

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR- JOSE MIGUEL CARRERA - SAN JOAQUIN

**ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE GESTIÓN PARA UN PERFIL
DE COMPETENCIA LABORAL EN LA INDUSTRIA DEL HIDRÓGENO
VERDE**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento Industrial
con Licenciatura en Ingeniería.

Alumno:

Jorge Alejandro Ian Riquelme Muñoz

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Andrés Baldi González

DEDICATORIAS

“Sí, mis amigos, creo que algún día se empleará el agua como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno de lo que está formada, usados por separados o en forma conjunta, proporcionarán una fuente inagotable de luz y calor, de una intensidad de la que el carbón no es capaz [...] El agua será el carbón del futuro.”

Julio Verne, La Isla Misteriosa, 1874.

RESUMEN

KEYWORDS: H2V, VECTOR ENERGÉTICO, PERFILES DE COMPETENCIAS, DESCARBONIZAR, UNIDAD DE COMPETENCIAS LABORALES, CULTURA, MEJORA CONTINUA.

Este documento en su CAPITULO 1 parte estudiando el estado del Arte de la industria del Hidrogeno a nivel nacional e internacional, pasando por la definición y característica de esta sustancia hasta conocer las consideraciones según la norma ISO 13.600, la que lo define como un VECTOR ENERGETICO. En el mismo capítulo, se detalla las formas de generación del Hidrogeno y los colores asociados a esta acción, el impacto que traerá en materia de inversión y puestos de trabajo, como también, las metas planteadas en la Estrategia Nacional de H2V a corto, mediano y largo plazo.

En el CAPITULO 2, se aborda la necesidad de contar con capital humano capacitado como un activo preponderante en la cadena de valor de la industria del Hidrogeno. Se da a conocer las instituciones como CHILEVALORA y los procesos ligados a la certificación de competencias laborales en Chile. Por otro lado, se comienza a plantear la conciencia sobre el CAMBIO CLIMATICO y los objetivos internacionales por la necesidad de DESCARBONIZAR el planeta adoptando nuevas energías para reemplazar a las convencionales. A raíz de lo anterior, se plantea la necesidad de que el perfil laboral Mantenedor(a) de Planta de H tenga conocimientos claros del impacto de los procesos ligados a las actividades de mantenimiento y como estas actividades tiene una Huella de Carbono asociada incluso una Huella Hídrica.

Por último, en el CAPITULO 3 inicia justificando la necesidad de que el perfil laboral mencionado con anterioridad cuente con conocimientos generales del impacto de la Huella de Carbono e ir adoptando un cambio temprano en la CULTURA AMBIENTAL para esta nueva industria, buscando acortar las brechas de lo establecido en la Ley Marco de Cambio Climático 21.455 del Ministerio de Medio Ambiente, que insta la meta de carbono neutralidad para el año 2050. Siguiendo con lo anterior, se propone elaborar la metodología de cálculo y gestión de la Huella de Carbono bajo el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte GHG Protocol Corporate Standard, WRI y WSBCD, 2005, adoptando el Modelo de Gestión de Mantenimiento de Crespo Márquez A, 2007, para el indicador de Huella de Carbono.

ÍNDICE

DEDICATORIAS 1

RESUMEN.....2

ÍNDICE DE FIGURAS.....4

ÍNDICE DE TABLAS 5

ÍNDICE DE GRÁFICOS 5

SIGLAS Y SÍMBOLOS.....6

INTRODUCCIÓN 7

OBJETIVO GENERAL 8

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....8

CAPÍTULO 1: Una Nueva Industria.....9

 1. Hidrógeno Como Vector Energetico.....10

 1.1. El Hidrógeno Verde.....10

 1.2. Hidrógeno Verde: Un Vector al Cambio Climatico 12

 1.3. Chile: Manos a la Obra.....14

CAPÍTULO 2: Un Nuevo Capital.....20

 2. “Chile, We Have a Problem” 21

 2.1. El Problema y su Solución 21

 2.2. Huella de Carbono 26

 2.3. Huella Hídrica 28

CAPÍTULO 3: Conocimiento General; Conciencia Ambiental.....31

 3. Meta: Carbono Neutralidad.....32

 3.1. Ciclo de Gestión de la Huella de Carbono 33

 3.2. Fases de Modelo de Gestión HC 34

CONCLUSIONES 43

BIBLIOGRAFÍA 44

ANEXO: 45

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Energías Utilizadas y sus Procesos.
- Figura 1-2. Energía Primaria, Secundaria y Tecnologías para el H2V.
- Figura 1-3. Desarrollo del Mundo en Materia H2V.
- Figura 1-4. Metas para la Industria H2V.
- Figura 1-5. Plan de Acción para la Industria H2V.
- Figura 1-6. Materialización de la Industria H2V.
- Figura 1-7. Actores Claves de El Sistema.
- Figura 2-1. Aspectos Claves de las Competencias Laborales.
- Figura 2-2. Catálogo de Perfiles Laborales en la Página de ChileValora.
- Figura 2-3. Ranking Mundial de HH.
- Figura 2-4. Componentes de la HH.
- Figura 2-5. Fases de la Evaluación de la HH.
- Figura 3-1. Modelo Propuesto de Gestión de HC.
- Figura 3-2. Niveles de Gestión Organizacional.
- Figura 3-3. Fase Uno, Gestión de la HC.
- Figura 3-4. Fase Dos, Gestión de la HC.
- Figura 3-5. Alcances para las Emisiones Directas e Indirectas, Gestión de la HC.
- Figura 3-6. Formula de Emisión de Sustancias en CO₂eq, Gestión de la HC.
- Figura 3-7. Factores de Emisiones de CO₂ y Poderes Caloríficos.
- Figura 3-8. Proceso de Verificación, Gestión de la HC.
- Figura 3-9. Etapas del Ciclo de Vida del Producto.
- Figura 3-10. Fases de Metodología de Análisis Ciclo de Vida, ISO 14.067.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Beneficios según Inversión y Producción.

Tabla 1-2. Cantidad de Empleos Proyectados para la Industria H2V.

Tabla 2-1: Propuesta de Conocimiento General para el cargo Mantenedor Planta de H.

Tabla 2-2. Principales Gases y Fuentes de GEI.

Tabla 2-3. Clasificación de los GEI.

Tabla 2-4. Global Warning Potential (GWP) de GEI.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1. Estimación de Nuevos Puestos de Trabajo.

Gráfico 1-2. Comparación de Empleos y su Distribución por Rubro.

SIGLAS Y SÍMBOLOS

atm	:	Atmósfera
B	:	Billones
°C	:	Celsius
CH4	:	Metano
CO2	:	Dióxido de Carbono
CO2eq	:	Carbono Equivalente
GEI	:	Gases de Efecto Invernadero
GHCO2	:	Gestión de la Huella de Carbono
GHH	:	Gestión de la Huella Hídrica
H	:	Hidrogeno
H2	:	Di-Hidrogeno
H2A	:	Hidrogeno Azul
H2G	:	Hidrogeno Gris
H2O	:	Agua
H2V	:	Hidrogeno Verde
I+D	:	Investigación y Desarrollo
K	:	Kelvin
kg	:	Kilogramo
MJ	:	Megajulios
Mt	:	Millones de toneladas
MM	:	Mil Millones
NDC	:	Contribuciones Nacionales Determinadas
O	:	Oxigeno
O&M	:	Operación y Mantenimiento
PIB	:	Producto Interno Bruto
T°	:	Temperatura
T&A	:	Transporte y Almacenamiento
UE	:	Unión Europea
USD	:	Dólar

INTRODUCCIÓN

El Hidrógeno (H₂) – un gas muy ligero, que al usarse solo emite vapor de agua – es el elemento más abundante en el universo, pero no se encuentra en estado natural. Para obtenerlo, es necesario extraerlo de otras moléculas. Una forma de hacerlo, es a través de un proceso químico llamado electrolisis. Este método, utiliza la corriente eléctrica para separar el Hidrógeno del oxígeno que hay en el agua. Si esa electricidad se obtiene de fuentes renovables, se le llama Hidrógeno Verde (H₂V), esto porque al producirlo o al usarlo no se emiten gases de dióxido de carbono a la atmosfera.

El potencial de energías renovables en Chile es de sobre 2 Tera vatios, según fuentes del Ministerio de Energía. Esa capacidad, aplicando los factores de planta de las distintas tecnologías, es suficiente para generar unos 200 millones de toneladas anuales de hidrógeno verde, el triple de la producción actual de hidrógeno a nivel mundial.

Chile está buscando tomar un rol protagónico en este nuevo escenario energético, pero para impulsar, tanto su desarrollo como crecimiento, la industria de Hidrógeno como capital energético, demandara nuevas capacidades de capital humano multidisciplinario y especializado para promover procesos de producción y distribución de este vector energético. Es por eso, que resulta indispensable prepararnos, y para eso se debe crear y desarrollar Perfiles de Competencias Laborales que estén a la vanguardia de las necesidades de la industria en siglo XXI.

Actualmente, ChileValora es la Comisión del Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales quien reconoce mediante la certificación a personas con o sin estudios profesionales, es quien además se encarga de registrar y acreditar los perfiles laborales que levanten desde los organismos sectoriales de competencias laborales, este servicio público cuenta con tres perfiles profesionales que tienen relación con la industria del H₂V. Bajo el escenario anterior, este Trabajo de Título tendrá por objetivo elaborar una metodología de Gestión de Mantenimiento enfocada a la reducción y/o compensación de Huella de Carbono como parte de los nuevos conocimientos propuestos para uno de estos perfiles de competencia laboral.

Para cumplir con el propósito anterior, debemos conocer las necesidades específicas que necesitara cada área de la cadena de valor del H₂V, desde la generación eléctrica renovable, su transmisión y distribución, el uso del agua y su purificación, hasta el almacenamiento, el transporte, distribución, utilización, mantención y producción de derivados energéticos del Hidrógeno.

Con el fin de estimular el crecimiento de la industria, se está llevando adelante diversas iniciativas de carácter público, privado y académico, el cual este último tiene por misión, formar al capital humano, ya sea a través de programas de pregrado, siendo técnicos e ingenieros los más requeridos o en formación de posgrado, entre los cuales puedan destacar cursos, diplomados, magister y porque no doctorados.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una metodología de Gestión de Mantenimiento enfocada a la reducción y/o compensación de la Huella de Carbono para un perfil laboral relacionada a la industria del H2V, adoptando el Modelo de Gestión de Mantenimiento de Crespo Márquez, del año 2007.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar el estado del arte en materia del H2V enfocado al Capital Humano y el servicio público ChileValora recopilando información de diferentes entidades nacionales e internacionales para esta industria, abordando posibles necesidades y problemáticas que puedan presentarse.
2. Proponer nuevos conocimientos generales para las primeras actividades claves de las dos Unidades de Competencias existentes en el perfil laboral de Mantenedor(a) en Planta de Hidrógeno.
3. Elaborar la metodología de cálculo para la Huella de Carbono bajo el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte GHG Protocol Corporate Standard, 2005, como parte de los nuevos conocimientos propuestos.

CAPÍTULO 1: UNA NUEVA INDUSTRIA

1. HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGETICO

El Hidrógeno (H) es el primer elemento de la tabla periódica. Este elemento químico, además de ser gaseoso, es el elemento más ligero que existe y el más abundante en el universo y está formado por un protón y electrón.

Aunque el H abunda, es difícil de aprovechar en la tierra, ya que solo se encuentra como compuesto de otros elementos y para obtenerlo debe ser separado, en condiciones normales de presión atmosférica (1 atm) y a 0 °C (273.15 K) recién puede ser apreciado en su estado gaseoso y como di-Hidrógeno (H₂), es decir, un compuesto formado por dos átomos de H, que al hacer combustión con el Oxígeno (O) forma agua (H₂O).

El H₂ se caracteriza por ser inodoro, insípido, incoloro y altamente inflamable pudiendo arder a una llama invisible de 2000 °C, su poder calorífico, es decir, su capacidad de entregar energía por unidad de masa en comparación a los combustibles convencionales fósiles como el Diésel es de 120 MJ/kg versus 40 MJ/kg correspondientemente, siendo el H₂ un combustible tres veces más eficiente, lo que lo perfila como un excelente **Vector Energético**.

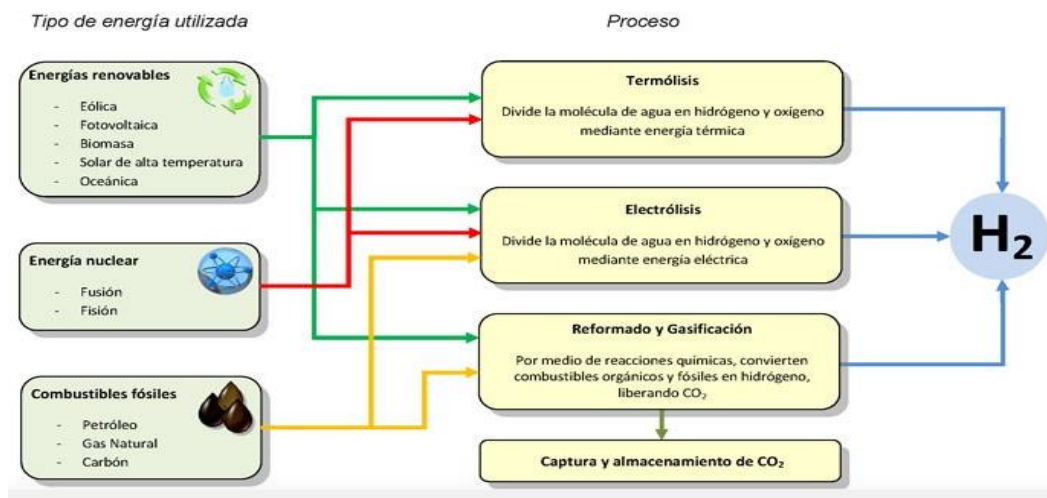
Según la ISO 13.600:1997 *Technical Energy System* define como **Vector Energético (Energy Carrier)** a una “Sustancia o fenómeno que puede ser utilizado para producir trabajo mecánico, calor o para operar procesos químicos y físicos”, esto quiere decir que el H₂ además de ser usado como combustible, puede transformarse en electricidad generando así la transición a una nueva matriz energética en el Chile y el mundo.

1.1.EL HIDRÓGENO VERDE

Se sabe que el H en nuestro planeta solo se encuentra como compuesto de otros elementos y que para obtenerlo y/o producirlo debe ser separado, para esto último, existen diversas fuentes de energía que permiten extraer H, estas fuentes pueden ser de hidrocarburos; como por ejemplo combustibles fósiles, energías renovables; como por ejemplo eólica, solar, biomasa, y energía nuclear; mediante fusión y fisión.

Estas fuentes de energía son aprovechadas mediante diferentes procesos físicos y químicos que descomponen las moléculas de un compuesto donde se encuentre H.

A continuación, en la FIGURA 1-1, se presenta de manera dinámica los tipos de energía utilizadas, un listado de cómo generarla, y la definición de algunos de los procesos en los cuales estas energías pueden estar sometidas para producir H₂.



Fuente: Libro Centro Nacional de Experimentación de Hidrógeno y Pilas de Combustibles de España (CNH2).

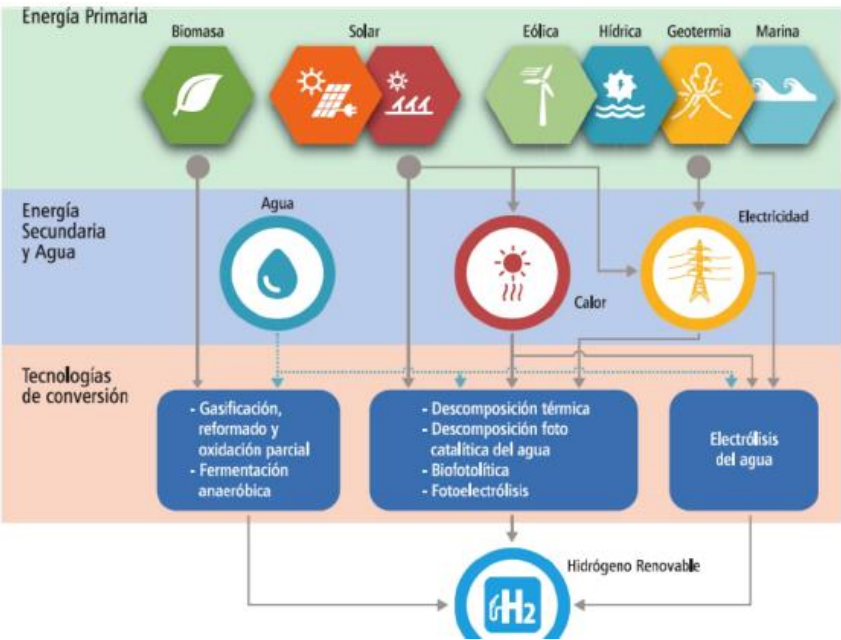
FIGURA 1-1: Energías Utilizadas y sus Procesos.

Para asociar la producción de H₂ con el color verde, se debe tener presente el tipo de energía utilizada, existen tres tipos de colores para identificar su producción, siendo estas las siguientes:

1. **Hidrógeno Gris (H₂G)**: Este método de producción, proviene de los hidrocarburos y están asociados a los combustibles fósiles como fuente de energía utilizada. Se caracterizar principalmente por que generan gases de efecto invernadero, como el Dióxido de Carbono (CO₂). Su proceso es el reformado del Metano (CH₄), se genera gracias a la quema de combustibles fósiles que al mezclarlo con vapor de agua a altas Temperaturas (T°) entre los 900-1000 °C produce H₂. También, el proceso de electrolisis gracias a termoeléctricas a carbón, generadores eléctricos funcionados con Diésel, etc.
2. **Hidrógeno Azul (H₂A)**: Este método de producción, es igual al mencionado en el H₂G, la gran diferencia con la anterior, es que este método cuenta en su proceso la captura de gases de efecto invernadero como lo es el CO₂, luego de capturar este gas, se almacena para ser reutilizado y descompuesto para diferentes usos, como lo es la generación y cultivo de micro algas y micro organismos conocida como Biomasa.
3. **Hidrógeno Verde (H₂V)**: Este método de producción, se diferencia completamente de los dos métodos anteriores, ya que este método usa fuentes de energía renovables como se vio en el FIGURA 1-1, y las formas de obtenerla funcionan como energía primaria. Pueden contar con una gran variedad de procesos, siendo los más utilizados electrolisis; gracias a la electricidad generada por fuentes renovables, fotólisis, bio-fotólisis, fermentación oscura de algas y residuos industriales, y por

ultimo termólisis. Todos estos procesos tienen la particularidad de NO generar emisiones de CO2.

A continuación, en la FIGURA 1-2, se presenta de manera dinámica la forma de generar la energía primaria, como se combinan con una energía generada a partir de estas denominadas energías secundarias, y los procesos asociados a la combinación de ambas para la producción de H2.



Fuente: Libro Tecnologías del Hidrógeno y Perspectivas para Chile, GIZ, 2019.

FIGURA 1-2: Energía Primaria, Secundaria y Tecnologías para el H2V.

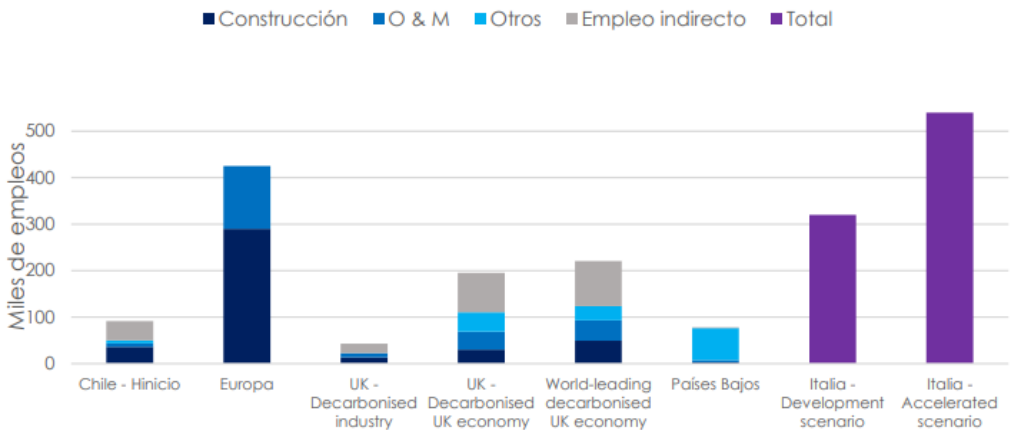
1.2.HIDRÓGENO VERDE: UN VECTOR AL CAMBIO CLIMATICO

La carrera para **DESCARBONIZAR** nuestro planeta ha comenzado y necesitamos adoptar el H como una solución energética global ahora más que nunca. El H puede despertar la mayor oportunidad económica de nuestra vida, según la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) (GIZ) GmbH en su libro *Tecnologías del Hidrógeno y Perspectivas para Chile publicado en el año 2019*, en la actualidad, el 96% del H en el mundo se produce a partir de combustibles fósiles y solo el 4% se produce a través del agua, la producción mundial actual de H se estima entre 65 Mt por año y su huella de CO2 equivale a 500 Mt por año y proyecta para el año 2030 que esta demanda se incrementará hasta alcanzar las 200 MMt al año debido al uso en transporte y los principales consumidores serán Japón, China y Corea del Sur.

El mundo se prepara para la adopción de esta fuente de energía renovable, inagotable y limpia sin huella de CO2 y se necesitará crear innumerables trabajos calificados informa GIZ, ya que esta industria no solo creará nuevos campos laborales para la industria del H2V, sino que, además traerá consigo beneficios en otros campos de

la industria y la divide en 5 segmentos; *Generación Eléctrica, Producción de H, Producción de Químicos, Transporte y Almacenamiento (T&A)*. Cada uno de estos segmentos están considerados en cuatro rubros; *Construcción, Operación y Mantenimiento (O&M), Otros Servicios, además de los Rubros Indirectos*. Solo en los rubros de construcción y O&M se necesitarán más de 400 mil empleos.

A continuación, se extrae el GRÁFICO 1-1 que nos muestra GIZ en su publicación *Cuantificación del Encadenamiento Industrial y Laboral para el Desarrollo del Hidrógeno en Chile en el año 2020*, este gráfico muestra de forma clara la necesidad de empleos en los cuatro rubros mencionados con anterioridad en la UE y otras partes del mundo con proyección al año 2030 incluido nuestro país Chile.

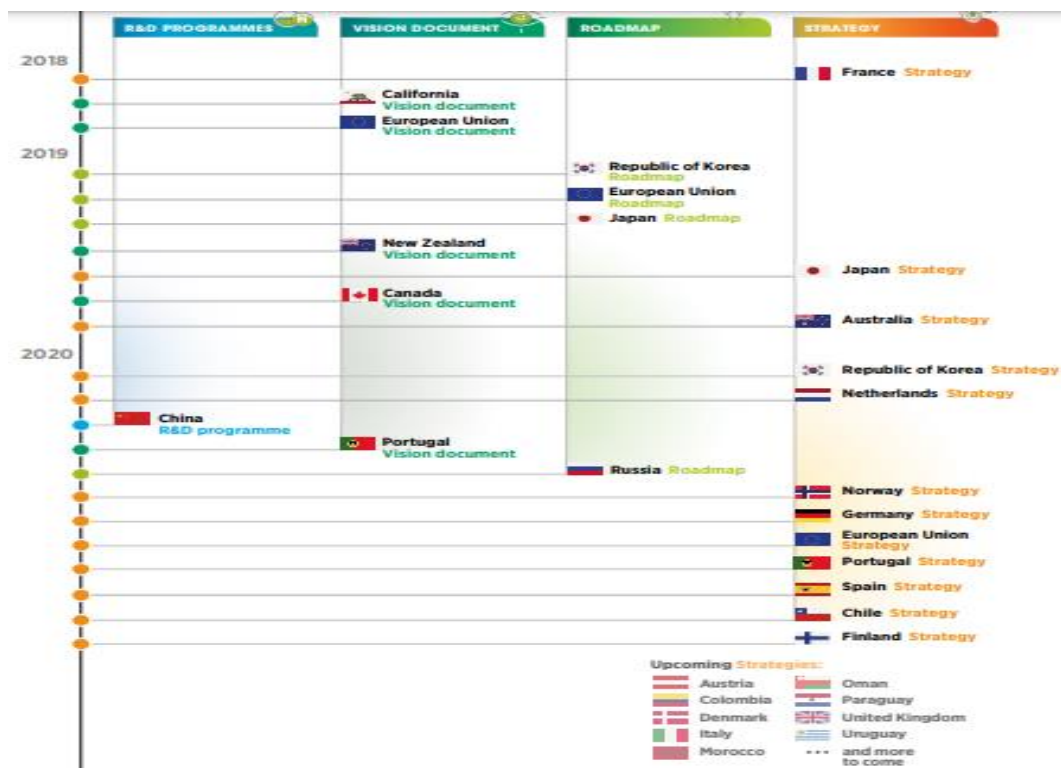


Fuente: Cuantificación del Encadenamiento Industrial y Laboral para el Desarrollo del Hidrógeno en Chile, GIZ, 2020.

GRÁFICO 1-1: Estimación de Nuevos Puestos de Trabajo.

Lo anterior, lo ratifica la Agencia Internacional de Energía Renovable (International Renewable Energy Agency) (IRENA) en su estudio *Green Hydrogen Cost Reduction* publicado en el año 2020, donde afirma y muestra de forma gráfica los avances de diferentes países en materia de H2V, además resalta instituciones internacionales como la Unión Europea (UE). solo esta última destinara alrededor de los 750 billones de euros para desarrollar programas relacionados al H2V.

A continuación, la FIGURA 1-3, nos muestra un mapa del desarrollo de diferentes países en el mundo que han avanzado en materia de H2V, dicho desarrollo se muestra en cuatro etapas de derecha a izquierda, estas son; **Estrategia, Hoja de Ruta (Roadmap), Documentación, Investigación y Desarrollo (I+D)**.



Fuente: Green Hydrogen Cost Reduction, IRENA, 2020.

FIGURA 1-3: Desarrollo de Políticas y Estrategias por el Mundo en Materia H2V.

1.3.CHILE: MANOS A LA OBRA

Las energías renovables son el principal factor a la hora de pensar en producir H₂, y Chile tiene la capacidad de producir sobre 2 Tera vatios, según fuentes del Ministerio de Energía. Esa capacidad, aplicando los factores de planta de las distintas tecnologías, es suficiente para generar unos 200 millones de toneladas anuales de H₂V, el triple de la producción actual de hidrógeno a nivel mundial, esto pone a Chile en el primer lugar del podio como productor de H₂ lo que equivale tener la producción al mejor precio del mercado, dicho precio ronda entre los 1,5 y 1,7 USD/kgH₂. Si se calculan las exportaciones a un valor de 1,5USD/kgH₂, significa que potencialmente Chile podría exportar energías limpias en forma de H por un monto semejante a su Producto Interno Bruto (PIB).

La Estrategia Nacional de H₂V presentada a fines del año 2020, prevé utilizar un 10% de ese potencial, escalando paso a paso de aquí al año 2050. Según estimaciones del Ministerio de Energía de Chile, esto requerirá de una inversión acumulada de unos \$330 MM de dólares al año 2050, creando desde cero una nueva industria sustentable.

A continuación, en la FIGURA 1-4, muestra de manera didáctica las metas trazadas por Chile, estableciendo metas hasta la próxima década que tiene que ver con la inversión, capacidad de electricidad construida y en desarrollo, capacidad de producir H₂ y luego exportar a menos de \$1.5 el kg de H para que Chile sea el líder global en la producción de 25GW de H₂V por electrolisis.



Fuente: Estrategia Nacional H2V, Ministerio Energía Chile, 2020.

FIGURA 1-4: Metas para la Industria H2V.

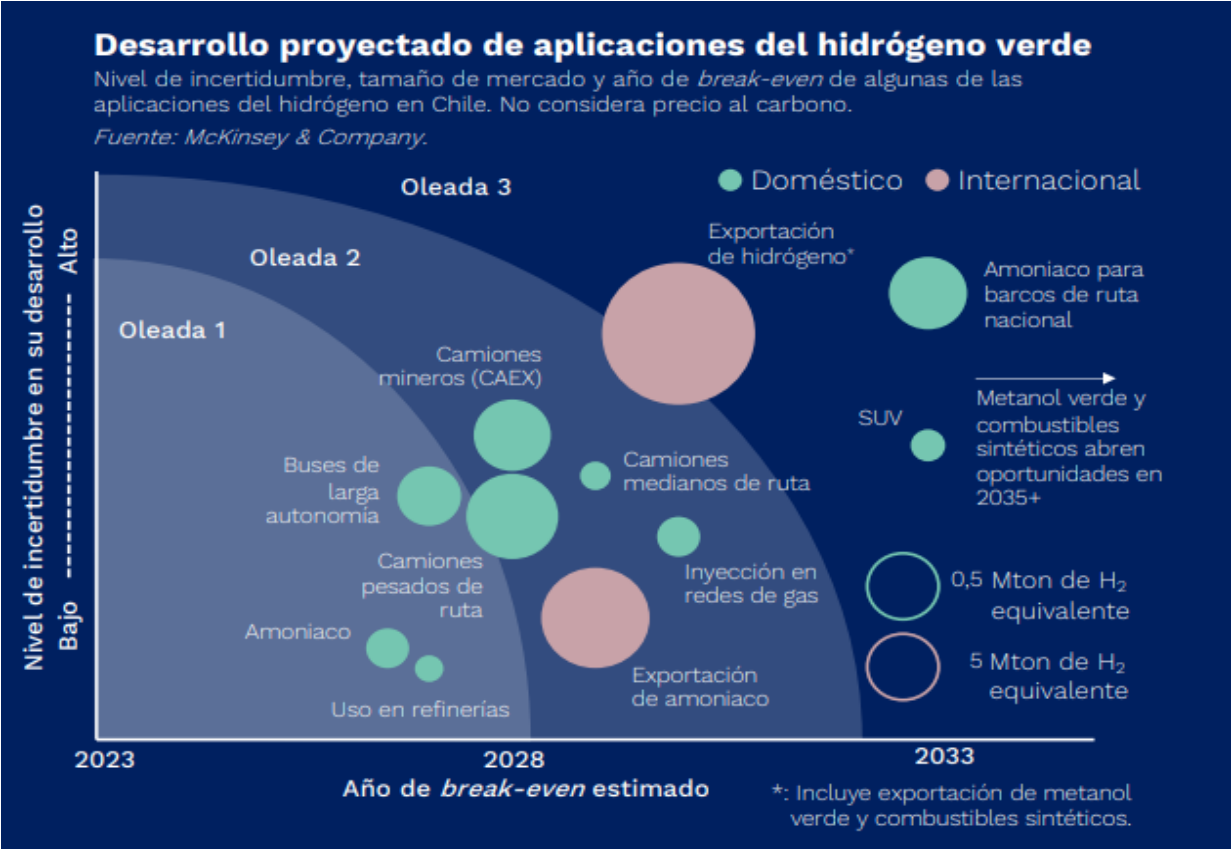
Siguiendo con la FIGURA 1-5, que da a conocer el plan de acción orientado en cuatro ejes; *Fomento al Mercado*, *Normativa-Seguridad- Pilotaje*, *Desarrollo Territorial*, y *Formación de Capacidades e Innovación*.



Fuente: Estrategia Nacional H2V, Ministerio Energía Chile, 2020.

FIGURA 1-5: Plan de Acción para la Industria H2V.

Por último, la FIGURA 1-6, muestra de manera sencilla la materialización que también es proyectada a la siguiente década y así poder dar forma a la Industria del H2V en Chile determinando una primera oleada; que se centra en el consumo doméstico, pasando por una segunda; centrado en el transporte y terminando con una tercera; centrada en la apertura de nuevos mercados de exportación. Este desarrollo se proyecta dentro de las variables del *nivel de incertidumbre*, *tamaño del mercado* y *el año de break-even*.



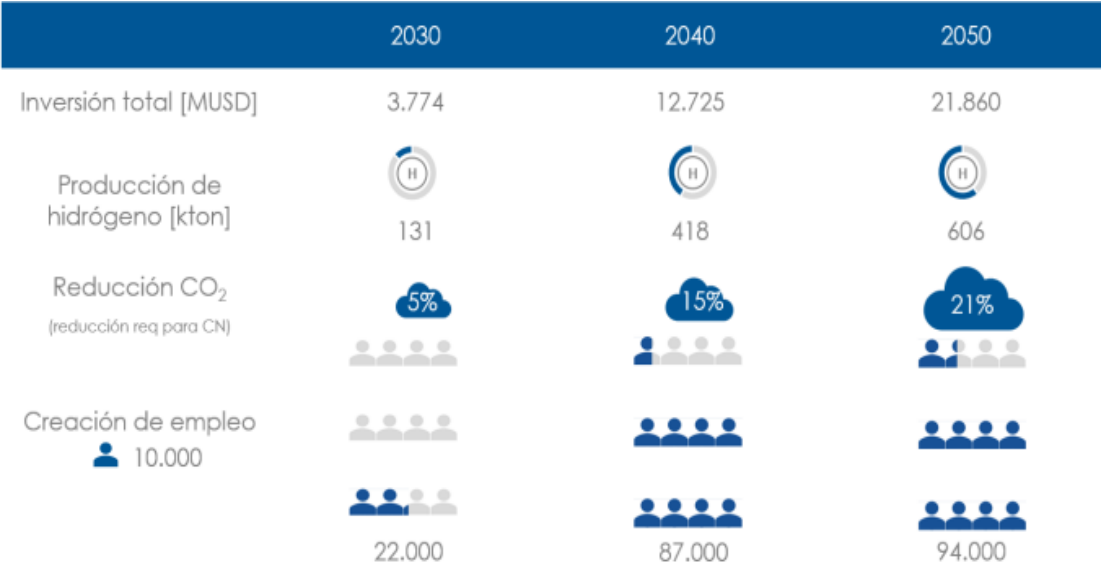
Fuente: Estrategia Nacional H2V, Ministerio Energía Chile, 2020.

FIGURA 1-6: Materialización de la Industria H2V.

Para realizar estas inversiones, se requiere un consenso social muy amplio, seguridad jurídica, regulación habilitante y por sobre todo un buen y calificado capital humano que logre potenciar las cualidades naturales y desarrollar la industria.

El desarrollo de una industria de H2V en nuestro país, según la publicación *Cuantificación del Encadenamiento Industrial y Laboral para el Desarrollo del Hidrógeno en Chile de GIZ en el año 2020*, dice que, Chile tiene el potencial de generar como mínimo 22 mil, 87 mil y 94 mil nuevos empleos denominadas Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC), para los años 2030, 2040 y 2050 respectivamente. Si se consideran factores de productividad regional, los valores anteriores podrían aumentar a 68 mil, 251 mil y 255 mil nuevos empleos, para los años 2030, 2040 y 2050 respectivamente.

A continuación, la TABLA 1-1, muestra de forma rápida la producción de H y los beneficios a raíz de esta, en términos de reducción de la huella de CO2 y la creación de nuevos empleos considerando la inversión total de hasta 22 mil MUSD, mientras que para la TABLA 1-2, muestra la estimación de empleos generados en nuestro país gracias a la industria del H2V, esta vez considerando el factor regional, ambas tablas son estimaciones para las siguientes tres décadas.



Fuente: Estrategia Nacional H2V, Ministerio Energía Chile, 2020.

TABLA 1-1: Beneficios según Inversión y Producción.

	2030	2040	2050
Construcción	26.694	97.000	101.922
O & M	5.634	15.497	20.974
Otros servicios (e.g. diseño, ingeniería, estudios)	5.892	28.015	17.172
Indirectos	30.127	111.049	114.535
Total empleos generados	68.347	251.561	254.603

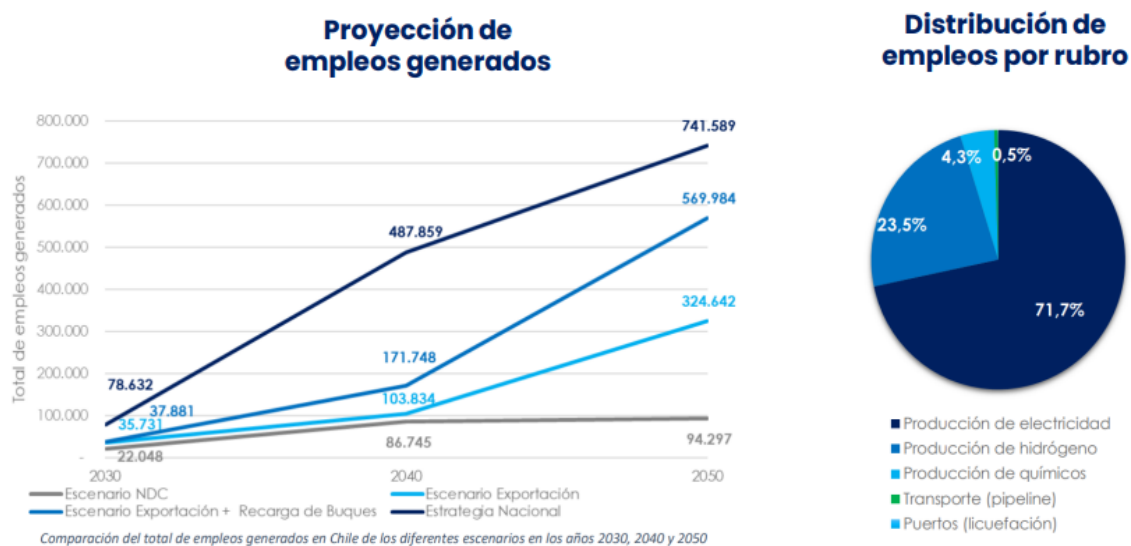
Fuente: Estrategia Nacional H2V, Ministerio Energía Chile, 2020.

TABLA 1-2: Cantidad de Empleos Proyectados para la Industria H2V.

Siguiendo la línea de estudio, la misma GIZ elaboro una segunda publicación, solo que esta vez bajo un escenario de exportación para las mismas tres siguientes décadas, el documento llamado *Cuantificación del Encadenamiento Laboral Para el Desarrollo del Hidrógeno en Chile Bajo un Escenario de Exportación del año 2022*, explica números de empleabilidad que sobrepasan a los estimados para la UE, son números realmente sorprendentes.

En concreto, la publicación anterior, aborda tres nuevos posibles escenarios además de las NDC, estas son; *Escenario Nacional*, *Escenario de Exportación* y *el Escenario de Exportación más Recarga de Buques*, todo lo anterior dentro del marco documentado en la Estrategia Nacional de H2V, en síntesis, si los tres escenarios son abordados de aquí al año 2050, se generarán sobre los 700 mil nuevos empleos, 300 mil más que toda la estimación para la UE, GIZ además elabora un gráfico porcentual con la distribución de los empleos por rubro, bajo el mismo criterio visto con anterioridad en el GRÁFICO 1-1.

A continuación, el GRÁFICO 1-2, muestra el total de empleos proyectados en las próximas tres décadas, en el, se dibuja el aumento de la tendencia en puestos de trabajo en comparación a tres posibles escenarios bajo la misma estrategia nacional, además muestra los porcentajes que estos nuevos puestos de trabajo ocuparan en cinco segmentos.



Fuente: Estrategia Nacional H2V, Ministerio Energía Chile, 2020.

GRÁFICO 1-2: Comparación de Empleos y su Distribución por Rubro.

Teniendo estos números en consideración, sin duda alguna nos encontramos con una industria disruptiva.

Para dimensionar la proyección de los 741.589 mil nuevos empleos generados por la industria H2V al año 2050, serán comparados con el último informe trimestral entre los meses de Julio a Septiembre del año 2023, de la Encuesta Nacional de Empleo desarrollada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), dicho informe consta que a la fecha existen un 8,9% de desempleo equivalente a 881.670 mil personas aptas para trabajar, si además este porcentaje decimos que ronda en el promedio histórico del país, podemos decir que la demanda de capital humano para la industria de H2V que se proyecta al año 2050 podría cubrir en un 84% la demanda de empleo.

Por todo lo anterior, es que la Estrategia Nacional de la Industria de H2V hace mención al capital humano y elabora una estrategia aparte en marco de esta temática. El Ministerio de Energía en conjunto a diversos actores de la sociedad civil e instituciones del Estado como lo es ChileValora, que es parte del sistema encargado de acreditar las capacidades profesionales de las personas, ejecutaron diversas mesas de trabajo y colaboración, destacando la creación de diversos cursos que sirvan de capacitación e introducción al mundo del H2 a los futuros especialistas y profesionales, la preparación de un documento con buenas prácticas laborales en proyectos de generación de energía renovable y por último, se determinó crear los tres primeros perfiles profesionales a cargo del sistema ChileValora considerados empleos críticos para suplir las necesidades de mantención, instalación y operación en plantas de producción, transporte y almacenamiento de H2. Los esfuerzos de crear estos perfiles laborales se concentrarán en los siguientes cargos; **Operador de Planta de H2, Encargado de Planta de H2 y Mantenedor de Plantas de H2.**

En Chile, existe un Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales (El Sistema), se crea en base a la Ley N° 20.267, con el fin de otorgar

reconocimiento formal a las personas que posean conocimientos en determinados oficios o trabajos. El sistema, se compone por tres organismos; *ChileValora*, *Centros de Evaluación y Certificación de Competencias Laborales* y *Organismos Sectoriales de Competencias Laborales*.

A continuación, la FIGURA 1-7, muestra de manera didáctica los organismos que componen a El Sistema y sus principales funciones de manera práctica y concisa.



Fuente: Página Oficial ChileValora.

FIGURA 1-7: Actores Claves de El Sistema.

Para contar con un perfil ocupacional en el catálogo del concejo ChileValora, es necesario que organismos sectoriales de competencias laborales colaboren de manera tripartita, es decir, una colaboración compuesta por **empleadores, trabajadores y sector público**, presenten un Proyecto de Competencias Laborales y que identifique la relevancia de contar con ese perfil y las acciones que se harán para desarrollar el proceso de evaluación y certificación. Es importante mencionar, que la ejecución de los proyectos de competencias debe contar con, al menos, el 10% del financiamiento del costo total por parte del sector que presenta el proyecto. Por último, para certificar a las personas en sus capacidades. El Sistema, cuenta con centros de evaluación y certificación que se basan en los perfiles ocupacionales existentes en el catálogo de ChileValora.

CAPÍTULO 2: UN NUEVO CAPITAL

2. “CHILE, WE HAVE A PROBLEM”

La referencia del título a la popular pero errónea cita de una frase dicha por el astronauta Jack Swigert durante el accidentado viaje del Apolo 13, no hace más poner en estado de alerta a las oportunidades que puedan presentarse con respecto al desarrollo de la industria del H2V en Chile y el mundo. El principal atractivo de este Trabajo de Título es, justamente centrarse en una OPORTUNIDAD que tiene su GÉNESIS en una PROBLEMÁTICA de esta industria, que es contar con el capital humano capacitado necesario para cubrir la demanda de trabajo relatada al finalizar el capítulo anterior.

Si es que los esfuerzos se centraran en las proyecciones descritas en la *Estrategia Nacional del H2V*, Chile se verá obligado a capacitar, certificar y reconocer formalmente las competencias laborales de las personas que se desarrollen en esta industria independientemente de la forma en que las personas hayan adquirido los conocimientos y de si tienen o no un título o grado académico.

Los estudios y conclusiones de la *Estrategia Nacional de H2V* fueron claros y categóricos, se necesitan urgentemente los cargos como **Operador de Planta de H2, Encargado de Planta de H2 y Mantenedor(a) de Plantas de H2.**

2.1.EL PROBLEMA Y SU SOLUCIÓN

El tener un perfil de competencias laborales enfocado en la industria del H2V es una gran SOLUCION A UNA PROBLEMÁTICA que afecta directamente al correcto MANTENIMIENTO y FUNCIONAMIENTO de los principales ACTIVOS con los que pueden contar las plantas de almacenaje, producción y transporte de H2, esto a su vez puede afectar a las estimaciones del Ministerio de Energía que las hace visibles en la *Estrategia Nacional del H2V*.

Claro está que los costos de inversión enfocados al CAPEX, si se tiene una baja CONFIABILIDAD de los activos donde son afectados por la variable de la CONFIABILIDAD HUMANA, terminan siendo de un alto RIESGO que podría aumentar considerablemente los costos de mantención y disminuir la vida útil de cada planta destinada a la industria del H2 pudiendo afectar a los costos finales asociados al H2V. Solo pensar en la peligrosidad de la manipulación de este elemento hace necesario su regulación.

Como fue señalado en el capítulo anterior, ante la necesidad de contar con CAPITAL HUMANO capacitado para la industria del H2V, la SOLUCION va de la mano con El Sistema nacional de certificaciones de competencias laborales y que se crea en base la Ley N° 20.267, dependiente del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, mediante esta Ley se crea la COMISION CHILEVALORA con el fin de reconocer formalmente a las personas que cuenten con conocimientos en un área específica. Este sistema, además, busca mejorar las competencias de los colaboradores mediante evaluación.

Los beneficios y oportunidades que se asocian a la certificación de personas son cuantiosos y pueden serlo más aun en el desarrollo de esta industria. El solo contar con personal capacitado y certificado puede darle un valor agregado adicional a la cadena de valor de dicha industria. En materia de capacitación pueden incluso estar involucradas instituciones como SENCE u otra entidad privada para financiar este tipo de proyectos. Los beneficios y oportunidades que podría traer contar con un perfil laboral para la industria del H2V, se pueden clasificar en tres grupos; *Trabajador, Empleador y Sociedad*.

1. Trabajadores:

- Pueden demostrar lo que saben.
- Mayor empleabilidad.
- Visibiliza las competencias en el mercado laboral.
- Profesionaliza los oficios.
- Orienta las trayectorias laborales y formativas para seguir desarrollándose.

2. Empleadores:

- Disminuyen los desempleos.
- Mejora la gestión de recursos humanos y facilita el reclutamiento y selección de personas.
- Rentabiliza inversión en capacitación al detectar brechas.
- Mejora el clima laboral y disminuye la rotación.
- Muestra responsabilidad social empresarial.
- Incrementa la productividad y competitividad de la empresa.

3. Sociedad:

- Tasa de desempleos tiende a la baja.
- Crea una nueva área de desarrollo para el país.
- Se tiene mayor cantidad de personas capacitadas para diversas labores.
- Incentiva la búsqueda de nuevos aprendizajes.
- Se crean y formalizan nuevos ingresos tributarios mediante PYMES y empresas.

El Sistema, además de medir las COMPETENCIAS PROFESIONALES y TÉCNICAS, mide las COMPETENCIAS LABORALES, que son aquellas habilidades que una persona logra desarrollar a lo largo de su vida, las cuales, son elementales para el óptimo desarrollo y desempeño de las funciones que se le encomienden. Ambos tipos de competencias deben complementarse para poder decir que a la hora de ejecutar un trabajo se cuenta con una competencia laboral.

Para integrar ambos tipos de competencias, la Comisión ChileValora elabora una *Guía de Apoyo para la Elaboración del Análisis Funcional* que ayude a desarrollar perfiles profesionales.

A continuación, en la FIGURA 2-1, muestra de forma gráfica y didáctica las competencias que ChileValora conjuga e integra a la hora de elaborar un perfil de competencias laborales, donde los CONOCIMIENTOS, ACTITUDES y HABILIDADES toman un rol protagónico.



Fuente: Página Oficial ChileValora.

FIGURA 2-1: Aspectos Claves de las Competencias Laborales.

Las competencias laborales entorno al conocimiento, pueden ser desarrolladas en tres grupos que resultan ser los siguientes:

1. **Conocimientos Transversales:** Son con las que cuentan la gran mayoría de las personas, estas competencias son adquiridas de edades tempranas y no son difíciles de adquirir, solo que para su correcta utilización deben ser reforzadas con ayuda de herramientas para obtener un desarrollo interpersonal de forma cotidiana para generar un ambiente grato donde se desenvuelva. En este tipo de competencias se puede identificar el ámbito social, lo que es esencial para la comunicación.
Otras competencias medibles, son las que se consiguen en etapa escolar básica, como las matemáticas, lenguaje y ciencias o toda materia que ayude a la comunicación y al aprendizaje continuo de nuevas competencias.
2. **Conocimientos Generales:** Son las que se usan y sirven para una gran cantidad de empleos, esto se debe a que son comunes y de fácil aplicación en diversos campos laborales. No resultan determinantes en la identificación de un puesto laboral, pero son de gran importancia para el funcionamiento y desarrollo laboral pudiendo destacarse la productividad, trabajo en equipo, comunicación, orientación, gestión, mejora continua entre otras. Estas competencias suelen confundirse con las competencias básicas, pero estas no

son tan fáciles de adquirir y no todos cuentan con ellas ya que se desarrollan de manera personal.

3. **Conocimientos Específicos:** Estas competencias se caracterizan por estar completamente relacionadas al cargo y área en la que una persona se desenvuelve laboralmente. En estas competencias se necesitan emplear condiciones y conocimientos técnicos y profesionales y que están directamente alineadas y relacionadas con las competencias anteriores. Estas competencias son consideradas con un mayor grado de complejidad. Al combinar estos tres tipos de competencias, se puede obtener el desarrollo de liderazgo, manejo de emociones, resolución de conflictos, entre otras.

Mientras este trabajo de título es desarrollado, El Sistema, fue realizando sus propios perfiles laborales para la industria del H2V en conjunto a los grupos descritos con anterioridad al finalizar el Capítulo 1. Se reunieron *el sector de los Trabajadores, el sector de los Empleadores y sector Publico* para levantar los perfiles de:

- 1. Operador de Planta de H2.
- 2. Encargado de Planta de H2.
- 3. Mantenedor en Plantas de H2.

Estos perfiles profesionales pueden ser visualizados en de la siguiente manera en el catálogo de perfiles laborales, Sector; *Suministro de Gas, Electricidad y agua*, Subsector; *Energías Renovables No Convencionales*, Área Productiva; *Producción de Hidrógeno Verde*.

Código Perfil	Nombre Perfil	Vigencia	Visualizar
P-2011-3133-002-V01	MANTENEDOR(A) EN PLANTA DE HIDRÓGENO	31/12/2029	 
P-2011-3133-001-V01	OPERADOR(A) EN PLANTA DE HIDRÓGENO	31/12/2029	 
P-2011-3133-003-V01	SUPERVISOR(A) EN PLANTA DE HIDRÓGENO	31/12/2029	 

Fuente: Página Oficial ChileValora.

FIGURA 2-2: Catalogo de Perfiles Laborales en la Página de ChileValora.

Ya se ha comentado la necesidad de reducir los GEI y una manera de reforzar este concepto puede ser además tener conocimientos en la gestión de la **Huella de Carbono (HC) y/o la Huella Hídrica (HH)**, respondiendo al llamado actual de la *Organización de las Naciones Unidas (ONU)*, donde afirma que la era del calentamiento global termino para dar paso al periodo de **“Ebullición Mundial”**.

Además de las consecuencias del cambio climático y los riesgos a los que se exponen los ecosistemas y las especies, el cambio climático también influye en el ser

humano en los determinantes sociales y medioambientales de la salud, aire limpio, agua potable, alimentos y una vivienda segura. Este cambio puede afectar a la salud humana de diversas maneras, por ejemplo, alterando el ámbito geográfico y la estacionalidad de algunas enfermedades infecciosas, perturbando ecosistemas de producción de alimentos y aumentando la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos como los huracanes, desertización, lluvias torrenciales y desplazamientos migratorios.

Actualmente, existen diversos tratados internacionales que abordan esta problemática, como lo es el Protocolo de Kioto, Tratado de Marrakech, Acuerdo de Bonn, el Acuerdo de Paris, entre otros.

En concreto, en base a lo declarado en el Catalogo de Perfiles Laborales, este trabajo rescata lo contenido en el perfil “*Mantenedor de Planta de Hidrógeno*” y plantea la necesidad de que el perfil mencionado con anterioridad dentro de alguna de sus **Unidades de Competencia**, tenga las nociones y el conocimiento técnico en la **Gestión de la Huella de Carbono (GHCO2) y/o Gestión de la Huella Hídrica (GHH)**. (1.) (2.)

A continuación, la TABLA 2-1 muestra en amarillo la propuesta para complementar a los **Conocimientos Generales** para el cargo de **Mantenedor(a) de Planta de H** en materia de conciencia ambiental especificando la importancia del impacto de la GHCO2 a diferencia de las Actividades Claves de las Unidades de Competencia ya existentes.

ACTIVIDADES CLAVES
Actividad Clave
(1). PREPARAR CONDICIONES DE SEGURIDAD, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS, PARA MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PLANTA DE HIDRÓGENO, DE ACUERDO A PLAN DE MANTENIMIENTO, INFORME DE FALLAS Y PROTOCOLOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL.
Criterios de Desempeño.
1. Los documentos del turno anterior son revisados, de acuerdo a protocolo de firmas, procedimiento de validación con jefaturas y protocolos de seguridad industrial.
2. La programación del plan de trabajo diario y semanal es comprobada, de acuerdo a coordinación con jefaturas, citaciones a reuniones técnicas, planes de mantenimiento, comprobaciones de rutina y protocolos de seguridad industrial.
3. Los permisos de trabajo y documentación de seguridad son verificados, de acuerdo a protocolo de firmas, procedimiento de validación con jefaturas y protocolos de seguridad industrial.
4. Los elementos de protección personal son equipados, de acuerdo al tipo de mantenimiento, matriz de riesgos, y protocolos de seguridad ocupacional.
5. El estado de las herramientas y equipos de mantenimiento es verificado, de acuerdo a especificaciones técnicas, plan de mantenimiento y protocolos de seguridad industrial.
6. La desenergización y bloqueos de los equipos a intervenir es verificada, de acuerdo a protocolo de firmas, procedimiento de validación con jefaturas, coordinación con operadores y protocolos de seguridad industrial.
Conocimientos Generales.
1. Consciencia ambiental en los procesos de generación de hidrógeno teniendo presentes el impacto de la gestión de la Huella de Carbono.
2. Control de fugas de agua (detección de fugas).
3. Prevención de riesgos de sobrepresión en plantas de hidrógeno (sistema de ruptura de sobrepresión, por fatiga de material).
4. Protección contra explosiones en plantas de hidrogeno.
5. Riesgos y peligros derivados de los procesos químicos y SCI (Sistemas Contra Incendio).
6. Sistemas de ventilación y restricción de accesos para prevenir riesgos de exposición a ambientes con hidrógeno.
7. Tipos de áreas con atmósferas explosivas, según equipos y procesos.
8. Tipos de fuentes de ignición para gases, vapores, aire y oxígeno (concentraciones límite, niveles de temperatura, chispas).
9. Control de riesgos de seguridad en plantas de hidrogeno: Explosión de hidrógeno, Fugas de hidrógeno Electrocución, Atrapamiento, Golpes, Inflamación.

Fuente: Elaboración Propia en Base a la Unidad de Competencia Laboral para Mantenedor en Planta de H.

TABLA 2-1: Propuesta de Conocimiento General para el cargo Mantenedor Planta de H.

2.2.HUELLA DE CARBONO

Las implicaciones ambientales, sociales y económicas que trae consigo el cambio climático, ponen en evidencia la creciente preocupación por desarrollar estrategias con el fin de combatirlo. El Protocolo de Kioto trajo consigo el compromiso a nivel internacional de disminuir las emisiones de origen antropogénico de GEI, que se considera causa del cambio climático. El primer paso para poder disminuir las emisiones de GEI, es conocer de manera precisa la cantidad de emisiones.

La HC es un indicador que mide la sostenibilidad ambiental en relación con la categoría de impacto de cambio climático. La definición más generalista es la publicada por Wiedman y Minx en el año 2007 que define la HC como **“un indicador de sostenibilidad que cuantifica las emisiones directas e indirectas de GEI que son liberadas a la atmosfera, como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad humana, medidas en kilogramos o toneladas de CO2 o CO2 equivalente”**

De acuerdo con el protocolo estándar de GEI, más conocido internacionalmente por su nombre en inglés GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol) (GHGP) la HC se expresa en kg o toneladas de CO2 equivalente, contabilizando los seis principales GEI previstos en el Protocolo de Kioto, los cuatro más relevantes aparecen en la siguiente TABLA 2-2.

GEI MÁS RELEVANTES	
GAS	FUENTE ANTRÓPICA
CO2	Uso de Combustibles fósiles y leña ademas de la deforestación.
CH4	Cultivo de arroz, ganado, basurales, combustibles fósiles.
NOx	Fertilizantes químicos.
CFC	Aerosoles, refrigerantes, aislantes.

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 2-2: Principales Gases y Fuentes de GEI.

La importancia del indicador de sostenibilidad de HC radica en que, en su cálculo se tienen en cuenta aspectos como el consumo de combustibles, productos agrícolas, energía, usos de suelo, transporte y disposición final de desechos. Por lo tanto, unificar todos o al menos la mayoría de los aspectos posibles a tener en cuenta a la hora de calcular el grado de sostenibilidad de una región o de un sector determinado, no dando solo una idea de impacto, sino que, proporcionando un dato concreto de cuándo o como afecta.

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) los valores de CO2 atmosféricos han aumentado desde el año 1750 en un 31%. Estos valores nunca habían sido superados durante los últimos 420.000 años.

Los procesos que liberan carbono a la atmosfera se llaman **fuentes**, mientras que los que eliminan CO2 de la atmosfera, como la fotosíntesis, se llaman **sumideros**.

Las principales emisiones de GEI respecto a la actividad del desarrollo humano y las que son ocasionadas de manera natural están descritas en la siguiente TABLA 2-3:

GASES DE EFECTO INVERNADERO SEGÚN ORIGEN	
NATURALES	ANTROPOGÉNICOS
Vapor de agua (H ₂ O)	Dióxido de carbono (CO ₂)
Dióxido de carbono (CO ₂)	Metano (CH ₄)
Metano (CH ₄)	Óxido nitroso (N ₂ O)
Óxido nitroso (N ₂ O)	Perfluorometano (CF ₄) y perfluoroetano (C ₂ F ₆)
Ozono (O ₃)	Hidrofluorocarbonos (nombres comerciales: HFC-23, HFCS-134a, HFC-152a)
	Hexafluoruro de azufre (SF ₆)

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 2-3: Clasificación de los GEI.

Para poder comparar todos los GEI y tener datos unificados e intuitivos, se elabora una equivalencia con el CO2 y los GEI que se producen en **mayor cantidad** creando la emisión de **CO2 equivalente (CO2eq)**, que resulta ser la cantidad de emisiones de CO2 que ocasionaría el mismo forzamiento radiativo integrado a lo largo del tiempo que una cantidad emitida de un GEI de larga permanencia, donde el forzamiento radiativo es el cambio en el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie de la tierra, en el que, si llega a ser positivo tiende a calentar la superficie terrestre.

El *Global Warning Potential (GWP)*, es un factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad con base en la masa de GEI determinado y la relación a la unidad equivalente de CO2 en un periodo determinado, por lo general 100 años. A continuación, en la TABLA 2-3 se observa el GWP de los principales GEI:

GAS	FÓRMULA QUÍMICA	GPW
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Óxido nitroso	N ₂ O	298
CFC	Aerosoles, refrigerantes, aislantes	0

Fuente: IPCC, 2007

TABLA 2-4: Global Warning Potential (GWP) de GEI.

2.3.HUELLA HÍDRICA

Las actividades humanas consumen y contaminan grandes cantidades de agua. A escala mundial, la mayor parte del consumo de agua se genera en la producción agrícola, aunque los sectores industriales y el uso doméstico consumen y contaminan sustancialmente tremendos volúmenes de agua. Según la ONU, el mundo podría enfrentarse a un déficit mundial de agua del 40% en 2030 si el consumo sigue como hasta ahora.

En la siguiente FIGURA 2-3, se muestra de manera didáctica un ranking mundial de los países en materia de HH midiendo producción y consumo para la actividad de agricultura y ganadería el que aporta con un 70%, en paralelo, la actividad industrial aporta un 20%, mientras que, el uso doméstico tiene la responsabilidad del solo 10%.

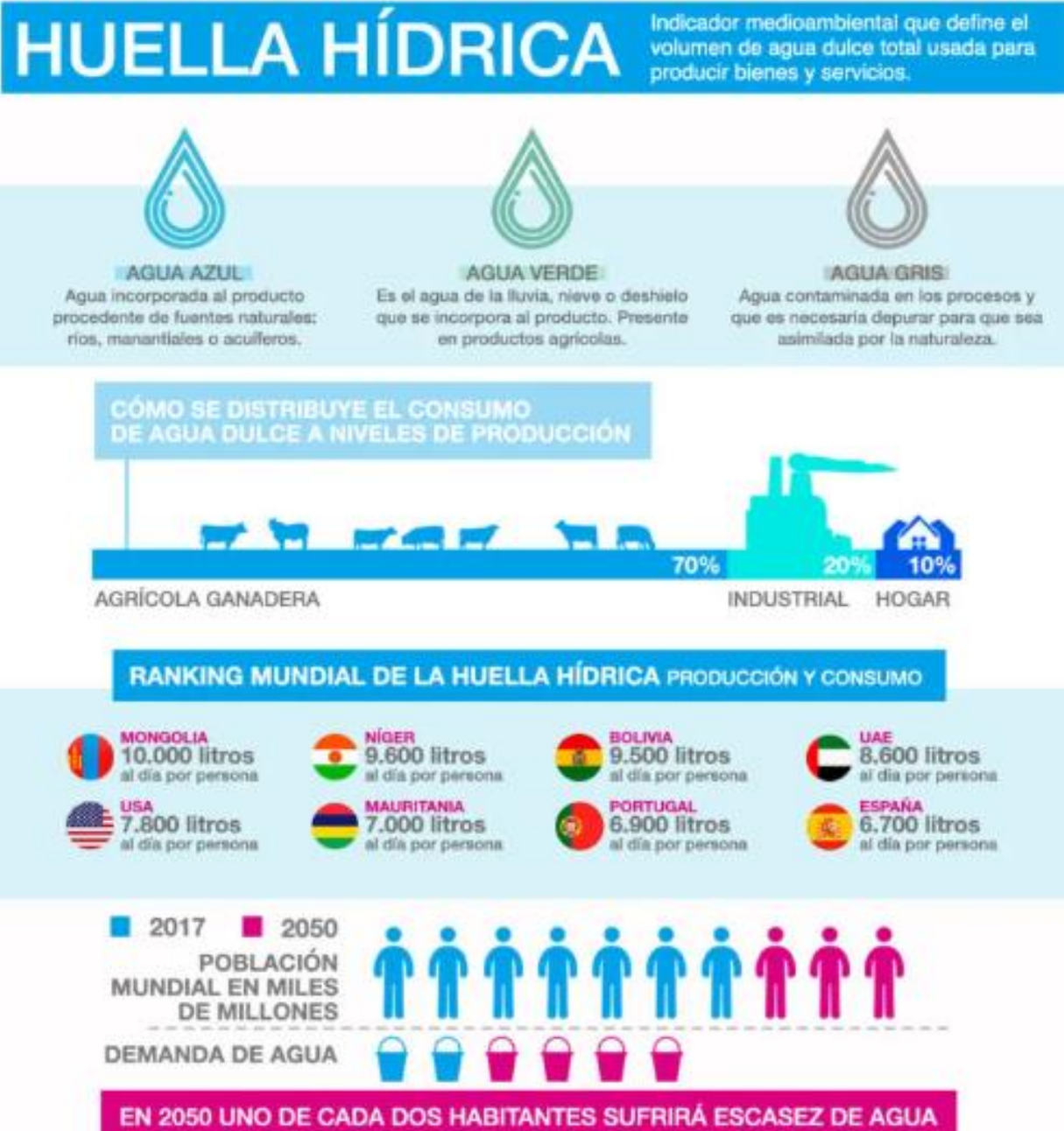


FIGURA 2-3: Ranking Mundial de HH.

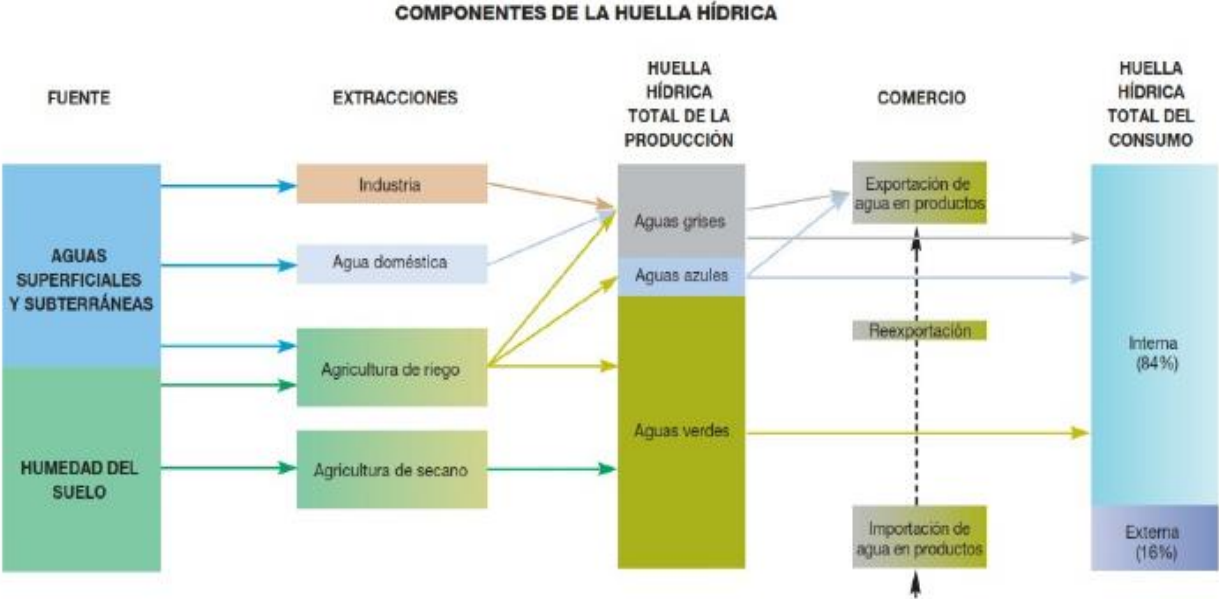
Al igual que la HC, la HH es un indicador medioambiental que mide el volumen de agua dulce ya sea en litros o metros cúbicos utilizados a lo largo de toda la cadena de producción de un bien de consumo o servicio. Se puede emplear para medir el consumo de agua de casi cualquier cosa, desde la fabricación de algún producto hasta el consumo total de un país.

El concepto de HH fue creada en el año 2002 por Arjen Hoekstra mientras trabajaba para el Instituto UNESCO-IHE para la educación relativa del agua. Más tarde, debido al creciente interés de la industria en la HH, fundo la ***Water Footprint Network*** junto a otras figuras destacadas del mundo empresarial, la sociedad civil y el mundo académico. En líneas generales, el objetivo de la HH es **crear conciencia sobre el volumen de agua que requieren nuestros procesos de producción y hábitos de vida para así poder fomentar un uso racional y sostenible.**

De acuerdo a la *Water Footprint Network*, la HH se compone de tres elementos claves en función a la procedencia del agua, estos elementos resultan ser:

1. **Huella Hídrica Verde**: Es el agua de precipitaciones (lluvias y nieve) que queda almacenada en la tierra, en la zona de las raíces que se evapora, transpira o se incorpora en las plantas. Es particularmente relevante para productos agrícolas, hortícolas y forestales.
2. **Huella Hídrica Azul**: Es el agua que proviene de recursos hídricos subterráneos o en superficie y que se evapora durante la producción de un bien, o se incorpora al proceso o es vertida al mar. La agricultura de regadío, la industria y el uso doméstico del agua pueden tener una HH azul.
3. **Huella Hídrica Gris**: Es la cantidad de agua fresca requerida para diluir el agua contaminada en el proceso de producción hasta que cumpla con unos estándares de calidad.

A continuación, en la FIGURA 2-4 se muestra de manera didáctica de izquierda a derecha los componentes de la HH, en la que se repasan las fuentes de generación, las fuentes de extracción, la clasificación de HH según su producción, si es que es comerciable y, por último, la HH según su consumo.

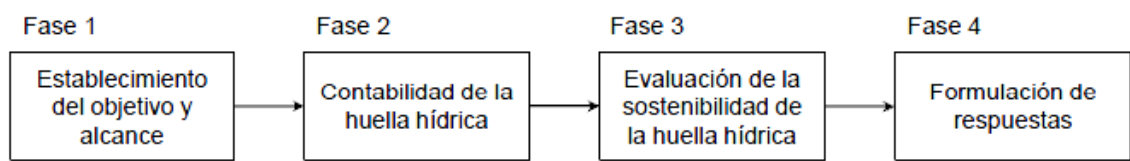


Fuente: Arjen Y. Hoekstra, 2011

FIGURA 2-4: Componentes de la HH.

Además, existe un modelo de evaluación de la HH que permite analizar para luego entender como las actividades y productos se relacionan con la escasez de agua y la contaminación e impactos relacionados. Una evaluación completa de HH comprende cuatro fases distintas.

En la FIGURA 2-5 se muestra de manera didáctica la Fase 1; *Establecimiento del Objetivo y Alcance*, Fase 2; *Contabilidad de la HH*, Fase 3; *Evaluación de la sostenibilidad de la HH*, Fase 4; *Formulación de Respuestas*.



Fuente: Arjen Y. Hoekstra, 2011

FIGURA 2-5: Fases de Evaluación de la HH.

CAPÍTULO 3: CONOCIMIENTO GENERAL; CONCIENCIA AMBIENTAL

3. **META: CARBONO NEUTRALIDAD**

La necesidad de **DESCARBONIZAR** el planeta es urgente y Chile asume esta necesidad con una gran responsabilidad, siendo el primer país de Latinoamérica en fijar carbono neutralidad bajo la Ley Marco de Cambio Climático 21.455 del Ministerio de Medio Ambiente, que instaura la meta de carbono neutralidad para el año 2050, y así, hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático y transitar hacia un desarrollo reducido en emisiones de GEI.

Junto con la meta de carbono neutralidad establecida, la Ley promueve otros instrumentos de gestión, como una Estrategia Climática de Largo Plazo que definirá un presupuesto nacional de emisiones de GEI al año 2030 y 2050.

Así como también, establece objetivos claros para la resiliencia y la adaptación del país al cambio climático, la que incorpora el concepto asociado a la seguridad hídrica, relevando las acciones necesarias para reducir la vulnerabilidad del país.

Bajo este escenario y como ha sido mencionado con anterioridad, es fundamental que la industria del H2V adopte por CULTURA lo propuesto en la TABLA 2-1, la que indica tener como conocimiento general la *“Consciencia ambiental en los procesos de generación de H teniendo presente el impacto de la Gestión de la Huella de Carbono”* de manera temprana.

Dicho lo anterior, este trabajo elabora una metodología que calcula la HC bajo el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (GHG Protocol Corporate Standard, WRI y WSBCD, 2005) (GHGP) que resulta ser la herramienta más antigua y extensa, fue desarrollada por el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute, WRI) y el Concejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD), con el propósito de ofrecer un marco de contabilización de emisiones de GEI de entidades públicas y privadas de nivel local e internacional, gracias a esta herramienta, el Comité Internacional de Estandarización (ISO) hizo lo propio el año 2006 creando la ISO 14.064 Greenhouse Gases.

Según el GHGP, el objetivo de la gestión de HC es proporcionar bienes y servicios a un precio competitivo, que satisfaga las necesidades humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzca progresivamente el impacto ambiental, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta.

3.1.CICLO DE GESTIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

Para elaborar la metodología de gestión de HC asociado al cargo Mantenedor(a) de Planta de H, se propone utilizar el Modelo de Gestión del Mantenimiento detallado en la publicación “El Marco de Gestión del Mantenimiento, Modelos y Métodos para Sistemas de Mantenimiento Complejo del Académico” de Crespo Márquez A, en el año 2007, y adaptarlo a lo descrito en el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte, ya que, la HC al ser un indicador que mide el impacto que provocan las actividades del ser humano sobre el medio ambiente, se puede desarrollar un marco estratégico para gestionar las emisiones de carbono en las labores de mantenimiento de manera de adoptar una CULTURA OPERATIVA MEDIOAMBIENTAL temprana e integrar esta gestión dentro de las prácticas de mantenimiento y porque no organizacionales, esto lleva de manera implícita un proceso de MEJORA CONTINUA.

A continuación, en la FIGURA 3-1 muestra de manera didáctica el Modelo de Gestión propuesto, la que permite implementar estrategias enfocados en la formación y concientización de personal, preparación de los trabajos a realizar y la selección de las herramientas e instrumentos adecuados, los que deberán ser implementados con eficacia y eficiencia ya que son los condicionantes de la gestión que busca reducir las emisiones de GEI y costos de mantención, en el que se aprecia de manera clara las fases y definiciones de cada una de ellas y las que se profundizaran más adelante.



Fuente: Crespo Márquez A, 2007. El Marco de Gestión del Mantenimiento. Modelos y Métodos para Sistemas Complejos.

FIGURA 3-1: Modelo Propuesto de Gestión de HC.

Al momento de plantear este modelo de gestión, se debe considerar que, está centrado en labores OPERATIVAS dentro de los niveles de Gestión Organizacional, al ser el H2V una industria nueva, facilita la adopción temprana de una CULTURA AMBIENTALISTA y con CONCIENCIA de las METAS de DESCARBONIZACIÓN planteadas al año 2050.

A continuación, en la FIGURA 3-2 se muestra en forma de pirámide los Niveles de Gestión Organizacional, allí se expresa las definiciones y responsabilidades de cada nivel y la dirección en la que se adopta esta CULTURA. Estos niveles de gestión deben estar alineados en sus intereses para lograr potenciar los puntos débiles y asignar los recursos adecuados.



Fuente: Adaptación Presentaciones Clases Gestión de Activos (Carlos Baldi, 2020).

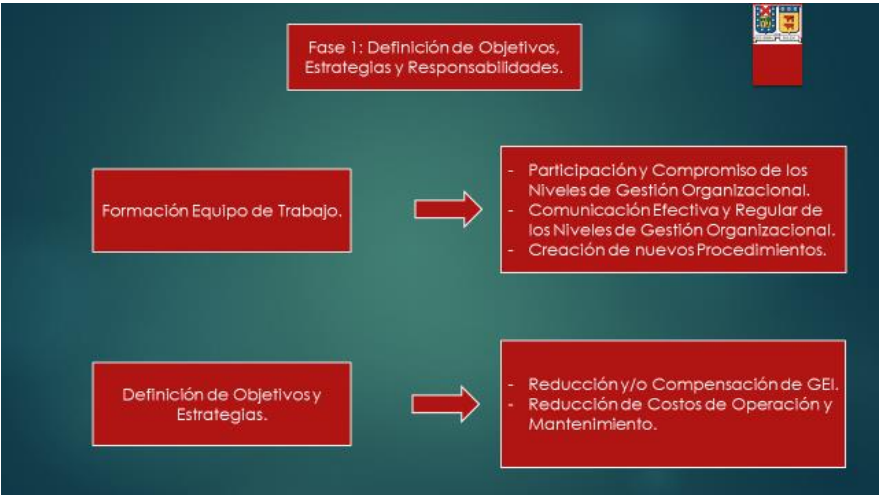
FIGURA 3-2: Niveles de Gestión Organizacional.

3.2.FASES DE MODELO DE GESTIÓN HC

FASE 1: Como toda estrategia de gestión, su éxito dependerá del compromiso de todos los involucrados, para eso, **se debe formar un equipo de trabajo para** establecer las responsabilidades y compromisos en todos los Niveles de Gestión Organizacional.

Luego, es necesario definir claramente los **objetivos y las estrategias entorno a estos, los objetivos son disminuir y/o compensar los GEI y reducir los costos de mantención producto de la optimización de las actividades destinadas al mantenimiento.**

A continuación, en la FIGURA 3-3 muestra un resumen de manera didáctica el desarrollo de la FASE UNO.



Fuente: Elaboración Propia.

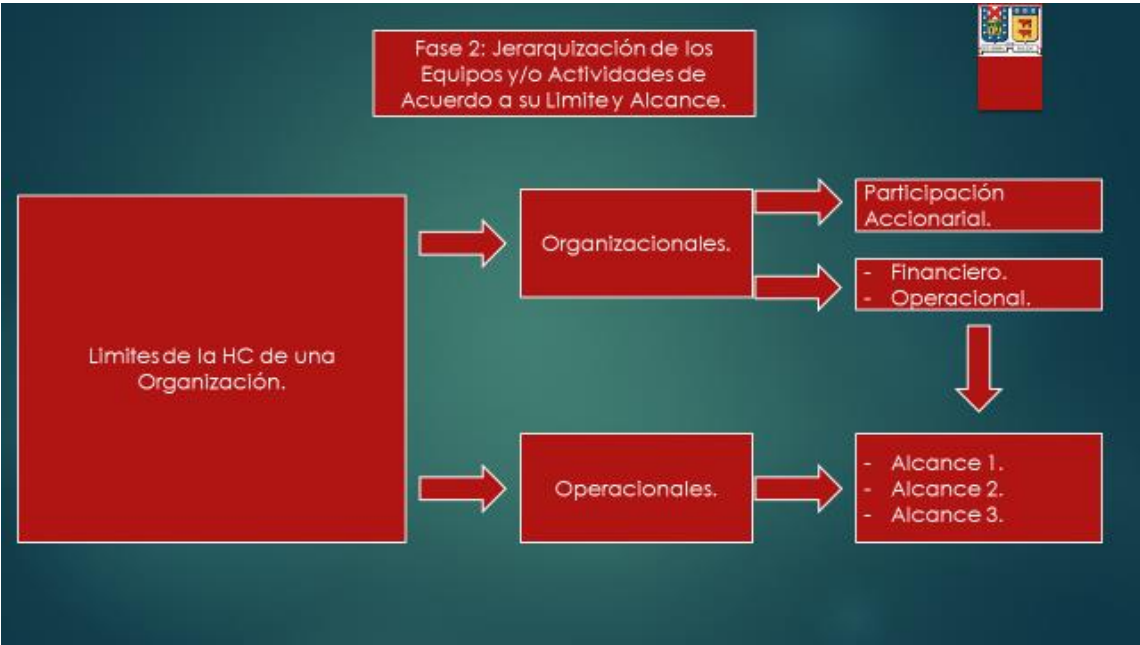
FIGURA 3-3: Fase Uno, Gestión de la HC.

FASE 2: En esta fase toca establecer los límites del sistema, que son aquellas líneas imaginarias que abarcan las emisiones a incluir en el inventario. Se deben definir dos tipos de límites, estos son los siguientes:

1. **Límites Organizacionales:** Se busca determinar que **operaciones** de organización se van a tener en cuenta en el inventario. Para establecer estos límites se debe estudiar si la organización está compuesta por una o varias instalaciones. Luego de este estudio, se tienen dos enfoques de consolidación, y se debe decidir en base a cuál de estos dos enfoques se va a realizar el cálculo de HC y mantenerlo durante todo el inventario.
 - **Enfoque de Control:** La organización considera todas las emisiones y/o remociones de GEI cuantificadas en las instalaciones sobre las cuales tiene **control operacional y/o financiero**. Si se opta por obtener las emisiones bajo este enfoque, se deben contabilizar el 100% de las emisiones derivadas de las operaciones bajo control de la organización y del que es independiente el reparto accionarial.
 - **Enfoque Accionarial:** La organización responde de su parte de las emisiones y/o remociones de GEI de manera proporcional al porcentaje de participación dentro de la organización.
2. **Límites Operacionales:** Se busca determinar que **fuentes** de emisiones se van a incluir y como se categorizan las emisiones. Una vez definido el enfoque bajo el cual se va a gestionar, se debe identificar las emisiones y/o remociones de GEI asociadas a las operaciones de la organización. Además, hay que clasificar estas emisiones de GEI en emisiones **directas (Alcance 1)**, **indirectas (Alcance 2)** y **otras indirectas (Alcance 3)**. Esta

clasificación depende del enfoque de consolidación que se haya escogido, ya sea enfoque de control o participación accionarial.

A continuación, la FIGURA 3-4 muestra de manera didáctica y resumida el desarrollo de la FASE DOS y la FIGURA 3-5 muestra un cuadro de resumen para las emisiones directas e indirectas y sus alcances según el GHGP.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 3-4: Fase Dos, Gestión de la HC.

Categorización de las Emisiones Según GHG Protocol		
Categorización	Definición	Ejemplos
Alcance 1	Emisiones directas de GEI de fuentes propias o controladas por la organización.	Consumo de combustibles fósiles en fuentes fijas y móviles, como también fugas no intencionadas.
Alcance 2	Emisiones indirectas de GEI asociadas al consumo de electricidad y/o vapores generadas por terceros.	Energía eléctrica comprada a plantas eléctricas, transmisión y distribución de energía calórica.
Alcance 3	Emisiones indirectas de GEI que no son de propiedad ni están controladas por la organización.	Trabajos tercerizados como el transporte de personal.

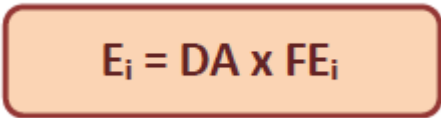
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 3-5: Alcances para las Emisiones Directas e Indirectas, Gestión de la HC.

FASE 3: En esta fase como **primer paso** se deben de **identificar las fuentes y sumideros, que corresponden a los procesos que liberan y eliminan carbono a la atmósfera respectivamente** como posibles puntos de intervención y/o consideración. Luego de la identificación de la **fuentes y sumideros**, se deben categorizar según el **Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3** tal y como lo describe la FIGURA 3-5

Como **segundo paso**, se debe seleccionar una metodología de cuantificación que minimice la incertidumbre y produzca resultados coherentes, es decir, se busca obtener una **EMISION** de **SUSTANCIA (Ei)** que pueda ser medido en **CO2eq**. El método de cálculo más común emplea datos de actividades energéticas que emiten GEI, como por ejemplo el consumo eléctrico medido en kWh, los que son multiplicados por factores de emisión obteniendo así **CO2eq**.

A continuación, la FIGURA 3-6 muestra la fórmula utilizada para esta metodología.

A rectangular box with rounded corners, a light orange background, and a dark red border. Inside the box, the formula $E_i = DA \times FE_i$ is written in a dark red, serif font.
$$E_i = DA \times FE_i$$

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 3-6: Formula de Emisión de Sustancias en CO2eq, Gestión de la HC.

Donde:

Ei: Emisión de Sustancia Medido en CO2eq.

DA: Dato de la Actividad.

FEi: Factor de Emisión de la Sustancia.

El **DA** corresponde a un parámetro que define la actividad de la instalación al que se encuentra referido el factor de emisión correspondiente, por ejemplo, el consumo eléctrico anual de una organización medido en kWh o la cantidad de combustible consumida anualmente.

El **FEi** corresponde a la cantidad de contaminante que es vertido a la atmosfera por una actividad de combustión. Por ejemplo, según la Comisión Nacional de Energía (CNE) en su Anuario Estadístico de Energía del año 2021, en Chile el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), por cada MWh que se consume se emite 0,39 toneladas de CO2, por lo tanto, el factor de emisión del consumo eléctrico en Chile es de 0,39 tCO2eq/MWh.

Como **tercer paso**, se debe seleccionar y recopilar datos de las actividades de combustión y factores de emisión de cada una de ellas. La mayoría de las organizaciones calculan sus emisiones utilizando factores de emisión publicadas en fuentes bibliográficas como las Directrices del IPCC en su último Inventario Nacional presentado en el año 2011 a la secretaria de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

(3.)

A continuación, la FIGURA 3-7 muestra los Factores de Emisión de CO2 y Poderes Caloríficos más utilizados para analizar las emisiones de **Alcance 1**, donde, se debe considerar el Factor de Emisión que incluye el Factor de Oxidación junto al Poder Calorífico Interior, este último, se utiliza para transformar el Dato de la Actividad a la hora de realizar el cálculo.

Combustible	Factor de emisión de CO ₂ (tCO ₂ /TJ) (sin factor de oxidación)	Factor de oxidación	Factor de emisión de CO ₂ (tCO ₂ /TJ) incluye factor de oxidación	Poder Calorífico Inferior (PCI)	
				GJ _{PCI} /Unidad	Unidad
Gas natural (1) (2)	56,3	0,995	56	38,53	miles m ³ N
Fuelóleo (3)	76,8	0,99	76	40,18	toneladas
Gasóleo	73,7	0,99	73	42,4	toneladas
GLP genérico	65,7	0,99	65	45,5	toneladas
Propano	64,2	0,99	63,6	46,2	toneladas
Butano	66,9	0,99	66,2	44,78	toneladas

(1) El PCI también se puede expresar en relación a la masa, siendo su valor de 48,59 GJ / tonelada
(2) Para el paso de PCS a PCI en el gas natural se utiliza el factor de conversión de 0,902
(3) La limitación del porcentaje de azufre según el R.D. 287/2001, motiva que ya no se distinga entre los fuelóleos BIA, N° 1 y N° 2

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de GEI, 2011.

FIGURA 3-7: Factores de Emisión de CO2 y Poderes Caloríficos.

Las emisiones del **Alcance 2** se calculan a partir del consumo eléctrico y los factores de emisiones más reciente publicados por la CNE en el año 2021.

Las emisiones del **Alcance 3** se obtienen a partir de los datos de actividad de las organizaciones que proveen servicios.

Para finalizar la **Fase 3**, se procede a **realizar los cálculos y elaborar un informe que deben incluir un análisis de riesgo y las oportunidades de intervención**, informe que será la base para futuros cálculos y comparaciones teniendo muy presentes las unidades de medidas, las respectivas conversiones a tCO2eq, y el **cálculo de la incertidumbre**, donde el IPCC el año 2006 elabora el documento “*Good Practice Guidance, Capítulo 6*” en el que proporciona la información necesaria para realizar el cálculo de esta última. (4.)

FASE 4: En base a los datos recogidos de las fases anteriores, se comienzan a confeccionar los planes de mantenimiento apuntando a la **reducción y compensación** de emisiones de GEI, los que a su vez ayudaran a reducir los costos asociados al mantenimiento y alargar la vida útil de las plantas de H.

1. **Plan de Reducción:** Consiste en definir objetivos y las metas de reducción de emisiones de GEI a corto, mediano y largo plazo. Para lo anterior, es necesario definir la **línea base**, es decir, un año base y un cálculo de la HC que sirva como punto de referencia para futuras mediciones. Las metas deben ser establecidas según las opciones reales de la mejora y serán

clasificados según su relación costo/beneficio. Las principales áreas con oportunidades de reducción son las siguientes:

- **Generación:** Incorporación de energías renovables a los procesos.
- **Transporte:** Transporte Intermodal, conducción eficiente, tecnologías, cambio de combustible.
- **Confort:** Aislamiento de instalaciones, iluminación, calefacción, etc.
- **Mantenimiento:** Uso de nuevas tecnologías y soluciones de bajas emisiones de GEI para optimizar los tiempos de mantenimiento.
- **Construcción:** Materiales y Arquitectura.

Existen diferentes documentos que se pueden utilizar como referencia a la hora de realizar un plan de reducción, como por ejemplo el libro *“Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible, de Juan Luis Doménech en el año 2007”* o los manuales de *Cálculo y Reducción de Huella de Carbono en Comercios/Transporte/Hoteles del Observatorio de la Sostenibilidad en España*.

2. **Plan de Compensación:** Una vez desarrollados los planes de reducción, se espera una disminución de las emisiones de GEI, sin embargo, llegara un momento en el que resulte complicado continuar con la reducción de emisiones. Sera imposible llegar a un nivel de neutralidad de carbono, es decir, el nivel cero de emisiones de CO₂, por esta razón, es que debe existir un plan de compensación. **Compensar**, es reducir las emisiones de GEI fuera de los límites de la organización, consiste en un proyecto de reducción, evitación o remoción de emisiones de GEI fuera de las fronteras que se han definido para la organización. De esta forma, una organización podría estar apoyando la protección o creación de bosques, cambios tecnológicos, nuevas formas de generar electricidad, gestión de residuos, sustitución de combustibles, etc. Al apoyar estos proyectos, pueden contar como parte de la contabilidad de carbono de la empresa y compensar a si su huella en un mercado que cada día va más en alza.

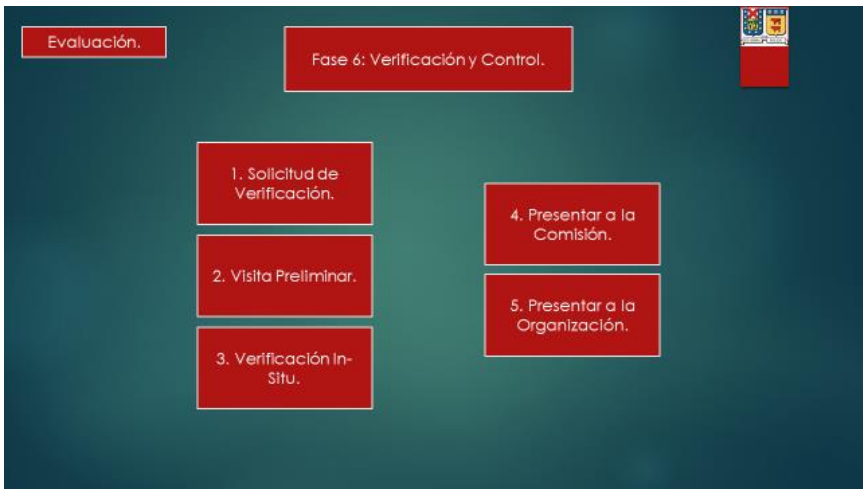
La forma de compensación de GEI más conocida se basa en la aportación voluntaria de una cantidad económica para la compra de créditos proporcional a las toneladas de CO₂ compensado. En la actualidad, existen dos mercados de carbono que son el **mercado regulado y el mercado voluntario y es deber de la organización encargarse de este plan, ya que comprende otras áreas de decisión.**

FASE 5: Corresponde a la programación del mantenimiento y a la optimización de los procesos presentes en las actividades luego de tener concientizado a todos los actores de interés definidos en el Modelo de Gestión Organizacional en base a los resultados de

las fases anteriores. Las herramientas para la programación del mantenimiento son variadas y cada organización puede adoptar la que más le acomode manteniendo el principio de eficiencia.

FASE 6: El cálculo de HC sigue estándares y normas establecidas, por lo tanto, es susceptible a ser evaluado. Existe un método de **verificación** y control aparte del control interno sobre ejecuciones de las actividades de mantenimiento ligadas a la reducción de emisiones de GEI, la verificación, garantiza que el cálculo y las actividades previas y/o posteriores realizadas en torno a la GHC es fiable, precisas y proporciona credibilidad a la organización, con el objetivo de que el informe de emisiones elaborado sea completa, coherente, transparente y **sin discrepancias notables**.

A continuación, la FIGURA 3-8, muestra de manera didáctica el proceso de verificación y control de la GHC para asegurar que la metodología es efectiva desde su cálculo hasta la implementación de mejoras.



Fuente: Elaboración Propia en Base al GHGP.

FIGURA 3-8: Proceso de Verificación, Gestión de la HC.

1. **Solicitud de Verificación:** Se busca una entidad dentro del mercado para que realice el proceso de verificación, esta entidad debe estar acreditada. La entidad forma un equipo auditor que será el encargado de **verificar** el informe realizado en la **Fase 3** sobre el cálculo de la HC. El informe para la verificación debe estar elaborado de acuerdo a la norma elegida, como por ejemplo la Norma ISO 14.064-1 en su Capítulo 8.
2. **Visita Preliminar:** Es opcional y depende del equipo auditor y los requerimientos de la organización.
3. **Verificación In-Situ:** El equipo auditor debe visitar las instalaciones de la organización, donde comprueban que las fuentes para el cálculo de la HC descritas en el **informe** elaborado al finalizar la **Fase 3** son correctas o por si se observa alguna disconformidad. El equipo auditor debe de otorgar un tiempo para que se corrijan detalles o situaciones de

discrepancia, para luego volver a evaluar junto a un Plan de Acciones Correctivas (PAC).

4. **Presentación a la Comisión:** Es para validar el informe. Posteriormente se pueden realizar verificaciones anuales para ir mejorando el cálculo de HC.
5. **Presentación a la Organización:** Luego de validar el informe, se realiza una Declaración de Conformidad de la HC. Esta descripción es enviada a la empresa encargada de verificar. A partir de aquí, se puede hacer pública la verificación.

FASE 7: Se debe realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y para esto existe una herramienta metodológica enfocada a la HC que sirve para medir el impacto medioambiental de un producto, proceso y/o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida, desde que se extraen las materias primas hasta ser reciclado y/o desechado. En Mayo del año 2013 se publicó la norma *ISO 14.067 "Greenhouse gases-Carbon Footprint of Products-Requirements and Guidelines for Quantification and Communication"* que viene a establecer un marco de referencia internacional entorno al ciclo de vida asociado a la HC.

A continuación, la FIGURA 3-9 muestra de manera didáctica las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de materia prima hasta el reciclaje o depósito final, mientras que la FIGURA 3-10 muestra las FASES de implementación de la Metodología de ACV según la Norma ISO 14.067.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 3-9: Etapas del Ciclo de Vida del Producto.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 3-10: Fases de Metodología de Análisis Ciclo de Vida, ISO 14.067.

FASE 8: Finalizando, se da paso a la **comunicación** de las implementaciones y logros obtenidos además de las acciones tomadas luego de desarrollar el Modelo de Gestión de Mantenimiento enfocado en la reducción y/o compensación de la HC para iniciar el proceso de mejora continua, además de abrir paso a la adopción de nuevas tecnologías.

Cabe mencionar que este ciclo puede ser repetido en el tiempo y es la idea de que así sea con el propósito de materializar una CULTURA que tiene por META la CARBONO NEUTRALIDAD.

CONCLUSIONES

Para concluir, el CAPÍTULO 1 nos muestra que la industria del H2V en Chile ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años y presenta un gran potencial para el futuro, donde tener fuentes de recursos naturales como lo es la radiación solar en el norte y fuertes vientos en el sur facilita la generación de energía renovable, lo que posiciona al país en uno de los mejores escenarios proyectados de competencia del mercado de H2V. Además, se muestra que Chile se ha comprometido a reducir sus emisiones de GEI y a impulsar la transición hacia fuentes de energía limpia. Por otro lado, emergen inversiones significativas en proyectos de H2V contemplando la construcción de plantas e infraestructura acordes para la producción y distribución de H a nivel local con miras a la exportación, afectando positivamente los índices de fuerza laboral.

Siguiendo con el CAPITULO 2, contar con los primeros perfiles de la industria del H2V en áreas críticas, no hace más que potenciar la cadena de valor del producto final, además de, asentar los estándares a los futuros procesos de esta industria. Fomenta la expansión de la industria generando una creciente demanda de profesionales con habilidades y conocimientos específicos en áreas como la energía renovable. Paralelamente, habrá un desarrollo tecnológico que brinda la oportunidad de estar a la vanguardia en la innovación de energía libre de emisiones de GEI. A pesar de este significativo avance, aun se tiene una precaria CULTURA MEDIOAMBIENTALISTA, donde, los nuevos conocimientos propuestos al perfil profesional abordado y su posterior propuesta de gestión al mantenimiento enfocada en la reducción y/o compensación de GEI de alguna manera acortan la brecha CULTURAL y apuntan a las metas y compromisos que Chile a suscrito.

Por último, el CAPÍTULO 3 se logra adoptar y adaptar el Marco de Gestión del Mantenimiento a la metodología de cálculo de Huella de Carbono bajo el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte GHG Protocol, ya que sus fases resultan ser muy similares. Cabe destacar que, esta propuesta de modelo de gestión centrado en la Huella de Carbono está elaborada bajo un punto de vista operacional, por ende, se requiere un compromiso de la alta dirección que es por donde pasan las decisiones finalmente. También resulta importante mencionar que, poner en práctica un modelo de gestión como este puede traer diversos beneficios como lo es la reducción de costos de mantención, debido a que muchas estrategias para disminuir las emisiones traerán como consecuencia una disminución de gastos como factura eléctrica, consumo de combustibles, tratamiento de reciclaje y desechos, y la disminución de los riesgos asociados a multas ambientales. De manera paralela, abre la puerta al mercado de bonos de CO2 que año tras año va más en alza y diversas organizaciones comienzan a diseñar sus estrategias corporativas en torno a este mercado. En materia social, aporta a un medioambiente reducido en emisiones de GEI favoreciendo la imagen positiva de la organización.

BIBLIOGRAFÍA

- CHILE VALORA. Información de competencias laborales. [en línea][Consultado el 02 de Noviembre del 2023] Disponible en: <[Perfil Mantenedor\(a\) en Planta de Hidrógeno.](#)>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. Información de Ocupación y Desocupación Laboral. [en línea][Consultado el 02 de Noviembre del 2023] Disponible en: <[Ocupación y Desocupación Laboral - Jul/Sep.](#)>
- MINISTERIO DE ENERGIA. “Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde Chile, Fuente Energética para un Planeta Cero Emisiones” Noviembre del 2020, Santiago, Chile.
- BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Historia de la Ley N° 20.267 “Crea el Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales y perfecciona el estatuto de Capacitación y Empleo” Tomo I, 25 de Junio del 2008, Santiago, Chile.
- BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Historia de la Ley N° 21.305 “Sobre Eficiencia Energética” Tomo I, 13 de Febrero del 2021, Santiago, Chile.
- BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Historia de la Ley N° 21.455 “Ley Marco de Cambio Climático” Tomo I, 13 de Junio del 2022, Santiago, Chile.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT GmbH (GIZ). “Tecnologías del Hidrógeno y Perspectivas para Chile” Tomo II, Mayo del 2019, Santiago, Chile.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT GmbH (GIZ). “Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile Bajo un Escenario de Exportación” 16 de Septiembre del 2021, Santiago, Chile.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT GmbH (GIZ). “Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile” 22 de Octubre del 2022, Santiago, Chile.
- BALDI GONZALEZ, CARLOS. Presentación de Clase Número Uno Gestión de Activos, Departamento de Mecánica 2021, Viña del Mar, Chile.
- CRESPO MÁRQUEZ, ADOLFO. Libro “El Marco de Gestión del Mantenimiento. Modelos y Métodos para Sistemas Complejos” del año 2007.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE & WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Guía “Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (GHG Protocol Corporate Standard, WRI y WSBCD.)” del año 2005.

ANEXO:

1. Unidad de Competencia Laboral **U-2011-3133-004-V01** – *El Problema y su Solución.*
2. Unidad de Competencia Laboral **U-2011-3133-005-V01** – *El problema y su Solución.*
3. Factores de Emisión de CO2 y PCI de los Combustibles – *Fases del Modelo de Gestión HC.*
4. La Cuantificación de las Incertidumbres en la Práctica, Capítulo 6 – *Fases del Modelo de Gestión HC.*