resultados comparables y la forma en que se reportan, para entregar información certera a los usuarios. La verificación es un proceso de aseguramiento de la calidad que entrega confianza en el sistema y facilita la aplicación de medidas correctivas para obtener información fidedigna.

En construcción la mayoría de los sistemas actuales que siguen esta lógica están enfocados en medir, reportar y verificar la calidad de los atributos constructivos de la edificación, sin embargo, también existen algunos que informan sobre los impactos ambientales del sector, por ejemplo, ARC.

Existen ejemplos aislados, aunque relevantes, de encuentros entre los MRV y la construcción. Estos ejemplos nacen en países en desarrollo, como México y Perú, que han decidido establecer incentivos para la construcción sustentable a través de las Acciones de Mitigación Apropriadas para la Nación (NAMA).

Estos MRV de la construcción se han enfocado en la gestión de la energía, pero ofrecen una valiosa experiencia de implementación que podría apoyar la creación de un MRV más extenso y robusto para todas las actividades de la construcción que aportan al cambio climático, incluyendo el uso de materiales.

Algunas brechas importantes para la implementación de tal sistema en Chile son la escasa capacidad nacional para medir y verificar huellas de carbono, la desconexión entre los múltiples actores relacionados a la edificación en su ciclo de vida y la ausencia (actual, lo que podría cambiar a futuro) de medidas que obliguen a la industria a reportar sus impactos al cambio climático.

Un ejemplo robusto para resolver este último tema es el sistema de intercambio de emisiones europeo (EU ETS) o la ley de impuestos verdes en Chile.

Los aprendizajes en el extranjero dan cuenta de la importancia del uso de la tecnología para facilitar los sistemas de MRV, abriendo repositorios digitales donde los que reportan y los que verifican encuentran información útil. Asimismo, los sistemas pueden generar información agregada de interés para otros sectores desde los accionistas de una empresa de productos de la construcción hasta quienes compilan el inventario nacional de gases de efecto invernadero.

A través de las próximas páginas se exploran estas alternativas, con el objetivo de orientar próximas decisiones para la implementación de un sistema de MRV en Chile.

# 1 Introducción

A nivel de países, los sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV) fueron establecidos por la Conferencia de las Partes (COP) para la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como un procedimiento para que las Partes mantuvieran información actualizada y verificable sobre sus emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero [3].

El **monitoreo** es la evaluación continua o periódica de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (GEI) u otros datos relacionados a los GEI [4]. Esta evaluación continua suele tener instancias de **reporte** específicas, normalmente con una periodicidad definida. Las aseveraciones relacionadas a las emisiones y remociones pasan por un proceso de calidad llamado **verificación**, en el cual se evalúan las declaraciones de información y datos históricos para determinar si la declaración es materialmente<sup>1</sup> correcta y está de acuerdo con los criterios [5].

Para definir un sistema de MRV, se debe comenzar con su objetivo, de la misma forma que al definir la metodología para la medición de los gases de efecto invernadero (GEI), la estipulación del objetivo puede afectar la metodología. Algunos objetivos pueden ser, entre otros:

- Cuantificar la contribución de las edificaciones al inventario nacional de GEI;
- Medir el progreso del sector hacia la meta “carbono neutralidad en la edificación al 2050”;
- Recopilar información para orientar la actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC).

Dependiendo de los objetivos del sistema, este puede ser [6]:

- Descendente (top-down): cuando el sistema MRV cubre varias necesidades de producción de informes; o
- Ascendente (bottom-up): cuando el sistema MRV se concentra en una política, medida o región específica.

Por ejemplo, un MRV de inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI) considera todas las emisiones y remociones de GEI, mientras el MRV de proyectos en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) se enfocan solo en los gases considerados dentro de su metodología y en el sector sobre el cual se ejecuta el proyecto (ver Figura 1) [7]. Asimismo, objetivos distintos resultan en metodologías de cuantificación diferentes, por ejemplo, en si se considera la compra o venta de bonos de carbono [7].

Sin importar el objetivo, los sistemas de MRV requieren de arreglos institucionales donde se definan las estructuras, procedimientos y metodologías, además de facilitar la capacitación del equipo que participará del MRV [6]. Los distintos sistemas de monitoreo, reporte y verificación

---

<sup>1</sup> En este contexto la palabra “material” quiere decir que la información es capaz de influenciar las decisiones de los usuarios objetivo.

(MRV)<sup>2</sup> sirven a distintos propósitos y a distintos niveles. Un sistema MRV puede enfocarse en la medición de emisiones de GEI o en comprobar la reducción de estos gases gracias a políticas o acciones de reducción. Estos enfoques pueden ser a nivel nacional, sectorial u organizacional. La Tabla 1 muestra las herramientas disponibles para cada nivel y enfoque, que serán explicadas a continuación.

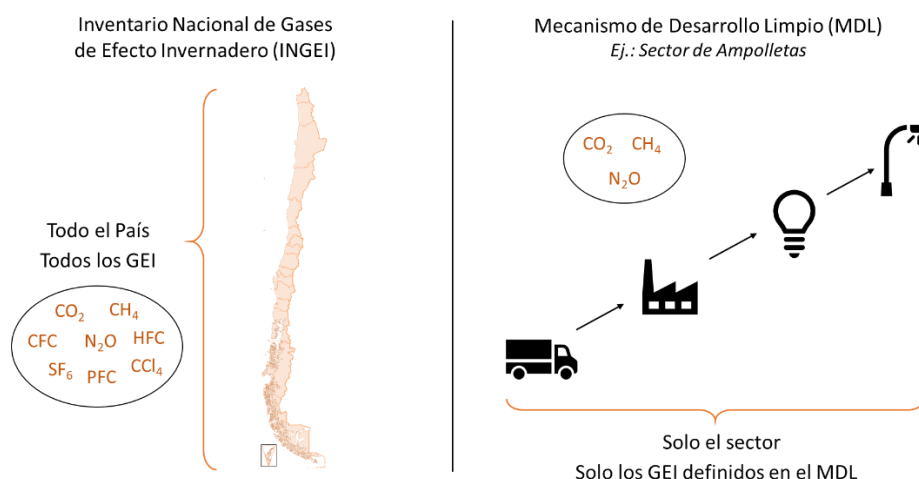


Figura 1: Ilustración representando diferencias de alcance entre INGEI y MDL. Elaboración propia.

Tabla 1: Sistemas de MRV para distintos enfoques de evaluación a distintos niveles: nacional/sectorial y organizacional relevantes para la industria de la construcción.

|                                      | Nivel nacional/sectorial   | Nivel organizacional                           |
|--------------------------------------|----------------------------|--|
| <b>Emisiones y remociones de GEI</b> | Inventario Nacional de GEI | EU ETS, herramientas para asistencia al diseño |
| <b>Reducción de GEI</b>              | NAMA, GHG Protocol         | MDL, GHG Protocol                              |
| <b>Otras reducciones</b>             | -                          | IPMVP para medidas de eficiencia energética    |

Independiente del objetivo, los sistemas de MRV requieren de arreglos institucionales donde se definan las estructuras, procedimientos y metodologías, además de facilitar la capacitación del equipo que participará del MRV [6], como se observa en la Figura 2.

Sin duda la base financiera es importante para fortalecer los recursos humanos que operan con el sistema y también para incrementar la capacidad técnica y tecnológica de los procesos que entregarán los resultados. Asimismo, el sistema de MRV solo podrá ser exigible si existe un mandato y si se han realizado los arreglos interinstitucionales para el cruzamiento de datos y la colaboración con otras agencias.

<sup>2</sup> Respecto a la M de MRV, algunos documentos se refieren a "monitoreo" y otros a "medición". Sin embargo, los dos términos tienen el mismo significado: evaluación continua o periódica de las emisiones y remociones de GEI.

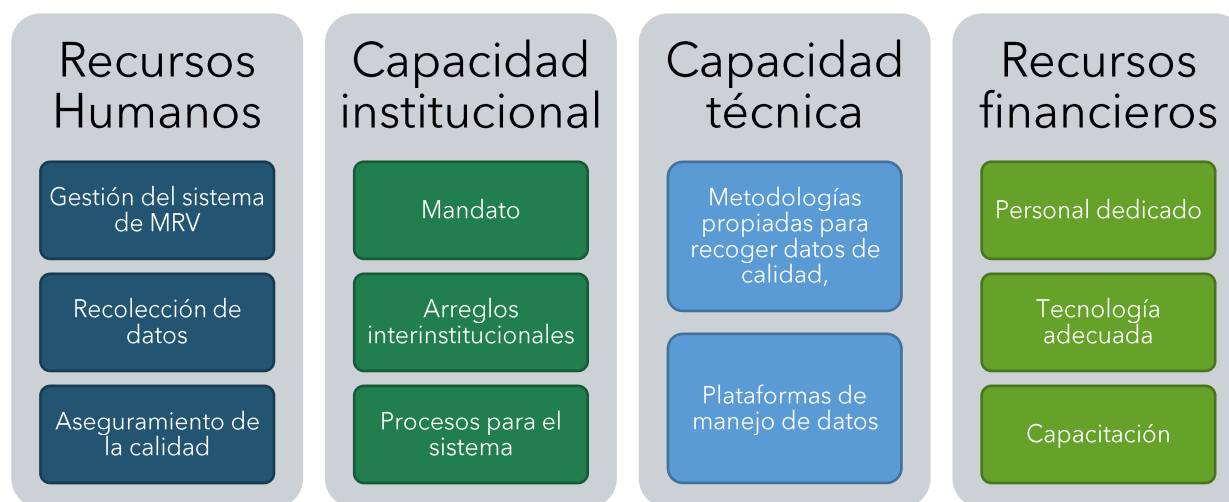


Figura 2. Capacidades necesarias para establecer un sistema de MRV (adaptado de Singh et al, 2016)

Como una línea transversal para el éxito del MRV está el involucramiento de los distintos actores que se relacionarán con el sistema desde el inicio, como por ejemplo, ministerios, ONGs, constructoras, inmobiliarias, comunidades. Su participación temprana permite conocer sus objeciones y ayudarlos a sumarse al sistema [6].

En el tema de aseguramiento de calidad existen dos niveles: por un lado está el aseguramiento de que los datos ingresados al sistema son fidedignos y por el otro es que el sistema de por sí es confiable. Por ejemplo, de que los procesos implementados en la calculadora son correctos y están de acuerdo con las metodologías de cálculo.

## 1.1 MRV de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Los MRV nacieron durante el Acuerdo de Kioto, como una forma de asegurar que las partes estuvieran cumpliendo con sus obligaciones de reporte y mitigación de forma fidedigna. La calidad de esta información es importante porque alimenta el proceso de toma de decisiones por la Conferencia de las Partes, el máximo organismo político de la Convención [8]. Es decir, el MRV es un sistema objetivo para la generación de confianza. Entre los múltiples sistemas que existen, el principal es el que se enfoca en los reportes de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI).

En el marco del Acuerdo de París se establece un sistema de MRV con requisitos diferentes dependiendo si el país es desarrollado o no, como se ve en la Figura 3.

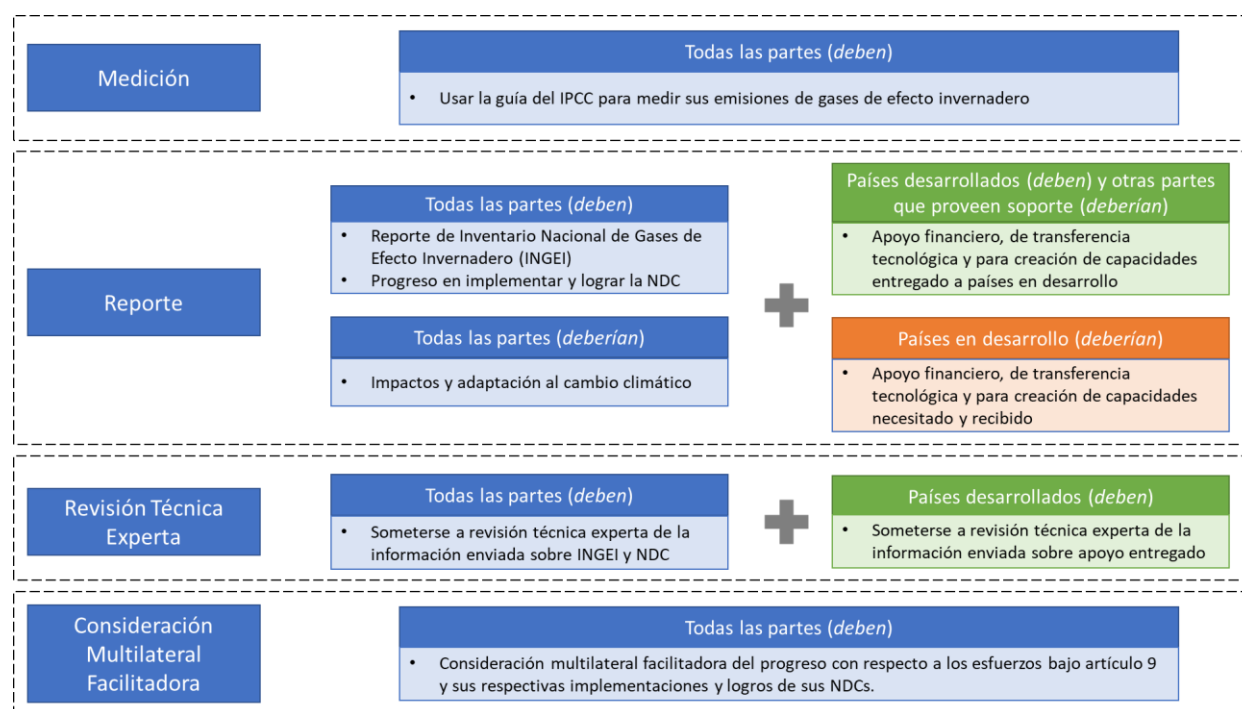
Como se extrae de la Figura 3, el sistema de MRV contiene una etapa de medición, donde los países recaban información de acuerdo con los *tier* I, II o III de la Guía del IPCC para Inventarios Nacionales de Efecto Invernadero [9]. Estos resultados se compilan en un reporte anual o bienal del Inventario y un informe sobre avances en las Contribuciones Determinadas Nacionalmente

(NDC). Este sistema de reporte tiene una base financiera entregada por los países desarrollados, que donan recursos para que los países en desarrollo obtengan tecnología y creen capacidades en esta área.

La verificación viene en dos etapas. La primera es una revisión técnica enfocada a verificar tanto los datos como el uso de los recursos. La segunda es la “consideración multilateral facilitadora del progreso”, que entrega retroalimentación sobre los esfuerzos realizados por el país y el avance de las NDC.

Además de los inventarios nacionales, existen otros instrumentos dentro de la CMNUCC para fomentar la reducción de emisiones y la mitigación de los impactos: los Mecanismos de Desarrollo Limpio y las Acción de Mitigación Apropriadas para la Nación o (NAMA). Estos instrumentos se revisan en los próximos párrafos, en lo que respecta a su relación con el ciclo de vida de la edificación.

Figura 3: Sistema MRV del Acuerdo de París para la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (elaboración propia a partir de [6]).



## 1.2 MRV de la Construcción

Como ya se ha expuesto, los sistemas de MRV son específicos para el registro de huella de carbono y normalmente están asociados a sistemas de reporte complejos y de gran alcance, como lo son los de la CMNUCC.

Existen casos específicos de sistemas de MRV para el sector edificación, entre los que se cuentan algunos ejemplos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y Acciones Nacionalmente Apropriadadas de Mitigación (NAMA, por sus siglas en inglés).

### 1.2.1 Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)

Los MDL son mecanismos de financiamiento y mitigación creados en el marco del Protocolo de Kioto para que los países más industrializados (agrupados en el Anexo I) pudieran financiar acciones de mitigación fuera de sus fronteras, reportar esas mitigaciones como propias y así cumplir sus compromisos.

Si bien los proyectos de MDL son uno de los mecanismos de la Convención, se diferencian de los INGEI en sus metodologías, quién reporta, cada cuánto tiempo se realiza y cómo se verifica. En general, un proyecto de MDL pasa por el proceso de MRV mostrado en la Figura 4 [10].

De forma similar a algunos sistemas de certificación de edificaciones (SCE), un proyecto de MDL utiliza datos ex-ante y ex-post, pero con objetivos distintos. Los SCE buscan medir la emisión *efectiva o proyectada*, mientras los MDL buscan demostrar la *reducción* comparada con una línea base.

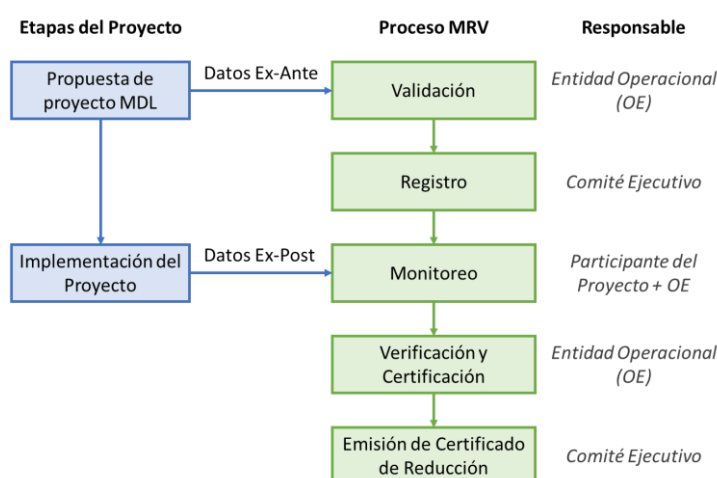


Figura 4. Proceso resumido para un proyecto MDL y uso de datos ex-ante y ex-post (elaboración propia en base a [10]).

### 1.2.2 Acciones de Mitigación Apropriadas para la Nación (NAMA)

Las NAMA son *cualquier acción que reduce las emisiones en países en desarrollo que es parte de una iniciativa del gobierno del país* [11]. La creación de este concepto fue en 2012, con el objetivo de desviar la trayectoria estimada de las emisiones<sup>3</sup> a 2020 en la dirección de la reducción.

Las NAMA se dividen en dos grupos [11]:

1. NAMA a nivel **nacional**: es un compromiso del país para reducir sus emisiones. En ese sentido es parecido al compromiso de mitigación incluido en una Contribución Nacionalmente Determinada (NDC).
2. NAMA **individual** que contribuye a alcanzar el objetivo de la NAMA nacional: pueden ser desde acciones de mitigación aisladas hasta programas sectoriales y políticas.

Los resultados de las NAMA deberían informarse dentro del INGEI, utilizando la misma metodología. De esta forma, una NAMA ofrece una interesante alternativa para vincular políticas públicas individuales, como la carbono neutralidad en la construcción, con el INGEI.

Las NAMA pueden ser muy específicas, incluso llegando a intervenir un producto individual (a nivel sectorial), como fue el caso del sistema de MRV para la NAMA del cemento en Sudáfrica [6].

En este caso, se implementó un sistema MRV asociado a una NAMA para las productoras de cemento del país. El sistema logró centralizar la información de todo el sector, ofreciendo una fuente de datos confiable para reportes a nivel de país, sector y empresa (ver Tabla 2).

*Tabla 2: Estructura de reportes del sistema MRV para la industria de cemento de Sudáfrica [6].*

| Nivel de Reporte   | Responsable                           | Audiencia  |
|--------------------|---------------------------------------|--|
| <b>Nacional</b>    | Ministerio del Medio Ambiente         | CMNUCCC  |
| <b>Sectorial</b>   | Departamento de agregación de MRV     | Ministerio del Medio Ambiente<br>Otros Ministerios |
| <b>Sectorial</b>   | Asociación de Productores de Cementos | Terceras partes interesadas                        |
| <b>Empresarial</b> | Productores individuales              | Holdings internacionales y accionistas             |

En este sistema de MRV, las empresas calculan sus emisiones de GEI y las verifican de forma obligatoria con auditores independientes. Luego suben la información sobre sus inventarios de GEI y sus planes de mitigación en una plataforma electrónica. Una herramienta de agregación del MRV genera un informe del sector cementero para el gobierno, el que es validado por la oficina nacional de estadísticas. Esta información luego es utilizada por el gobierno para crear su

<sup>3</sup> La trayectoria estimada de las emisiones suele encontrarse en la literatura como "Business as usual", es decir la estimación de emisiones a futuro donde se simula la economía con su trayectoria "actual", es decir, incluyendo solo aquellas políticas, incentivos y regulaciones que existen al momento de hacer el modelo.

inventario, reportar a la CMNUCC y proponer medidas de mitigación [6]. Este proceso está ilustrado en la Figura 5 (próxima página).

En este caso, el MRV asociado a la NAMA del sector cementero conecta un *producto de la construcción* con el inventario nacional.

A nivel de *edificación*, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) de México ha desarrollado dos NAMA que están a la vanguardia en el mundo:

- En el año 2012 desarrolló la primera NAMA de Vivienda a nivel mundial. Enfocada en viviendas nuevas, la NAMA aborda la eficiencia energética con base en el desempeño global de la vivienda. Desde esta perspectiva, los prototipos de eficiencia se fijan para una demanda de energía primaria total, basada en el tipo de construcción y ubicación.
- En 2014, se produjo la segunda NAMA del sector de la vivienda, la NAMA de Vivienda Existente, que propone la rehabilitación de la vivienda existente paso a paso y hacia un óptimo desempeño energético y ambiental [12].

Las características de ambas NAMA se pueden encontrar en la Tabla 3.

*Tabla 3. Comparación entre elementos de la NAMA de vivienda nueva y la NAMA de vivienda existente en México.*

| Elemento                        | NAMA Vivienda Nueva<br>México (2012)  | NAMA Vivienda Existente<br>México (2014)   |
|---------------------------------|---|--|
| <b>Edificación</b>              | Viviendas unifamiliares nuevas.   | Viviendas unifamiliares existentes.  |
| <b>Actividades consideradas</b> | Enfriamiento, agua caliente, iluminación, cocina, artefactos.                 | Enfriamiento, calefacción, artefactos.   |
| <b>Fuentes de energía</b>       | Gas natural, gas licuado, diésel, gasolina, electricidad.                     | Electricidad, combustibles.  |
| <b>Elementos de mejora</b>      | Introducción de estándares ambiciosos para reducción de consumos energéticos. | Aislamiento en el techo, ventanas eficientes, aislamiento en muros, sombreadamiento y protección.            |
| <b>Tipo de referencia</b>       | Estándar de comparación (medido o simulado).                                  | Modelo alimentado por mediciones y encuestas a una muestra de las viviendas de la iniciativa (Primera Fase). |

La validación *ex-ante* se realiza en base a tres herramientas de modelación: Diseño Energéticamente Eficiente de la Vivienda (DEEVi), la Simulación de Ahorro de Agua en la Vivienda (SAAVi) y la herramienta de Criterios de Entorno [13].

La validación *ex-post* se realiza directamente en sitio, y es solo después de ésta que el Organismo Nacional de Vivienda (ONAVI) correspondiente dirime si el proyecto es elegible para el cofinanciamiento asociado a las viviendas que forman parte de una NAMA. El anexo B trae más detalles sobre el sistema de NAMA de vivienda de México.



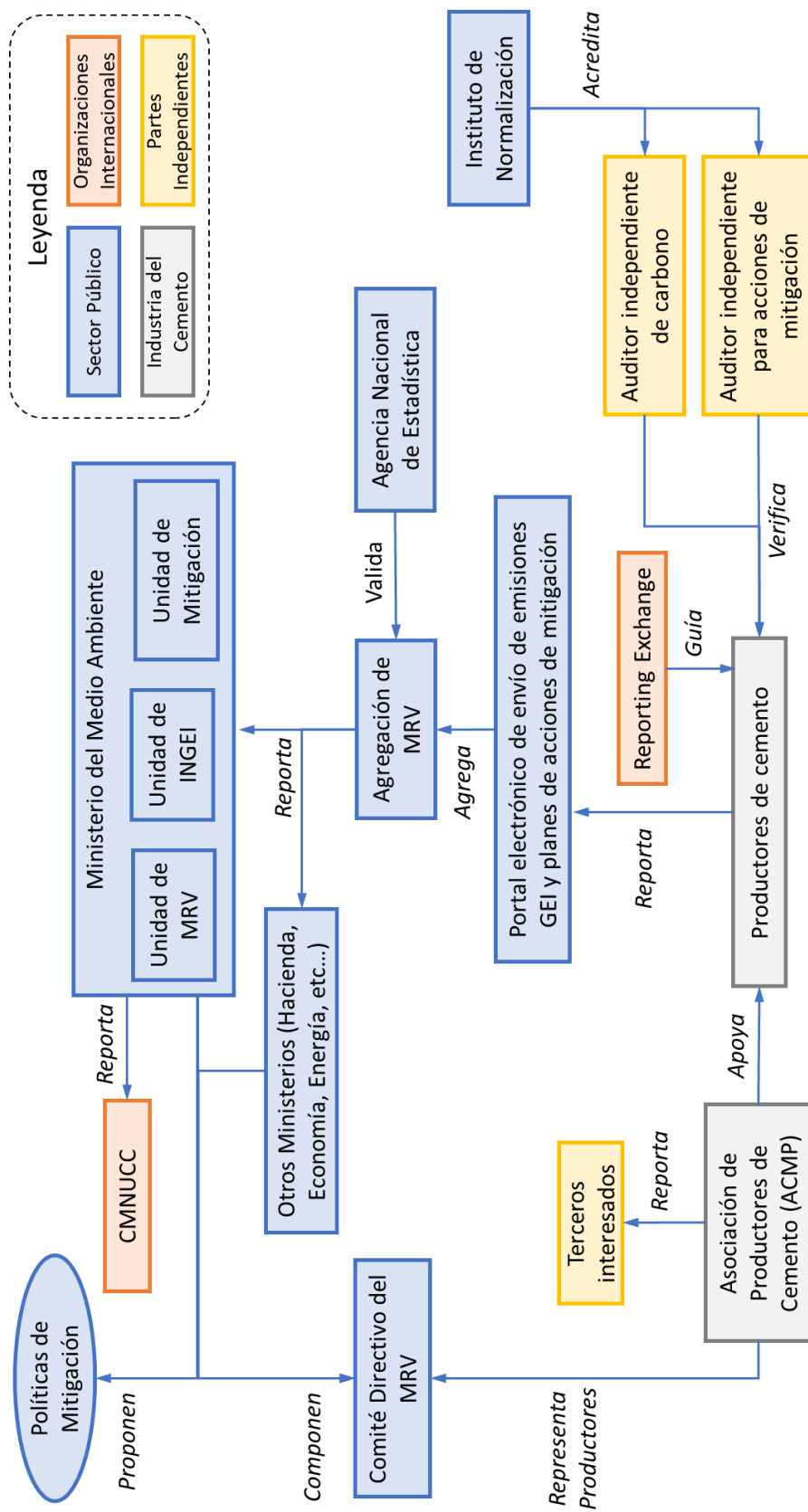


Figura 5. Esquema del Sistema MRV para la industria del cemento en Sudáfrica [6].

De forma similar, en Perú se desarrolló la NAMA de Construcción Sostenible con Visión de Ciudad, que también tiene un MRV asociado. Este proyecto se encuentra actualmente en desarrollo.

### 1.2.3 Otros MRV de Emisiones

Existen múltiples sistemas de MRV en el mundo, para fines variados.

En Europa el sistema EU ETS y en Turquía el DMS son sistemas de MRV que incluyen información sobre productos de la construcción, como cemento y acero.

El EU ETS tiene como propósito regular las emisiones de gases de efecto invernadero prioritarios de las industrias y controlar el mercado de derechos de emisión. Este proceso tiene asociado multas muy altas por incumplimientos (miles de euros). Es un sistema robusto y complejo que entrega flexibilidad a los pequeños emisores y exige más de los grandes [14].

Si bien DMS toma bastante de la robustez de EU ETS, no está diseñado para hacer intercambio de derechos de emisión, solo se usa para recabar información para el inventario nacional de GEI y otras políticas públicas [15].

En Estados Unidos, a nivel subnacional se puede encontrar el sistema *Cap-and-Trade* del estado de California [16]. Al igual que en EU ETS, el sistema busca abrir un mercado para que las empresas afectas al límite de emisión o “Cap” puedan cumplir con sus obligaciones (*trade*) transando derechos de emisión.

Como en otros países, en Chile el objetivo de los sistemas de MRV es promover la transparencia de las actividades de mitigación de GEI para evaluar el cumplimiento de sus objetivos [17]. La Tabla 4 muestra las herramientas con sistema MRV en Chile y sus órganos responsables.

Una de éstos es el MRV para los impuestos verdes, incluyendo el impuesto al carbono, gestionado por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) que ha desarrollado una completa guía de aplicación disponible públicamente [18].

Parte del éxito de esta medida fue el involucramiento temprano del principal sector afecto al impuesto, las generadoras de energía, que permitió tomar decisiones y cumplir con los plazos de implementación del impuesto y proteger la productividad de la industria [19].

Tabla 4. Responsables por los sistemas MRV chilenos [20].

| Sector                | Nombre  | Encargado                                     |
|-----------------------|---|---|
| <b>Medio Ambiente</b> | Huella Chile  | MMA/DCC                                       |
|                       | RETC (MRV 1.0)  | MMA/SMA                                       |
|                       | MRV (MRV 2.0)   | MMA/SMA                                       |
|                       | MRV ampliación de instrumentos de precio al carbono (MRV 3.0) | MMA/SMA                                       |
|                       | MRV Residuos Programa Chile-Canadá                            | MMA (DIEA)                                    |
|                       | MRV Mecanismos de Desarrollo Limpio                           | MMA (DCC)                                     |
| <b>NAMAs</b>          | MRV NAMA Autoconsumo energético                               | Ministerio de Energía                         |
|                       | MRV NAMA ZVTS   | Municipalidad de Santiago                     |
|                       | MRV NAMA Acuerdo de Producción Limpia                         | CONAF   |
|                       | MRV NAMA <i>Waste to Energy</i>                               | Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático |
|                       | MRV NAMA Agricultura  | Ministerio de Agricultura                     |
| <b>Energía</b>        | MRV de políticas y acciones de mitigación del sector energía  | Ministerio de Energía                         |
|                       | MV Asociación Chilena de Eficiencia Energética                | ASE   |
|                       | MRV biogás sector lechero                                     | Ministerio de Energía                         |
|                       | MRV Comuna Energética   | Ministerio de Energía                         |
|                       | MRV Programa Energía Solar                                    | Comité Solar                                  |
| <b>Otros</b>          | MRV CORSIA-Chile  | DGAC  |

MMA: Ministerio de Medio Ambiente; DCC: Departamento de Ciencias de la Computación; SMA: Superintendencia de Medio Ambiente; DGAC: Dirección General de Aeronáutica Civil; CONAF: Corporación Nacional Forestal; ASE: Agencia de Sostenibilidad Energética.

### 1.3 Sistemas de Medición y Verificación de Eficiencia Energética

Los sistemas MRV de la NAMA y MDL tienen como objetivo el reporte de reducción de GEI que pueden ser aplicados al sector de edificación. Por motivos diferentes, estos proyectos tienden a ser masivos.

Para proyectos más puntuales, el sector de edificaciones cuenta con actividades de monitoreo y verificación (M&V) relacionados al ahorro de energía en fase de operación. Los objetivos del M&V son planear, medir y analizar datos para evaluar la implementación de medidas de mejora de eficiencia energética (MMEs) en una instalación individual [21].

Los datos recopilados por los sistemas de M&V podrían ser usados como base para MRV de proyectos MDL o incluso de NAMAs enfocadas en energía.

En este contexto, las metodologías de M&V adoptadas a través de las herramientas de asistencia al diseño comúnmente utilizadas por la industria AECO difieren de los métodos de monitoreo, reporte y verificación (MRV) en sus objetivos:

- Orientar el diseño de la edificación;
- Reducir la *brecha de desempeño energético* a través de metodologías rigurosas, bien documentadas y aplicadas de manera consistente [22].

Esta brecha de desempeño energético es la diferencia observada entre el “edificio diseñado” versus el “edificio construido” (*as-built*). El gasto energético real de un edificio puede ser desde 60% menor hasta 250% mayor que el diseñado [23], [24].

Las causas subyacentes más importantes son la incertidumbre de especificación en la modelación de edificios, la discrepancia de los datos de clima simulado versus la realidad, el comportamiento de los ocupantes, la permanencia de los usuarios de la edificación dentro de la zona de confort térmico y las malas prácticas en la operación [25]. Dentro de las soluciones más discutidas dentro de la literatura para reducir la brecha se encuentran:

- 1) Mayor integración entre las partes interesadas durante la etapa de diseño y construcción con el objetivo de mejorar la especificación en el diseño y la calidad de la construcción a través de tecnologías emergentes [26];
- 2) Datos abiertos para una recopilación continua de evidencia sobre la brecha de rendimiento energético, a través de plataformas de recopilación de datos colaborativas, tales como CarbonBuzz [25];
- 3) El monitoreo, reporte y análisis de datos del desempeño del edificio operativo son imprescindibles para impulsar el cambio y la gestión en la operación [25].

La brecha de desempeño energético también podría extenderse a una brecha de desempeño del carbono incorporado, bajo la cual exista una diferencia significativa entre el carbono incorporado evaluado durante el diseño y el carbono incorporado en el edificio una vez construido. Esta nueva brecha del carbono incorporado tiene una gran variabilidad y parece ser significativa, lo que refuerza la necesidad de mejorar los sistemas de M&V en edificación [27].

## 1.4 Uso de tecnología en los Sistemas de MRV

Varios sistemas de MRV se apoyan en plataformas tecnológicas para cumplir funciones como:

- Recopilar información;
- Calcular indicadores;
- Mantener la conexión con los usuarios;
- Realizar verificación automática o facilitar la verificación por personas;
- Generar reportes para distintas partes interesadas.

En el caso del sistema MRV turco (DMS), este constituye un *hub* de información donde varios actores pueden interactuar con los datos, subiendo, bajando y observando información [15]. La Figura 6 muestra la interacción entre estos actores.

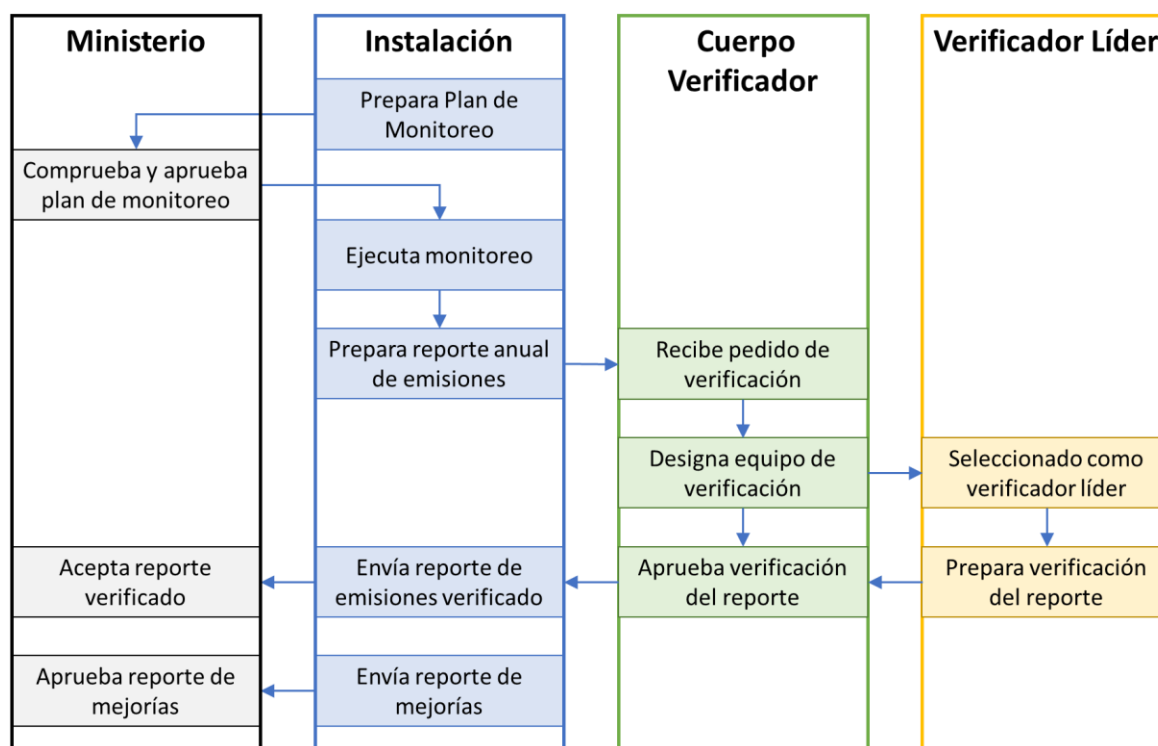


Figura 6: Esquema de interacción de los actores y sus responsabilidades en el sistema MRV de Turquía.

Estos sistemas requieren de fuertes etapas de capacitación para involucrar a los actores y lograr su confianza en el proceso.

## 1.5 Conclusión del Capítulo

Existe una gran variedad de sistemas de MRV desarrollados alrededor del mundo. Ellos se diferencian por sus objetivos, el alcance de gases de efecto invernadero y sectores productivos que consideran, además de la inclusión de incentivos (punitivos o promotores) para la participación.

Dentro de los sistemas de MRV cubiertos, solo unos pocos están enfocados en la construcción. Éstos se asocian normalmente a NAMAs para políticas de vivienda.

Algunas de las lecciones aprendidas en la implementación de sistemas MRV es que requieren una base financiera sólida que permita la creación de capacidad en los equipos y la construcción de una arquitectura electrónica que conecte a los actores y facilite los procesos. Adicionalmente se necesitan mandatos para las instituciones que manejarán el programa de MRV y arreglos interinstitucionales que eviten la duplicación de esfuerzos y aceleren la obtención de resultados.

En la construcción por el momento se trabaja con sistemas de M&V enfocados principalmente en energía. Estos sistemas son el punto de partida para involucrar a las partes interesadas desde el inicio del diseño de un sistema de MRV para la huella de carbono en todo el ciclo de vida de la construcción.

## 2 Medición

La medición en un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) de huella de carbono para el ciclo de vida completo de la edificación es el proceso de recolectar datos de cada etapa del ciclo de vida para estimar el impacto integral que esa obra tendrá en el cambio climático.

Para ello es necesario definir algunos aspectos técnicos de la huella de carbono, como los gases de efecto invernadero que se considerarán, la metodología de levantamiento de datos, la infraestructura de almacenamiento y operación de los datos, los factores de emisión y la unidad de reporte, entre otras, como fue presentado en el Informe "Alternativas Metodológicas para Levantamiento de Datos de Huella de Carbono".

Esta medición requiere la participación de múltiples actores como oficinas de arquitectura, constructoras, proveedores de productos de construcción (por ejemplo, cemento, barras de refuerzo) e inmobiliarias, así como el gobierno y la academia.

Esta medición puede a su vez entregar información valiosa a una serie de partes, como productores de políticas públicas, asociaciones gremiales, la academia e incluso los responsables del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) y otros reportes para la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

La medición puede realizarse de forma continua o discontinua dependiendo de qué se está midiendo. Por ejemplo, el proceso de producción de barras de refuerzo es estándar y por lo tanto una medición cada dos o tres años puede servir para alimentar otras huellas de carbono<sup>4</sup>. Por otro lado, la operación de un edificio es altamente variable, y aquí podría resultar interesante instalar sistemas de medición continua (como los medidores de servicios básicos o la tecnología *smart*) para tener información real y actualizada del verdadero impacto de esa edificación.

Usualmente mediciones de mayor calidad tienen mayor costo y peso administrativo. Por eso es práctico categorizar a los emisores de forma que aquellos que tengan más emisiones deban medir sus datos con métodos de mayor calidad (menos incertidumbre) y los actores menos importantes puedan hacerlo con métodos simplificados, de forma de no aumentar innecesariamente la dificultad de presentar la medición [14].

---

<sup>4</sup> Es interesante notar que para efectos de calcular el carbono incorporado, se debe mantener registro de las huellas de carbono de los materiales según año de producción. Por ejemplo: si hoy las barras de refuerzo tienen un impacto de 1kgCO<sub>2</sub>eq y hace 5 años fue de 1,5kgCO<sub>2</sub>eq, tengo que mantener ambos registros para edificaciones que fueron construidas hace 5 años u hoy.

## 2.1 Revisión Internacional

### 2.1.1 MRV Internacionales

El sistema EU ETS (Sistema de Intercambio de Emisiones de la Unión Europea) es el primer y mayor mercado de carbono del mundo [28]. Este sistema tiene como objetivo reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y perfluorocarbonos (PFCs) en Europa.

Existen solo algunos sectores priorizados<sup>5</sup>, e incluso dentro de estos el sistema solo obliga a ingresar plantas de producción mayores a un cierto tamaño [28].

Dependiendo de la contribución que haga la empresa, sus tipos de emisión e insumos, la medición puede realizarse en base a mediciones continuas con equipo de monitoreo remoto o en base a cálculos. Los cálculos pueden ser por balance de masa o usando factores de emisión para los combustibles y materiales utilizados en la planta [14].

Cada uno de estos métodos ofrece una calidad diferente de resultado, es decir, cambia el nivel de incertidumbre sobre la diferencia entre el dato reportado y la realidad. El sistema considera niveles de calidad para cada tipo de dato necesario para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>6</sup>, como se muestra en la Tabla 5.<sup>7</sup>

*Tabla 5: Definición de niveles de calidad del sistema EU ETS para los datos usados en el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por quema de combustible [29].*

| <b>Nivel de Calidad</b> | <b>Error en la masa del combustible*</b> | <b>Factores de Emisión</b> | <b>Valor calorífico</b>  | <b>Factor oxidativo</b>  | <b>Proporción de Biomasa</b> |
|-------------------------|--|----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <b>Nivel 4</b>          | ±1.5%                                    | Determinado por análisis   | Determinado por análisis | Determinado por análisis | Determinado por análisis     |
| <b>Nivel 3</b>          | ±2.5%                                    |                            |                          |                          |                              |
| <b>Nivel 2</b>          | ±5.0%                                    | Factores nacionales        | Factores nacionales      | Factores nacionales      |                              |
| <b>Nivel 1</b>          | ±7.5%                                    | Factores del IPCC          | Factores estándares      | 1                        | Factores estándares          |

*\*El error aceptable depende del tipo de combustible. Los valores son para combustibles comerciales comunes.*

<sup>5</sup> Producción de CO<sub>2</sub> de: producción de energía y calor, sectores intensivos en energía como refinerías, acero y hierro, aluminio, metales, cemento, cal, vidrio, cerámica, pulpa, papel, cartón, ácidos, químicos orgánicos a granel y aviación comercial. Producción de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) de la producción de ácidos nítrico, adípico y glioxílico y glioxal. Perfluorocarbonos (PFC) de la producción de aluminio. [28]

<sup>6</sup> La emisión de CO<sub>2</sub> equivalente por quema de combustible es dada por masa de combustible \* valor calorífico \* factor de emisión \* factor oxidativo \* proporción de biomasa.

<sup>7</sup> El sistema EU ETS es regido por la Comisión Europea y el Parlamento Europeo quienes definen los niveles y límites aceptables, incluyendo los parámetros de calidad de la Tabla 5.

|   | Fuentes Mayoritarias<br>$\geq 5.000 \text{ tCO}_2\text{eq/año}$ , o<br>$\geq 10\%$ del total | Fuentes Minoritarias<br>$< 5.000 \text{ tCO}_2\text{eq/año}$ , o<br>$< 10\%$ del total | Fuentes <i>De-minimis</i><br>$< 1.000 \text{ tCO}_2\text{eq/año}$ , o<br>$< 2\%$ del total |
|---|--|--|--|
| Instalación Categoría C<br>$> 500.000 \text{ tCO}_2\text{eq/año}$             | Mayor nivel de calidad. Si inviable, 1 nivel menos   |  |  |
| Instalación Categoría B<br>$> 50.000 \text{ tCO}_2\text{eq/año}$              | Mayor nivel de calidad. Si inviable, hasta 2 niveles menos                                   | Mayor nivel técnicamente viable y que no incurre en costos pocos razonables            | Estimaciones conservadoras o algún nivel de calidad sin esfuerzo adicional                 |
| Instalación Categoría A<br>$\leq 50.000 \text{ tCO}_2\text{eq/año}$           | Menor nivel aceptado   |  |  |
| Instalaciones con Bajas Emisiones<br>$\leq 25.000 \text{ tCO}_2\text{eq/año}$ | Simplificaciones adicionales   |  |  |

Figura 7: Requerimientos de calidad de datos por categoría de empresa y fuentes de emisión para el sistema EU.

En EU ETS la incertidumbre se maneja categorizando a las empresas, de forma que [14]:

- Se obtengan datos precisos para fuentes relevantes de GEI;
- Se reduzca la carga administrativa para fuentes menos importantes de GEI.

En consecuencia, las mayores fuentes de GEI tienen requerimiento de datos de mayor calidad y menor incertidumbre (ver Figura 7) [14]. Si llegar a la calidad requerida es técnicamente inviable o tiene un costo poco razonable, se puede bajar el nivel de exigencia con la debida comprobación y plan de mejora. Esto logra un sistema flexible de medición que facilita el trabajo de las empresas al mismo tiempo que controla la calidad de los resultados del sistema y alimenta de forma confiable la toma de decisiones.

Esto es importante porque son pocos los responsables por gran parte de las emisiones. En Alemania, por ejemplo, solo el 7% de las instalaciones emiten más del 80% de las emisiones de  $\text{CO}_2\text{eq}$ , llegando a prácticamente el 95% de los gases con solo el 29% de las empresas.

El sistema EU-ETS no tiene un paralelo directo con los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (INGEI) y no se pueden relacionar sus registros [30].

Un estándar de MRV que logra integrar varios niveles es el estándar de Políticas y Acciones del GHG Protocol, que es aplicado desde el nivel organizacional hasta el nivel nacional [31]. La Figura 8 muestra los usos de este estándar para cada tipo de actor.

Como se puede observar de la Figura 8, el estándar lograr aunar las necesidades de varias partes interesadas, desde proyectos de investigación académicos, hasta la evaluación de políticas públicas de alto nivel.



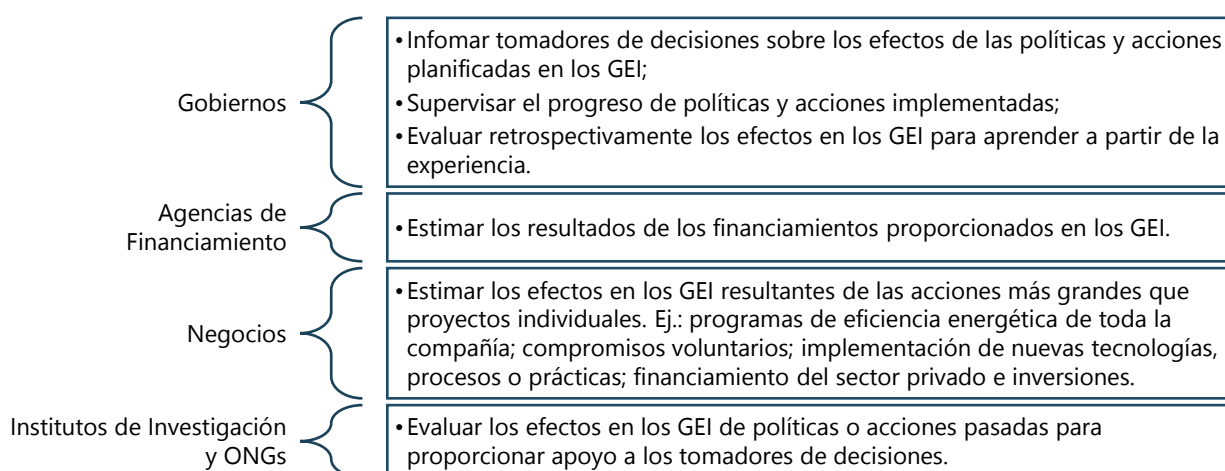


Figura 8: Usos del estándar GHG Protocol de Política y Acción por actores (elaboración propia a partir de [31]).

El estándar de Políticas y Acciones del GHG Protocol presenta ejemplos de indicadores clave para seguir los efectos de una política o acción de reducción de GEI [32]. La Tabla 6, muestra los distintos tipos de indicadores con ejemplos para el caso de un programa de subsidios de aislamiento de hogares.

Tabla 6: Tipos de indicadores para supervisar políticas y acciones de reducción de GEI (reproducido de [31]).

| Tipos de indicadores                            | Conceptos   | Ej.: programa de subsidios de aislamiento de hogares   | Ideal para                |
|---|---|--|---------------------------|
| <b>Entradas</b>                                 | Los recursos dirigidos a la implementación de una política, como el financiamiento  | Dinero invertido para implementar el programa de subsidios   | Supervisar implementación |
| <b>Actividades</b>                              | Actividades administrativas involucradas en implementar la política o acción, tales como permisos, licencias, adquisición o cumplimiento y aplicación | Número de auditorías de energía llevadas a cabo; total de subsidios proporcionados                                       | Supervisar implementación |
| <b>Efectos intermedios</b>                      | Cambios en la tecnología, el comportamiento, los procesos o las prácticas que resultan de una política o acción                                       | Cantidad de aislamiento instalado; fracción de hogares con aislamiento; cantidad de gas natural y electricidad consumida | Supervisar los efectos    |
| <b>Efectos en los GEI</b>                       | Cambios en emisiones de GEI por fuentes o eliminaciones a partir de sumideros que resultan de la política o acción                                    | Emisiones reducidas de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O del uso reducido de gas natural de hogares   | Supervisar los efectos    |
| <b>Efectos que no se relacionan con los GEI</b> | Cambios en las condiciones ambientales, sociales o económicas que resultan de una política o acción   | Ingreso disponible para hogares a partir de los ahorros de energía   | Supervisar los efectos    |

Los indicadores de la Tabla 6 son genéricos, pero el estándar también provee guía para sectores específicos. Algunos ejemplos de indicadores relevantes para políticas en el sector de la construcción son mostrados en la Tabla 7.

*Tabla 7: Ejemplos de indicadores para políticas relevantes al sector de la construcción (reproducido de [31]).*

| Ejemplos de políticas y acciones   | Ejemplos de datos a ser monitoreados  |
|--|---|
| Programa de eficiencia de energía en edificios comerciales                     | Uso de electricidad (anual, medición directa)<br>Factor de emisión de las redes de electricidad<br>Superficie de suelo de las unidades de construcción                |
| Incentivos de energía solar  | Paneles solares producidos/importados cada año<br>Capacidad de la energía solar instalada<br>Electricidad generada a partir de la energía solar                       |
| Campaña informativa para alentar el ahorro de energía en el sector residencial | Aplicar encuestas a hogares para saber el conocimiento de la campaña, las acciones realizadas, el tamaño e ingresos del hogar y el uso de energía a través del tiempo |

Un ejemplo aplicado de un MRV que integra los niveles de producto, edificación (operacional) y sectorial, es el programa *cap-and-trade* de California [33]. Este programa es administrado por el Directorio de Recursos Aéreos de California (CARB), que es la misma organización que produce el inventario de GEI del estado [34].

CARB recolecta información desde el sistema *cap-and-trade* (reporte directo de cada instalación, obligatorio), el Departamento para la Regulación de Pesticidas [35], [36], estimados de emisiones a partir de incendios forestales [37], [38] y otras fuentes.

A nivel de infraestructura, algunas de las fuentes más importantes de GEI en California (cuantificadas en el sistema) son: emisiones directas de los sectores residencia y comercial, generación de energía, uso de fertilizantes en jardines comerciales y residenciales y uso de gases refrigerantes típicos de sistemas de climatización [39].

### **2.1.2 Cada una de estas fuentes tiene sus propios protocolos para la captura de datos. Sin embargo CARB logra acceso a los datos desagregados, lo que permite transformarlos para la producción de inventarios compatibles con la Guía del IPCC para Inventarios de GEI nacionales. Esta transformación es posible gracias a un sistema de categorización definido que permite la interrelación entre los sistemas [33].**

#### **Medición de datos de actividad en la construcción**

En el caso del sector construcción la medición de huella de carbono se realiza solo en algunas herramientas, siendo mucho más común la medición de demanda energética. En este campo, y como fue mencionado en la Introducción, el principal desafío es la brecha de desempeño energético. Para reducirla, los estándares están cambiando lentamente desde una base en requerimientos *prescriptivos y de desempeño* a una base en *resultados* [40].

Los requerimientos *prescriptivos y de desempeño* han sido la base para la mayoría de los estándares, sistemas de certificación de edificaciones (SCEs) y herramientas de asistencia al diseño [41].

Los estándares prescriptivos establecen medidas individuales a cumplir durante la etapa de diseño para distintas regiones geográficas. De forma complementaria, los requerimientos de desempeño ponen atención al rendimiento del edificio completo. Para evaluarlos, se compara el desempeño modelado de la edificación con un rendimiento hipotético en edificios de referencia, cuantificando el ahorro de energía y el cumplimiento del código.

A pesar de su gran implementación, estos estándares tienen dos limitaciones [42]:

- La mayoría de estos estándares sirve a nuevas construcciones, pero no se usan con frecuencia en edificios existentes;
- Tienden a centrarse en las medidas de conservación de energía y el desempeño energético del modelo, más que en el uso real de energía, por lo que el uso indebido de la edificación puede reducir el desempeño de formas que son imprevisibles en la etapa de diseño.

Con el fin de abordar estos desafíos, han comenzado a surgir los códigos y estándares de *energía basados en resultados*. Estos estándares regulan el desempeño de un edificio en su etapa de operación. Los estándares basados en resultados requieren datos de rendimiento continuo durante al menos un año después de la ocupación del edificio para comparar con los objetivos establecidos en el estándar y evaluar el cumplimiento [42].

Con la aparición de estos estándares se logra una mayor integración entre las partes involucradas en las etapas de diseño, construcción y operación, la que tiene como objetivo mejorar la especificación en el diseño y la calidad de la construcción (ver ejemplo en el Cuadro 1).

Además, este tipo de estándares fortalece las actividades de M&V gracias a la estandarización de los métodos de monitoreo, reporte y verificación. Finalmente, asegura la creación de grandes bases de datos abiertos para una recopilación continua de evidencia sobre rendimiento energético y el posterior análisis

#### **Cuadro 1: Aplicación de estándar basado en resultados en Seattle.**

Desde 2008, la ciudad de Seattle es una de las pioneras en el mundo en el desarrollo de códigos de energía basados en resultados. En abril de 2017, la Oficina de Sostenibilidad y Medio Ambiente (OSE) de Seattle publicó abiertamente los datos de desempeño energético de 2015 para más de 3.300 edificios que informan datos a través del programa de evaluación comparativa de la ciudad a través de un sistema integrado. En 2018, un informe de estos datos muestra que, de 2014 a 2016, el uso total de energía para estos edificios disminuyó un 3,7% y las emisiones totales disminuyeron un 4,8%. Los grandes edificios de oficinas han visto algunas de las mejoras más importantes con una baja de 7% en la mediana de intensidad energética [23].

de datos del desempeño del edificio operativo a través del uso de herramientas emergentes como la inteligencia artificial (IA) [43].

El estándar de referencia más utilizado en M&V para la medición de los ahorros causados por medidas de mejora de la eficiencia energética en edificación ha sido el Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño (IPMVP®, por sus siglas en inglés). Fue creado por el Departamento de Energía de Estados Unidos para promover la inversión en eficiencia energética y de agua y proyectos de energía renovable en todo el mundo [44].

El protocolo especifica el contenido de un Plan de M&V que adhiere a los principios fundamentales de M&V y debe producir informes de ahorro verificables. En general, el IPMVP proporciona métodos con diferentes niveles de costo y precisión para determinar los ahorros para toda la instalación o para medidas individuales de conservación de energía (Tabla 8).

Actualmente es una importante referencia a la hora de estimar ahorros energéticos en la operación de edificios [45]. Por ejemplo:

- Level(s) exige la supervisión del desempeño energético e hídrico del edificio durante la ocupación, así como su comparación con otros edificios, lo que se puede verificar a través del Protocolo IPMVP [46].
- La certificación LEED toma como referencia el estándar IPMVP para el desarrollo e implementación de un Plan M&V, con dos de sus opciones metodológicas (B y D).

Otras certificaciones populares también se están transformando para incluir requerimientos asociados al desempeño. Los SCEs en general tienen formatos preestablecidos para ingresar la caracterización de los estudios a través de plataformas en línea [41].

Desde el año 2018 la certificación LEED v4.1 es complementada por la Plataforma ARC [47]. En ARC los usuarios ingresan datos sobre la operación de edificaciones y obtienen una evaluación comparativa con otros edificios similares, mejorando la calidad del *benchmark* y la información de apoyo para la toma de decisiones. En ARC, las mediciones deben ser ingresadas por los usuarios. Con esa información, el sistema realiza el monitoreo de desempeño y el reporte para usuarios como inversionistas, administradores y consultores. Además, facilita la recertificación de edificios LEED con una plataforma fácil de usar que actúa como repositorio de información relevante. Las mediciones de rendimiento se basan en el reporte datos voluntarios proporcionados para las categorías de la certificación *Arc Performance Certificate*.

Tabla 8: Las cuatro opciones metodológicas para procesos de medición de ahorro según estándar IPMVP (elaboración propia a partir de [21]).

|                         | <b>A – Medición Parcial</b>   | <b>B – Medición Completa</b>   | <b>C – Toda la Instalación</b>   | <b>D – Simulación Calibrada</b>  |
|-------------------------|---|--|--|--|
| <b>Medición</b>         | Parámetros clave y estimación de valores no medidos.  | Consumo de energía y variables representativas ( <i>proxies</i> ) del sistema.   | Consumo y demanda de energía en toda la instalación.                   | Simulación de toda o parte de la instalación.                            |
| <b>Fuentes de datos</b> | Medición en campo de los parámetros clave.  | Medición en campo y cálculos de ingeniería para <i>proxies</i> .   | Medidores de la empresa proveedora de energía.                         | Datos de medidores de usos finales o de desempeño para afinar el modelo. |
| <b>Se usa cuando</b>    | Es inviable medir todos los parámetros. Ej.: Estimar horas de funcionamiento de la iluminación. | Los parámetros varían entre el período de línea base y de ahorro. Ej. control de flujo de una bomba cambia tiempo de operación y potencia. | Los programas de gestión afectan a muchos sistemas de una instalación. | No había ningún medidor en el período de la línea base.                  |
| <b>Nota</b>             | Se evalúa el posible error por la estimación.   | La medición varía desde corto plazo hasta continua, dependiendo de la variación esperada de los parámetros.                                | Mediciones continuas.  | Requiere habilidad considerable en simulación calibrada.                 |

Similar a Arc, la plataforma BREEAM In-Use complementa a la certificación BREEAM. BREEAM In-Use es una metodología para la evaluación por tercera parte independiente y certificación del desempeño operacional de edificios no habitacionales [47] que se aplica a través de una plataforma en línea. El proceso se divide en cuatro etapas, luego de las cuales se logra la certificación [47]:

- Registrar el edificio en la plataforma;
- Ingresar los datos;
- Recibir un puntaje no verificado;
- Verificación por parte de un asesor licenciado de BREEAM In-Use.

Mientras ARC se enfoca en cinco parámetros (energía, agua, residuos, transporte y experiencia humana) [48], BREEAM In-Use contiene nueve, que incluyen las cinco de ARC más Administración, Contaminación, Use de Suelo y Ecología, y Materiales [47].

Ambas apoyan a los administradores de edificios en identificar oportunidades de eficiencia, mejorando los resultados operativos y de sostenibilidad [49].

### 2.1.3 Tecnologías emergentes en monitoreo de la edificación

En los últimos años las tecnologías de automatización en edificación y de edificación inteligente han comenzado a modificar la forma de hacer el monitoreo y verificación en la edificación[50].

Los edificios inteligentes (EI) se consideran un conjunto de sistemas que integran tecnologías de información y comunicaciones (TIC), retroalimentación y preferencias humanas, y los sistemas de infraestructura física del edificio [51]. Los EI apoyan e incentivan la utilización de información en tiempo real sobre clima y mercado para administrar los edificios dinámicamente, para optimizar la operación para todos los usos finales de la edificación.

La administración del edificio suele realizarse con un sistema de automatización de edificios (*Building Automation and Control System* o BACS) que se opera desde un sistema de gestión técnica del edificio (*Technical Building Management* o TBM). El uso de estos sistemas de gestión inteligente reducen drásticamente el consumo de energía al mismo tiempo que mejoran la operación y el ambiente interior [52].

Los antiguos sistemas de gestión de edificios se basaban en interruptores manuales y termostatos básicos, pero los actuales usan sensores para medir temperatura, CO<sub>2</sub> interior, flujo de aire, humedad, ocupación y nivel de luz natural, e integran estos sensores con un sistema central de control que maneja los sistemas individuales del edificio [53].

Existen múltiples definiciones para los sistemas de automatización y control de edificaciones (BACS) [54]. También se presentan en la literatura como: tecnologías de automatización de edificios (BAT), sistemas de control de edificios (BCS) y sistemas de gestión de edificios (BMS).

En términos sencillos, un BACS es una plataforma integral que coordina una serie de dispositivos eléctricos y mecánicos, para automatizar, monitorear, controlar y optimizar la operación del edificio. Por eso tiene la capacidad de reducir la energía necesaria para iluminar, calentar, enfriar y ventilar un edificio [53], [55], [56], [57], [58].

La gestión técnica de edificios (TBM) son los procesos y servicios relacionados a la operación y gestión de edificios y los sistemas técnicos de edificios a través de las interrelaciones entre distintas disciplinas y oficios. Por ejemplo, la optimización de edificios a través de interrelaciones entre la calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, iluminación y uso de luz natural, seguridad, sistemas eléctricos de potencia, medición de consumo energético, comunicaciones, mantención y gestión [53].

Como otras herramientas de medición en edificaciones, la TBM también se asocia frecuentemente a la gestión de la energía, lo que se denota en los otros nombres por los cuales se identifica: *Building Energy Management Systems* (BEMS), *Energy Management and Information Systems* (EMIS), o *Energy Integrated Control Systems* (EICS). Cuando se usa cualquiera de estos términos, implican el control integrado de un sistema en lugar del control individual de nivel de equipo.

La TBM es un subconjunto de los sistemas de gestión de edificios (*Building Management Systems* o BMS) y es un componente crítico de BACS, porque proporciona información para la operación, el mantenimiento y la gestión de edificios, especialmente para la gestión de la energía, entregando tendencias de capacidad y alertas de detección de uso innecesario de energía [59].

En años recientes se han desarrollado diversas aplicaciones para integrar los datos recogidos por BAS con los procesos de comisionamiento, fundamental para la verificación de la correcta instalación de los equipos.

Una tecnología estandarizada y rentable que ha permitido esta integración ha sido el Building Controls Virtual Test Bed (BCVTB), un software de código abierto y de libre acceso que puede vincular diferentes programas de simulación (EnergyPlus, Modelica, Radiance, MATLAB, Simulink) con los datos recogidos por BAS que registran los cambios en las cargas internas durante la operación del edificio [60].

Este tipo de tecnologías contribuirá a integrar los datos de los sistemas BAS para permitir el comisionamiento, M&V y posteriormente MRV en tiempo real. Esta forma de medición y verificación contribuye a mejorar la eficiencia y estandarización, ya que en la actualidad cada uno de estos procesos: simulación (durante la etapa de diseño), comisionamiento (puesta en marcha) y monitoreo (etapa de operación) es realizada por distintos actores de manera independiente y desintegrada.

## 2.2 Revisión Nacional

A nivel nacional las metodologías de medición de aspectos en cambio climático en la edificación están asociadas a las normas ISO de la serie 14060, las Declaraciones Ambientales de Producto, y los sistemas de certificación de edificios, como LEED, entre otros, como fue comentado en el primer informe de esta serie sobre Levantamiento de Datos de Huella de Carbono.

Existen en Chile existen múltiples sistemas de MRV, pero dos de ellos destacan:

- El programa Huella Chile, que es un sistema voluntario para la medición de la huella de carbono corporativa, y
- El MRV asociado a los impuestos verdes, que son obligatorios e incluyen a una selección de empresas con potencias térmicas mayores a 50MWt.

En Huella Chile, los usuarios ingresan datos de actividad y reciben el cálculo de su huella de carbono corporativa en un informe estandarizado [61] que ha sido generado automáticamente por la plataforma. La empresa es incentivada a realizar la verificación a cambio de un sello del programa.

La metodología de medición es a partir de datos de actividad informados por la propia empresa que postula a la certificación, los que luego son verificados por un verificador autorizado por el programa.



Los impuestos verdes incluyen el impuesto de 5USD/ton emitida de CO<sub>2</sub> [62]. En este sistema se miden las emisiones de gases de efecto invernadero con alguna de las metodologías incluidas en la Tabla 9.

Tabla 9: Metodologías de medición para el MRV de impuestos verdes en Chile (reproducido de [62]).

| Metodología  | Medición                             | Parámetro Medido   | Frecuencia                                      |
|--|--------------------------------------|--|---|
| <b>Medición Continua de emisiones</b>                                | Sistema de Monitoreo Continuo (CEMS) | Concentraciones, flujos de gases                                   | Continua (por minuto y horaria)                 |
| <b>Método alternativo</b>  | Estimación de emisiones              | Flujo de combustible, consumo energético                           | Horaria, diaria, mensual, trimestral            |
| <b>Medición/muestreo discreto a plena carga o a cargas variables</b> | Método de referencia (MR)            | Concentraciones (MR), flujos de gases (MR), funcionamiento horario | 3 veces al año a plena carga o a carga variable |

Como se observa de la tabla, los métodos pueden ser continuos a partir de mediciones o discontinuos, usando métodos de referencia donde la emisión se calcula en base al consumo de energía. Esto es equivalente al cálculo usando *factores de emisión*, revisado en la primera parte de esta serie de informes.

Dentro de este sistema de MRV, los métodos de medición continua de emisiones (CEMS) son usados para apenas el 35% de las instalaciones afectas al impuesto, sin embargo esta fracción constituye el 94% de la recaudación del impuesto [62].

Este MRV logra entregar flexibilidad para los usuarios al mismo tiempo que logra precisión en los emisores más importantes (las termoeléctricas) [62].

### 2.2.1 Capacidades

El gobierno de Chile cuenta con un equipo técnico sobre sistemas de MRV (ET-MRV) conformado por varios ministerios y agencias que colaboran para la implementación de sistemas de MRV en el país [20].

Este equipo se dedica a generar lineamientos para los MRV de forma de:

- Evitar la doble contabilidad;
- Integrar los enfoques *top-down* (ej. INGEI) y *bottom-up* (ej. Huella Chile, impuestos verdes);
- Integrar el nivel subnacional;
- Definir como los MRV pueden apoyar el seguimiento del cumplimiento de las NDC; y
- Mantener la coherencia entre los sistemas.

Para ello, enfocan su trabajo en las tres áreas mostradas en la Figura 9.



|                        |  |
|------------------------|--|
| Reglas de Coordinación | Reglas asociadas a los conflictos que se podrían solucionar a través de una correcta coordinación entre los distintos agentes.         |
| Reglas metodológicas   | Reglas asociadas a las metodologías utilizadas para cuantificar la reducción/absorción de GEI  |
| Reglas de integración  | Recomendaciones para abordar el problema de manera integral una vez recibida la información proveniente de los distintos sistemas MRV. |

*Figura 9: Áreas de actuación del Equipo Técnico sobre sistemas MRV en Chile.*

Los retos para este grupo de trabajo son [63]:

- Generar más información y de mejor calidad;
- Fortalecer bases legales para dar carácter obligatorio al reporte de políticas climáticas;
- Obtener financiamiento para establecer sistemas MRV;
- Crear y fortalecer capacidades a nivel institucional en MRV.

## 2.3 Diagnóstico

Actualmente en Chile el sistema más extendido para la medición de huella de carbono es el programa Huella Chile, el que por el momento se basa en el cálculo de emisiones en base a datos de actividad y factores de emisión. Esto equivale al sistema más simplificado de cálculo de emisiones en el EU ETS [14].

El otro gran sistema de MVR del país es el asociado al impuesto verde. En éste solo se consideran grandes emisores de CO<sub>2</sub>, que deben medir y reportar sus emisiones con métodos distintos y diferenciados como medición continua o discontinua y estimación con factores parametrizados a partir de datos de consumo de combustible [62].

Estos métodos se asemejan más a los métodos Tier 2, 3 y 4 del sistema EU ETS [14]. En Chile existe capacidad humana para crear sistemas de MRV robustos y coherentes que sirvan múltiples propósitos, concentrada en el Equipo Técnico de MRV liderado por el Ministerio del Medio Ambiente [20].

Un desafío importante en la medición en un sistema de MRV multinivel (producto, edificación sectorial) es que la recogida de datos incluya toda la información necesaria para poder agregar la información y generar reportes para varios actores al mismo tiempo. Al respecto, EU ETS es un sistema de MRV no compatible con los inventarios nacionales de GEI. Por su parte el sistema *cap-and-trade* de CARB sí está construido de forma de lograr la integración de múltiples fuentes de información.

## 2.4 Conclusión del capítulo

En este momento en el mercado de la edificación dominan los sistemas de M&V orientados a reducir la brecha energética a través de metodologías rigurosas, bien documentadas y aplicadas de manera consistente.

La creación de sistemas electrónicos para la medición de emisiones de gases de efecto invernadero (al estilo de EU-ETS) ofrece oportunidades para el involucramiento de los diversos actores del ciclo de vida de la construcción, así como la generación de bases de datos multipropósito que permitan informar no solo al gobierno, sino también a otras partes interesadas.

Estos sistemas se pueden beneficiar de una arquitectura de datos que haga posible la generación de información compatible con múltiples sistemas de reporte, como logra CARB.

Existe experiencia tanto en el extranjero como en Chile con sistemas de MRV con diferenciación según contribución. En el caso alemán, el 81% de las emisiones salen de solo el 7% de las instalaciones consideradas en el MRV [14]. En el caso chileno, el 91% de las emisiones provienen del 35% de las instalaciones afectas a impuesto verde [62].

Además, esto concentra los esfuerzos de aseguramiento de calidad de los datos (fiscalizaciones, control, verificaciones). Por eso se concluye que la categorización es una estrategia interesante para la implementación de MRV de la construcción.

### 3 Reporte

El reporte es la actividad de mostrar los resultados de la medición. Estos resultados normalmente tienen un formato estandarizado, para facilitar la comparación que realizarán los usuarios.

Los informes de huella de carbono deben cumplir con ciertos principios, que tienen como fin orientar la producción del informe de manera que el lector pueda sacar conclusiones y tomar decisiones en base a los resultados. Estos principios varían según el programa, pero suelen estar centrados en los siguientes [6]:

- Transparencia: el reporte incluye una explicación clara de todos los supuestos, metodologías y exclusiones, de forma que otros usuarios puedan reproducir y evaluar el inventario de forma independiente.
- Coherencia: la metodología se mantiene año a año y las fuentes de datos son coherentes con las emisiones y remociones de GEI del objeto siendo reportado.
- Comparabilidad: se utilizan metodologías que propician la comparabilidad de resultados.
- Exhaustividad: se consideran todas las fuentes y sumideros de GEI relevantes y todos los tipos de GEI<sup>8</sup> y las etapas del ciclo de vida de los productos<sup>9</sup>.
- Precisión: los resultados entregan una base confiable a los tomadores de decisiones y no presentan problemas de materialidad. En general, esto se refiere a tener resultados con baja incertidumbre.

Existen múltiples maneras de reportar resultados de huella de carbono. El formato más común es un informe [15], pero también se puede reportar directamente desde la base de datos [47], una infografía e incluso un video de divulgación. En cualquiera de esos casos, se debe cumplir con los principios del programa de huella de carbono o MRV al que se reporta.

Como se muestra en la Figura 10, el reporte es realizado por actores distintos dependiendo del nivel de que se trate.

- Para huella de carbono de productos de la construcción, el productor del reporte puede ser la empresa (resultados individuales) o una asociación sectorial (resultados agregados).
- Para el caso de edificaciones, habrá múltiples reporteros, dependiendo de la forma que tome el sistema de huella de carbono. Si el sistema incluye el apoyo al diseño de la edificación, habrá reporte de la oficina de arquitectura y también de la constructora. A eso se suma el reporte que pueda hacer la agencia nacional encargada del programa de huella de carbono o el administrador de la edificación durante la fase de uso. Finalmente, habrá un reporte del agente que finalice la vida de la edificación.

---

<sup>8</sup> El alcance de GEI un aspecto que varía mucho entre metodologías. En general, los sistemas de reporte subnacionales se enfocan solamente en algunos gases.

<sup>9</sup> El alcance en etapas del ciclo de vida también varía bastante. Mientras en las normas ISO de la serie 14060, dedicadas a Huella de carbono, se insta a considerar inventarios “de la cuna la tumba”, los inventarios nacionales tienen foco geográfico, es decir, se reportan emisiones provenientes solamente del territorio nacional.



Figura 10: Actores responsables por cada nivel de reporte en un sistema MRV. Note que los niveles superiores ocupan la información de los niveles inferiores para hacer sus mediciones.

- En el caso de reportes del gobierno, serán los ministerios y agencias los que reporten sobre los resultados agregados del MRV y su metodología.

Por supuesto, la información reportada variará dependiendo de quién reporta y sobre qué, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Datos y metadatos comúnmente reportados a nivel de producto y sectorial (Elaboración propia en base a [6]).

|                  | Nivel de Productos  | Nivel Sectorial   |
|------------------|---|---|
| <b>Datos</b>     | Emisiones por tipo de GEI, contribuyente <sup>10</sup> , partes del ciclo de vida | Inventario de GEI, acciones de mitigación, cumplimiento de metas                                |
| <b>Metadatos</b> | Fuentes de datos, supuestos, exclusiones, nivel de incertidumbre                  | Acuerdos institucionales, metodología de levantamiento de datos y metodología de incertidumbre. |

Las frecuencias de reporte son variables y dependen del programa de huella de carbono al que se reporte. Pueden ser anuales, como en el caso de los programas empresariales de huella de carbono [64] o bienales como en el caso de los informes a la Convención Marco por parte de los países en desarrollo [65]. Para productos, como barras de refuerzo o edificios, suelen hacer actualizaciones de la medición cada cinco años o en periodos más cortos cuando hay cambios importantes en el proceso [66] dentro de los programas de Declaración Ambiental de Productos (DAP).

<sup>10</sup> El contribuyente puede ser una actividad, como movimiento de tierra, transporte, instalación; o un material, como el cemento, acero, madera, entre otros.

### 3.1 Revisión Internacional

En el capítulo de introducción, se mencionó la distinción entre los objetivos de los sistemas MRV para gases de efecto invernadero y los M&V para medidas de eficiencia energética en la construcción.

En el caso del reporte de los resultados, existe también una diferencia importante entre los requisitos de reporte de los sistemas de M&V tradicionales y los requisitos establecidos en las herramientas de asistencia al diseño de edificación.<sup>11</sup>

En la mayoría de las herramientas de asistencia al diseño, el reporte se realiza con el fin de informar el impacto ambiental y la caracterización de una estrategia de diseño. Por otro lado, el reporte M&V de las medidas de MME se realiza para documentar el desempeño global de las medidas de eficiencia durante un periodo de referencia [67].

A continuación se cubren los tres tipos de reporte a nivel internacional.

#### 3.1.1 Reportes en sistemas de MRV para el cambio climático

Para el caso del reporte de mitigación de impactos, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) ha definido metodologías relevantes para edificios en el marco de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), como se muestra en la Figura 11.

Esta metodología es importante porque permite generar Certificados de Reducción de Emisiones (CER), un concepto relacionado a los “bonos de carbono”. Ésta podría ser una alternativa de financiamiento para la mejora energética de edificios. La metodología además indica cómo estimar la “línea base” para luego compararla con los resultados de las acciones de mitigación.



Figura 11. Metodologías para proyectos de MDL asociados a edificaciones. En base a [98]–[102]

<sup>11</sup> Como fue discutido en el informe de Levantamiento de Datos, las herramientas de asistencia al diseño pueden ser estándares, guías de asistencia, calculadoras, entre otras.

En el caso de CARB, el programa recolecta información desde el sistema *cap-and-trade* y otras fuentes para producir un inventario de emisiones de GEI que es compatible con tres esquemas de categorización [34]:

- Plan de alcances (*scoping plan*): correspondiente a la ley AB32 “Acto de 2006 sobre Soluciones para el Cambio Climático”;
- Sectores económicos: estándar para la clasificación de los establecimientos emisores;
- Categorías orientadas a procesos del IPPC.

De esta forma, la información de emisiones puede ser aprovechada nuevamente en reportes sobre actividad económica y la ley AB32, además de servir para la construcción del inventario estatal. El reporte en CARB consta de gráficos en su página web, información georreferenciada, tablas Excel e informes que detallan cada una de las contribuciones al inventario [34].

### 3.1.2 Reportes en sistemas M&V para la construcción

Como ya se ha comentado los sistemas M&V para la construcción se enfocan en las medidas de mejora de eficiencia energética (MMEE). Similar al estándar de reportes de GHG Protocol, los reportes de M&V se enfocan en informar las diferencias entre una línea base y los resultados de una determinada acción. En este caso, una acción de MMEE.

Por lo tanto, sus reportes tienen un formato de plan de acción, con actividades principales, fechas y resultados. Por ejemplo, a nivel de proyecto, el estándar IPMVP exige que el reporte incluya como mínimo la siguiente información [21]:

- Descripción general: histórico del proyecto, descripción de la actividad, forma de medición (ver Tabla 8 página 28);
- Detalles de medición: fechas de los períodos de la línea base, período de ahorro y período de medición; datos de uso de energía, de las variables independientes y factores estáticos;
- Metodología y metadatos: actividades de inspección, métodos de cálculo y análisis de datos, suposiciones, fuentes de datos, ajustes de línea base;
- Resultados: ahorro de energía, ahorro de costos, comparación con ahorros propuestos.

De forma similar, en el caso del Estándar de Política y Acción del Instituto Mundial de los Recursos (WRI), los usuarios deben reportar información acerca de la evaluación de GEI y el cambio estimado en las emisiones y absorciones de GEI derivado de la política o acción [68], en relación a reportes anteriores (si existen).

### 3.1.3 Reportes por herramientas de asistencia a diseño de la construcción

Las herramientas de asistencia al diseño, tales como los estándares EN 15978:2011 y EN 15804:2012, entregan lineamientos específicos sobre el reporte, incluyendo la forma de identificar la obra cuyo desempeño se reporta, y las tablas que deben ser usadas para mostrar los resultados [69], [70].

En estas normas, el reporte se define como “el resumen sistemático y completo de la documentación del proyecto que respalda la verificación de una EPD. El informe del proyecto deberá registrar que la información basada en ACV y la información adicional declarada en la DAP cumplen con los requisitos de la norma”[70].

Esta sistematización del reporte se ve limitada en el área de la edificación dada la libertad con la cual los desarrolladores de estudios identifican las diferentes partes de un análisis de ciclo de vida. En una revisión de literatura se encontraron 650 parámetros diferentes para describir la unidad funcional del edificio, de los cuales el 83% fue usado solo en un estudio [71]. Para más información, ver Cuadro 2.

Dado que los estudios de WBLCA solo pueden ser comparados en base a una misma unidad funcional, se convierte en una tarea crítica aumentar la consistencia de los parámetros que describen el edificio en los reportes de huella de carbono en la industria AECO.

Indudablemente, la estandarización de la unidad funcional es una condición clave para lograr la comparabilidad entre estudios.

Para resolver este desafío, se propuso una taxonomía de parámetros [72] que pueden usarse en los reportes de carbono en el futuro. Esta taxonomía se compone de 54 parámetros distintos, de los cuales 21 se usan para describir el objetivo del análisis y 33 para la definición del alcance. Se adjunta esta taxonomía a este informe como referencia en el Anexo C.

## 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 [103]. 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  $\text{m}^2$ . 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, $\text{m}^2$                        |
|                      | Reference area, $\text{m}^2$                   |
|                      | Net Internal floor area (NIA) ( $\text{m}^2$ ) |
|                      | Net internal floor area (NIA)                  |
|                      | Land area ( $\text{m}^2$ )                     |
|                      | GSA ( $\text{m}^2$ )                           |
|                      | Gross internal area (GIA)                      |
|                      | Gross floor area (GFA) ( $\text{m}^2$ )        |
|                      | Gross Building Area ( $\text{ft}^2$ )          |
|                      | Floor area, $\text{m}^2$                       |

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

En el caso de RICS, se usa un formato de reporte que define de forma específica los parámetros que deben incluir [73].

La falta de la información apropiada en los reportes de huella de carbono dificulta la comparabilidad entre estudios. Este tipo de reporte debe incluir al menos [74]: Asimismo, la falta de la información apropiada en los reportes de huella de carbono (fuera de la unidad funcional) dificulta la comparabilidad entre estudios. Este tipo de reporte debe incluir al menos [74]:

- Una lista de las etapas del ciclo de vida
- Los procesos unitarios incluidos dentro del límite del sistema;
- Una declaración del procedimiento de cálculo.

### 3.1.4 Frecuencia de Reporte

La frecuencia de reporte varía según el programa de huella de carbono que se esté siguiendo.

Para los reportes a la CMNUCC las frecuencias de reporte son anuales para países desarrollados y bienales para los países en desarrollo. Adicionalmente, cada cinco años los países envían sus Contribuciones Determinadas Nacionalmente (NDC).

En el caso de programas de huella de carbono enfocados en el sector privado y gobiernos subnacionales, como GHG Protocol y Carbon Disclosure Project (CDP), la frecuencia de reporte suele ser anual.

Dentro de los SCEs y herramientas de asistencia al diseño, y particularmente en el caso de las mediciones de huella de carbono, solo hay instancias (y no frecuencias) de reporte. Suele informarse en la etapa de diseño (ex-ante), al momento de finalizar la obra o hasta un año después del inicio de la operación (ex-post).

Finalmente, en los sistemas de M&V del desempeño energético se reporta generalmente durante la etapa de operación, tanto para generar la línea base como para mostrar resultados.

### 3.1.5 Transparencia

Un aspecto central del reporte es la transparencia, el que encuentra soluciones diversas dependiendo del programa de MRV.

Para ejemplificar se contrastan dos sistemas MRV para embarcaciones, el de la Organización Marítima Internacional (IMO) y el Thetis-MRV de la comunidad europea.

La Organización Marítima Internacional (IMO) tiene un sistema de MRV para las emisiones de embarcaciones mayores a 5,000 toneladas. En él, las embarcaciones reportan datos de actividad relevantes para sus emisiones de GEI a sus países de procedencia (*flag state*), quienes los verifican y los reportan a la base de datos de la IMO [75]. A su vez, la IMO entrega los datos para usuarios específicos relacionados con la embarcación en distintos niveles de agregación [76]. Este sistema impide el acceso directo a los datos por embarcación a cualquier usuario que no sea el dueño.



Por otro lado, Thetis-MRV tiene un sistema privado para subir la información, pero el reporte es totalmente abierto [77], pudiendo cualquier usuario, sin necesidad de crear una cuenta, encontrar las emisiones del periodo para cualquier embarcación europea, que haya recalado o salido desde Europa.

Por otro lado, Thetis-MRV tiene un sistema privado para subir la información, pero el reporte es totalmente abierto [77], pudiendo cualquier usuario, sin necesidad de crear una cuenta, encontrar las emisiones del periodo para cualquier embarcación europea, que haya recalado o salido desde Europa.

Otro ejemplo de transparencia total es el MRV del sistema *cap-and-trade* de California. Toda la información del sistema es totalmente abierta, desde la emisión informada por cada instalación hasta los resultados de huella de carbono para el estado y condados [34].

### 3.2 Revisión Nacional

El mayor sistema de MRV a nivel nacional es el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) al que se accede a través de la Ventanilla Única.

Este sistema electrónico permite a las empresas reportar de forma regular sus emisiones y a las autoridades monitorear estas emisiones para orientar decisiones [78]. Asimismo, es la vía de acceso para el programa Huella Chile, en que se puede realizar el cálculo de la huella de carbono corporativa de las empresas [61].

En RETC los usuarios ingresan información, la que es validada de forma interna. Con esa información la plataforma genera reportes en formato mapa [79], panel de control [80] y documento escrito (resultados agregados) [81].

Este sistema de MRV funciona con política de datos abiertos y transparencia total sobre las emisiones reportadas.

Los MRV de Comuna Energética y la Certificación de Ahorros de Proyectos Energético (CAPE) de la Agencia de Sostenibilidad Energética (ASE) tienen sistemas de reporte obligatorios como parte de los métodos IPMVP para MRV. En el caso del MRV de Comuna Energética el sistema entrega puntos porque la autoridad comunal entregue reportes regulares sobre el consumo energético a los habitantes, así como producir resultados regulares sobre la huella de carbono asociada a energía [82].

En el caso de la Certificación CAPE, tal como en otros sistemas de certificación, el proceso se realiza a través de la *Herramienta de Evaluación CAPE* que además se encarga agilizar el proceso de documentación de la información de proyectos energéticos, su análisis y reporte, con la finalidad de hacer el proceso de M&V de resultados de proyectos energéticos más expeditos, transparentes y robustos [83].

A lo largo del proceso, la Certificación CAPE considera una serie de “Productos” que se traducen en reportes con la información necesaria de acuerdo con cada etapa de la certificación. Algunos de los ejemplos de estos reportes son [84]:

- Informes de aceptación o rechazo de la pre-certificación: que incluyen la descripción del proyecto y las medidas, además de información técnica para justificar la decisión;
- Reportes parciales de resultados: donde se muestran la línea base y los resultados del periodo de demostración, entre otras informaciones; y
- Certificados de ahorro de energía anual: que incluye no solo la energía ahorrada en el periodo, sino también las toneladas de CO<sub>2</sub>eq evitadas.

### 3.3 Diagnóstico

Los sistemas de MRV actualmente disponibles en Chile y el extranjero entregan especificaciones concretas sobre la forma de reporte. Estas son aún más estrictas en los casos en los que el reporte se realiza a través de una plataforma en línea, como el RETC.

Para llegar a tal nivel de estandarización es importante considerar las características del MRV que se desea desarrollar, en este caso enfocado en la huella de carbono de la edificación en todo su *ciclo de vida*. Esto añade un nivel de complejidad al sistema en cuanto al reporte ya que se debe definir claramente los parámetros bajo los cuales reportes distintos serán comparables.

En Chile ya existen experiencias generando reportes automatizados (RETC, Huella Chile), y reportes de sistemas de eficiencia energética en la construcción, las que podrían complementarse con las experiencias de reporte de MRV para la construcción en el extranjero.

Asimismo, se debe pensar en el tipo de incentivos que habrá al reporte, ya sean estos punitivos (como en el caso de EU ETS) como promotores (como con los sellos de Huella Chile).

Finalmente, las experiencias revisadas muestran distintos niveles de transparencia en el reporte, desde la total hasta la restringida.

### 3.4 Conclusión del capítulo

En general se observa que el reporte de resultados de MRV va en la dirección de la digitalización, con niveles de reporte segregados para varios tipos de usuarios.

Estos reportes se deberían configurar automáticamente, de forma que cada nivel obtenga la información que requiere para tomar decisiones.

Para esto será relevante contar con un conocimiento profundo de los requerimientos de información de cada usuario (sectorial, edificación y producto) y de lo que consideren apropiado o necesario transparentar en esos reportes.

## 4 Verificación

La verificación es la revisión analítica para comprender si las mediciones reportadas son completas y confiables [7]. Sus objetivos son asegurar que [85]:

- Las emisiones se han medido de acuerdo con los requerimientos legales y el plan de monitoreo aprobado (cuando existe uno); y
- Se han reportado datos de emisiones correctos y confiables, donde los datos reportados son congruentes con los medidos.

Esto incluye la revisión de los datos de actividad (medidos y estimados), los factores de emisión y los resultados de la huella de carbono, además de revisar suposiciones y exclusiones del estudio.

El resultado de una verificación exitosa será que el reporte no contiene **errores materiales** en su declaración [5], [85]. Las diferencias materiales son todas aquellas que podrían causar un cambio en la conclusión que un usuario de la información pueda extraer a partir de los datos.

Existen dos momentos donde se puede realizar una verificación [7]:

- Antes de la ejecución del proyecto, *ex-ante* o **validación** [5]: en la que se estiman los impactos futuros de una actividad, como por ejemplo, el cambio que logrará la implementación de iluminación inteligente sobre el consumo energético de un edificio. Esto es típico de las calculadoras que apoyan el proceso de diseño de edificaciones, usadas actualmente para estimar los impactos en el ciclo de vida, como One-Click LCA.
- Después de la ejecución del proyecto, *ex-post* o **verificación** [5]: donde se evalúan los impactos medidos del proyecto. Por ejemplo, cuando se calcula la huella de carbono con los datos reales de la producción de cemento.

Sin importar cuál sea el momento de la verificación, es importante planificar la medición de impactos estableciendo sistemas de medición para asegurar que la información relevante estará disponible a la hora de hacer la medición, reporte y verificación [7]. En caso contrario, se puede perder información relevante para llegar a resultados confiables.

En casi todos los esquemas de verificación, este paso es realizado por profesionales competentes e imparciales cuya responsabilidad es asegurar que un informe de huella de carbono es materialmente correcto. Si bien deben ser imparciales, los verificadores pueden tener o no relación con el proyecto que se esté revisando. En general se reconocen tres tipos de verificación:

- Verificación de **primera parte**: en la cual un actor interno de la empresa realiza la revisión en base a una herramienta de apoyo, por ejemplo, una lista de cotejo. En el esquema de una huella de carbono, podría ser un miembro de la organización que revisa el inventario antes de que sea enviado al sistema de MRV.
- Verificación de **segunda parte**: en la cual un cliente o proveedor realiza la revisión de datos entregados por su socio comercial. Por ejemplo, cuando una constructora realiza la verificación de los datos entregados por sus proveedores.

- Verificación de **tercera parte**: también llamada “verificación independiente”, debe asegurar que el verificador no tiene conflictos de interés con el estudio o empresa siendo verificada. Este es el tipo de verificación más aceptado para la huella de carbono y es el que normalmente se encuentra en los sistemas de MRV.

Independiente del actor que realiza la verificación, se pueden utilizar múltiples técnicas para identificar potenciales discrepancias o imprecisiones en un inventario de huella de carbono, algunas de las cuales se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Técnicas para la verificación de huella de carbono (producción propia en base a [6]).

| Alcance de la verificación                              | Método utilizado   | Uso  |
|---|--|--|
| <b>Verificación de los datos</b>                        | Benchmarking contra los resultados previos del mismo objeto del estudio.   | Todo tipo de huellas de carbono.   |
|   | Benchmarking contra otras instalaciones, sectores o países.  | Reportes de emisión sectoriales (ej. acero).   |
|   | Verificación de tendencias con mecanismos de reporte paralelos, como reportes de emisión de la instalación a las autoridades, estadísticas de empleo o indicadores económicos. En general, a mayor actividad económica se esperaría mayor emisión. | Revisión de reportes nacionales, sectoriales (ej. construcción) o de producto (ej. cemento). |
| <b>Verificación por detección remota</b>                | Comparación de los datos reportados por la organización contra aquellos medidos por imágenes satelitales o equipos de monitoreo ambiental, utilizado para reporte de países.   | Reportes nacionales y de sectores con alto alcance territorial, como el forestal.            |
|   | Lectura directa de los datos de actividad de la edificación por sistemas de control automáticos, como tecnología “Smart” de ahorro energético y climatización.   | Reportes de edificación.   |
| <b>Verificación de estimados y métodos por terceros</b> | Revisión del inventario por expertos. Por ejemplo: consultores independientes de huella de carbono, expertos de revisión de la CMNUCC y el enfoque ICA.  | Revisión de reportes nacionales (ICA), sectoriales o de producto.                            |
|   | Comparación de datos reportados contra estadísticas internacionales o estimados independientes como la Base de Datos para la Investigación Atmosférica (EDGAR), FAO, CEPAL, entre otras.   | Revisión de reportes nacionales, subnacionales, de sectores o productos específicos.         |
|   | Verificación en programas de venta de bonos de carbono, o por auditores independientes dentro de otros programas de MRV.   | Para proyectos o productos específicos.  |

En general la verificación requiere de personas con experiencia tanto en la metodología como en el sector específico al cual se refiere el estudio [5] porque al final del día es la experiencia de esas personas la que facilita encontrar las fuentes de imprecisión y entregar retroalimentación a los productores de la huella de carbono.

Sin embargo, también es posible incluir controles automáticos para los inventarios, especialmente cuando el ingreso de datos es en plataformas electrónicas. Una revisión importante es el porcentaje de cambio de los resultados entre un periodo y el siguiente. En general, no se debería esperar grandes cambios en los datos entre reportes para productos con procesos de producción estandarizados, ni para edificaciones en operación. Si los cambios son mayores al 10% entonces es una señal de alerta para el verificador.

## **4.1 Revisión Internacional**

En el sector de la edificación aún no se desarrollan sistemas de MRV asociados a la huella de carbono. En cambio, se entiende por verificación la evaluación de conformidad entre la obra construida y el diseño presentado.

Sí existen algunos ejemplos de aplicación a la construcción dentro de sistemas de MRV de la CMNUCC, a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) y las Acciones de Mitigación Apropriadas para la Nación (NAMA).

Un ejemplo de verificación por tercera parte es el caso de los informes nacionales presentados por los gobiernos a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En éstos, son auditores individuales (para proyectos MDL) o equipos de revisores los que realizan la revisión del inventario y de los reportes bienales de actualización. Incluso se cuenta con un mecanismo llamado “Consulta y Análisis Internacional”, donde equipos de revisores realizan la revisión de los inventarios y de los informes bienales [6].

### **4.1.1 MRV Internacionales**

En el caso del EU ETS, la verificación está fuertemente normada y hay incentivos económicos para realizarla bien. En el caso que los datos entregados por una planta estén errados o intencionadamente distorsionados, se aplican dos multas: una a nivel de la Unión Europea de 100 euros por tonelada de CO<sub>2</sub>eq y una segunda nacional. En Alemania, la multa por negligencia es de 50.000 € y la por intento de distorsión de 500.000 € [86].

Este incentivo económico para reportar datos fidedignos se acompaña con un robusto sistema de preparación para operadores y verificadores, que incluye guías, plantillas de trabajo, actualización constante por email, talleres y una mesa de ayuda [86].

Asimismo, los inspectores gubernamentales se preparan con entrenamientos, guías de procedimientos, sistemas informáticos que realizan revisiones automáticas y análisis de los datos reportados. Además, cuentan con plantillas y texto prediseñado para la optimización de los documentos de fiscalización. Un equipo interno especialista opera como la mesa de ayuda [86].

Los informes anuales de emisiones y los informes de verificación se revisan con una mezcla de revisiones automáticas y humanas tanto a distancia como en sitio. Algunos de los elementos que se consideran son [86]:

- Validez del método utilizado para la industria;
- Calidad de los factores de emisión, contenido de carbono de la materia prima y valores caloríficos netos; y
- Consistencia con datos históricos y datos reportados de producción.

En el caso de la verificación en EU ETS, la verificación la realiza un equipo de verificación, donde cada miembro tiene funciones específicas. Además del equipo de verificación se asigna un revisor independiente [85].

La verificación independiente es obligatoria para todas las empresas participando del programa *cap-and-trade* de CARB [87]. CARB tiene un programa de acreditación tanto de empresas verificadoras como de verificadores individuales que incluye capacitación y su acreditación [87].

En México el incentivo al reporte fidedigno viene dado no por una multa, sino por un pago. Es el caso de la NAMA Mexicana de Vivienda, donde los desarrolladores del proyecto reciben dinero luego de la verificación periódica de los beneficios (en la forma de mitigación) del proyecto implementado [6].

#### **4.1.1.1 Acreditación de verificadores**

El desafío de la verificación es la disponibilidad de verificadores de calidad que lleven procesos imparciales e independientes de revisión [85]. Es en este punto que se requiere la colaboración de los organismos nacionales de acreditación, los que tienen como propósito acreditar que un individuo tiene las competencias para realizar verificaciones o validaciones.

El marco legal para la acreditación depende del país, pero normalmente incluye los requerimientos de verificación del propio sistema de MRV, estándares ISO de verificación (como ISO 14064-3), los estándares ISO de acreditación para organizaciones verificadoras (ISO 14065) y para los auditores y expertos dentro del equipo de verificación (ISO 14066), más los estándares nacionales de acreditación [85].

Existen varios sistemas de acreditación de verificadores independientes en Países como México y Taiwán, así como en sistemas de MRV como EU-MRV-Shipping e IMO-DCS (embarcaciones), EU-ETS (grandes emisores de GEI) e ICAO-CORSIA (transporte aéreo) [85].

En la mayoría de los sistemas de verificación se confía en un verificador para realizar todos los procesos, como por ejemplo:

- Certificaciones ambientales o energéticas
- Validación de los procesos de medición
- Validación o verificación de reportes con compensación
- Validación de los datos

En el caso de EU ETS es un equipo el encargado de la verificación, donde cada miembro del equipo tiene responsabilidades diferenciadas.

El programa CARB se basa en las ISO 14065 y 14066 para establecer sus exigencias de acreditación [88]. Una vez acreditados, los verificadores aparecen en un listado público que se actualiza regularmente, donde aparecen sus datos de contacto y las competencias que tienen. Los verificadores pueden tener competencia en transacciones, emisiones de proceso o emisiones de la industria de petróleo y gas [89], [90]. La legislación también exige que los verificadores se acrediten nuevamente cada 3 años y que declaren sus conflictos de interés [87].

#### **4.1.1.2 Regulación de la verificación**

La acreditación de verificadores aumenta la confianza en la calidad de su trabajo, pero aún deja incertidumbres de mercado que pueden desincentivar la verificación. Una de ellas es el precio de este servicio.

En el caso del MRV para emisiones de Turquía, se regulan las variables del servicio de verificación como: tiempo mínimo para la verificación por tipo de instalación, valor mínimo de servicio por día.persona e incluso el límite máximo que una persona puede ocupar el cargo de "líder de verificación" durante un año [15].

#### **4.1.2 Sistemas de verificación para la edificación asociados a MRV**

Para los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), la verificación es la *revisión periódica e independiente y la determinación ex-post [...] de las reducciones de emisiones antropogénicas medidas por fuente de gases de efecto invernadero, que han ocurrido como resultado de un proyecto registrado de MDL durante el periodo de verificación* [91].

Se diferencia de la certificación, que es *la garantía escrita por la entidad operacional designada de que durante un periodo de tiempo específico, una actividad del proyecto alcanzó las reducciones en emisiones antropogénicas por fuentes de gases de invernadero como fue verificado* [91].

De esta forma se diferencia la verificación como el proceso y la certificación como el documento probatorio.

Cada sistema tiene sus propios procesos de verificación, aunque todos dependen de expertos que revisan los datos. A nivel de inventarios nacionales, la CMNUCC tiene una revisión por pares [3], a nivel de inventario corporativo o de producto se utiliza primordialmente la ISO 14064-3 [5].

Esta definición es particularmente importante en el escenario de la construcción, donde se acostumbra a realizar solamente verificación *ex-ante* de los proyectos de edificación. Además, ayuda a clarificar los procesos para los usuarios y hace compatible las definiciones con el marco de verificación de Naciones Unidas para proyectos de MDL.

Si bien a la fecha se desconoce el futuro del sistema de MDL (aún está en discusión en el Acuerdo de París [92]), es posible que el nuevo sistema que se está discutiendo en el Artículo 6.4, llamado Mecanismos de Desarrollo Sostenible, herede algunos de sus atributos.

#### 4.1.3 Otros sistemas de verificación para la edificación

En el contexto de los SCEs, estándares y otras herramientas de asistencia al diseño, la verificación de que un edificio cumple con los requisitos prescriptivos o de desempeño energético generalmente ocurre una sola vez, ya sea durante la ocupación inicial o post-ocupación.

En la mayoría de estos instrumentos la verificación consiste en diversas actividades separadas y paralelas que abordan la evaluación de conformidad de los sistemas constructivos, productos de construcción, equipos, componentes y dispositivos que comprenden el edificio. También implica evaluar el ensamblaje de los sistemas para garantizar que se ajusten a códigos y estándares específicos y que el sistema ensamblado en su conjunto cumpla con el código de energía [93].

El estándar IPMVP establece los requisitos para la “verificación operacional” (VO) que se define como un set de actividades que ayudan a asegurar que las medidas de eficiencia energética estén instaladas, comisionadas y operando como se espera [21].

La VO debe ser incluida dentro del Plan de M&V y precede a otras actividades de verificación del ahorro después de la instalación. Como en otros esquemas de verificación, se espera que el revisor realice las actividades necesarias para comprobar las medidas de mejoramiento de la eficiencia energética (MMEE) según principios científicos y que exista evidencia independiente para apoyar las estimaciones de aumento de la eficiencia realizadas *ex-ante*.

La Tabla 12 presenta los diferentes métodos de VO según el estándar IPMVP. La selección del método para la verificación operacional depende de las características de la estrategia, el nivel de incertidumbre involucrado y la magnitud de los ahorros en evaluación.

En el contexto de la Certificación LEED v4, la verificación como parte del plan M&V se describe en el contexto de los créditos de Comisionamiento<sup>12</sup> Básico (obligatorio), y Comisionamiento Avanzado (optativo).

El comisionamiento es realizado por una Autoridad de Comisionamiento (CxA), quien planifica y realiza el Proceso de Comisionamiento (CxP). El CxA es un proveedor de puesta en marcha que actúa como un verificador de segunda parte (contratado por el mandante, pero no perteneciente a la constructora) [94].

La certificación exige una Autoridad de Comisionamiento en todo proyecto mayor a 1.858 m<sup>2</sup> (20.000 pies cuadrados). Su misión es revisar la calidad de los sistemas constructivos de energía

---

<sup>12</sup> Comisionamiento se refiere al proceso de puesta en marcha de edificios bajo un proceso de verificación que resguarda que los sistemas instalados durante la obra cumplan con los requisitos establecidos por el propietario y que estén instalados y funcionen según lo indicado por el ingeniero mecánico durante la etapa de diseño.



y agua, como instalación eléctrica y sanitaria, durante la etapa de diseño y construcción. Para la versión LEED v4.1, además de documentar reducción en demanda y consumo de energía, también se debe documentar reducción en emisiones de CO<sub>2</sub>.

Un segundo nivel de "comisionamiento avanzado" se entrega a aquellas edificaciones que además realizan una revisión 10 meses después del término de la construcción. El uso de monitoreo como base para el comisionamiento entrega puntuación adicional [94].

Tabla 12. Métodos para la Verificación Operacional según el estándar IPMVP [21]

| <b>Tipo de método</b>                                     | <b>MMEE al que aplica</b>   | <b>Actividades</b>   |
|---|---|--|
| <i>Inspección visual</i>                                  | La MMEE tendrá los resultados esperados al estar correctamente instalada. La medición directa del desempeño de la MMEE no es posible.   | Revisar y verificar la instalación física de la MMEE (por ejemplo, ventanas, aislamiento, dispositivos pasivos).   |
| <i>Medición de corto plazo en muestras</i>                | El desempeño alcanzado por la MMEE puede variar con respecto a los datos del fabricante de acuerdo con detalles de instalación o carga de los equipos.  | Medir uno o más parámetros clave para una muestra representativa de la instalación de la MMEE.   |
| <i>Test de desempeño a corto plazo</i>                    | El desempeño de la MMEE puede variar dependiendo de la carga real, el control o la interoperabilidad de los equipos.  | Prueba de la funcionalidad y control apropiada. Medir parámetros clave. Puede involucrar llevar a cabo pruebas diseñadas para registrar el desempeño del equipo en todo su rango de operación o la recolección de datos de desempeño durante un periodo de tiempo suficiente para caracterizar el rango completo de operación. |
| <i>Tendencia de datos y revisión de lógica de control</i> | El desempeño de la MMEE puede variar dependiendo de la carga real y los controles. Los equipos o sistemas están siendo monitoreados y controlados mediante un BAS o pueden ser monitoreados por medidores independientes. | Establecer tendencias y revisar datos de lógica de control. El periodo de medición puede durar desde algunos días hasta algunas semanas, dependiendo del periodo requerido para capturar el rango completo de desempeño  |

## 4.2 Revisión Nacional

En Chile, la verificación de huella de carbono se realiza en base a la ISO 14064-3, ya sea para el cálculo asistido por un consultor como para el realizado a través de Huella Chile. Huella Chile tiene un sistema de acreditación para los verificadores oficiales del programa.

En el caso del MRV de los impuestos verdes, la institución responsable por la totalidad del MRV es la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) [95].

Para realizar la verificación, existe un programa anual de fiscalización de impuesto verde, en el que se visita más del 50% de las empresas afectas al impuesto.

La SMA realiza tres subprocesos dentro de la verificación [96]:

1. Verificación de la metodología de cuantificación: es decir que lo reportado esté en línea con la metodología de medición aprobada por la SMA;
2. Verificación de las condiciones de medición, muestreo y/o estimación;
3. Verificación de la información reportada: se contrastan los datos con parámetros operacionales u otros complementarios a través del tiempo.

El sistema de verificación tiene una lista de cotejo pública y específica dependiendo de la modalidad de medición de la empresa [96] y además se realizan talleres de capacitación a las empresas afectas al impuesto [95].

## 4.3 Diagnóstico

El primer desafío de la verificación es la falta de estandarización de los procesos en la actualidad. Las normas ISO 14065 y 14066 ya están adoptadas en el país, por lo que la implementación del sistema de MRV se debería hacer en base al estándar internacional, como se realizó en el programa CARB. Sin embargo, aún no existen procesos normados de acreditación de verificadores por parte del cuerpo acreditador nacional, el Instituto Nacional de Normalización (INN).

Esta falta está relacionada a la pequeña cantidad de profesionales disponibles en Chile para realizar verificación independiente de alta calidad, lo que frena la inversión en sistemas de acreditación.

Además de la cantidad de profesionales, existen desafíos sobre la calidad de la verificación. Mientras en Chile es usualmente *un* verificador revisa todos los aspectos del estudio, en Europa (EU ETS) es un equipo el que se distribuye cada parte del trabajo y cuyos resultados se contrastan con un revisor independiente. Esta cadena de verificación compuesta por el equipo de verificación, auditor líder y revisor independiente entrega más resiliencia al sistema.

Asimismo, la falta de datos previos sobre huella de carbono dificulta la verificación por *benchmark* y pone aún más poder en las manos del verificador, quien puede determinar si la declaración es materialmente correcta basado en su propio juicio, dado que no hay norma chilena para verificación ni sistema de acreditación de verificadores por competencias.

En el país el reporte de datos suele ser voluntario, por lo que no hay sanciones duras para quien reporte datos imprecisos o sea negligente con la medición de huella de carbono. De hecho, hay empresas que no realizan la verificación de sus mediciones, como se puede ver en la diferencia entre las empresas inscritas en huella Chile y las que han alcanzado el sello “Medición”, que requiere una verificación. Tal vez la excepción a la regla sea la determinación del impuesto al carbono, que sí está regulado.

Normalmente, si una empresa no supera el proceso de verificación la consecuencia más común es simplemente la revisión del reporte, a diferencia del MRV europeo donde las multas son de decenas de miles de euros, o los proyectos de MDL, donde los pagos al proyecto se realizan según el resultado de mediciones periódicas. Este último es el sistema usado en la NAMA de Vivienda de México, donde el desarrollador del proyecto solo recibe los pagos luego de la verificación del beneficio ambiental.

Tal vez un motivo de la pequeña demanda de verificaciones sea la falta de transparencia en el mercado de la verificación, en el que se desconoce el valor del servicio y sus características, lo que dificultan la toma de acción por las empresas.

En el área de la construcción se suele verificar la obra, y en los sistemas de M&V el consumo de energía y agua. De esta forma, la verificación se realiza en base a aspectos constructivos más que al reporte de emisiones de gases de GEI. Estos sistemas también consideran una verificación única, siendo muy pocos los ejemplos (como LEED) donde se incentiva la verificación continua de los atributos del diseño de la edificación.

Finalmente, no existe en Chile un sistema centralizado de recogida de la información que facilite el proceso de verificación. Aún todo es hecho con inspección visual, registros y visitas a obra.

#### **4.4 Conclusión del capítulo**

Para implementar sistemas de verificación robustos para la huella de carbono en el ciclo de vida de la construcción en Chile es necesario crear capacidad en el sector privado y los prestadores de servicios, al mismo tiempo que se cimenta una institucionalidad detallada para realizar el proceso de verificación.

Algunos elementos clave son:

- Establecer procesos conocidos y auditables de trabajo
- Poner incentivos (económicos) para la realización de verificaciones
- Implementar un sistema de datos que facilite el proceso de verificación.

## 5 Conclusión

El concepto de medición, reporte y verificación (MRV) surge de la actividad de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en un esfuerzo por mantener la transparencia e integridad de las mediciones de huella de carbono tanto de los países participantes de la Convención, como de los múltiples proyectos de reducción de la huella acogidos a los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). El MRV es un sistema amplio y robusto que involucra a múltiples actores de todos los sectores (gobierno, academia, privados y sociedad civil).

Los sistemas de MRV se construyen de forma que los usuarios de la información tengan confianza en que los resultados del reporte son fidedignos (es decir, no tienen desvíos materiales). En este sentido, la exigencia de verificaciones independientes y de sistemas de acreditación de los verificadores son vitales para el éxito del sistema.

En el ámbito de la construcción existen sistemas que se enfocan en la medición y verificación, pero usualmente se enfocan en temas de eficiencia energética o hídrica. Algunos de los sistemas de certificación incluyen el cálculo de la huella de carbono, pero usualmente como herramienta de apoyo al diseño de la edificación, o como máximo en etapas tempranas de la operación.

Se ha comenzado a desarrollar herramientas (como Arc) que buscan integrar la medición y el reporte de información de variables ambientales en la edificación entre las múltiples partes interesadas en el ciclo de vida de la construcción, pero aún carecen del poder de integración de los MRV de la CMNUCC. Es decir, estos sistemas aún no están preparados para producir información que sirva a nivel de productos, edificaciones y también sectorial (pensando en la producción de inventarios nacionales de GEI).

Sin embargo, existen experiencias de integración de sistemas de certificación de edificaciones y sistemas de MRV, como es el caso de la NAMA de vivienda sustentable en México. La producción de la NAMA y la consiguiente construcción de un sistema de MRV asociado a ella permitieron conectar el diseño de la edificación, los materiales en uso (productos), el desempeño real (edificación) y el cálculo del inventario nacional de gases de efecto invernadero (sectorial).

Los sistemas de MRV se perfilan de esta forma como una excelente herramienta de apoyo a la producción de políticas públicas que impulsen la mitigación (e incluso la neutralización) de los impactos del sector construcción. Junto con integrar las necesidades de los tres niveles (productos, edificación, sectorial), entregan reglas claras sobre cómo realizar la medición, cómo entregar la información y cómo realizar la verificación.

En otros países de la Alianza del Pacífico ya existe experiencia en la implementación de estos sistemas para construcción (México, Perú), la que se podría aprovechar a través del subgrupo técnico de MRV y Cambio Climático (SGT-MRV) [97] y en Chile está el Equipo Técnico de MRV (ET-MRV) cuyo conocimiento podría ser apalancado para la creación de un MRV para la carbono neutralidad del sector edificación [20].

Finalmente, la revisión internacional indica que todavía hay brechas importantes para que los sistemas MRV puedan desarrollarse dentro del sector construcción. Dentro de estas brechas se identifican:

- Brechas tecnológicas, reflejadas en la falta de herramientas robustas para la obtención de datos de operación de los edificios;
- Brechas de capacidades, reflejadas en la falta de competencias profesionales para el análisis de las grandes bases de datos que se obtienen como producto de los sistemas de monitoreo; y
- Brechas regulatorias, vistas como la ausencia de normas que exijan el reporte del desempeño de la edificación una vez terminada la etapa de construcción.

## 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] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), *Measurement, Reporting And Verification For Developing Country Parties*. 2014.
- [4] The International Standards Organisation, "ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals," 2018. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:en>. [Accessed: 08-Feb-2020].
- [5] The International Standards Organisation, "ISO 14064-3:2019. Gases de efecto invernadero - Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero," 2019. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14064:-3:ed-2:v1:es:term:3.2.4>. [Accessed: 08-Feb-2020].
- [6] Y. Pang *et al.*, "Medición, Reporte, Verificación: Como establecer un Sistema Nacional de MRV. Borrador 4.2."
- [7] N. Singh, J. Finnegan, and K. Levin, "MRV 101: Understanding Measurement, Reporting, and Verification of Climate Change Mitigation," 2016.
- [8] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "What is transparency and reporting?" [Online]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/the-big-picture/what-is-transparency-and-reporting>. [Accessed: 15-Feb-2020].
- [9] IPCC, "Task Force on National Greenhouse Gas Inventories." [Online]. Available: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>. [Accessed: 15-Feb-2020].
- [10] Energypedia, "Clean Development Mechanism (CDM) and Baseline - Assessments for Wind Energy Projects," 2014. [Online]. Available: [https://energypedia.info/wiki/Clean\\_Development\\_Mechanism\\_%28CDM%29\\_and\\_Baseline-Assessments\\_for\\_Wind\\_Energy\\_Projects](https://energypedia.info/wiki/Clean_Development_Mechanism_%28CDM%29_and_Baseline-Assessments_for_Wind_Energy_Projects). [Accessed: 15-Feb-2020].
- [11] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs)." [Online]. Available: <https://unfccc.int/topics/mitigation/workstreams/nationally-appropriate-mitigation-actions>. [Accessed: 15-Feb-2020].
- [12] Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), "NAMA Vivienda Sustentable en Mexico: Vivienda Existente," México, 2014.

- [13] Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), "NAMA vivienda nueva: Sistema de monitoreo, reporte y verificación para la NAMA de vivienda nueva en México," México, 2012.
- [14] L. Buchner, "MRV requirements in Germany and Europe from ETS perspective," 2019.
- [15] E. Türkmenoglu, "Practical Experiences From Establishing an Online Based Data Management System (DMS)," in *Regional Workshop on Monitoring , Reporting and Verification of Greenhouse Gas Emissions*, 2019, p. 30.
- [16] California Air Resources Board, "Cap-and-Trade Program," 2020. [Online]. Available: <https://ww3.arb.ca.gov/cc/capandtrade/capandtrade.htm>. [Accessed: 12-Mar-2020].
- [17] Ministerio del Medio Ambiente, "Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile 1990-2016," in *Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre el cambio climático*, Santiago, Chile, 2018, p. 762.
- [18] S. D. M. Ambiente, "Impuestos verdes," 2018. [Online]. Available: <https://portal.sma.gob.cl/index.php/portal-regulados/instructivos-y-guias/impuestos-verdes/>. [Accessed: 16-Feb-2020].
- [19] Asociación de Generadoras de Chile, "Involucramiento de actores & MRV: perspectiva de los stakeholders," Santiago, Chile, 2019.
- [20] F. Farías, "Desafíos del MRV de cambio climático en Chile," in *Diálogo sobre MRV y Precio al Carbono*, 2018.
- [21] Efficiency Valuation Organization (EVO), "Conceptos Basicos: Protocolo Internacional de medición y verificación del desempeño - IPMVP," 2017.
- [22] United States Environmental Protection Agency (EPA), "Guidebook for Energy Efficiency Evaluation, Measurement, and Verification: A Resource for State, Local, and Tribal Air & Energy Officials," 2019.
- [23] J. Zirngibl, C. Mateo-Cecilia, and C. Espigares-Correa, "Alliance for deep renovation in buildings. A step forward to the common European voluntary certification scheme," *E3S Web Conf.*, vol. 111, no. 201 9, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201911103005.
- [24] X. Shi *et al.*, "Magnitude, causes, and solutions of the performance gap of buildings: A review," *Sustain.*, vol. 11, no. 3, pp. 1–21, 2019, doi: 10.3390/su11030937.
- [25] C. van Dronkelaar, M. Dowson, C. Spataru, and D. Mumovic, "A Review of the Regulatory Energy Performance Gap and its Underlying Causes in Non-domestic Buildings," *Front. Mech. Eng.*, vol. 1, no. January, pp. 1–14, 2016, doi: 10.3389/fmech.2015.00017.
- [26] D. Bortoluzzi, A. Costa, and S. Casciati, "Reducing Energy Performance Gap in Buildings—Built2Spec Project Solution," *Proceedings*, vol. 1, no. 7, p. 640, 2017, doi: 10.3390/proceedings1070640.
- [27] F. Pomponi and A. Moncaster, "Scrutinising embodied carbon in buildings: The next performance gap made manifest," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 2431–2442, Jan.

- 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2017.06.049.
- [28] European Commission, "EU Emissions Trading System (EU ETS)," 2017. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en). [Accessed: 16-Feb-2020].
  - [29] European Commission, "EU ETS Handbook," 2015.
  - [30] J. Landgrebe, "Introduction to basic MRV principles from German Inventory and EU ETS perspective," in *Regional Workshop on Monitoring, Reporting and Verification of Greenhouse Gas Emissions*, 2019, no. August.
  - [31] World Resources Institute (WRI), "Estándar de política y acción: Un estándar de contabilidad y presentación de reportes para realizar un estimado de los gases de efecto invernadero resultantes de las políticas y acciones," 2014.
  - [32] World Resources Institute, "Estándar de política y acción," 2014.
  - [33] California Air Resources Board, "Categorization crosswalk for included emissions." 2018.
  - [34] California Air Resources Board, "GHG Current California Emission Inventory Data," 2020. [Online]. Available: <https://ww2.arb.ca.gov/ghg-inventory-data>. [Accessed: 12-Mar-2020].
  - [35] California Air Resources Board, "GHG Short-Lived Climate Pollutant Inventory," 2014. [Online]. Available: <https://ww2.arb.ca.gov/ghg-slcip-inventory>. [Accessed: 12-Mar-2020].
  - [36] California Department of Pesticide Regulation, "Select a Year - California Pesticide Information Portal," 2018. [Online]. Available: <https://calpip.cdpr.ca.gov/year.cfm>. [Accessed: 12-Mar-2020].
  - [37] California Air Resources Board, "California Wildfire Emission Estimates," 2019. [Online]. Available: <https://ww2.arb.ca.gov/wildfire-emissions>. [Accessed: 12-Mar-2020].
  - [38] California Air Resources Board, "California Wildfire Burn Acreage and Preliminary Emissions Estimates." p. 2, 2019.
  - [39] California Air Resources Board, "GHGs Descriptions & Sources in California," 2018. [Online]. Available: <https://ww2.arb.ca.gov/ghg-descriptions-sources>. [Accessed: 12-Mar-2020].
  - [40] M. Rosenberg, J. Zhang, R. Hart, and R. Athalye, "Roadmap for the Future of Commercial Energy Codes," 2015.
  - [41] US Green Building Council (USGBC), "LEED v4 Reference Guide for Building Design and Construction (BD+C)," 2013.
  - [42] W. Feng *et al.*, "From prescriptive to outcome-based – the evolution of building energy codes and standards in China," *Consum. Effic. Limits ECEEE 2017 Summer Study Proc.*, pp. 1381–1391, 2017.
  - [43] E. H. Borgstein, R. Lamberts, and J. L. M. Hensen, "Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review," *Energy Build.*, vol. 128, pp. 734–755, 2016.



- [44] Efficiency Valuation Organization (EVO), "International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP)." [Online]. Available: <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>. [Accessed: 15-Feb-2020].
- [45] SenseWare, "5 Things You Need To Know About IPMVP." [Online]. Available: <https://blog.senseware.co/2018/05/15/5-things-need-know-ipmvp>. [Accessed: 15-Feb-2020].
- [46] N. Dodd, M. Cordella, M. Traverso, and S. Donatello, "Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings: Part 3: How to make performance assessments using Level(s) (Beta v1.0)," no. August, pp. 1–68, 2017.
- [47] BREEAM, "BREEAM In-Use." [Online]. Available: <https://www.breeam.com/discover/technical-standards/breeam-in-use/>. [Accessed: 15-Feb-2020].
- [48] Arc Skoru, "About Arc." [Online]. Available: <https://www.arcskoru.com/about>. [Accessed: 15-Feb-2020].
- [49] M. Norris, J. Schill, and M. Meyers, "Arc & BREEAM in-use: A Feasibility Study at Colorado State University," 2019.
- [50] H. Lund, P. A. Østergaard, D. Connolly, and B. V. Mathiesen, "Smart energy and smart energy systems," *Energy*, vol. 137, pp. 556–565, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.05.123.
- [51] S. Abrol, A. Mehmani, M. Kerman, C. J. Meinrenken, and P. J. Culligan, "Data-Enabled Building Energy Savings (D-E BES)," *Proc. IEEE*, vol. 106, no. 4, pp. 661–679, 2018, doi: 10.1109/JPROC.2018.2791405.
- [52] K. W. Roth, D. Westphalen, M. Y. Feng, P. Llana, and L. Quartararo, "Energy Impact of Commercial Building Controls and Performance Diagnostics: Market Characterization, Energy Impact of Building Faults and Energy Savings Potential," *U.S. Dep. Energy*, 2005.
- [53] Swedish Standards Institute, "Svensk standard SS-EN 15232-1:2017 Energy performance of buildings– Part 1: Impact of Building Automation, Controls and Building Management– Modules M10-4,5,6,7,8,9,10 (Abstract)." Swedish Standards Institute, p. 19, 2017.
- [54] P. H. Shaikh, N. B. M. Nor, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi, and T. Ibrahim, "A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 34, pp. 409–429, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.03.027.
- [55] P. Domingues, P. Carreira, R. Vieira, and W. Kastner, "Building automation systems: Concepts and technology review," *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 45, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1016/j.csi.2015.11.005.
- [56] J. Granderson, M. Piette, B. Rosenblum, L. Hu, and E. Al., *Energy Information Handbook: Applications for Energy-Efficient Building Operations*. Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-5272E, 2011.

- [57] International Energy Agency (IEA), *Transition to Sustainable Buildings*. 2013.
- [58] D. Minoli, B. Occhiogrosso, K. Sohraby, J. Gleason, and J. Kouns, "IoT considerations, requirements, and architectures for insurance applications," *Internet of Things*, vol. 4, no. 1, pp. 347–361, 2017.
- [59] Siemens Building Technologies, *Building Automation – Impact on Energy Efficiency*. Zug: Siemens Switzerland Ltd., 2008.
- [60] Y. B. Yoon, S. Mirianhosseinabadi, S. Song, and S. Cho, "Calibrated Simulation Performance for Analysis in BCVTB Platform," pp. 446–453, 2018.
- [61] Programa HuellaChile, "Manual de Usuario Herramienta de Cálculo de Gases de Efecto Invernadero Organizacional." 2016.
- [62] Departamento de Economía Ambiental Ministerio del Medio Ambiente, "Sistema MRV para la implementación de los Impuestos Verdes." Ministerio del Medio Ambiente, 2019.
- [63] R. Cabrera and M. Jadrijevic, "Política chilena en cambio climático internacional y nacional," *División de Cambio Climático, Ministerio del Medio Ambiente*. 2018.
- [64] CDP, "What we do." [Online]. Available: <https://www.cdp.net/en/info/about-us/what-we-do>. [Accessed: 14-Feb-2020].
- [65] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Fourth Biennial Reports - Annex I Parties." [Online]. Available: <https://unfccc.int/BRs>. [Accessed: 14-Feb-2020].
- [66] International EPD System, "International EPD® System General Programme Instructions," 2015.
- [67] J. Granderson, S. Touzani, C. Custodio, M. D. Sohn, D. Jump, and S. Fernandes, "Accuracy of automated measurement and verification (M&V) techniques for energy savings in commercial buildings," *Appl. Energy*, vol. 173, no. April, pp. 296–308, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.04.049.
- [68] WRI, "Estándar de política y acción: Un estándar de contabilidad y presentación de reportes para realizar un estimado de los gases de efecto invernadero resultantes de las políticas y acciones," 2015.
- [69] European Standards Organisation, "EN 15978:2012 Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo." 2012.
- [70] European Standards Organisation, "EN 15804:2012. Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products," no. February. p. 70, 2012.
- [71] B. X. Rodriguez and K. Simonen, "Comparison of methodologies for Whole Building Life Cycle Assessment: A Review," Seattle, 2017.
- [72] B. X. Rodriguez, K. Simonen, M. Huang, and C. De Wolf, "A taxonomy for Whole Building

- Life Cycle Assessment (WBLCA)," *Smart Sustain. Built Environ.*, vol. 8, no. 3, pp. 190–205, 2019, doi: 10.1108/SASBE-06-2018-0034.
- [73] Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), "RICS Methodology to calculate embodied carbon of materials," 2017.
  - [74] M. Optis and P. Wild, "Inadequate documentation in published life cycle energy reports on buildings," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 15, no. 7, pp. 644–651, Aug. 2010, doi: 10.1007/s11367-010-0203-4.
  - [75] DNV GL, "EU MRV and IMO DCS." [Online]. Available: <https://www.dnvgl.com/maritime/insights/topics/EU-MRV-and-IMO-DCS/index.html>. [Accessed: 09-Feb-2020].
  - [76] International Maritime Organization, "IMO Web Accounts." [Online]. Available: <https://webaccounts.imo.org/Common/WebLogin.aspx?App=GISISPublic&ReturnUrl=https%3A%2F%2Fgis.imo.org%2FPublic%2FMARPOL6%2FEEDIData.aspx>. [Accessed: 09-Feb-2020].
  - [77] European Maritime Safety Agency, "THETIS-MRV." [Online]. Available: <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report>. [Accessed: 09-Feb-2020].
  - [78] Ministerio del Medio Ambiente, "Ventanilla Única." [Online]. Available: <https://vu.mma.gob.cl//index.php?c=home>. [Accessed: 16-Feb-2020].
  - [79] "establecimientos vu mapa – Datos RETC." [Online]. Available: <https://retc.mma.gob.cl/establecimientos-vu/>. [Accessed: 17-Feb-2020].
  - [80] "datos-retc – Datos RETC." [Online]. Available: <https://retc.mma.gob.cl/datos-retc/>. [Accessed: 17-Feb-2020].
  - [81] "Publicaciones – Datos RETC." [Online]. Available: <https://retc.mma.gob.cl/publicaciones/>. [Accessed: 17-Feb-2020].
  - [82] Ministerio de Energía, "Manual Sello Comuna Energética," Santiago, Chile, 2019.
  - [83] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, "Guía de estudios para evaluadores CAPE - Certificación de Ahorros de Proyectos Energéticos," Santiago, 2019.
  - [84] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, "Manual de Implementación - Certificación de proyectos Energéticos." Santiago, Chile, p. 28, 2019.
  - [85] J. Leitner, "Independent 3 rd Party Verification and Requirements for Verifiers," in *Regional Workshop on Monitoring, Reporting and Verification of Greenhouse Gas Emissions*, 2019, p. 24.
  - [86] L. Buchner, "MRV enforcement: Assessment of Emission Reports, on-site Inspections, IT, Experiences with CEMS, Sanctions," in *Regional Workshop on Monitoring, Reporting and Verification of Greenhouse Gas Emissions*, 2019, p. 16.
  - [87] California Air Resources Board, "Mandatory GHG Reporting - Verification," 2020. [Online].

- Available: <https://ww2.arb.ca.gov/verification>. [Accessed: 12-Mar-2020].
- [88] California Air Resources Board, "Greenhouse Gas Emissions Verification Program at the California Air Resources Board." p. 3, 2012.
  - [89] California Air Resources Board, "Mandatory GHG Reporting - Verification Bodies," 2018. [Online]. Available: <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/mandatory-greenhouse-gas-emissions-reporting/verification/mandatory-ghg-reporting>. [Accessed: 12-Mar-2020].
  - [90] California Air Resources Board, "CARB-Accredited GHG Verifiers of Emissions Data Reports for Mandatory Reporting." p. 2, 2020.
  - [91] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Clean Development Mechanism: Verify and Certify ERs of a CDM project activity," 2006. [Online]. Available: <https://cdm.unfccc.int/Projects/pac/howto/CDMProjectActivity/VerifyCertify/index.html>. [Accessed: 15-Feb-2020].
  - [92] Carbon Brief, "COP25: Key outcomes agreed at the UN climate talks in Madrid," 2019. [Online]. Available: <https://www.carbonbrief.org/cop25-key-outcomes-agreed-at-the-un-climate-talks-in-madrid>. [Accessed: 15-Feb-2020].
  - [93] D. Conover, E. Makela, J. Stacey, and S. Robin, "Compliance Verification Paths for Residential and Commercial Energy Codes," Richland, Washington, 2011.
  - [94] US Green Building Council (USGBC), "LEED v4 for Building Design and Construction," 2019.
  - [95] J. P. Rodríguez F., "Fiscalización Impuesto Verde," 2019.
  - [96] Superintendencia del Medio Ambiente, *Título 3: Instructivo para la Verificación de las Emisiones de Fuentes Fijas Afectas al Impuesto del Artículo 8° de la ley N° 20.780*. Chile, 2018, p. 12.
  - [97] Alianza del Pacífico, "Países de la Alianza del Pacífico colaboran para fortalecer sus Acciones Climáticas," 2019. [Online]. Available: <https://alianzapacifico.net/paises-de-la-alianza-del-pacifico-colaboran-para-fortalecer-sus-acciones-climaticas/>. [Accessed: 16-Feb-2020].
  - [98] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Clean Development Mechanism: Energy efficiency technologies and fuel switching in new and existing buildings - Version 4.0." [Online]. Available: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/FOL1B0TNMH90H4QPGF6NI6CVP43412>. [Accessed: 13-Feb-2020].
  - [99] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Clean Development Mechanism: Distribution of biomass based stove and/or heater for household or institutional use - Version 2.0.0," 2012. [Online]. Available: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/SN0LYZ32U7OZ29CYJF3WH6FCFKVGS0>. [Accessed: 13-Feb-2020].
  - [100] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Clean

Development Mechanism: Distribution of efficient light bulbs to households - Version 2.0." [Online]. Available:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/5SI1IXDIZBL6OAKIB3JFUFAQ86MBEE>.

[Accessed: 13-Feb-2020].

- [101] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Clean Development Mechanism: Distribution of compact fluorescent lamps (CFL) and light-emitting diode (LED) lamps to households - Version 1.0," 2013. [Online]. Available: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/MW18NEOFU1PBMXECFT1RBYP50VWVL>. [Accessed: 13-Feb-2020].
- [102] The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Clean Development Mechanism: Energy-efficient refrigerators and air-conditioners - Version 1.0," 2017. [Online]. Available: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/3USXGBI5RRLI5FXVG90SIYCOD9W9P1>. [Accessed: 13-Feb-2020].
- [103] 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.

## Anexo A: Resúmenes Descriptivos de M&V por tipo de herramienta

**El Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño (IPMVP®), por sus siglas en inglés** Es el protocolo internacional líder en medición y verificación mantenido por la Efficiency Valuation Organization (EVO®). Es actualizado con la ayuda del Comité IPMVP de EVO compuesto por un grupo voluntario de profesionales de la industria la última edición es la del Conceptos Básicos del IPMVP® 2016. El año 1997, el IPMVP se desarrolló originalmente para ayudar a aumentar la inversión en eficiencia energética y de agua, gestión de la demanda y proyectos de energía renovable en todo el mundo. Desde entonces el IPMVP documenta términos y métodos comunes para evaluar el desempeño de proyectos de eficiencia para compradores, vendedores y financieros. Algunos de estos términos y métodos pueden usarse en acuerdos de proyectos, aunque IPMVP no ofrece lenguaje contractual. IPMVP proporciona métodos, con diferentes niveles de costo y precisión, para determinar los ahorros para toda la instalación o para medidas individuales de conservación de energía (ECM). *IPMVP especifica el contenido de un Plan de Medición y Verificación (Plan M&V)*. Este Plan de M&V se adhiere a los principios fundamentales ampliamente aceptados de M&V y debe producir informes de ahorro verificables. Un profesional calificado debe desarrollar un plan de M&V para cada proyecto. IPMVP se aplica a una amplia variedad de instalaciones, incluidos edificios existentes y nuevos, y procesos industriales.

Hasta 2012, el IPMVP se publicó en tres volúmenes. IPMVP Volumen I define M&V, presenta los principios fundamentales de M&V, describe un marco para un Plan de M&V detallado y proporciona detalles de un Plan de M&V y un informe de ahorros. También se muestran los requisitos para especificar el uso de IPMVP o reclamar el cumplimiento con IPMVP. El Volumen I también contiene un resumen de problemas comunes de diseño de M&V y enumera otros recursos de M&V. El Volumen II de IPMVP proporciona un enfoque integral para evaluar los problemas de calidad ambiental del interior del edificio que están relacionados con el diseño, implementación y mantenimiento de ECM. El Volumen II sugiere mediciones de las condiciones interiores para identificar los cambios de las condiciones del período de referencia. El Volumen III de IPMVP proporciona más detalles sobre los métodos de M&V asociados con la construcción de nuevos edificios y con los sistemas de energía renovable agregados a las instalaciones existentes.

A partir de 2014, EVO decidió reorganizar los documentos de IPMVP y ahora publica los Conceptos básicos de IPMVP. Esta es la última versión del documento y define la terminología comúnmente utilizada y los principios rectores para aplicar M&V. Describe el marco del proyecto en el que tienen lugar las actividades de M&V. Describe los contenidos y requisitos de los planes de M&V adherentes y los informes de guardado. Finalmente, describe los atributos de los proyectos de IPMVP totalmente adherentes.

**LEED Arc** es ofrecido por Arc Skoru Inc., una compañía creada por Green Building Certification, Inc. (GBCI). Arc complementa directamente el programa de certificación de edificios verdes LEED v4.1 del Consejo de Construcción Ecológica de EE. UU. (USGBC). La plataforma de evaluación comparativa está destinada a permitir a los usuarios de la plataforma comparar medidas de rendimiento, usar esas medidas para desarrollar estrategias de construcción eficiente y proporcionar un camino para obtener la certificación LEED. Con Arc, los usuarios pueden optar por obtener un puntaje de desempeño no verificado, una verificación integral del puntaje de desempeño y / o la certificación de proyectos LEED. Las mediciones de rendimiento se basan en datos voluntarios proporcionados para las categorías de Energía, Agua, Residuos, Transporte, Materiales y Experiencia humana[49]. <https://www.arcskoru.com/>

**BREEAM in- use** BREEAM In-Use es un método de evaluación ambiental integral y holístico que proporciona un marco para ayudar a los propietarios, gerentes y ocupantes de los activos existentes a adoptar con éxito soluciones sostenibles de manera rentable y ganar reconocimiento en el mercado. La herramienta en línea BREEAM en uso facilita la evaluación comparativa y la certificación. BREEAM In-Use ofrece una calificación y / o certificación de rendimiento no verificada para tres aspectos diferentes del edificio, que incluyen el desempeño de los edificios, la administración del edificio y la administración del ocupante [49]. <https://www.breeam.com/discover/technical-standards/breeam-in-use/>

**CarbonBuzz:** Plataforma perteneciente a RIBA CIBSE para la evaluación comparativa y el seguimiento del uso de energía en proyectos desde el diseño hasta la operación. Su objetivo es alentar a los usuarios a ir más allá del cumplimiento de los cálculos obligatorios de las Regulaciones de construcción y refinar las estimaciones para tener en cuenta las cargas de energía adicionales en uso. La plataforma permite a los usuarios comparar el uso de energía de diseño con el uso de energía real lado a lado para ayudar a los usuarios a cerrar la brecha de diseño y rendimiento energético operativo en los edificios. <http://www.carbonbuzz.org/>

**MRV Comuna Energética:** Desde el año 2015, el Programa Comuna Energética apoya a los municipios a elaborar estrategias energéticas locales con planes de acción ideados desde la comunidad, otorgando el *Sello Comuna Energética* a los municipios que presentan avances significativos en la gestión energética local. El objetivo es fomentar un mercado de inversión energética local, generando las condiciones que acerquen a los hogares y actores locales al negocio de la energía, promoviendo la implementación de los proyectos energéticos locales levantados en los planes de acción. Este programa se inspira del sello de la Comuna Energética Suiza (Energienstadt) y en el European Energy Award (EEA). En la actualidad, en Chile participan más de 23 ciudades y se ha implementado una gran cantidad de proyectos de energías renovables y medidas de eficiencia energética. El Programa Comuna Energética desarrolla un sistema de MRV que permita cuantificar las reducciones de las emisiones de GEI asociadas a la implementación de proyectos a escala local, con el propósito de contar con una base sólida de contabilidad, que admita poder valorizar los positivos impactos del Programa y además vincular las reducciones potenciales a mecanismos de compensación y/o certificados de carbono en mercados nacionales



o internacionales. El programa entrega resultados sobre los consumos en masa de carbono equivalente. Para más información sobre el programa visitar: <http://www.minenergia.cl/comunaenergetica/>

**Certificado de Ahorro de Proyectos Energéticos (CAPE)** se encuentra basada en el estándar (Protocolo Internacional IPMVP), que busca facilitar el reporte de información de los resultados energéticos y de mitigación de GEI obtenidos tras la implementación de un proyecto energético. Esta certificación está diseñada para que empresas, instituciones, organismos o similares, que cuenten con proyectos energéticos en sus instalaciones y que puedan validar las reducciones de consumo reales como consecuencia de su implementación.

En la certificación participan los 3 organismos presentes en la mayoría de las certificaciones tradicionales:

- *Entidad Administradora* (Agencia de Eficiencia Energética): quien revisa las evaluaciones y emite los Certificados de Ahorros de Energía Anual;
- *Evaluador CAPE*: Persona natural acreditada por la Entidad Administradora del mecanismo CAPE, encargado de evaluar y verificar que la información declarada por el Cliente sea verídica; y
- *Cliente*: Persona jurídica (organización) que solicita a la Entidad Administradora certificar los ahorros de un proyecto.

Bajo el sistema de certificación CAPE la empresa solicita al Evaluador CAPE una asesoría en la evaluación y cuantificación de los ahorros bajo un método conforme al Protocolo IPMVP, el evaluador CAPE posteriormente desarrolla el Plan de Medición & Verificación, que requiere validación por la entidad administradora, en este caso la Agencia de Sostenibilidad Energética. El Evaluador CAPE desarrolla un reporte de ahorros de acuerdo con un formato preestablecido y difundido a través de la Herramienta de Evaluación web. La entidad administradora revisa el reporte de ahorros y emite un certificado de ahorros, el que entrega valores tanto en unidades energéticas como en emisiones de CO<sub>2</sub>e reducidas. Estos certificados se reportan al administrador del MRV de acciones de mitigación del sector energía.

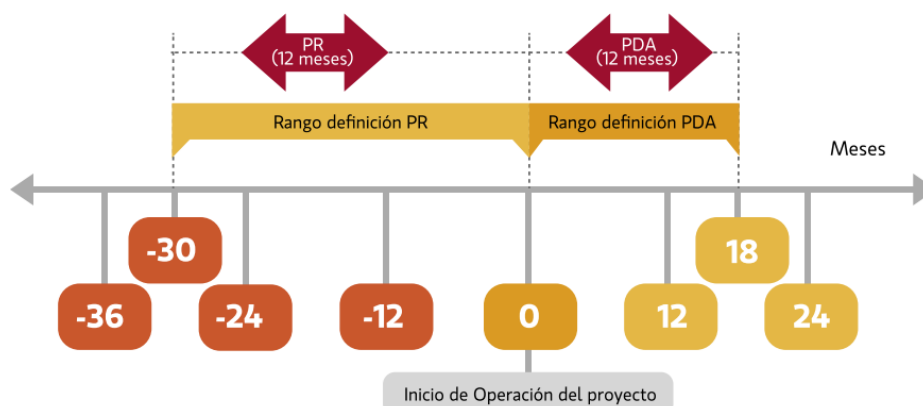
En el caso del Programa CAPE, la etapa de Certificación es la segunda etapa obligatoria y tiene como objetivo la determinación de los ahorros reales generados en un periodo de 12 meses posteriores a la fecha de inicio de operación de un proyecto energético, también conocido como el *Periodo Demostrativo de Ahorros (PDA) tal como se muestra en la figura*. Los ahorros serán obtenidos como consecuencia de la implementación de la metodología definida y aprobada en la etapa de Pre-Certificación. Debido a esto, es requisito excluyente contar con el *Acta de Aceptación de Pre-Certificación* vigente para iniciar *la etapa de Certificación*, así como también que el proyecto haya iniciado su operación y como mínimo se tenga información del primer mes del Periodo Demostrativo de Ahorros.

En esta etapa se contempla la revisión mensual de los ahorros de los proyectos por parte de la Entidad Administradora, durante el Periodo Demostrativo de Ahorros, siempre y cuando el



Evaluador CAPE proporcione de manera mensual, a través de la Herramienta de Evaluación, la información de la evaluación realizada para que ésta sea revisada por la Entidad Administradora. En el caso que el Evaluador CAPE entregue información de dos o más meses de manera agrupada, la Entidad Administradora realizará la revisión de dichos meses en conjunto.

Figura 1. Periodo demostrativo en el marco de la certificación CAPE



La Herramienta de Evaluación CAPE se basa principalmente en los lineamientos indicados por el estándar IPMVP para la definición de un Plan de Medición y Verificación (M&V) y los Informes Demostrativos de Ahorros, además de la experiencia de uso del protocolo en diferentes tipos de proyectos energéticos por parte de la Entidad Administradora. Los Clientes inician el proceso de Certificación de Ahorros de Proyectos Energéticos, como usuarios en la plataforma, con la finalidad de poder declarar sus proyectos e inscribirlos en las diferentes etapas de la certificación según corresponda. Posteriormente los evaluadores CAPE hacen ingreso a la plataforma y aprueban el proceso de acreditación correspondiente, por lo que no deberá crear su usuario.

## Anexo B: Detalles sobre la NAMA para Vivienda Nueva en México<sup>[2]</sup>

La NAMA de Vivienda Nueva en México, es la primera de su tipo a nivel mundial y fue lanzada oficialmente como programa piloto el año 2012. La NAMA mitiga las emisiones en el sector residencial al proporcionar financiamiento suplementario para mejorar la eficiencia de las viviendas en el consumo de energía eléctrica, gas y agua. Mejoras que se logran por medio de la implementación de eco-tecnologías, las mejoras en el diseño arquitectónico y el uso de materiales de construcción eficientes.

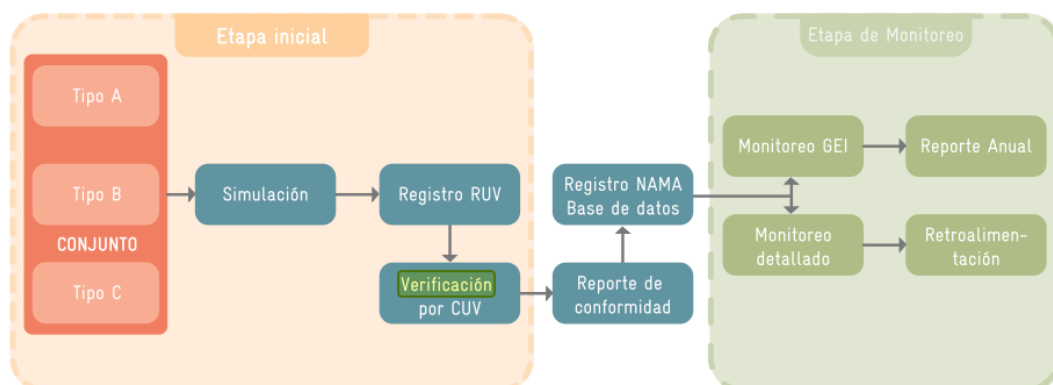
La NAMA de Vivienda, amplía y expande el alcance de otros programas existentes, tales como 'Hipoteca Verde' y 'Ésta es tu casa', que proporcionan financiamiento adicional o subsidio para cubrir los costos incrementales de distintas medidas aumentando el número de viviendas construidas con eficiencia energética y mejorando su desempeño en cuanto a emisiones. Con este fin, México junto con actores de cooperación internacional y nacional han desarrollado tres estándares de rendimiento que los desarrolladores de vivienda pueden lograr y por los cuales, los propietarios de las viviendas pueden recibir apoyo. En orden ascendente en cuanto al nivel de eficiencia, éstas son: ***EcoCasa 1, EcoCasa 2 y la EcoCasa Max.***

La NAMA de Vivienda es un sistema MRV simple y costo-eficiente que captura las mejoras de eficiencia neta de distintas combinaciones de estrategias de diseño y materiales de construcción. A diferencia de programas mexicanos anteriores, que se han enfocado en la promoción y la medición del impacto de estrategias específicas, la NAMA de vivienda aborda la eficiencia energética con base en el "desempeño integral de la vivienda". Los prototipos de eficiencia se fijan para una demanda de energía primaria total, basada en el tipo de construcción y de clima. Los desarrolladores y los propietarios de las viviendas emplean cualquier combinación de medidas que logren el nivel de eficiencia metas y son capaces de comparar (*benchmark*) las viviendas, basándose en la eficiencia prolongada de agua, gas y electricidad por medio del sistema de certificados energéticos.

Dentro del esquema de certificación graficado en la figura 1, las *entidades implementadoras* seleccionan los proyectos NAMA, financian la implementación del MRV; definen, con la mesa transversal, el tamaño de la muestra; descargan la información de monitoreo de emisiones de GEI a la base de datos mientras que los *desarrolladores* apoyan en la instalación de los equipos de monitoreo, realizan los acuerdos de acceso a la información con los usuarios y desarrollan una capacitación del uso de la vivienda sustentable. Finalmente la RUV gestiona el registro de la vivienda; proporciona los datos de identificación de la vivienda y permite la comunicación con la base de datos de la NAMA [13].

El proceso de registro de una nueva vivienda comienza cuando el desarrollador carga la información requerida del proyecto en la plataforma del Registro Único de Vivienda (RUV), como detalles del proyecto arquitectónico y del plan maestro. La plataforma automáticamente obtendrá una calificación del IDG, el cual compila los resultados de la Diseño Energéticamente Eficiente de

la Vivienda (DEEVi), la Simulación de Ahorro de Agua en la Vivienda SAAVi y de la herramienta de Criterios de Entorno.



Fuente: CONAVI para la Mesa Transversal

Figura 1. Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación del NAMA Vivienda Nueva en México [13]

Si la calificación del Índice de Desempeño Global (IDG) es aprobatoria, entonces la institución financiera interesada (CONAVI, INFONAVIT, FOVISSTE, SHF) verifica detalladamente el cumplimiento de los criterios, con especial énfasis en los documentos provistos por el desarrollador. Si la institución considera que el proyecto aprueba la verificación, el desarrollador puede implementar el proyecto NAMA [13].

La segunda verificación se realiza en el sitio una vez que el proyecto está construido, y se realiza un segundo reporte. Posteriormente las ONAVI obtienen la hoja de reporte y aprueba o no el desarrollo como NAMA, canalizando así los recursos, provenientes del cofinanciamiento nacional e internacional, a través de los diferentes programas existentes.

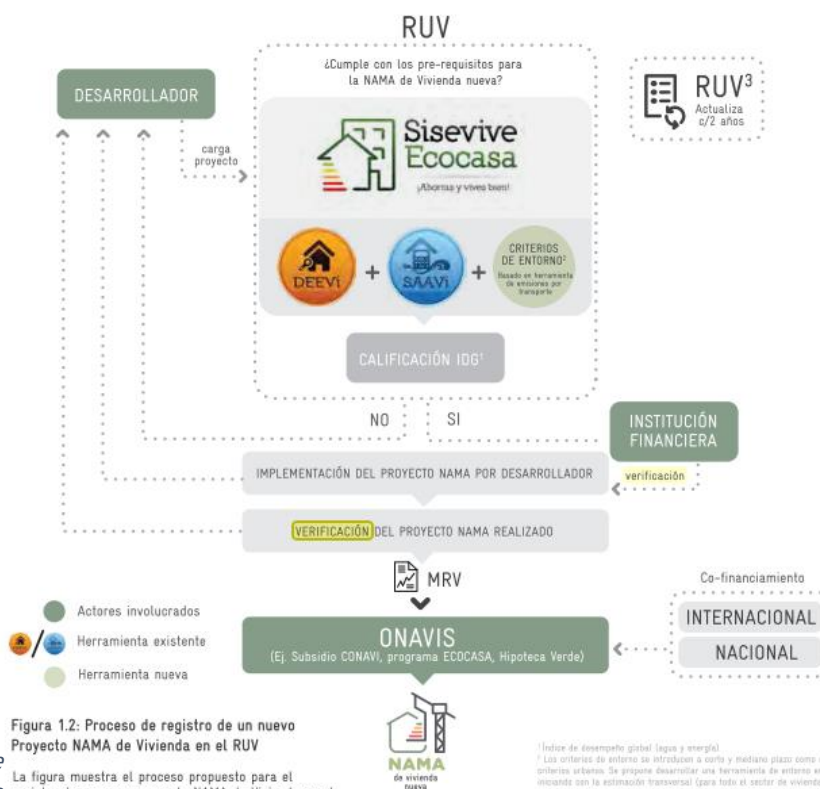


Figura 1.2: Proceso de registro de un nuevo Proyecto NAMA de Vivienda en el RUV

La figura muestra el proceso propuesto para el registro de un nuevo proyecto NAMA de Vivienda en el RUV. Incluye los actores involucrados, así como los insumos y productos del sistema. Elaboración propia.

<sup>1</sup> Índice de desempeño global (agua y energía).  
<sup>2</sup> Los criterios de entorno se introducen a corto y mediano plazo como un 'título' de criterios urbanos. Se propone desarrollar una herramienta de entorno en el RUV integrada con la información transversal (para todo el sector de vivienda) de las emisiones por transporte en función de la localización de la vivienda. A mediano y largo plazo se propone desarrollar una línea base para los criterios de entorno y introducir un IDG de entorno.  
<sup>3</sup> La actualización se realiza bajo la supervisión del comité de mantenimiento.

## Anexo C: Taxonomía propuesta por la industria norteamericana para el reporte de Estudios de Huella de Carbono en edificación

| Category Level 1         | Category Level 2 | Category Level 3                     | Category Level 4           | Category Level 5   | Category Level 6 |
|--------------------------|------------------|--------------------------------------|----------------------------|--|------------------|
| <b>1. Goal and Scope</b> |                  |                                      |                            |  |                  |
|                          | Goal             |                                      |                            |  |                  |
|                          |                  | Assessment goal                      |                            |  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Intended application   |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Reasons for carrying out the study                                       |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Intended audience  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Whether results are intended to be used in comparative assertions        |                  |
|                          |                  | Background information on assessment |                            |  |                  |
|                          |                  |                                      | General information on LCA |  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Date of LCA assessment   |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Assessment stage: Project phase at time of LCA assessment                |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Client for assessment  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Name and qualification of LCA assessor                                   |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Organization of assessor   |                  |
|                          |                  | Verification                         |                            |  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Name and qualification of LCA verifier                                   |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • A statement asserting if verification is "internal" or "external"        |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • A statement categorizing competence of the verifier                      |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Date of verification   |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Signature of verifier  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Statement of which items were verified                                   |                  |
|                          |                  | LCA data and methods                 |                            |  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Source, type and quality of LCA data                                     |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • LCA impacts and assessment method including version number and reference |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Tool version and date  |                  |
|                          |                  | Assumptions and scenarios            |                            |  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • HVAC, natural ventilation and daylight simulation performed              |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Source, type and quality of building data                                |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • BIM model available (Y/N)  |                  |
| <b>Scope</b>             |                  |                                      |                            |  |                  |
|                          |                  | Project information                  |                            |  |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Project name   |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Project type   |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Building architect, engineer, and/or contractor                          |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Building owner, developer, and/or manager                                |                  |
|                          |                  |                                      |                            | • Project construction cost  |                  |

|   |
|---|
| •Rating scheme  |
| •Rating achieved  |
| •Year of building construction completion   |
| •Year of building commissioning   |
| •Year of occupancy  |
| •Year of refurbishment  |
| Functional unit   |
| Building scale and performance  |
| Area characteristics  |
| •Building footprint area  |
| •Total gross floor area (GFA)   |
| •Parking lot size   |
| Height characteristics  |
| •Average ceiling height   |
| •Building total height  |
| •Number of stories above grade  |
| •Number of stories below grade  |
| Relevant technical and functional requirements  |
| •Building use type(s)   |
| •Building occupancy type  |
| •Design number of building occupants  |
| •Design life expectancy in years  |
| •Typical floor and roof live load   |
| •Structural type (per IBC)  |
| Geographic and site characteristics   |
| •Class of noise exposure  |
| •Climate zone (per IECC)  |
| •Landscaping description  |
| •Seismic design category (per IBC)  |
| •Soil site class (per IBC)  |
| Location - address  |
| •Location - Street address  |
| •Location - state/province  |
| •Location - country   |
| •Location - city  |
| Life Cycle Scope  |
| Reference study period (RSP) per EN 15978 (shall be presented separately for all the building life cycle stages and for module D) |
| System boundary   |
| Building scope per Omniclass or RICS Professional Statement   |