



**UAI**  
**UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ**

We H2V

Andrés Bravo  
Valentina Sotomayor  
Gerónimo Spondelli

**START UP**  
**SCHOOL UAI**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

14 de Diciembre 2023



Profesor guía:

- Ricardo Seguel, Ph.D.

Coaches:

- María Paz Gillet
- Catalina Gallego
- Joaquín Lambert

We H2V

Santiago, Chile, 2023.

## **Dedicatoria**

*A nuestras familias, que han sido un pilar fundamental no solo en este proceso, sino que también a lo largo de nuestras carreras. Dedicamos también nuestro trabajo a todas aquellas personas y seres que han sido parte de nuestra formación y crecimiento tanto académico como personal, por confiar en cada parte de este equipo y por entregarnos las herramientas para ayudar a construir un mejor futuro.*

## Agradecimientos

*Agradecemos cordialmente en primera instancia al profesor guía Ricardo Seguel, Ph.D. Profesor de StartUp School Universidad Adolfo Ibáñez, Catalina Gallego y Joaquín Lambert, Ingeniera e Ingeniero Civil Industrial y nuestros ayudantes, por su constante orientación y paciencia, las cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Agradecemos también a todas aquellas personas que nos brindaron parte de su tiempo y una buena disposición en el apoyo con las validaciones y la adquisición de información, especialmente a Cedric Little, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Danilo Jara, Ph.D en Química, Hania Mihovilovic, Ingeniera Civil en Energía y Medioambiente, Francisco Belmar, Ingeniero Senior en Hidrógeno Verde, Tomás Godoy, Ingeniero Eléctrico, Francisca Salas, Experta en Hidrógeno Verde, Pedro Gibbons, Ingeniero en Desarrollo, Ian Corcoran, Ingeniero Civil Industrial, Juan Pablo Fiedler, Ingeniero Civil Industrial, Enrique Cáceres, Ingeniero Civil Químico, y Bruno Crovetto, Ingeniero en Minas.*

*Por último, agradecemos profundamente a todo el equipo de We-Techs por tener siempre una buena disposición y por brindarnos todo el apoyo que fue indispensable para la construcción de este proyecto, especialmente a Nicole Weissner, Nataly Cruces, Pedro Pablo Valenzuela, Jorge Rojas, Simón García, Felipe Riquelme, Dante Poblete, Rubén Olivares y Jorge Poblete.*

**Tabla de Contenido**

1	Resumen Ejecutivo.....	1
2	Introducción.....	2
3	Metodología del proyecto.....	6
3.1	Disciplined Entrepreneurship .....	6
3.2	Herramientas y métodos complementarios .....	6
3.3	Etapas del Proyecto .....	7
4	Análisis de la Industria.....	8
4.1	Historia .....	8
4.2	Industria .....	8
4.2.1	Panorama actual .....	9
4.2.2	Factores que impulsan el mercado .....	10
4.2.3	Desafíos actuales en la industria .....	10
4.2.4	Oportunidades de crecimiento .....	11
4.2.5	Análisis FODA .....	12
4.2.6	Análisis PESTEL .....	12
4.2.7	Cadena de valor .....	13
4.2.8	Sensores utilizados actualmente en la industria para agua ultrapura .....	13
5	Oportunidad .....	17
5.1	Justificación de la Oportunidad y selección del problema.....	17
5.1.1	¿Por qué es importante? ¿Cómo está alineado a los ODS? .....	17
5.1.2	¿Por qué es un problema complejo de resolver con Ingeniería?.....	18
5.1.3	¿Cuál sería la innovación y aporte de la Ingeniería en la solución? .....	19
6	Disección del Problema .....	20
6.1	Segmento de Clientes o Usuarios .....	20
6.2	Perspectiva B2B o B2C o B2B2C u otra .....	20
6.3	Preguntas relevantes para analizar el problema .....	20
6.4	Dolores del Cliente o Usuario .....	20
6.4.1	Necesidades.....	20
6.4.2	Fricciones .....	21
6.4.3	Frustraciones .....	21
6.5	Productos o servicios sustitutos.....	21
6.6	Cuantificación del Problema .....	22
7	Análisis de White-spots .....	23
7.1	Análisis de Entel Ocean.....	23
7.2	Análisis de Endress+Hauser .....	23
7.3	Análisis de Siemens.....	23
7.4	Análisis de Anam.....	23
7.5	Análisis de Simtech .....	23
7.6	Análisis de SWAN.....	24

---

8	Objetivos del proyecto .....	25
8.1	Objetivo general.....	25
8.2	Objetivos específicos.....	25
9	Posibles soluciones.....	26
10	Propuesta de Valor.....	28
10.1	Perspectiva del Cliente o usuario .....	28
10.1.1	Dolores .....	28
10.1.2	Trabajos del cliente o usuario .....	28
10.1.3	Ganancias .....	28
10.2	Perspectiva de la solución .....	28
10.2.1	Aliviadores de los dolores .....	28
10.2.2	Creadores de Ganancias.....	28
10.2.3	Solución de Productos y/o Servicios.....	29
10.2.4	Fit entre problema y solución.....	29
10.3	Test ácido de la Solución.....	29
10.3.1	Argumentos a favor .....	29
10.3.2	Argumentos en contra .....	29
10.4	Canvas Propuesta de Valor .....	30
11	Hipótesis y validación.....	31
11.1	Diseño de Encuesta o Entrevistas .....	31
11.2	Realización de encuestas o entrevistas.....	31
11.3	Validación de la hipótesis.....	32
11.3.1	Validación del problema .....	32
11.3.2	Validación de la solución.....	32
11.4	Aprendizajes y refinamiento de la propuesta de valor .....	33
12	Diseño Experimental de la solución .....	34
12.1	Viajes de usuario.....	34
12.2	Bocetos de la solución.....	35
12.3	Mockups de la solución (si es aplicación Web y/o aplicación Móvil) .....	35
12.4	Wireframe de la solución.....	36
12.5	Descripción de las tecnologías seleccionadas.....	36
12.6	Esquema de la Arquitectura de Tecnologías de Información.....	36
13	Prototipo de la solución .....	38
13.1	Implementación del prototipo.....	38
13.2	Pruebas de Laboratorio .....	38
13.3	Pruebas en Terreno o con clientes y/o usuarios.....	39
13.4	Validación del prototipo y resultados obtenidos .....	39
13.5	Aprendizajes de la implementación del prototipo.....	40
14	Modelo de Negocio propuesto.....	41
14.1	Estrategia .....	41

---

14.2	Mercado y Segmento de clientes.....	42
14.3	Monetización e ingresos .....	42
14.4	Flujo de caja simple.....	42
14.5	Canvas del Modelo de Negocio.....	45
14.6	Plan de implementación propuesto posterior a este proyecto .....	45
14.7	Inversión requerida para el plan de implementación .....	45
15	Resultados .....	47
15.1	Principales resultados del Proyecto .....	47
15.2	Métricas y KPI's del Proyecto.....	47
15.3	Validación de Resultados con experto académico .....	48
15.4	Validación de Resultados con experto de la industria .....	48
16	Lecciones aprendidas .....	49
17	Conclusiones.....	50
18	Autores.....	51
19	Bibliografía .....	53



**Índice de tablas numeradas**

Tabla 1: Código de colores del hidrógeno. Fuente: Majewski et al., 2023. ....	2
Tabla 2: Comparación de tecnologías más comunes de electrolizadores. Fuente: Gambou et al., 2022. ....	4
Tabla 3: Sensor de pH agua tipo 1. Fuente: Endress + Hauser, 2021. ....	14
Tabla 4: Electroodos de vidrio analógicos, 12 mm de diámetro. Fuente: HACH, 2020. ....	14
Tabla 5: Sensor de conductividad agua tipo 1. Fuente: Endress + Hauser, 2021. ....	15
Tabla 6: Sensor de Conductividad y Temperatura. Fuente: Krohne, 2023. ....	15
Tabla 7: Sondas de Conductividad Analógica. Fuente: HACH, 2020. ....	16
Tabla 8: Multas de la Dirección General de Aguas. Fuente: Gobierno de Chile, 2018. ....	17
Tabla 9: Planilla de Cálculos. Fuente: Elaboración propia. ....	43
Tabla 10: Cálculo COCA. Fuente: Elaboración propia. ....	44
Tabla 11: Cálculo LTV. Fuente: Elaboración propia. ....	44
Tabla 12: Estimación de costos de implementación por proyecto. Fuente: Elaboración propia. ....	46

**Índice de figuras numeradas**

Figura 1: Esquema de funcionamiento del electrolizador. Fuente: Wood Mackenzie, 2019.....	4
Figura 2: Etapas del proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	7
Figura 3: Accidente de Hindenburg. Fuente: CNN, 2020.....	8
Figura 4: Gráfico de Costo nivelado de hidrógeno (LCOH) en 2023. Fuente: Schelling, 2023. ....	8
Figura 5: Gráfico del valor del mercado de hidrógeno verde proyectado desde 2022 hasta 2032. Fuente: Precedence Research, 2023. ....	9
Figura 6: Costo nivelado de hidrógeno (LCOH) en Chile proyectado de 2026 a 2040. Fuente: Belmar Añasco et al., 2023.....	10
Figura 7: Producción global desde 2021 a 2050 (en millones de toneladas). Fuente: Det Norske Veritas Group, 2023. ....	11
Figura 8: Análisis FODA. Fuente: Elaboración propia.....	12
Figura 9: Análisis PESTEL. Fuente: Elaboración propia.....	12
Figura 10: Cadena de Valor H2V. Fuente: OECD, 2022. ....	13
Figura 11: Objetivos ODS para We H2V. Fuente: Modificación propietaria de imagen de Naciones Unidas, 2023.....	18
Figura 12: Cuadro comparativo sustitutos. Fuente: Elaboración propia. ....	21
Figura 13: Matriz de correlación de las variables que mide la sonda multiparamétrica de agua. Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 14: Prototipo de segunda solución. Fuente: Elaboración propia con imágenes de We-Techs.....	27
Figura 15: Value Proposition Canvas. Fuente: Elaboración propia usando la plantilla de Strategyzer. ....	30
Figura 16: Viaje del Usuario Sin Solución Implementada. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 17: Viaje del Usuario con Solución Implementada. Fuente: Elaboración propia. ....	34
Figura 18: Boceto de solución. Fuente: Elaboración propia con imágenes de We-Techs.....	35
Figura 19: Interfaz de Usuario Gráfica en Mockup WebApp de We H2V. Fuente: Elaboración propia con imágenes de We-Techs. ....	35
Figura 20: Wireframe de WebApp We H2V. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 21: Esquema TI de We H2V. Fuente: Elaboración propia con imágenes de We-Techs y Gobierno de Chile. ....	37
Figura 22: Entorno de pruebas experimentales. Fuente: Oficinas de We-Techs. ....	38
Figura 23: Preparando la conexión RS485 a USB de sonda a PC. Fuente: Oficinas de We-Techs. ....	38
Figura 24: Momento de inserción de la sonda en el entorno de pruebas. Fuente: Oficinas de We-Techs. ....	39
Figura 25: Software de calibración Sensor Management Sistem. Fuente: Fotografía propia.....	39
Figura 26: Hoja de ruta de la estrategia y oportunidades del proyecto. Fuente: Elaboración propia. ....	41
Figura 27: Captura Flujo de Caja Simple en Excel. Fuente: Elaboración propia. ....	43
Figura 28: Canvas propuesta de modelo de negocio. Fuente: Elaboración propia.....	45

## 1 Resumen Ejecutivo

El presente informe trata sobre el estudio en torno la entrada de la empresa We-Techs en la nascente industria del hidrógeno verde (también denominado H2V o H2R), específicamente, en la adaptación a la sensorización para su monitoreo en diversos puntos de interés a lo largo de la cadena de suministro del hidrógeno verde, los cuales involucran agua tratada específicamente para sus procesos.

We-Techs es una empresa que utiliza herramientas IIoT para la gestión eficiente de agua y otros fluidos industriales, a través del monitoreo, control remoto y análisis de datos, impulsando una operación sostenible y productiva (We-Techs, 2023).

La cadena de valor del agua del hidrógeno verde comienza con la extracción del agua de mar o continental y su tratamiento de ósmosis inversa para purificarla como agua ultrapura (U.S. National Science Foundation, 2020). Luego, ingresa el agua ultrapura al electrolizador, que utiliza energía eléctrica para separar el agua en sus moléculas constituyentes de oxígeno e hidrógeno. El nombre de hidrógeno “verde” se da por la fuente de la energía, la cual debe ser renovable, sea de paneles solares, turbinas eólicas, entre otros. Finalmente, se debe tratar los desechos de la ósmosis inversa, y reportar debidamente la extracción y tratamiento a los organismos reguladores como la DGA (Dirección General de Aguas).

La industria actualmente aún está recién surgiendo, y países como España, Alemania, Australia y China lideran esta industria con muchos proyectos innovadores y gran cantidad de plantas de hidrógeno verde. En el caso de Chile, la planta Haru Oni de HIF Global en Magallanes es la única planta de nivel industrial operativa, pero existen otras plantas pequeñas, y muchas otras en carpeta, donde algunas planean iniciar las obras desde 2024. Además, hacia el futuro, se proyecta una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 40,6% hacia 2032, siendo esto una gran oportunidad de entrar a una industria en rápido crecimiento (Precedence Research, 2023).

El objetivo del proyecto es determinar la factibilidad técnica, tecnológica y económica de We-Techs para adentrarse en el sector de hidrógeno verde, mediante la investigación e ideación de una propuesta de solución y la creación de un prototipo de implementación.

Para lograrlo, se hizo una investigación exhaustiva de varias oportunidades hasta determinar que el monitoreo y la reportabilidad del agua en el proceso es un white-spot que muchas alternativas sustitutas no terminan de cubrir por completo. Con ello, desarrolló la solución y un prototipo, iniciando con un mockup de una WebApp (Aplicación Web) que pueda recibir y mostrar los datos medidos mediante gráficos actuales e históricos, y cuadros con variables de valores recientes.

La solución ofrece, como propuesta de valor, un servicio de manejo de datos robusto, confiable y centralizado en reportes diarios automáticos a autoridades y monitoreo en producción de hidrógeno verde para una nueva industria. Tanto la problemática como la solución fueron validadas por múltiples expertos en la industria, y por trabajadores de la empresa de We-Techs. Por otra parte, el modelo de negocios se realizó en base al plan actual de We-Techs, acorde a las fluctuaciones actuales del mercado. Asimismo, se puede contactar a clientes actuales y potenciales de We-Techs que ya están implicados en proyectos de hidrógeno verde.

El proyecto ha sido muy valioso para el desarrollo profesional y personal de los involucrados, donde se adquirió un conjunto de valiosas habilidades de resolución de problemas, trabajo en equipo, superar la adversidad y la frustración, además de organizar un proyecto de gran magnitud y llevarlo a cabo de principio a fin.

## 2 Introducción

En los últimos años, la crisis climática a nivel global no ha dejado de pronunciarse y, cada vez, con mayor fuerza, trayendo consigo repercusiones que al día de hoy ya no pasan desapercibidas, como lo son la escasez de agua dulce, incendios forestales, subida del nivel del mar, pérdida de biodiversidad, emisiones desmesuradas de gases de efecto invernadero, entre muchas otras (Comisión Europea, 2023). Ante un escenario como el recién descrito, múltiples entidades de todo el mundo, tanto públicas como privadas, han impulsado propuestas sobre diferentes acciones que, hoy por hoy, el ser humano puede desarrollar ante el cambio climático y promover una reducción sustancial de las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el aumento de la temperatura global en este siglo a 2 °C, y esforzarse para limitar este aumento a incluso más de tan solo el 1,5 ° (Naciones Unidas, 2023). En este informe, se registra el proceso de investigación respecto a una vía para abordar esta problemática entre los líderes mundiales, así como también el desarrollo de una propuesta de solución al respecto en conjunto con la empresa chilena We-Techs a través de la modalidad “intra-emprendimiento”. We-Techs corresponde a una empresa encargada de una gestión eficiente de fluidos industriales a través del monitoreo, control remoto y análisis de datos centrados en una operación sostenible y productiva desde el año 2012 (We-Techs, 2023).

El proceso detrás de esta propuesta de solución gira en torno a uno de los caminos aceptados internacionalmente que apuntan a la descarbonización del planeta, el hidrógeno verde, y un problema de alta relevancia en su naciente industria: El monitoreo de calidad y flujo de agua tipo 1 (ultrapura) para su ingreso a electrolizadores. La relevancia de esta oportunidad es la limitada oferta de servicios que ofrecen un monitoreo íntegro y trabajo de los datos sobre parámetros relevantes para el análisis de éstos en cuanto al proceso productivo del hidrógeno verde, además del acceso a control remoto de los equipos, lo que dificulta la toma de decisiones eficaces en los procesos industriales de producción de hidrógeno verde.

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo. Utilizarlo para la producción de energía eléctrica y térmica parece ser una opción razonable. Sin embargo, en la Tierra, el hidrógeno rara vez se presenta como hidrógeno puro, sino que está unido predominantemente al agua que forma oxígeno. La unión entre el átomo de oxígeno y los dos átomos de hidrógeno en el agua es muy fuerte pues corresponde a un enlace covalente (Castillo Arteaga, 2022) y, por lo tanto, se necesita una energía significativa para separar el hidrógeno del oxígeno, lo cual se realiza mediante un proceso químico llamado electrólisis (Majewski et al., 2023). Es preciso destacar que existen distintos tipos de hidrógeno, y la única diferencia entre éstos es la fuente desde donde son obtenidos. A continuación, en la *Tabla 1* se presentan las diferentes categorías de hidrógeno y su forma de producción:

*Tabla 1: Código de colores del hidrógeno. Fuente: Majewski et al., 2023.*

Tipo de hidrógeno	Producción
Hidrógeno verde	Electrólisis del agua utilizando únicamente fuentes de energía renovables
Hidrógeno azul	Reformado de metano con captura y almacenamiento de carbono
Hidrógeno turquesa	Pirólisis de metano que forma hidrógeno y carbono sólido
Hidrógeno gris	Reformado de metano sin captura de CO <sub>2</sub>
Hidrógeno negro	Reformado de metano o gasificación a partir de carbón como fuente de energía

Hidrógeno marrón	Gasificación usando carbón lignito como fuente de energía
Hidrógeno rosa	Electrólisis del agua mediante fuentes de energía nuclear
Hidrógeno amarillo	Electrólisis del agua utilizando fuentes de energía de la red mixta, basadas en combustibles fósiles y energía solar
Hidrógeno dorado o blanco	Hidrógeno natural en formaciones geológicas

En consideración con lo anterior, se tiene que el hidrógeno verde es un fluido principalmente generado a partir de fuentes renovables de energía, como fotovoltaica o eólica y, en función con éstas, le acompaña el uso de agua de mar desalinizada para minimizar así el consumo de cuerpos de agua dulce y/o continental. En la actualidad, la energía utilizada en el proceso productivo de hidrógeno verde no necesariamente proviene de forma directa desde las fuentes renovables, pues éstas pueden ser inestables por las variaciones de luz solar o viento, por lo que las productoras, a modo de mantener la producción la mayor cantidad de tiempo posible, se conectan a la matriz energética a través de acuerdos o contratos de compraventa de energía a largo plazo con un desarrollador renovable (PPA o Power Purchase Agreement) con el fin de no afectar tanto la producción así como el rendimiento de los electrolizadores (Iberdrola, 2023).

Respecto a la cadena de valor del agua del hidrógeno verde, esta comienza con la extracción del agua, la cual puede ser de mar o continental, la cual requiere un tratamiento de ósmosis inversa para purificarla hasta dejarla como agua tipo 1 o ultrapura (U.S. National Science Foundation, 2020). El siguiente paso es la entrada del agua ultrapura al electrolizador, el cual es la parte más esencial del proceso, pues este dispositivo utiliza la energía eléctrica para separar el agua en sus moléculas constituyentes de oxígeno e hidrógeno moleculares. El último proceso de medición es el desecho de la salmuera al mar, o el lodo, donde requiere un tratamiento específico para que pueda ser devuelta al ambiente de forma segura para el medio, y cumpliendo y reportando debidamente a los organismos reguladores como la DGA (Dirección General de Aguas).

Por otra parte, el proceso de electrólisis, llevado a cabo en un equipo llamado electrolizador, consiste en aplicar un voltaje e intensidad elevados a dos apilamientos de electrodos conductores, un cátodo con carga negativa, y un ánodo con carga positiva. Estos electrodos están sumergidos en un estanque, en el que se contiene el agua ultrapura, y están separados por una membrana semipermeable que separa las moléculas de agua en sus constituyentes de hidrógeno y oxígeno moleculares. La estequiometría global del proceso está dada por la siguiente reacción:  $2H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 2H_{2(g)}$  (Wood Mackenzie, 2019).

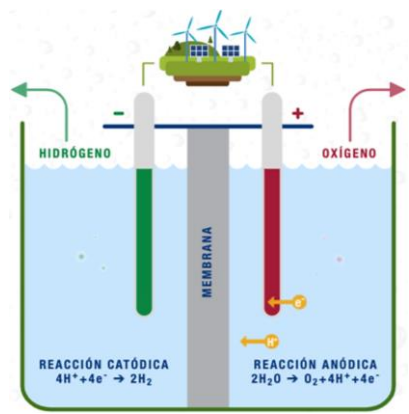


Figura 1: Esquema de funcionamiento del electrolizador. Fuente: Wood Mackenzie, 2019.

Los fundamentos fisicoquímicos de la reacción pueden variar dependiendo del tipo de electrolizador, donde actualmente hay dos tipos que dominan el mercado:

Tabla 2: Comparación de tecnologías más comunes de electrolizadores. Fuente: Gambou et al., 2022.

Especificación	Electrolizador Alcalino	Electrolizador PEM (Membrana de intercambio de protones)
Electrolito	Solución acuosa 25-30% KOH	Polímero sólido
Temperatura de celda	60-80 °C	50-80 °C
Pureza del gas	99.999%	99.999%
Presión	1-200 bar	1-50 bar
Eficiencia del sistema	55-73%	55-75%
Consumo de energía por metro cúbico normal de H2	3.8-4.4 kWh/Nm^3	4.53-7.3 kWh/Nm^3
Rango dinámico de producción	15-100%	0-100%
Tamaño de celda	<4 m²	<300 m²
Tasa de producción de H2	Hasta 8374 kg/día	Hasta 10786 kg/día
Tiempo de vida (mantención incluida)	>20 años	35,000-80,000 h (~9 años)

El monitoreo del agua destinada a ser hidrógeno verde toma en cuenta múltiples puntos de esta cadena de valor, donde se pueden encontrar: La extracción de agua de mar y/o continental; es fundamental reportar las cantidades extraídas a los organismos reguladores y conocer cómo esto podría afectar la biodiversidad en estos puntos de provisión, así como también en lo que se refiere al desecho del proceso de

desalinización del agua, la salmuera. Por otra parte, se tiene también el eslabón en esta cadena en el que se realiza ósmosis inversa, el proceso crucial para filtrar el agua y facilitar que ésta esté libre prácticamente de toda impureza, para poder ser así agua tipo 1. Finalmente, se ha de tener en cuenta otro punto de monitoreo en el electrolizador, de tal manera que se pueda tener un registro de la temperatura, nivel de agua, conductividad, turbidez, cloruro y pH, manteniendo un control de éstos en rangos apropiados para el correcto y óptimo funcionamiento del electrolizador, evitando tanto que éste se encuentre expuesto a daños o pérdida total del equipo, como que se pueda ver contaminado el hidrógeno producido (Godoy Stehr, 2023).

El objetivo principal del proyecto es investigar a la industria del hidrógeno verde, evaluando su potencial económico, requisitos técnicos, tecnológicos, legales y sociales, y determinar la viabilidad de We-Techs para adentrarse en este sector. Con ello, llevar a cabo el desarrollo de una solución tecnológica, basada en el estudio de caso de negocio, aprovechando la experiencia y capacidades actuales de la empresa en cuestión.

Tomando en cuenta la amplia experiencia que tiene We-Techs en la sensorización y medición de fluidos industriales, y su robusto y completo software de captura, análisis de datos y control automático de sistemas, cuenta con un ecosistema altamente desarrollado que presume un potencial a desenvolver en esta nascente industria. Sin embargo, es importante destacar que la tecnología necesaria para medir el agua tipo 1, pues es altamente especializada en cuanto a los parámetros a considerar y costosa debido a las características de este recurso, donde es muy fácil de contaminar; la calibración de estos sensores debe estar especificada para rangos de medición compatibles con estas necesidades, destacando la conductividad, que se mide en micro Siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) con valores hasta los  $1\ \mu\text{S}/\text{cm}$  (Godoy Stehr, 2023). Teniendo esto en cuenta, el proyecto se desarrolló con la intención de que We-Techs adapte su software y tecnología de medición a los sensores que los proyectos de producción de hidrógeno verde ya poseen o poseerán.

### 3 Metodología del proyecto

La metodología combinó las habilidades de los participantes de este proyecto para crear una solución interdisciplinaria eficiente y adaptable a los desafíos de la sensorización de agua ultrapura, y asegurar una efectiva implementación al ecosistema de We-Techs.

Para recopilar la información, se contactó a múltiples individuos relacionados con la industria del hidrógeno verde, incluyendo ingenieros, reporteros, gerentes de empresas de sensorización, profesores, y expertos en el área, además de trabajadores. Las reuniones, charlas y conferencias con ellos ofrecieron valiosa información para el entendimiento de la industria y el desarrollo del proyecto.

Hubo una gran cantidad de pivoteo entre diferentes problemas dentro de la industria, y un gran desafío fue trabajar con el agua mientras la mayoría de contactos decían que el agua no era realmente un problema, sino que era la eficiencia energética; sin embargo, al comenzar a investigar sobre esta y a adquirir conocimiento, se evidenció que realmente era mucho más complejo de lo que se predijo, y además se alejaba mucho de las disciplinas con las que usualmente se había trabajado y de la experiencia de We-Techs, por lo que se decidió volver a investigar sobre el agua en mayor profundidad, donde se encontró un problema de gran relevancia para abordar en torno a la sensorización de agua ultrapura debido a los requerimientos y exigencias de los electrolizadores y en torno a los posibles problemas regulatorios y legales que las empresas podrían presentar de no reportar de forma diaria y efectiva.

Una vez el problema estaba claro, se procedió a hacer el estudio de factibilidad multidimensional, donde específicamente se analizaron los aspectos políticos, económicos, sociales, técnicos, ecológicos y legales (*Figura 9*). Nuevamente, las reuniones con agentes relevantes fueron muy valiosas para el desarrollo de ello, en adición con la exhaustiva investigación propia.

Con estos datos en claro, se formuló la siguiente presunción: El hidrógeno verde es una oportunidad para We-Techs en torno a la implementación de su servicio de software de telemetría para mejorar la gestión de los fluidos industriales, hacer eficientes sus procesos y optimizar la toma de decisiones del cliente.

Finalmente, se preparó un entorno de simulación y se nos otorgó instrumentación para hacer pruebas en el laboratorio de We-Techs para validar la factibilidad técnica y tecnológica de la solución propuesta para posteriormente generar el prototipo. El prototipo consiste principalmente en una plataforma que se integre a la “WeApp” (plataforma de operación de We-Techs) centralizada en las necesidades de monitoreo y gestión en el contexto de producción de hidrógeno verde.

#### 3.1 Disciplined Entrepreneurship

El texto ofrece una visión tanto amplia como específica de cada punto a desarrollar durante el emprendimiento, y explica cómo se debe desarrollar cada etapa del emprendimiento, y lo que uno debe esperar durante el desarrollo, como errores, fracasos, y pivoteo (Disciplined Entrepreneurship, 2013). En conjunto con las clases y talleres, más las direcciones proporcionadas en la pizarra “Miro”, ayudó a entender cómo desarrollar cada punto en el proceso de investigación del emprendimiento, desde la segmentación del mercado, investigación, búsqueda de problemas, y pivoteo.

#### 3.2 Herramientas y métodos complementarios

Además de todos los ramos de la carrera de ingeniería, los cuales ayudaron a desarrollar pensamiento crítico y habilidades en artes liberales, herramientas cuyo aporte ha sido muy importante para la elaboración y desarrollo de este proyecto. Por otro lado, las sesiones de coaching fueron indispensables para entender el camino en el que se encontraba el estado actual del trabajo, mientras que la orientación y feedback entregado fue de gran valor para dirigir e incluso cambiar la dirección del proyecto.

Los talleres de bootcamp y mindset emprendedor fueron de ayuda para entender en detalle en lo que se estaba adentrando el equipo, puesto que, al contar como una asignatura diferente al resto, sirvió como un aterrizaje a modo de hacer énfasis en su importancia, además de ofrecer dirección e instrucción respecto a tecnologías y técnicas necesarias para desarrollar un proyecto de alta calidad.

Adicionalmente, se le hizo entrega al equipo de documentos que fueron fundamentales para la investigación y desarrollo del proyecto por parte de entidades específicas, tales como el gestor de proyectos de H2 Chile, el ingeniero de proyectos de HIF Global y del Head of Solutions de Endress + Hauser.



### 3.3 Etapas del Proyecto

A continuación, se puede contemplar las etapas que han caracterizado el proceso de este proyecto a lo largo de todo el semestre académico:



Figura 2: Etapas del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

## 4 Análisis de la Industria

### 4.1 Historia

La industria del hidrógeno verde está recién comenzando a nacer; de hecho, actualmente apenas se le podría llamar industria. Pero que esté naciendo, no significa que sea tecnología nueva, sino más bien, el enfoque verde. El proceso de producción de hidrógeno es el resultado de experimentos que han comenzado desde poco antes del siglo XIX, donde el nombre del hidrógeno fue dado para describir su reacción con el oxígeno: Hidro = Agua; Geno = Generación. Es decir, se genera a partir de agua. En 1800, William Nicholson y Sir Anthony Carlisle descubrieron que, aplicando electricidad al agua, se producían los gases de hidrógeno y oxígeno, es decir, la electrólisis. Luego de ello, se ha utilizado como combustible e incluso como un gas más liviano que el helio para elevar enormes dirigibles, destacando el dirigible alemán Hindenburg, el cuál sufrió un explosivo accidente al colisionar con una torre en 1937, demostrando los peligros del uso de hidrógeno para ello, pero su gran potencial energético (The World of Hydrogen, 2023).

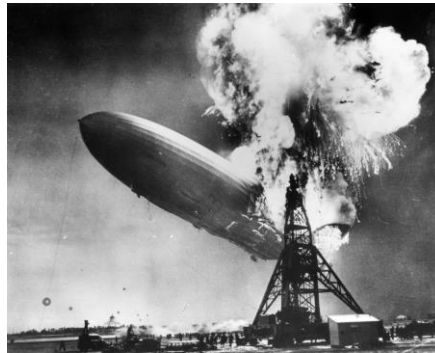


Figura 3: Accidente de Hindenburg. Fuente: CNN, 2020.

### 4.2 Industria

Hoy en día, menos de un 4% del hidrógeno producido es verde (proveniente de energías renovables), mientras que el resto es producido por combustibles fósiles u otros medios como el nuclear o como producto secundario de otros procesos industriales (Lakhani, 2023).

En términos del mercado actual en 2023, el costo nivelado de hidrógeno verde es consistentemente superior al resto y se observa una diferencia aún mayor hacia el mercado oriental, a excepción de China con un alto rango de valores gracias a sus electrolizadores. Actualmente, España y China lideran el menor costo de H2V, como se observa en el siguiente gráfico, donde el eje horizontal representa países, mientras que el eje vertical representa el costo en dólares por kilogramo de H<sub>2</sub>:

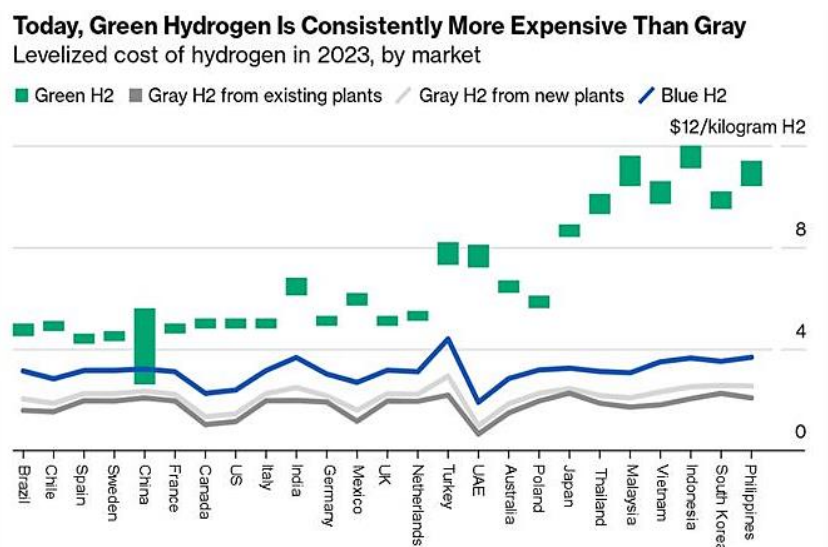


Figura 4: Gráfico de Costo nivelado de hidrógeno (LCOH) en 2023. Fuente: Schelling, 2023.

#### 4.2.1 Panorama actual

##### 4.2.1.1 En el mundo

La industria del hidrógeno verde está experimentando un crecimiento exponencial a nivel mundial impulsado por la necesidad de abordar diversas soluciones en torno al cambio climático y realizar una transición hacia fuentes de energía renovables. Actualmente varios países desempeñan un rol importante por esta causa. Alemania promueve a nivel nacional el hidrógeno verde como un vector energético fundamental (Renewables.Digital, 2023). China, como líder en adopción de energías renovables, ha expresado su interés en el desarrollo de hidrógeno verde (CGTN, 2023). Japón ha establecido notables objetivos de implementación de este vector energético, principalmente en torno a la industria del transporte (Bataille & Corbeau, 2023). Australia es uno de los principales actores en torno a la producción de hidrógeno verde para exportación debido a sus abundantes recursos naturales (Australian Government, 2023). Estos destacados exponentes internacionales reflejan un interés global por la expansión de la industria del hidrógeno verde, desempeñando un papel fundamental respecto al desarrollo de tecnologías y estándares en común.

Se espera que el tamaño de mercado del hidrógeno verde crezca desde US\$ 4,47 MM en 2022 a US\$ 134,38 MM para el año 2032; se estima alcanzar una tasa de crecimiento anual compuesto (TCAC) de 40,6% de 2022 hacia 2032, según un estudio realizado por una empresa de consultoría e investigación global de Canadá y la India (Precedence Research, 2023), siendo este último uno de los principales países en liderazgo ante el cambio climático dado que son el tercer país con mayor emisión de CO<sub>2</sub> (Rathi, 2021), con alrededor de 2.201 millones de toneladas al año según el banco mundial, mientras que Canadá ocupa el décimo puesto con cerca de 517 millones de toneladas por año (Banco Mundial, 2023).

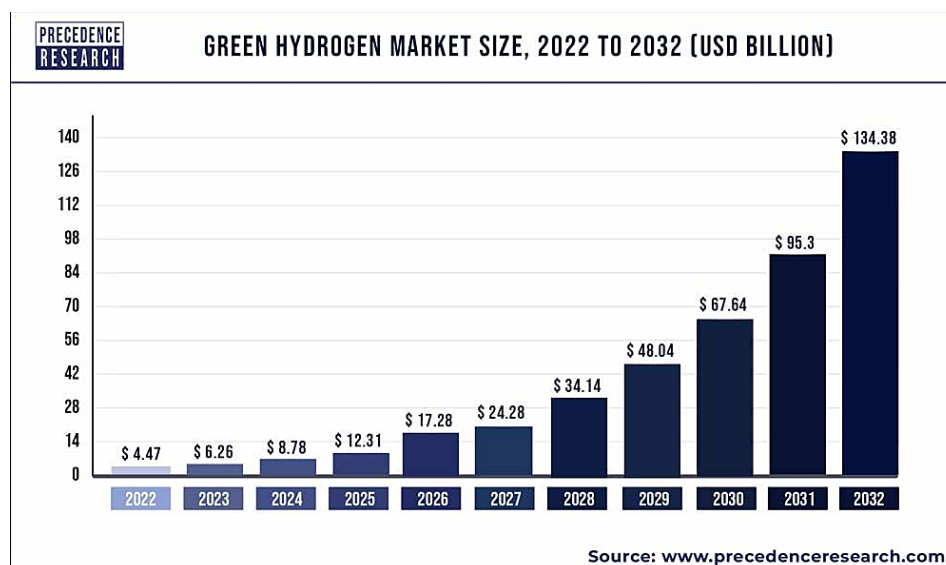


Figura 5: Gráfico del valor del mercado de hidrógeno verde proyectado desde 2022 hasta 2032. Fuente: Precedence Research, 2023.

Hoy en día nos encontramos frente a un LCOH (Costo nivelado del hidrógeno verde) que varía entre US \$3,0 y US \$7,7 (International Energy Agency, 2020). Por otra parte, la producción de hidrógeno verde no es competitiva respecto a otras alternativas, teniendo un costo considerablemente superior al hidrógeno producido en base a gas natural (0,9 – 3,2 USD/Kg). Sin embargo, se prevé que el costo de producir hidrógeno verde disminuya en un 30% para 2030 como resultado de la disminución de los costos de la energía renovable (International Energy Agency, 2020).

##### 4.2.1.2 En Chile

En Chile, el mercado actual del hidrógeno verde se forma a partir de las diversas inversiones que se han realizado para impulsar el desarrollo de la industria. hasta el día de hoy podemos ver que existe una iniciativa de apoyo tanto nacional como internacional de entidades como: CORFO, Banco Internacional de Desarrollo, Banco Mundial, Banco de Desarrollo de Alemania, Banco Europeo de Inversiones, Unión Europea (Ministerio de Energía, 2023), Ministerio de Ciencias (Ministerio de Ciencias, 2023), Fundación Chile, Banca Multilateral, Agencia de Sostenibilidad Energética y Fondo Japonés BID (Borrell, 2022). El impulso e interés de estas entidades se ve reflejado en una suma total de 1.851 millones de dólares para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde en Chile (Cálculo propio, 2023). Si comparamos el tamaño

de la industria en Chile con el PIB nacional del 2022 (296.989 millones de dólares) (Datosmacro, 2022), se evidencia que en la actualidad la industria corresponde solamente a un 0,62% del PIB nacional, dándonos a entender que existe un gran espacio de potencial crecimiento como país en esta industria (Cálculo propio, 2023).

Según la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde 2023-2030 de Chile, la transición energética tendrá un efecto positivo en el crecimiento económico, ya que el desarrollo de la industria de hidrógeno verde, y el proceso de descarbonización en Chile, aportarían al menos 0,4 - 0,5% al crecimiento tendencial en la economía (Ministerio de Energía, 2023).

Las proyecciones en Chile establecen que, al 2030, podría exportar hidrógeno verde a un valor cercano a 1,5 – 2,0 US\$/Kg (International Energy Agency, 2020), siendo sumamente competitivo respecto al resto de los países.

El costo nivelado del hidrógeno en Chile se proyecta con los siguientes valores, comparando el valle de la zona central de Chile con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, estando los costos representados en dólares estadounidenses por kilogramo de H<sub>2</sub>:

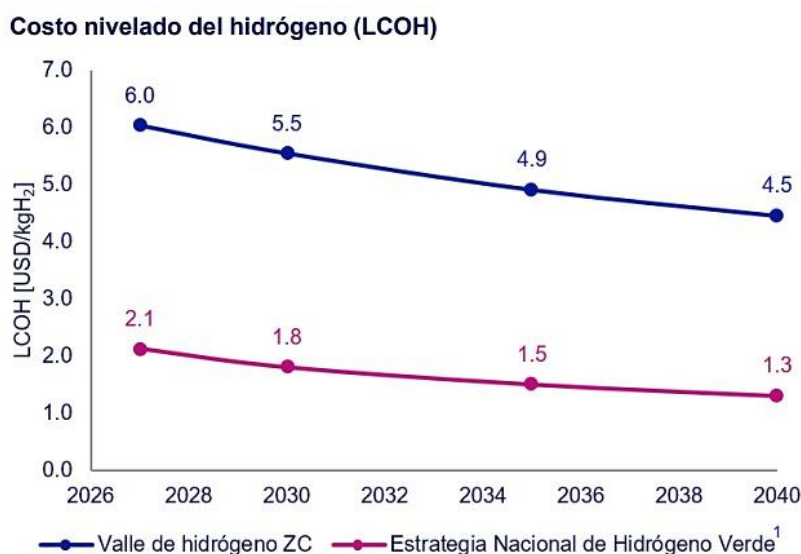


Figura 6: Costo nivelado de hidrógeno (LCOH) en Chile proyectado de 2026 a 2040. Fuente: Belmar Añasco et al., 2023.

#### 4.2.2 Factores que impulsan el mercado

La transformación de energías contaminantes a energías verdes y renovables ha sido un atractivo altamente relevante en el mundo hace varios años. Entre estos, la eficiencia energética, el uso de recursos, además del desarrollo de nuevas tecnologías. Uno de los obstáculos principales que limitan el desarrollo de este combustible verde es su almacenamiento y transporte, que han sido los principales enfoques de investigación y desarrollo en este ámbito (Abdalla et al., 2018).

La Iniciativa del Hidrógeno (H2I) es un esfuerzo internacional bajo el marco del Clean Energy Ministerial para impulsar políticas y proyectos que aceleren la adopción de tecnologías de hidrógeno y celdas de combustible en la economía. La Agencia Internacional de Energía (IEA) coordina la H2I, que incluye gobiernos como Australia, Canadá, China, Alemania, Japón, entre otros. La H2I colabora con diversas iniciativas e industrias, como la Agenda Breakthrough, el Consejo del Hidrógeno y socios industriales como Ballard y Enel, para fomentar la cooperación y el desarrollo sostenible en este ámbito (International Energy Agency et al., 2023).

#### 4.2.3 Desafíos actuales en la industria

Los desafíos de la producción de hidrógeno verde se encuentran principalmente en la eficiencia energética del proceso de electrólisis, y el almacenamiento y transporte del hidrógeno resultante. En el caso de la eficiencia energética, suele ser en promedio de un 60%, variando entre 40% y 70% (Jaeger, 2022). Otro desafío importante en la industria corresponde a la escasa producción de electrolizadores a nivel mundial, lo cual no solo implica una dificultad en su obtención, sino que también implica que estos tengan un costo extremadamente elevado, es más, según un contacto de la Agencia de Sostenibilidad Energética,

la adquisición de estos equipos corresponde a casi el 40% de la inversión inicial que deben realizar las empresas (Corcoran Ruiz, 2023).

#### 4.2.4 Oportunidades de crecimiento

En el mundo, se espera que haya un crecimiento exponencial hacia el 2050 en la producción de hidrógeno verde, el cual se puede apreciar en el siguiente gráfico, donde es posible observar la predicción de crecimiento en la producción de hidrógeno para uso energético, para lograr los objetivos climáticos de 2050. La electrólisis suma un 70% del total; el resto, es en base a combustibles fósiles con captura de carbono:

**Global production of hydrogen and its derivatives for energy purposes by production route**

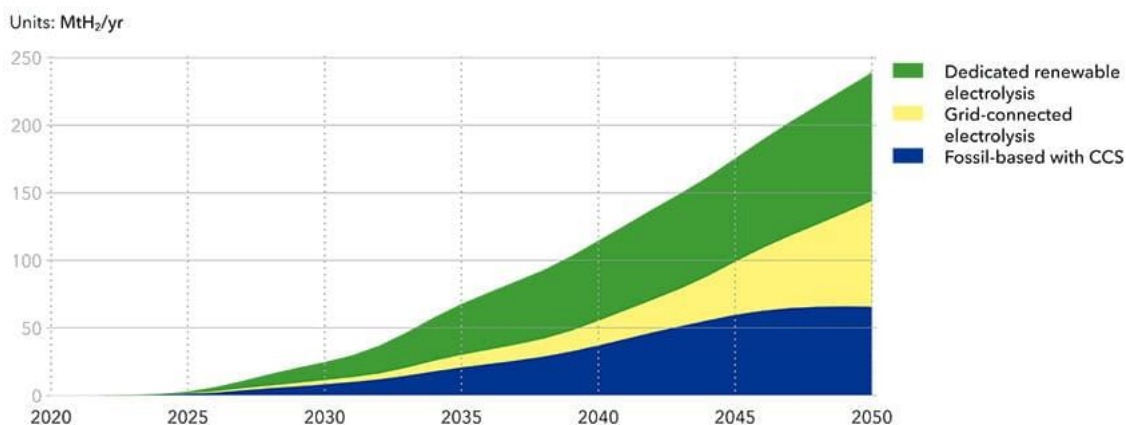


Figura 7: Producción global desde 2021 a 2050 (en millones de toneladas). Fuente: Det Norske Veritas Group, 2023.

En Chile, la entrada a la industria del hidrógeno verde es particularmente atractiva porque el país es uno de los líderes mundiales en la implementación de energías renovables como paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas (Reporte Minero, 2023). Esto es una fortaleza muy valiosa para esta industria en Chile teniendo en cuenta su riqueza en recursos naturales. Además, como se mencionó anteriormente, la industria del hidrógeno verde en Chile hoy en día corresponde aproximadamente a un 0,62% del PIB nacional, existiendo un gran espacio para su desarrollo y crecimiento.

#### 4.2.5 Análisis FODA



Figura 8: Análisis FODA. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.6 Análisis PESTEL



Figura 9: Análisis Pestel. Fuente: Elaboración propia.



#### 4.2.7 Cadena de valor

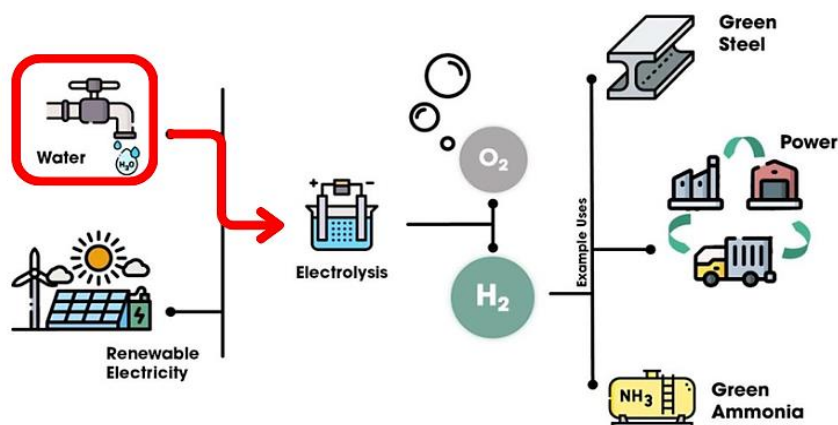


Figura 10: Cadena de Valor H2V. Fuente: OECD, 2022.

En primer lugar, y para un mejor entendimiento, el problema y etapas donde se centrará el proyecto se marca en rojo en la *Figura 10*, lo cual corresponde a la desalinización y obtención de agua, e ingreso de esta al electrolizador. Ahora, la cadena de valor del hidrógeno verde inicia a partir de la generación de energías renovables, sea a través de energía eólica o solar (las principalmente utilizadas). Esta energía es utilizada para suministrar los diversos procesos a lo largo de esta cadena. Ahora, el primer paso para empezar a producir hidrógeno es la obtención de agua ultrapura, la cual se obtiene principalmente a partir de agua de mar desalinizada y que pasa por el proceso de ósmosis inversa y otros tratamientos para que esta cumpla con los estándares de calidad requeridos para el proceso. Luego el agua es suministrada a un electrolizador en el cual ocurre el proceso de electrólisis (Majewski et al., 2023), donde se separan las partículas de  $O_2$  y  $H_2$  del agua ( $H_2O$ ), de las cuales el oxígeno usualmente es liberado al ambiente (igualmente puede ser almacenado para diversos usos), mientras que el hidrógeno es almacenado para su posterior uso. Estos usos pueden implicar la producción de amoníaco verde para facilitar su transporte o comercializarlo (Iberdrola, 2023), usarlo directamente como combustible o suministro energético a partir de “Fuel Cells” (Ministerio de Energía, 2023) o ser utilizado en otros procesos industriales.

#### 4.2.8 Sensores utilizados actualmente en la industria para agua ultrapura

Se usan diversos tipos de sensores para la industria, y estos deben estar especializados para su uso con agua pura, debido a la gran sensibilidad a la contaminación de esta, y a la gran precisión necesaria para verificar su calidad, o medir otras variables sin modificar el estado del agua (Avidity Science, 2016).

A pesar de que el proyecto no contempla la implementación de este tipo de tecnologías por razones ya mencionadas, es importante conocerlas debido a que esta es la instrumentación que utilizada hoy en día para medición de diversas variables en la industria, y en un futuro probablemente sean las tecnologías a las que el proyecto se debe de adaptar y conectar para ofrecer el servicio We H2V.

##### 4.2.8.1 pH

El pH es el Potencial de Hidrógeno. Es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución, pudiendo determinar así la concentración de hidrogeniones (ion positivo de hidrógeno) en ésta. El pH es adimensional y normalmente se mide en una escala de 1 a 14, siendo 1 el valor más ácido, 14 el valor más alcalino, y el 7 el valor neutro (HANNA Instruments, 2023).

Tabla 3: Sensor de pH agua tipo 1. Fuente: Endress + Hauser, 2021.


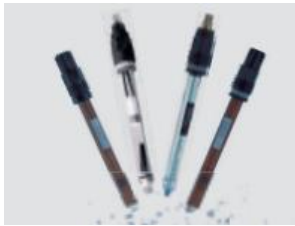
Endress + Hauser Glass sensors Memosens CPS41E, Ceraliquid CPS41		
	Rango pH	0 a 14
	Temperatura del proceso	0 a 135 °C
	Máxima presión del proceso	Hasta 11 $bar_{abs}$ a contrapresión
	Conductividad mínima	0.1 $\mu S/cm$
	Contenido orgánico	Alto nivel dependiendo del proceso
	Material de la vara	Vidrio
	Unión	Cerámica
	Sistema de referencia	Líquido

Tabla 4: Electrodos de vidrio analógicos, 12 mm de diámetro. Fuente: HACH, 2020.

Hach Electrodo de pH / potencial redox		
	pH	0-14 pH $\pm 2.000$ mV
	Aplicaciones	Agua potable, <b>agua ultrapura</b> , agua de proceso, influente y efluente de E.D.A.R.s, control de redes de alcantarillado

#### 4.2.8.2 Conductividad

La conductividad electrolítica es la medida de la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica y es a veces denominado "conductancia específica". En otras palabras, es una indicación de la cantidad de iones contenida en una solución. También, la conductividad se define como la inversa o recíproca de resistencia eléctrica (ohmios) y utiliza las unidades de medida denominadas mhos, donde la millonésima parte de un mhos es igual a un micromhos o micro Siemens (como es conocido comercialmente,  $\mu S$ ). En agua ultrapura, por ejemplo, cantidades de iones como 0.05 S/cm afectan a la



medición de la conductividad ya que puede producir depósitos indeseables en partes cromadas, causan problemas significativos en la fabricación de los semiconductores y componentes de turbinas utilizadas en la industria de la energía (Hach Company, 2023).

Tabla 5: Sensor de conductividad agua tipo 1. Fuente: Endress + Hauser, 2021.


Endress + Hauser Conductive sensor Memosens CLS15E/CLS15		
	Rango de medición	0.04 to 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ( $k^* = 0.01 \text{ cm}^{-1}$ ) 0.1 to 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ( $k^* = 0.1 \text{ cm}^{-1}$ )
	Error máximo registrado	CLS15E: $\pm 2 \%$ del valor medido CLS15: $\pm 1.5 \%$ del valor medido $\pm 4$ dígitos
	Rango de temperatura	-20 a 120 $^{\circ}\text{C}$ (esterilización: 140 $^{\circ}\text{C}$ por 1 hr.)
	Máxima presión del proceso	13 $\text{bar}_{abs}$ (hasta 20 $^{\circ}\text{C}$ ) 2 $\text{bar}_{abs}$ (en 120 $^{\circ}\text{C}$ )
	Electrodos	Ambos hechos a partir de acero inoxidable electropulido 1.4435/316L

Tabla 6: Sensor de Conductividad y Temperatura. Fuente: Krohne, 2023.



Krohne Smartpat Cond 3200		
	Temperatura máxima	+135 $^{\circ}\text{C}$
	Presión máxima de operación	16 bar
	Conductividad	0.05 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Tabla 7: Sondas de Conductividad Analógica. Fuente: HACH, 2020.

Hach Sonda de Conductividad 34xx		
	Conductividad	0-2.000 $\mu\text{S/cm}$
	Aplicaciones	Agua bruta, agua potable, <b>agua ultrapura</b> , desmineralización, ósmosis inversa, intercambiador iónico, agua de refrigeración y agua de calderas, agua de proceso

## 5 Oportunidad

Como se analizó en la industria, el mercado del hidrógeno verde crecerá de forma exponencial hasta 2030, presentando una oportunidad de ingreso a este prometedor negocio, que ayuda a reducir la huella de carbono en momentos donde es muy necesario. Tomando en cuenta la experiencia con la que cuenta We-Techs en la telemetría y medición de agua y gases, la implementación de una extensión dedicada al hidrógeno verde a esta empresa es deseable.

### 5.1 Justificación de la Oportunidad y selección del problema

En lo que respecta a la identificación del problema y oportunidad, se abordaron diversas alternativas con constante pivoteo, donde finalmente el foco se centró en dos principales problemas que las empresas deben enfrentar. Para entender el primer problema, primero se debe comprender que las empresas con proyectos de producción de hidrógeno verde buscan ser amigables con el medio ambiente y la comunidad en todo el proceso, incluyendo con el agua que utilizan para la producción. Este recurso proviene principalmente de pozos de agua continentales o directamente extraída del mar para su posterior procesamiento hasta la obtención de agua ultrapura, siendo esta última la mayoría de los casos (Ariema, 2019). Para las empresas que extraen agua de mar y cuentan con desaladoras es una necesidad el constante monitoreo tanto del flujo que se extrae, como el flujo que se desecha en forma de salmuera. Esto debido a que las autoridades, principalmente la Dirección General de Aguas (DGA) exige reportes diarios en torno al monitoreo relacionado a la desalación (Dirección General de Aguas, 2023). Esto es una oportunidad para el proyecto, sobre todo teniendo en cuenta que se cuenta con el apoyo de We-Techs, una empresa con experiencia en monitoreo y reportabilidad a las autoridades.

Respecto al segundo problema identificado, como se mencionó anteriormente, los electrolizadores son el elemento principal necesario para la producción de hidrógeno verde. Se entiende que son equipos extremadamente costosos y difíciles de conseguir, pero, además, son equipos muy sensibles, por lo tanto, de no ser alimentados con un flujo de agua ultrapura que cumpla con los estándares de calidad requeridos, pueden ocurrir daños irreparables (Lindquist et al., 2020). Los daños pueden ser desde erosión de los electrodos, los cuales utilizan materiales de muy alto valor como el platino, el cual es estable, pero otros materiales, como níquel o grafito, pueden dañarse más fácilmente debido a las reacciones que puede tener el medio acuoso irregular (exceso de iones y partículas) con estos. Además, otro componente que se puede dañar es la membrana de intercambio de protones en el caso de los electrolizadores *PEM*, donde el polímero podría ser dañado o bloqueado por partículas u otros contaminantes, resultando en contaminantes en el producto de hidrógeno saliente (oxígeno, agua, partículas), o pérdida de eficiencia, respectivamente. Los contaminantes en el gas afectan su calidad de reacción y la cantidad de energía que se adquiere por unidad de masa o volumen, e incluso podría dañar celdas de hidrógeno incluso en concentraciones de partes por mil millones (Markes International, 2023).

#### 5.1.1 ¿Por qué es importante? ¿Cómo está alineado a los ODS?

El problema es importante ya que, en términos legales, las multas por no cumplir con las regulaciones de consumo industrial de agua dentro del “Código de Aguas”, Ley 1122 y su modificación, Ley 21435 (Biblioteca Del Congreso Nacional, 1981), pueden llegar a ser de hasta 500 UTM, por lo tanto, se deben cumplir reportes respecto al “Monitoreo de Extracciones Efectivas” (MEE) (Dirección General de Aguas, 2023). Además, Para descarga de desechos hacia el mar o un cuerpo de agua dulce, se debe cumplir con el DS 90/200 (Biblioteca del Congreso Nacional, 2001):

Tabla 8: Multas de la Dirección General de Aguas. Fuente: Gobierno de Chile, 2018.

Tipo Multa	Monto	Aplicaciones
Primer Grado	10 - 50 UTM	No entrega información en forma y oportunidad en las que dispone el Código de Aguas y las resoluciones de la D.G.A.
		El presunto infractor niega injustificadamente el ingreso al predio de Funcionarios de Fiscalización para el cumplimiento de sus labores.

Segundo Grado	51 - 100 UTM	Incumplimiento en la instalación y mantención de sistemas de medición de caudal, volúmenes extraídos, niveles freáticos y de transmisión.
Tercer Grado	101 - 500 UTM	Incumplimiento de la resolución D.G.A. que otorga nuevo plazo para instalación de los sistemas de medición de caudal, volúmenes extraídos, niveles freáticos y de transmisión.
Multas sin sanción específica	10 - 500 UTM	Infracciones que no tengan ninguna sanción específica. Serán sancionadas con una multa cuya cuantía puede variar entre el primer y el tercer grado.

Acerca de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), se busca cumplir con los siguientes puntos:



Figura 11: Objetivos ODS para We H2V. Fuente: Modificación propietaria de imagen de Naciones Unidas, 2023.

El proyecto aborda directamente los puntos 7, 9, 12 y 13, con consecuencias positivas en los puntos 6, 8 y 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles.

#### 5.1.2 ¿Por qué es un problema complejo de resolver con Ingeniería?

La ingeniería se integra en este proyecto, en primer lugar, por la investigación de buscar una problemática relevante en alguna industria, haciendo la evaluación ingenieril completa de un problema y pivotando diferentes situaciones, observando dolores de clientes, impacto, segmentación del mercado e personificando al potencial cliente del problema. Específicamente, conocimientos adquiridos en cursos de taller de ingeniería y las clases de emprendimiento, *StartUp School* y *coachings*.

Luego de hallar el problema relevante, la investigación para entender una posible solución, y sobre elementos industriales necesarios para medir el agua, donde es necesario integrar los conocimientos de químicos y físicos para entender las medidas, como rangos de medición y requisitos de condiciones de los sensores, y poder asociar estos a las diversas condiciones presentes en la faena del hidrógeno verde. Por ejemplo, el hidrógeno al ser el gas más pequeño tiene una alta permeabilidad, lo cual causa que haga daño a sondas o sensores convencionales sin los materiales especializados como platino o zirconio, y el agua ultrapura necesita sensores que no contaminen el agua, y que tenga la sensibilidad suficiente para medir en rangos de conductividad inferiores a  $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ , generalmente basados en materiales cerámicos secretos (Givirovskiy et al., 2019).

Finalmente, luego de la investigación, el diseño de la solución sigue todo el proceso de “diseño de la ingeniería” para asegurar que esta sea eficiente, y efectiva, identificando dentro del problema, los síntomas y sus causas, y buscando la causa más relevante que ayudará a resolver la mayoría de los síntomas. Con esta causa y la investigación anterior, se procede a estudiar el mercado, haciendo un análisis tanto interno como externo de la industria que es muy nueva (lo cual complicó mucho la adquisición de datos económicos), lo que lleva al planteamiento de un modelo de negocios, formulación y evaluación del

proyecto en términos de factibilidad económica. Teniendo todo lo anterior en cuenta, se realizan las pruebas de simulación necesaria para validar la factibilidad técnica y tecnológica de la solución para finalmente proceder al diseño de prototipo de solución usando los conocimientos de las clases y talleres.

#### 5.1.3 ¿Cuál sería la innovación y aporte de la Ingeniería en la solución?

La innovación está en implementar una solución especializada en la cadena de suministro de hidrógeno verde a la plataforma ya existente de We-Techs, la cual sería un fragmento centralizado en la medición de variables para el contexto hidrógeno verde y de procesar los datos. El trabajo realizado aquí es, principalmente, la investigación de la sensorización especializada para ello, y tomar en cuenta las conexiones tanto de hardware como software entre los sensores y la WeApp (Aplicación de We-Techs). Adicionalmente, la investigación del mercado mediante la ingeniería fue de alta relevancia para comprobar que la implementación de la solución y la entrada a esta industria, sean beneficiosas en términos económicos.

Desde un punto de vista externo a We-Techs, como ya se mencionó, actualmente esta industria se encuentra en una etapa completamente inicial y está en desarrollo, por lo tanto, no existen muchas soluciones dedicadas a este ámbito. Si bien, existen empresas que realizan monitoreo de agua para producción de hidrógeno verde y otras que realizan reportabilidad a las autoridades respecto a sus flujos, ninguna abarca ambos campos, lo cual es el foco de este proyecto, haciéndolo tanto innovador para la empresa como para la industria.

## 6 Disección del Problema

El problema consta principalmente en la telemetría de datos, en su ámbito de una implementación eficiente y centralizada para capturar, comunicar, procesar y reportar datos a autoridades, además de la automatización necesaria para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos.

### 6.1 Segmento de Clientes o Usuarios

Para caracterizar al cliente como una persona o un cargo dentro de una empresa, este sería el superintendente de operaciones. Este cumple un rol fundamental en la supervisión y gestión de las operaciones de la planta. Su función consta de diversas responsabilidades, tales como operativas, planificación de recursos, cumplimiento de la normativa, entre otros. Adicionalmente, el superintendente tiene la obligación de reportar al vicepresidente respecto del estado de la planta en general de forma periódica (Indeed, 2023). Teniendo esto en cuenta, El superintendente de la faena sería el cliente que presenta los problemas y necesidades anteriormente descritos y que busca la mejor manera para solucionarlos, en este caso sería a través del servicio “We H2V” que se ha desarrollado a lo largo del semestre. La necesidad que se busca satisfacer es la telemetría de datos con comunicación confiable a organismos legales reguladores, y evitar problemas en la cadena de producción mediante la sensorización y visualización de los datos capturados, más control automático (Según reuniones durante el proyecto).

### 6.2 Perspectiva B2B o B2C o B2B2C u otra.

El proyecto se desarrolla desde una perspectiva B2B (Business to business), ya que, la propuesta de solución se centra en satisfacer las necesidades de empresas dedicadas a la desalación de agua de mar y producción de hidrógeno verde a partir de We-Techs, otra empresa con experiencia en el rubro de la telemetría y gestión de recursos.

### 6.3 Preguntas relevantes para analizar el problema

*¿Cuáles son los desafíos más críticos que enfrentan las plantas productoras de hidrógeno verde?*

La eficiencia en la telemetría y manejo de datos respecto al uso de agua, junto a la automatización y reporte a autoridades. Por otra parte, los altos costos de los electrolizadores y la necesidad de cuidarlos y que funcionen correctamente.

*¿Por qué es importante la telemetría de datos?*

La telemetría de datos cumple un rol fundamental en las operaciones de una planta desaladora y de hidrógeno verde, ya que, informa respecto a los parámetros y variables de diversos fluidos que necesitan estar entre ciertos rangos. Por ejemplo, si la conductividad del agua que ingresa al electrolizador se encuentra sobre  $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ , esta puede provocar fallas en la maquinaria, pero gracias a la telemetría, se pueden tomar decisiones informadas y a tiempo para evitar cualquier problema. Además, existen otro tipo de necesidades que la telemetría puede cumplir como por ejemplo necesidades en torno a la seguridad, producción, regulación y normativa, entre otros.

*¿Qué consecuencias tiene no abordar los problemas?*

Estos problemas costosos son daños al equipo, multas o pérdida de eficiencia y productividad, disminuyendo el potencial desarrollo de esta industria.

(Las respuestas surgen en base a apuntes de las reuniones, charlas y conferencias).

### 6.4 Dolores del Cliente o Usuario

El cliente se puede enfrentar a variaciones en la calidad de agua que entra al sistema, así como los desechos que salen, y buscan evitar los daños que se producen por ello, tanto a los equipos físicos de la planta, como a la productividad económica de esta. Además, la comunicación con los organismos reguladores para cumplir la normativa legal y ambiental, y evitar multas.

#### 6.4.1 Necesidades

- Capturar y procesar datos.
- Telemetría de datos y envío a autoridades.
- Automatización de procesos con respuesta rápida a cambios en las condiciones.
- Que los flujos de agua cumplan los parámetros de calidad necesarios.
- Mantener el electrolizador íntegro y en buen estado.

#### 6.4.2 Fricciones

- El desarrollo de software propietario para capturar y procesar los datos puede ser costoso de implementar y mantener.
- Usar cableado puede ser costoso, ineficiente y propenso a daños y peligros; usar telemetría puede ser difícil de organizar las conexiones, y fallos en estas, pueden causar faltas de datos.
- Se requiere personal entrenado y en el sitio para controlar los sistemas, y es propenso a error humano.
- Si las mediciones se encuentran solo en cada sitio, es difícil coordinar los datos y tener una visión global de ello.

#### 6.4.3 Frustraciones

- Entrenamiento de potencial requiere costos adicionales y más horas-personas.
- Una coordinación y organización de datos deficiente puede conllevar a errores tanto en el sistema, como en decisiones administrativas.
- Recibir multas.
- Que el agua que ingresa el electrolizador no cumpla los estándares de calidad.
- Tener que realizar mantención a equipos o en el peor de los casos reemplazarlos.

### 6.5 Productos o servicios sustitutos

A pesar de ser una industria relativamente nueva, es altamente atractiva gracias al enfoque positivo para el medioambiente que tiene, y también su gran potencial económico y productivo que tiene en Chile, gracias a su terreno que permite el funcionamiento óptimo de muchas alternativas amigables de generación de energía, con el medioambiente, para su almacenamiento en forma de hidrógeno verde.

A continuación, se puede visualizar un cuadro comparativo entre los principales sustitutos identificados en torno al monitoreo y gestión de recursos hídricos. El objetivo de este cuadro comparativo es evaluar si los sustitutos ofrecen o no los principales objetivos del proyecto We H2V y comprobar si existe una diferenciación o no:

Sustituto	Medición Calidad del Agua	Reporte a Autoridades
		
		
		
		
		

Figura 12: Cuadro comparativo sustitutos. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los principales sustitutos, se destacan cinco empresas dedicadas al monitoreo y gestión de recursos hídricos en diversas industrias. En primer lugar, se tiene a Entel Ocean con su software “Elements”, una unidad digital de Entel especializada en la medición y gestión de recursos hídricos, principalmente en la industria agrícola. Sus servicios no se enfocan en la medición de calidad del agua, sino que se centran en el monitoreo de flujos en torno a la agricultura inteligente. Asimismo, poseen la característica de hacer reportes automáticos a las autoridades, debido a que la industria en la que presentan su foco representa una demanda de reportes constantes dada la magnitud del consumo de agua que ésta constituye a nivel nacional y global (Entel Digital, 2022), por lo cual es importante contemplarle como competencia directamente con el proyecto We H2V.

En segundo lugar, se destaca a Simtech, una empresa que atiende a todas aquellas empresas que necesitan monitorear, tratar o mejorar sus aguas. Posee la capacidad de monitorear la calidad del agua, pero no ofrece reportes automáticos a autoridades.

Luego se tiene a Endress + Hauser, una empresa con más de 100 años de experiencia en sensores para la medición de agua. Cuenta con un servicio de monitoreo en desarrollo, el cual ofrece medición de la calidad del agua, pero actualmente de una forma poco robusta (razón por la cual se marca con asterisco en la *Figura 12*). Al igual que la empresa Simtech, no genera reportes a la autoridad.

Continuando, SWAN es una empresa dedicada a la fabricación de sistemas analíticos para la medición de agua. Sus sistemas incluyen la medición de la calidad del agua, sin embargo, no ofrecen realizar reportes.

Finalmente, Xylem, empresa oferente de equipos y servicios en torno al monitoreo y tratamiento de aguas, donde se considera el control de la calidad del agua, pero tampoco hacen reportes a autoridades.

Si bien estamos frente a empresas robustas, con amplia experiencia en tecnologías y servicios de monitoreo y gestión de aguas, ninguna cuenta con un plan de implementación futuro público para la industria del hidrógeno verde. Con esto en mente se puede evidenciar que We-Techs y el proyecto We H2V cuentan con una propuesta de solución diferenciada e innovadora para la industria.

## 6.6 Cuantificación del Problema

- Costo de electrolizador
  - Como ya se mencionó, este equipo corresponde a el 30-40% de la inversión inicial de un proyecto de producción de hidrógeno verde. Dependiendo del tamaño y tipo, es complicado estimar los costos, pero se suele medir por capacidad de producción en kWe (Capacidad eléctrica en kilowatts), y los alcalinos suelen tener costos más bajos. Debido a su alto costo, debe ser usado de forma óptima. Los electrolizadores se suelen vender en “stacks”, piezas modulares con cierta capacidad de producción dependiendo del productor (International Energy Agency, 2023).
  - Alcalino: USD 500 - 1400 / kWe.
  - PEM: USD 1.100 - 1.800 / kWe.
- Mantenimiento del electrolizador (Christensen, 2018).
  - El mantenimiento y reemplazo de partes puede ser costoso debido a la complejidad y valor de los materiales usados, por lo que es deseable minimizar ello, haciendo funcionar el equipo de manera óptima.
  - Se estima que el costo de mantenimiento y reemplazo de piezas vitales como los electrodos o membranas puede estar alrededor del 50% del costo de un electrolizador.
  - La tasa de depreciación lineal de una planta es de 5%.
- Multas
  - Ver Tabla 8 de la sección *Oportunidad*.



## 7 Análisis de White-spots

La industria del hidrógeno verde presenta como problemática la eficiencia de los electrolizadores, específicamente la cantidad de energía que se almacena y recupera en el gas hidrógeno respecto a la energía que se aplica para generarlo. Para ello, existen múltiples proyectos a nivel mundial que buscan constante innovación en ese punto, desde permitir agua potable a incluso agua de mar directamente (Xie et al., 2022).

Por otra parte, si bien la obtención del agua no es un gran problema que destaca en la industria, sí lo es la medición, donde varios de los sistemas actuales que usan, son limitados en términos de flexibilidad, lo cual presenta dificultades a la hora de personalizar el servicio, aplicar automatización, procesar y analizar los datos, y enviar estos a los organismos reguladores.

A continuación, se presenta el análisis de sustitutos en la industria (con algunos adicionales a los anteriormente expuestos debido a que no son sustitutos tan directos), los cuales presentan alternativas para la medición de agua:

### 7.1 Análisis de Entel Ocean

Es un servicio que provee diversas soluciones TI e IoT, donde destaca soluciones de ciberseguridad, parametrización en la minería, y monitoreo de recursos hídricos en la industria agrícola, además ofrece un servicio de reportabilidad a las autoridades para evitar infracciones (Entel Digital, 2023).

- Es un competidor con amplia experiencia, pero no cuenta con la especialización en la implementación para el hidrógeno verde y toda su cadena de valor ni en la medición de variables correspondientes a la calidad del agua.

### 7.2 Análisis de Endress+Hauser

Líderes mundiales en fabricación de sensores para aplicaciones industriales y medición de recursos hídricos, tienen un sistema propietario de manejo de datos, con los sensores de medición de agua, “*Memosens*”, “*Zero Loss*”, “*Clean*” y “*Lean*”, estos como nombre del servicio o producto que ofrecen para mejorar la eficiencia de operación de las plantas (Endress + Hauser, 2023).

- Su sistema propietario de manejo de datos es un punto en contra, al reducir las opciones que se le da al cliente final sobre el uso de sus datos. Además, cuentan con un servicio de telemetría en desarrollo el cual busca medir diversas variables, entre ellas de calidad del agua. Sin embargo, no ofrecen un servicio de reportabilidad a las autoridades.

### 7.3 Análisis de Siemens

Empresa tecnológica centrada en la industria, las infraestructuras, el transporte y la sanidad. Desde fábricas más eficientes en cuanto a recursos, cadenas de suministro resistentes y edificios y redes más inteligentes, hasta un transporte más limpio y confortable, así como una atención sanitaria avanzada (Siemens, 2023).

- Enfoque principalmente a la sanidad del agua para consumo humano más que la telemetría específica para el hidrógeno verde (El agua ultrapura no es apta para consumo humano).

### 7.4 Análisis de Anam

Empresa nacional en el campo de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de recursos hídricos (aguas crudas, potable, residual, marinas), suelos, lodos y residuos peligrosos. Desarrollan servicios en área de diagnóstico y control de olores, la cual realiza monitoreo, análisis y modelación de olores y gases odorantes (Anam, 2023).

- No cuenta con la especialización en hidrógeno verde ni agua ultrapura, sino más bien ofrece análisis biológicos y de saneamiento.

### 7.5 Análisis de Simtech

Empresa que atiende a todas aquellas compañías que buscan monitorear sus aguas sanitarias, agrícolas e industriales. Ofrecen un servicio de telemetría y gestión de datos con experiencia (Simtech, 2023).

- No cuentan con experiencia en hidrógeno verde, además de que no realizan reportes automáticos a autoridades en torno a lo que se exige.

## **7.6 Análisis de SWAN**

Empresa que desarrolla y fabrica sistemas analíticos en línea de alta calidad para la industria del agua. Cuentan con experiencia en la medición de calidad del agua y diversas variables (SWAN, 2023).

- No cuentan con experiencia en hidrógeno verde, además de que no realizan reportes automáticos a autoridades en torno a lo que se exige.

## **8 Objetivos del proyecto**

### **8.1 Objetivo general**

Determinar la factibilidad técnica, tecnológica y económica de We-Techs para adentrarse en el sector de hidrógeno verde, mediante una investigación exhaustiva, la concepción de una propuesta de solución integral y la generación de un prototipo funcional de implementación. Este proceso permitirá evaluar el potencial y los desafíos de la incursión de We-Techs en esta nueva industria, respaldada por una solución tecnológica innovadora y viable económicamente.

### **8.2 Objetivos específicos**

- Evaluar a fondo y en detalle el potencial de mercado de la industria del hidrógeno verde, identificando oportunidades y desafíos.
- Analizar los requisitos técnicos y tecnológicos actuales en la producción de hidrógeno verde, considerando estándares de la industria y avances tecnológicos, e identificar white-spots en el conocimiento y como otras empresas en el sector los cubren, enfocándose en áreas donde We-Techs puede diferenciarse y aportar un valor único.
- Realizar un estudio de caso de negocio detallado, evaluando la viabilidad técnica y económica de la propuesta de solución, aprovechando la experiencia y capacidades actuales de We-Techs, incluyendo su software, para desarrollar una solución tecnológica que aborde de manera integral los desafíos identificados en la industria del hidrógeno verde.
- Construir un prototipo de implementación de la solución, permitiendo pruebas y validaciones para asegurar su eficacia y alineación con los objetivos estratégicos de We-Techs, y comprobar la hipótesis mediante confirmación con expertos y trabajadores de la industria, y expertos académicos.

## 9 Posibles soluciones

Las posibles soluciones para la problemática de una medición completa e integral del agua en todo el proceso han pasado por múltiples iteraciones, y muchas ideas desechadas tras una gran inversión de tiempo en investigación y desarrollo.

La primera solución propuesta consistió en desarrollar un software de inteligencia artificial con un ensamble (combinación) de tres modelos de machine learning:

- “Regresión lineal multivariable: Consiste en obtener un promedio de tendencia de datos que sea representado por una línea recta o ecuación lineal que indique la dirección general de los datos (IBM, 2023).
- “Support Vector Machine”: Mediante un análisis de regresión de datos, se identifican mediante espacios vacíos entre los datos, diferentes agrupaciones de datos con características comunes (MathWorks, 2023).
- “Random Forest”: Utiliza árboles de decisión, donde cada raíz tiene dos hijos que representan diferentes posibilidades, las cuales son binarias o dos, y cada hijo actúa como raíz para otros hijos o ramas. Para el análisis se define la cantidad de ramas que habrá, y los datos pasarán por las ramas donde tengan más probabilidad de pertenecer, hasta ser clasificados (IBM, 2023).
- El ensamble: Combina en base a un peso, las conclusiones de las diferentes inteligencias artificiales para seleccionar la conclusión más probable (Medium, 2017).

El objetivo de esta implementación era predecir cómo los datos de las diferentes variables que se miden en el agua interactúan entre sí, y así poder hacer predicciones de cambios y poder alertar antes de tiempo, y actuar de forma preventiva.

Se concluyó que la predicción de datos puede no ser útil más allá de una simple regresión lineal de una sola variable, ya que las variables presentan alta correlación, y resultaría en mucha redundancia durante el entrenamiento de los datos.

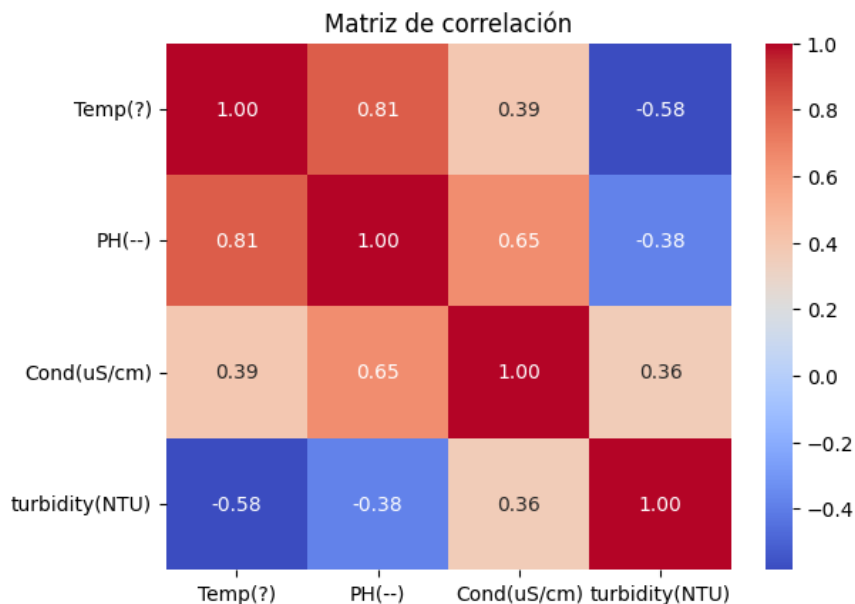


Figura 13: Matriz de correlación de las variables que mide la sonda multiparamétrica de agua. Fuente Elaboración propia.

Se observa que las correlaciones son relativamente alejadas de 0, lo que indica cambios similares entre variables. La matriz de correlación fue hecha con matplotlib, seaborn (gráficos) y sklearn (normalización y entrenamiento de modelos) en Python.

Como otra solución, se postuló la adquisición de equipos de medición de agua ultrapura, y su implementación en un panel de análisis de agua integrado con telemetría hacia We ADQ Pro (El software de captura y envío de datos a la plataforma o nube de We-Techs).



Figura 14: Prototipo de segunda solución. Fuente: Elaboración propia con imágenes de We-Techs.

Sobre esta solución, la cual consiste en un panel de análisis de agua, con los sensores y la computadora (Raspberry Pi) para recibir y enviar los datos, se determinó que el costo de los sensores es demasiado alto, y como algunas plantas de hidrógeno verde ya cuentan con sensores para ello, se decidió generar la última iteración de solución.

Finalmente, se decidió desarrollar una solución que aprovecha los sensores que ya poseen las empresas de hidrógeno verde, adaptando el sistema de software que ya posee We-Techs para capturar los datos de los sensores o sondas, adaptándose a las necesidades del cliente y a los protocolos de conectividad que utilizan. Luego, la conexión con el software de We-Techs podrá capturar los datos, procesarlos, mostrarlos, automatizar decisiones según parámetros definidos por el cliente, y enviar datos a organismos reguladores, todo en el ecosistema centralizado de la “WeApp” a través de la extensión propuesta por el equipo “We H2V”.

## 10 Propuesta de Valor

We H2V ofrece una solución de manejo de datos, robusta, confiable y centralizada, en los reportes asociados a la desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa y producción de hidrógeno verde con agua ultrapura mediante electrólisis, para una prometedora nueva industria que ayudará al desarrollo de la humanidad y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Es decir, a través de la solución se le consolida al cliente la seguridad de cumplir con la normativa y regulación de forma automática, además de entregar de forma continua la dinámica de las operaciones de la empresa, permitiendo al cliente tomar decisiones informadas, optimizar recursos y tener una operación con impacto positivo.

### 10.1 Perspectiva del Cliente o usuario

Como se mencionó en la sección *Diseción del Problema*, el cliente corresponde al ingeniero civil industrial, superintendente de la faena de hidrógeno verde. El cual cuenta con diversos dolores, necesidades y actividades las cuales se podrían abarcar mediante una propuesta de solución:

#### 10.1.1 Dolores

- Uso ineficiente del histórico de datos para su estudio y obtención de conocimiento para tomas de decisiones efectivas.
- Multas por incumplimiento de la normativa de la DGA (Dirección General de Aguas) al faltaren el informe oportuno de los datos.
- Anomalías en el flujo de agua pura que pueden dañar el equipo.
- Fallas en el electrolizador que disminuyen la productividad.
- Tener que dar reportes no satisfactorios al vicepresidente.

#### 10.1.2 Trabajos del cliente o usuario

Los clientes necesitan supervisar constantemente la calidad del agua, informar a organismos reguladores y a la presidencia de la compañía, y garantizar operaciones continuas y eficientes de la planta para su correcto funcionamiento, tanto en la faena como en la economía de la empresa.

#### 10.1.3 Ganancias

- Poder visualizar los datos monitoreados en tiempo real.
- Flujo de agua pura constante.
- Electrolizador íntegro y sin fallas.
- Evitar multas por falta de datos.
- Reducir costos de mantención del equipo.
- Mayor productividad.
- En caso de haber problemas, el equipo de We-Techs se encarga de resolverlos a distancia.

### 10.2 Perspectiva de la solución

#### 10.2.1 Aliviadores de los dolores

- Obtener datos de medición de forma organizada en una plataforma fácil de usar y confiable. Estos datos ayudarán a tomar mejores decisiones sobre la producción.
- Cumplir la normativa regulatoria impuesta por la DGA con reportes diarios automatizados.
- Otorgar un servicio eficiente y constante.
- Mayor productividad manteniendo tiempos de actividad más prolongados gracias a la automatización y al cuidado del equipo.

#### 10.2.2 Creadores de Ganancias

- Equipo con experiencia en telemetría de fluidos.
- Adaptación a equipos del cliente: Ahorra recursos al no tener que comprar más equipamiento del que ya tienen, sino, solo contratar el servicio de software “We H2V”.
- Poder contar con el equipo especializado de We-Techs para abordar las anomalías que se presenten.
- Contar con un sistema que reporte de forma diaria y automatizada las mediciones a las autoridades.
- Solución centralizada en la medición de variables de interés principalmente en torno a la calidad del agua.

### 10.2.3 Solución de Productos y/o Servicios

- We ADQ Pro: Captura los datos de los sensores de agua, y usa telemetría para enviar los datos a la nube de We-Techs.
- We Control: Al adquirir el dato, puede controlar automáticamente los sistemas según estos y los parámetros establecidos.
- We Connect Pro: Conecta los datos adquiridos por telemetría a todo el ecosistema de la We-App. Permite visualizar los datos y enviarlos a los organismos necesarios.
- We H2V: La solución desarrollada en este informe.

### 10.2.4 Fit entre problema y solución

La presencia de un flujo de agua ultrapura que alimente al electrolizador de forma constante es una necesidad primaria. La única forma de asegurar que esto ocurra es a través del monitoreo constante de variables específicas que aseguren que se cumpla con los estándares de calidad requeridos. Por otra parte, los reportes diarios en torno a la extracción de agua de mar y desechos de salmuera es una obligación que las empresas deben cumplir en torno principalmente a la DGA, para esto es que se ofrece un servicio de monitoreo y reporte automatizado para satisfacer estas necesidades.

## 10.3 Test ácido de la Solución

Hay más argumentos a favor que argumentos en contra, y varios argumentos en contra son especulaciones de fallas en el sistema, lo cual es improbable, u errores o problemas por parte del cliente, como falta de infraestructura o fallas en sus sensores (Recordar que la solución trabajada en este proyecto se conecta a los sensores del cliente).

### 10.3.1 Argumentos a favor

- Ayuda a una gestión eficiente del agua para la producción de hidrógeno verde.
- Generar informes de monitoreo.
- Accesibilidad del cliente a datos del monitoreo en tiempo real.
- Mayor aceptación social (ESG) por prevención de desperdicio de agua.
- Recolección de datos multivariantes para corrección de errores y mejor análisis.
- Apoyo de We-Techs con experiencia en sistemas de monitoreo de agua.
- Ventaja competitiva.
- Apoyo en la toma de decisiones del cliente.
- Diversidad de futuros proyectos en desarrollo (futuros clientes).
- Alertas personalizadas al cliente.
- Oportunidad de aprovechar el potencial de Chile en la industria de energías renovables.
- Mantenimiento mínimo de los sensores y equipos electrolizadores (Limpieza + calibración).
- Gestión eficiente de los recursos hídricos.

### 10.3.2 Argumentos en contra

- Industria muy nueva, pero con alta barrera de entrada.
- Múltiples soluciones de inteligencia artificial existentes.
- Resistencia al cambio: Empresas podrían estar bien con lo que ya tienen.
- La importancia en la eficiencia energética es superior a la importancia en eficiencia hídrica.
- Responsabilidad legal por errores en los resultados del sistema de monitoreo.
- Posibles errores de interpretación de datos debido a fallas del sensor del cliente.
- Necesidad de nuevo personal calificado para mantenimiento y operación del sistema de telemetría.
- Complejidad de retro-instalación en sistemas existentes o falta de infraestructura del cliente.

## 10.4 Canvas Propuesta de Valor

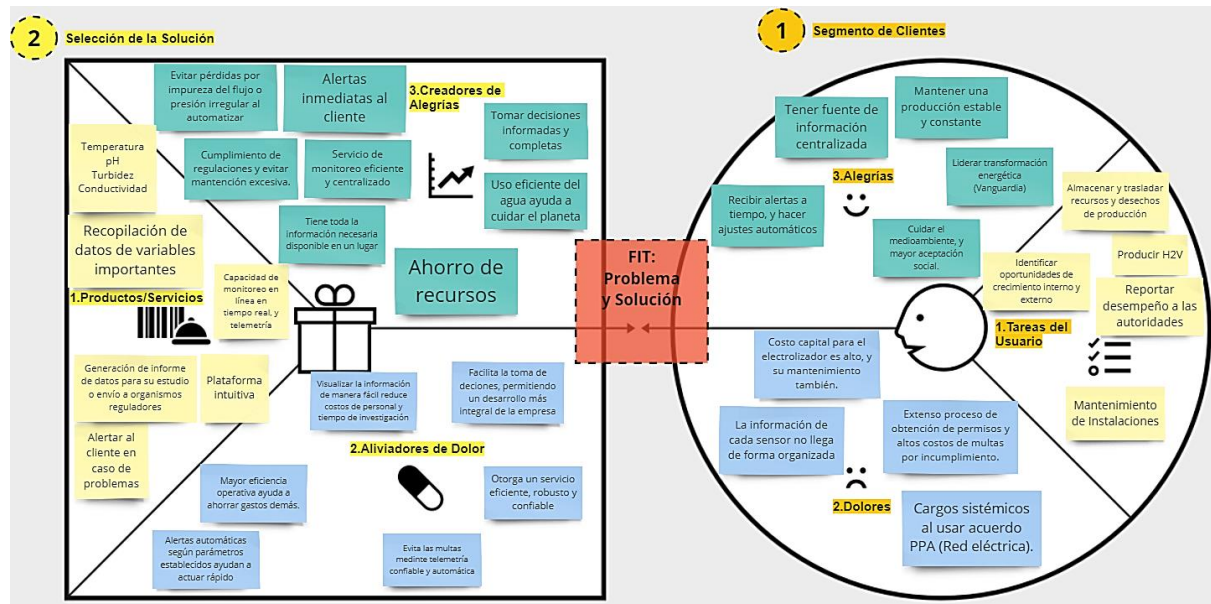


Figura 15: Value Proposition Canvas. Fuente: Elaboración propia usando la plantilla de Strategyzer.



## 11 Hipótesis y validación

Se plantea como hipótesis que la adopción del hidrógeno verde representa una oportunidad estratégica para We-Techs al implementar su servicio de software de telemetría. Se propone que esta integración permitirá mejorar la gestión de fluidos industriales, aumentar la eficiencia en los procesos operativos y optimizar la toma de decisiones por parte de los clientes, generando así un impacto significativo en la industria.

La implementación de medición en puntos específicos de la producción de hidrógeno verde es una necesidad latente, puesto que el escenario actual gira en torno a una industria en sus comienzos, cuya tecnología aún se encuentra con potenciales mejoras y perfeccionamiento.

### 11.1 Diseño de Encuesta o Entrevistas

Para comprobar la hipótesis, se prepararon entrevistas con múltiples expertos en diversas partes de la industria del hidrógeno verde, con el objetivo de informarse y validar diversos temas. Las entrevistas fueron preparadas con preguntas claves para profundizar y garantizar el entendimiento del problema y la solución propuesta. Los actores involucrados en las entrevistas y reuniones son los siguientes:

- Ian Corcoran, Jefe de Proyectos H2V, Agencia de Sostenibilidad Energética.
- Pedro Gibbons, Ingeniero de Desarrollo, HIF Global.
- Cristobal Acevedo, Business Developer, HIF Global y Engie.
- Tomás Godoy, Head of Solutions, Endress + Hauser.
- Juan Pablo Fiedler, Gerente de Hidrógeno Verde, Colbún S.A.
- Francisca Salas, Experta en H2V, New Energy.
- Hania Mihovilovic, Jefa de Proyectos, APC Haura.
- Francisco Belmar, Ingeniero Senior, Angloamerican y Colbún S.A.
- Angel Rubio, Ingeniero de desarrollo Eólico, Solar e Hidrógeno verde, Total Eren.
- Claire Mosser, H2 Project Developer, Total Eren.
- Enrique Cáceres, experto en H2V, H2 Chile y Ministerio de Economía.
- Danilo Jara, Docente de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, UAI
- Cedric Little, Docente de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, UAI

### 11.2 Realización de encuestas o entrevistas

Los expertos y trabajadores elegidos en la industria fueron contactados desde múltiples medios, estos siendo LinkedIn, We-Techs, Universidad Adolfo Ibáñez, asistencia a charlas y conferencias, y contactos adicionales que entregaban durante las reuniones.

A continuación, se presentan las preguntas de validación del problema. No se hacían todas las preguntas a todos los participantes, sino que se hacían las preguntas pertinentes según el conocimiento del participante:

1. Como empresa cercana a la producción de hidrógeno verde, ¿Cuentan con alguna planta desalinizadora o purificadora de aguas, o gestionan ésta a través de terceros (como agua de llave)?
2. Respecto al agua en el proceso de producción, ¿Cuentan con un sistema cerrado o abierto?
  - a. En caso de ser abierto, ¿Tienen estimación alguna de cuánta agua (ya sea purificada o no) se pierde a lo largo del proceso productivo de hidrógeno verde?
3. ¿Qué ocurre con el agua utilizada en la etapa de electrólisis a lo largo de este paso? ¿Y una vez finalizado este proceso? ¿Se reutiliza (sistema cerrado), o se desecha y reemplaza (sistema abierto)?
4. Respecto a la implementación del equipo encargado del proceso productivo del H2V, ¿Se considera en este la sensorización del agua/gas desde el inicio? ¿Qué variables son medidas y con qué propósito?
5. ¿Qué tipo de sensores se están utilizando para medir los fluidos en la producción de H2V? ¿Cuáles son sus principales características?
6. Actualmente, ¿Cómo monitorean el flujo de agua? ¿Hay alguna etapa de mayor énfasis para ello?
7. En lo que se refiere a costos, ¿En qué factor se está yendo mayor parte de la inversión para la producción del H2V?
  - a. Por ejemplo: Dificultad en compatibilizar electrolizadores (ya que, por lo que hemos investigado, hay distintos tipos y cada uno con especificaciones muy diferentes entre sí; otro ejemplo podría ser la implementación y/o mantenimiento de un sistema de monitoreo

del flujo volumétrico de agua y las presiones con las que ésta entra y sale del electrolizador.

- b. Teniendo en cuenta lo anterior, ¿Cómo afecta esto en la escalabilidad de este método de generación energética?
8. En relación con su conocimiento respecto al tema, ¿En cuál etapa del proceso productivo de hidrógeno verde estiman de mayor relevancia monitorear y gestionar el uso de recursos, como el agua y electricidad invertida, a modo de favorecer la participación de este método de producción energético en la industria? Por ejemplo, el flujo que va desde la fuente de agua principal hacia el electrolizador.
9. ¿Qué características debe tener un sensor que monitoree agua de tipo 1?
10. La sensorización, en este caso del agua ¿En qué puntos de la cadena se realizan? ¿Durante y/o después de la desalinizadora? ¿Entre la desalinizadora y el electrolizador? ¿Después del electrolizador? etc.
11. En cuanto al hidrógeno en su estado gaseoso, ¿Qué variables son monitoreadas de este? ¿Cuáles son los químicos involucrados en la salida del hidrógeno desde el electrolizador y su manipulación posterior?
12. ¿Qué tecnologías de telemetría o comunicación se emplean para transmitir los datos recopilados por los sensores a un centro de control o sistema de monitoreo centralizado?
13. En el proceso de almacenamiento y distribución de hidrógeno, ¿qué tecnologías y sensores se emplean para supervisar la presión, temperatura y calidad del hidrógeno almacenado?
14. ¿Cómo se monitorea y controla la producción de hidrógeno de manera eficiente para que se ajuste a la variabilidad de la recepción de agua?
15. Como empresa de hidrógeno verde ¿Cuáles son las principales necesidades, fricciones y frustraciones que presentan?
16. Finalmente, como empresa inserta en la industria en cuestión, ¿Cuáles son los desafíos que hoy en día más destacan en el proceso productivo del hidrógeno verde? ¿Qué aspectos podrían estar jugando un rol en contra de la masificación de este tipo de energía? Esto en contraste con los métodos predominantes que utilizan combustibles fósiles.

Las respuestas a estas preguntas ayudaron a desarrollar el proyecto y se pueden reflejar a lo largo del presente informe.

### 11.3 Validación de la hipótesis

La validación de la hipótesis se hizo con entrevistas para comprobar la investigación y aprender información adicional para mejorar la propuesta establecida. Las reuniones fueron separadas entre reuniones de validación del problema, y validación de la solución propuesta para este, donde a continuación se expondrán los contactos que fueron claves para este proceso y sus principales comentarios:

#### 11.3.1 Validación del problema

- Tomás Godoy, Head of Solutions - Endress + Hauser.
  - “La medición de la conductividad del agua es crítica, pues de no cumplir los niveles requeridos, pueden ocurrir daños irreparables en el electrolizador.”
- Juan Pablo Fiedler, Gerente de Hidrógeno Verde - Colbún S.A.
  - “La calidad del agua es una de las principales variables a medir en función de una producción eficiente.”
- Ian Corcoran, Jefe de Proyectos H2V - Agencia SE.
  - “Los electrolizadores son equipos muy costosos. Suponen la principal inversión del proyecto, por lo tanto, hay que evitar al máximo su deterioro.”
- Pedro Gibbons, Ingeniero de Desarrollo - HIF Global.
  - “Las membranas de los electrolizadores pueden permitir el paso de elementos no deseados al flujo de hidrógeno producido.”

#### 11.3.2 Validación de la solución

- Francisca Salas, Experta en H2V - New Energy.
  - “El proyecto destaca en un mercado global de hidrógeno de baja emisión. Creo que van super bien encaminados y que su solución tendrá un gran impacto en diversos proyectos.”
- Pedro Gibbons, Ingeniero de Desarrollo - HIF Global.

- “La adaptación a nuevas tecnologías y prácticas sostenibles es una visión globalizada para la industria ya que es una solución innovadora. personalmente creo que el foco de su solución está en una necesidad primaria.”
- Enrique Cáceres, experto en H2V - H2 Chile y Ministerio de Economía.
  - “Los aspectos legales de la solución están bien encaminados y se toma en cuenta los aspectos económicos con estimaciones aceptables.”
- Bruno Crovetto, Ingeniero en Minas - DRILLCO.
  - “El proyecto tiene varias aristas de interés, tanto para etapas previas de la osmosis inversa como entre la osmosis inversa y la electrolisis. Al controlar los parámetros se pueden dar alertas tempranas, parando los equipos y cuidando el capital invertido. Cabe destacar que la inversión requerida se justifica cuando la producción es de escala industrial, donde la inversión en celdas electrolíticas y plantas de osmosis es demasiado alta.”
- Jorge Rojas, Full Stack Developer - We-Techs.
  - “La solución que proponen es interesante y podríamos desarrollarla en We-Techs. Además, cuentan con un prototipo simple pero funcional que muestra lo necesario.”

#### **11.4 Aprendizajes y refinamiento de la propuesta de valor**

Los resultados de las encuestas, reuniones, charlas y conferencias fueron muy valiosos para refinar la hipótesis y la propuesta de valor. También con la ayuda de la dirección del curso y las presentaciones “Checkpoint” del proyecto, ayudaron a dirigir la investigación y las preguntas para ayudar a acotar cada vez más el problema, y además, ayudar a desarrollar una mejor solución.

Los principales aprendizajes fueron sobre la necesidad de equipo especializado para la medición de agua ultrapura y de gas hidrógeno, debido a las propiedades especiales que tienen estos. Además, el procedimiento de cómo se adquieren los datos y cómo se comunican a los organismos reguladores, ayudó a entender cómo desarrollar una solución que pueda confrontar todas estas necesidades.

Con todo esto, se puede concluir que la hipótesis es acertada, y que el proyecto es relevante para la industria, y que será de alto valor para We-Techs.

## 12 Diseño Experimental de la solución

### 12.1 Viajes de usuario

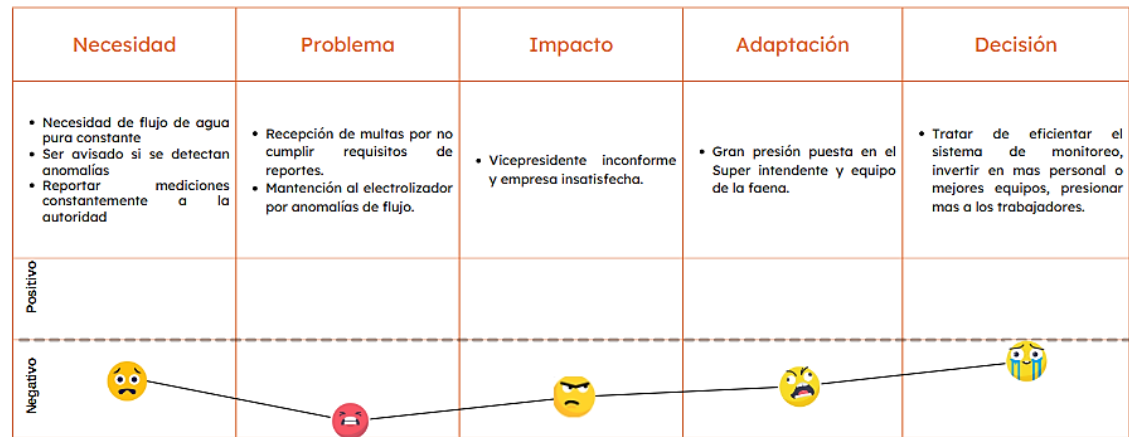


Figura 16: Viaje del Usuario Sin Solución Implementada. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la *Figura 16*, el viaje del usuario inicial, o sea, sin la implementación de la solución, refleja una importante necesidad en torno a un sistema eficiente de monitoreo, gestión y toma de decisiones, además de un sistema robusto de reportes automáticos a la autoridad. En este caso el cliente o usuario como se mencionó anteriormente es el superintendente de la faena de hidrógeno verde, el cual se ve directamente afectado por el problema el cual no solo repercute en él, sino que en toda la empresa.

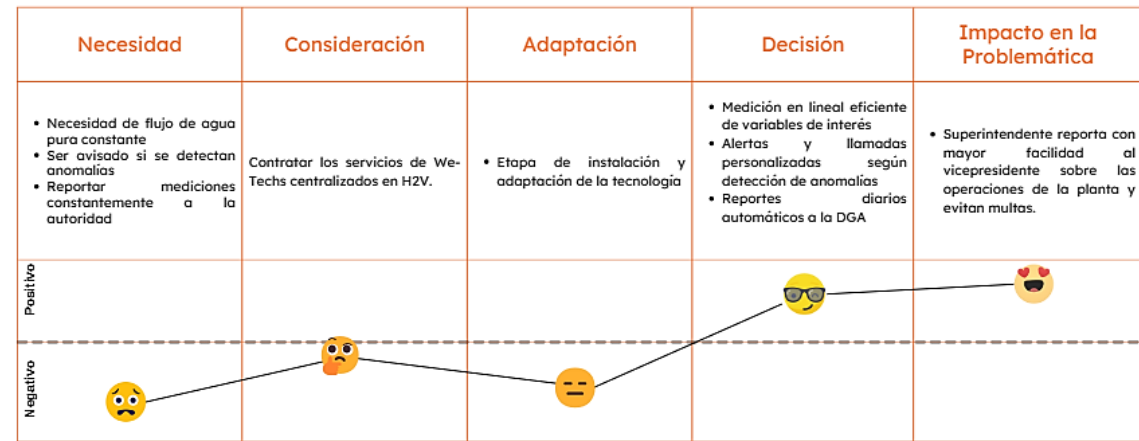


Figura 17: Viaje del Usuario con Solución Implementada. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, el viaje de usuario final, o sea, con la solución propuesta implementada, refleja una clara mejora en cómo el problema afecta al cliente y a la empresa en general. Se puede observar que con el sistema We H2V, las tareas del superintendente se ven facilitadas, ya que, los reportes a autoridades ocurren de forma automática y la medición de variables es realizada mediante un sistema de telemetría robusto y confiable el cual cuenta con apoyo de un equipo experto que ayuda a la gestión y toma de decisiones.

## 12.2 Bocetos de la solución



Figura 18: Boceto de solución. Fuente: Elaboración propia con imágenes de We-Techs.

## 12.3 Mockups de la solución (si es aplicación Web y/o aplicación Móvil)

La solución es una WebApp (Aplicación Web) que puede adquirir datos desde un servidor, ya sea mediante CSV (Similar a Excel), o base de datos SQL (Almacenamiento de datos optimizado para grandes volúmenes y búsqueda rápida y eficiente).

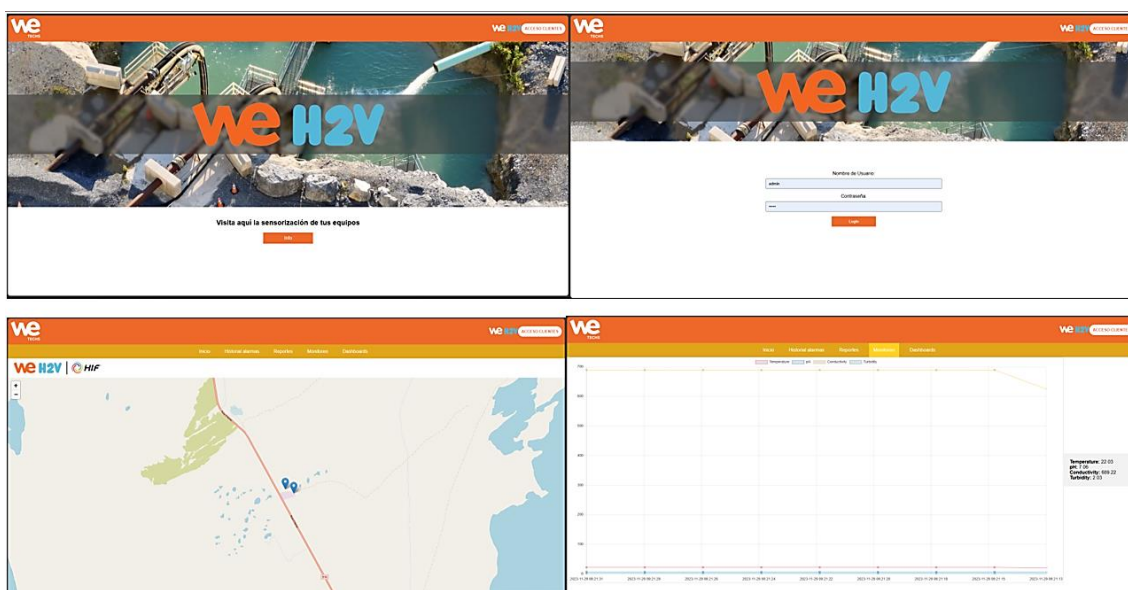


Figura 19: Interfaz de Usuario Gráfica en Mockup WebApp de We H2V. Fuente: Elaboración propia con imágenes de We-Techs.

En este mockup funcional (Prototipo), se encuentran las páginas principales en las que el cliente podrá observar sus datos: Página de inicio, que contiene información; página de inicio de sesión; mapa con la ubicación de las diferentes sondas; y según cada sonda, un gráfico que muestra los últimos datos adquiridos, y un recuadro con el último dato leído. Finalmente, una página de historial de datos que contiene todos los datos del día anterior. Todos los gráficos pueden ser ajustados para mostrar sólo ciertas variables, según la necesidad de observación.

## 12.4 Wireframe de la solución

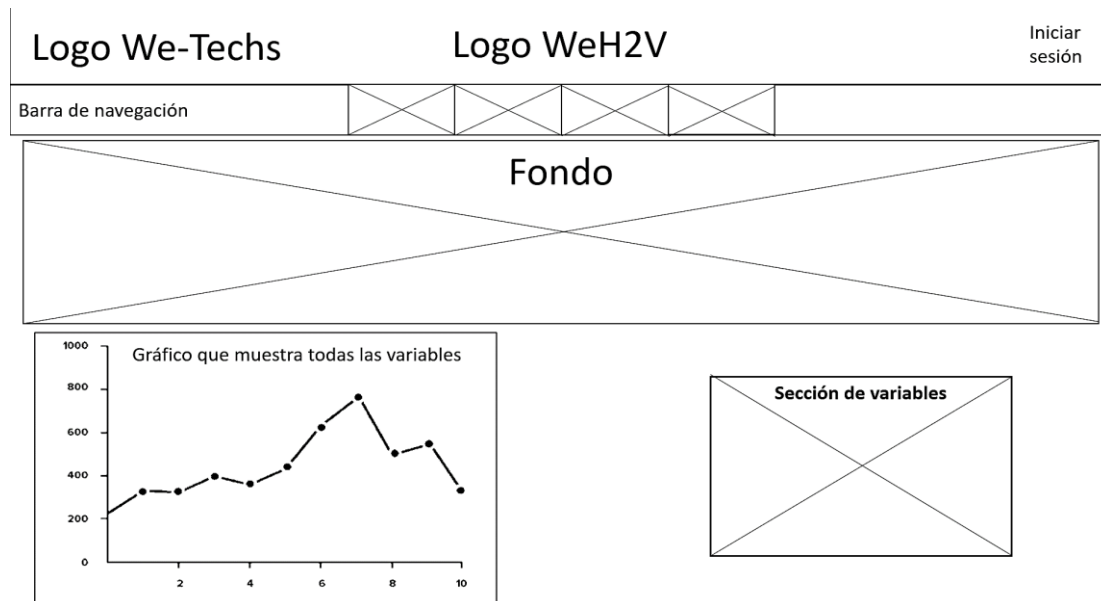


Figura 20: Wireframe de WebApp We H2V. Fuente: Elaboración propia.

## 12.5 Descripción de las tecnologías seleccionadas

- Python 3.12: Lenguaje de programación muy popular y fácil de usar, pero poderoso. Tiene múltiples bibliotecas que son cruciales para el funcionamiento del prototipo (Python, 2023).
  - Numpy: Biblioteca para crear matrices de datos multidimensionales o “data frames” (NumPy, 2023).
  - Pandas: Biblioteca para cargar datos desde archivos como Excel, txt, CSV, etc. (Pandas, 2023).
  - Matplotlib: Biblioteca para generar gráficos de todo tipo, muy flexibles a partir de múltiples variables (Matplotlib, 2023).
  - SciKit Learn: Biblioteca importante de ciencia de datos. Tiene funciones para entrenar diversos modelos de inteligencia artificial, y ajustar los datos de los dataframes, por ejemplo, para su normalización (Ajustar el máximo y mínimo de los datos entre 0 y 1) (Scikit Learn, 2023).
  - Otras bibliotecas: Bibliotecas menores para conectar con las aplicaciones utilizadas, establecer tiempos o pausas, y mostrar más detalles en el sitio web.
- HTML, CSS y JavaScript: Lenguajes de programación para sitios web, permite su funcionamiento para enlazar diferentes páginas (HTML); dar estructura, orden, y estilo (CSS); y dar funcionalidades avanzadas (JavaScript) (Slotnisky & Digitalhouse, 2022).
- Flask: Framework de Python para hacer aplicaciones web e integrar Python con los lenguajes de sitios web y mostrar los datos procesados (Flask, 2010).
- Raspberry Pi: Minicomputador que se conecta al sensor para capturar los datos que lee, y actuar como ancla entre hardware, y la entrada al sistema de software (Raspberry, 2023).
- Google Colab: Entorno colaborativo en la nube de desarrollo en Python mediante una librería Jupyter y otros lenguajes. Permite probar de forma remota datos, y establecer un servidor provisional para que otros miembros del equipo y potenciales clientes puedan acceder mediante un dominio NGrok (Colaboratory, 2023).
- NGrok: Servicio de dominios temporales gratuitos que pueden conectarse a servidores (NGrok, 2023).

## 12.6 Esquema de la Arquitectura de Tecnologías de Información

En la *Figura 21* es posible apreciar el esquema TI construido, el que fue realizado basado en el funcionamiento actual del sistema de We-Techs:

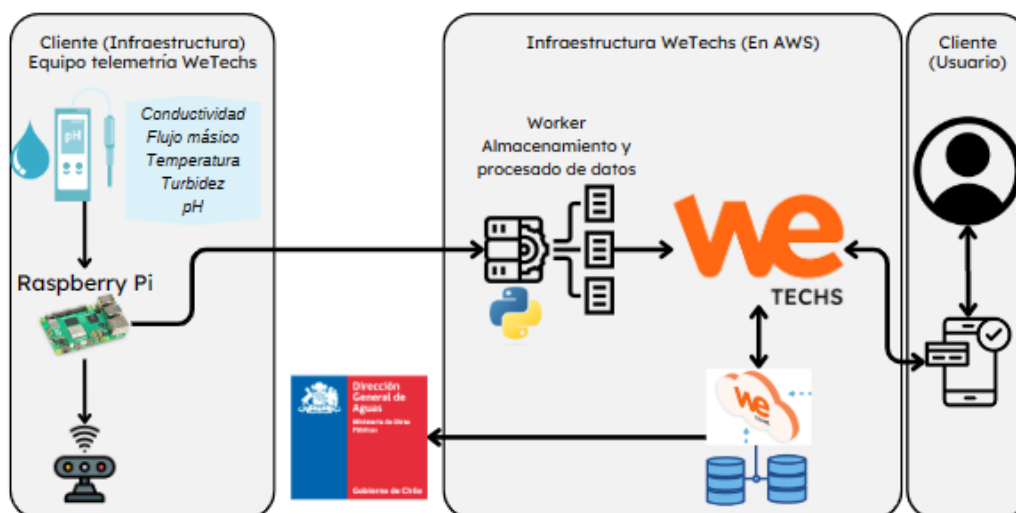


Figura 21: Esquema TI de We H2V. Fuente: Elaboración propia con imágenes de We-Techs y Gobierno de Chile.

El esquema TI se compone de tres secciones diferentes, más una sección exterior. Primero, se tiene inicio con la infraestructura de la planta del cliente, donde se encuentran sus sensores especializados para agua ultrapura, y estos conectados al hardware del equipo de We-Techs operado por una computadora Raspberry Pi, el cual, a su vez, permite automatizar procesos y enviarlos mediante telemetría. Al adquirir los datos del sensor, son enviados a la nube con la infraestructura digital de We-Techs, alojada en Amazon Web Services (AWS), donde se procesan los datos con el “worker”, el cual consiste en el software que procesa los datos. De esta manera, se almacenan en dos bases de datos: Una de producción, que se usa activamente, y otra de respaldo, en caso de que la de producción falle. Los datos se comparten a través del servicio de We-Techs y se envían desde la nube a los organismos reguladores, como la Dirección General de Aguas (DGA). Conjuntamente, los datos son enviados a la última sección del esquema TI, que es el usuario, sus dispositivos y terminales, monitores, etc. El cliente recibe los datos procesados según sus necesidades y donde puede ver las métricas de su empresa según desee, siendo capaz de filtrar en base a periodos de tiempo, diferentes variables, ubicaciones de los sensores, historial de alarmas, reportes recientes sobre el desempeño de sus equipos para procesar el agua, entre otros.

## 13 Prototipo de la solución

El prototipo de la solución consiste en una WebApp con todas las funciones básicas que necesita el cliente para observar sus puntos de medición y los valores y gráficos. Esta sería una extensión de la WeApp centralizada en la medición de variables de interés para la industria.

### 13.1 Implementación del prototipo

Se busca que el prototipo sea implementado dentro de la WebApp existente de We-Techs, la “WeApp”.

La WeApp es el software que ofrece We-Techs para el control y monitoreo centralizado de los sensores y equipos de automatización del cliente.

El prototipo permite ver a las autoridades de We-Techs la factibilidad técnica de implementar software especializado para hidrógeno verde.

### 13.2 Pruebas de Laboratorio



*Figura 22: Entorno de pruebas experimentales. Fuente: Oficinas de We-Techs.*



*Figura 23: Preparando la conexión RS485 a USB de sonda a PC. Fuente: Oficinas de We-Techs.*

Las pruebas del software se realizaron en el laboratorio de We-Techs, donde se encontraba un estanque de agua destilada con colorante para observar fácilmente el flujo y nivel por el sistema.

En primer lugar, se realizaron pruebas con la sonda multiparamétrica “Probest MP301” en seco, o sea, se realizó una medición de variables de interés (conductividad, pH, turbidez y temperatura) sin insertar la sonda en agua. El objetivo de esto fue la adquisición de datos para compararlos con los datos de medición en agua, para comprobar que efectivamente la sonda estaba calibrada y los datos entregados eran reales (Probest, 2023).

Luego se insertó la sonda multiparamétrica en el estanque de la maqueta para probar el funcionamiento del software y la visualización de datos en agua. La sonda usada, si bien no es especializada para agua ultrapura, el software puede adaptarse automáticamente a los parámetros de esta.

El software de recepción de datos “Sensor Management System v2.09.7” recibe los datos mediante una conexión RS485 (Sensor) a USB (Computador), y guarda los datos leídos cada 2 a 3 segundos en un



archivo CSV, donde el software lee el archivo y muestra el gráfico en tiempo real de las mediciones (Analog Devices, 2014).

Los resultados de la simulación fueron satisfactorios los cuales fueron utilizados para la visualización de datos del prototipo.



Figura 24: Momento de inserción de la sonda en el entorno de pruebas. Fuente: Oficinas de We-Techs.

### 13.3 Pruebas en Terreno o con clientes y/o usuarios

Debido a que actualmente en Chile solo existe un proyecto de producción de hidrógeno verde (Haru Oni - HIF Global) el cual se encuentra en la región de Magallanes y que adicionalmente las plantas de hidrógeno son proyectos de muy alto perfil, no es posible acceder a ello aún, pero se espera que mediante los clientes actuales de We-Techs, se consigan nuevos contratos donde se pueda poner a prueba el prototipo.

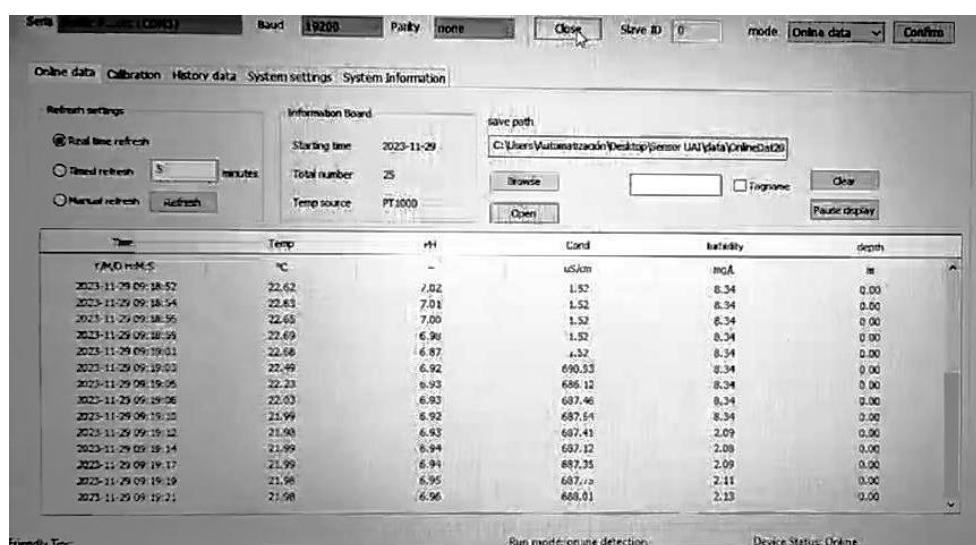


Figura 25: Software de calibración Sensor Management System. Fuente: Fotografía propia.

### 13.4 Validación del prototipo y resultados obtenidos

La validación del prototipo fue dirigida al experto en la industria, el experto técnico y el experto académico. Los contactos que lograron ayudar al equipo para esto fueron los siguientes:

- Felipe Riquelme, Ingeniero en automatización - We-Techs. (Experto Técnico)

“La conexión de los equipos está bien hecha y demuestra una buena preparación. La comunicación con el protocolo es exitosa. Por otra parte, la plataforma que crearon es suficiente para que el cliente pueda visualizar sus datos y tomar decisiones.”

- Dante Poblete, Desarrollador Full-Stack - We-Techs. (Experto Técnico)

“Con el equipo que tienen armado, podrán capturar los datos con el entorno We-Techs y se podrá visualizar en la WeApp correctamente.”

- Pedro Gibbons, Ingeniero de Desarrollo – HIF Global. (Potencial cliente)

"La adaptación a nuevas tecnologías y prácticas sostenibles es una visión globalizada para la industria ya que es una solución innovadora. Personalmente veo su solución y su WebApp con los servicios que describen como una alternativa interesante a considerar."

- Francisca Salas, Experta en H2V - New Energy. (Experta en la industria)

"Lo que me están mostrando se ve súper bien, demuestra correctamente lo que simularon con las pruebas que hicieron. Yo creo que podrían agregar más alternativas en torno a los gráficos, que sean más dinámicos."

- Cedric Little, profesor de la FIC UAI - Ingeniero Civil Industrial, Bioingeniería y Medioambiental. (Experto Académico)

"Se ve todo muy bien, felicitaciones. Creo que es un proyecto muy bien elaborado, con buenas bases y fundamentos. Solo tengo 3 recomendaciones:

1. Estudiar y proponer casos de uso (para qué se puede usar y cómo hacer que la interfaz lo permita)
2. Estudiar la experiencia del usuario (UX) y hacer que la interfaz y funcionalidades brinden una mejor experiencia, por ejemplo, ¿será mejor partir por el mapa o por un dashboard con los indicadores claves que busca la persona cada vez que abre la interfaz? ¿Cuáles indicadores? ¿Qué necesita la persona, qué lecturas tiene, ¿las debo comparar con otras lecturas de otros puntos o con la historia o registros anteriores?
3. Qué productos se pueden obtener/lograr a partir de lo que ya han logrado: alarmas por cambio de comportamiento, salirse de un rango, desconexión. Proponer nuevos puntos de medición, proponer estadísticas específicas por ejemplo comparar lecturas actuales con las del mismo mes del año pasado o con las relativas a lluvias anteriores."

### **13.5 Aprendizajes de la implementación del prototipo**

Si bien, el prototipo es más sencillo que el producto actual de la WeApp, tiene las funciones mínimas para ser considerado un producto mínimo viable (MVP), y demuestra además, la factibilidad de la implementación de este sistema de software a la plataforma de la WeApp.

Al implementar el prototipo, se aprendió sobre la creación y ajustes de software con lectura de datos en tiempo real, y sobre las conexiones tanto físicas como de software que son necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

También poco a poco se fue adquiriendo feedback en torno al contenido y funciones los cuales se fueron implementando y adaptando a la plataforma para llegar al prototipo actual, el cual aún tiene mucho potencial de mejora.

## 14 Modelo de Negocio propuesto

### 14.1 Estrategia

Para un mejor entendimiento de la estrategia y oportunidad que definida para el proyecto y para We-Techs en torno al desarrollo de esta industria, se muestra un “roadmap” con la siguiente cronología de la estrategia del proyecto:

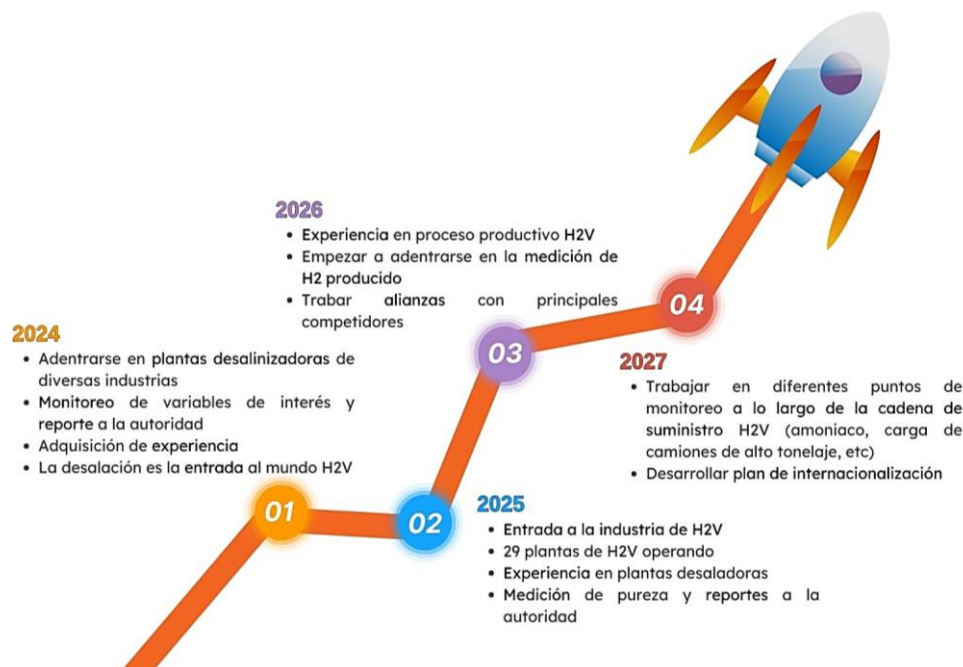


Figura 26: Hoja de ruta de la estrategia y oportunidades del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Cuando se habla de hidrógeno verde hoy en día, se tiene en cuenta que son proyectos en desarrollo que buscan empezar a operar, con proyecciones de varios años. Es por eso que en la hoja de ruta expuesta se busca iniciar el 2024 en proyectos de desalinización en diversas industrias, principalmente la minería, a través de la medición de variables de interés y reportes automáticos a la autoridad. Este año es clave para el desarrollo de We-Techs en esta industria, ya que, la desalinización es el primer paso de la cadena de valor del hidrógeno verde, es por eso que se busca ganar experiencia para facilitar el ingreso directo a las futuras plantas de hidrógeno verde en 2025, donde según proyecciones, se espera que ya estén operando 29 plantas (H2 Chile, 2023).

Este año, We-Techs buscará adentrarse directamente en la medición del agua ultrapura que alimenta al electrolizador, gracias a la investigación, desarrollo y experiencia adquirida en 2024. Para el 2026 el proyecto ya estará formado en su totalidad, y se contará con vasta experiencia en la industria y en la cadena de valor del hidrógeno verde, es por eso por lo que este año se buscará adentrarse no solo en la medición de agua, sino que, en la medición de hidrógeno verde gaseoso, debido a que también es un potencial punto de monitoreo ya que se busca una producción completamente pura. Por otra parte, surge la oportunidad de generar alianzas con los sustitutos identificados para potenciar el desarrollo de la industria.

Finalmente, a partir de 2027, con la presencia en varios proyectos de desalación y producción de hidrógeno verde, We-Techs podría empezar a idear un plan de internacionalización para implementarlo a futuro, ya que se estima que el 2030 será un año de gran potencial para el hidrógeno verde a nivel mundial (Biblioteca del Congreso Nacional, 2023).

Por otra parte, We-Techs tendrá la posibilidad de expandir la propuesta de solución a lo largo de toda la cadena de valor del hidrógeno verde, como por ejemplo la producción de amoníaco o la carga de camiones de alto tonelaje, los cuales son puntos fundamentales como potencial punto de monitoreo. Adicionalmente, con el paso de los años, se busca potenciar el sistema de telemetría y de reportes a la autoridad, adaptándose cada vez más a la industria y al cliente.

## 14.2 Mercado y Segmento de clientes

Actualmente hay una lista de proyectos de plantas de hidrógeno verde reportados para comenzar su planeamiento y/o construcción a partir de 2024. Específicamente, actualmente existe un proyecto en operación, La planta de HIF Global, Haru Oni en Magallanes. Adicionalmente, hay 48 proyectos en desarrollo que a más tardar se proyectan a terminar en 2030. (H2 Chile, 2023).

Los clientes buscan implementar un sistema de medición de alta calidad y confianza en los equipos que ya han calculado. Como algunos electrolizadores se compran junto a los sensores, se puede aprovechar directamente estos equipos para implementarlos al sistema, según la investigación de este informe, y para sensores del proceso de desalación, de ser necesario, también podrán usar el servicio de We H2V.

## 14.3 Monetización e ingresos

El plan de monetización e ingresos se mantendría similar al plan actual de We-Techs, pero ajustando los costos y tiempos de contrato según las fluctuaciones actuales del mercado, y los detalles en el flujo de caja mostrados en la *Figura 27* y *Tabla 9*.

Se espera implementar al menos tres puntos de medición por planta, con un costo mensual de 7 UF por punto de medición, y con la venta e instalación del sistema de telemetría y automatización, se añade alrededor de 219 UF el primer año, con el cliente ligado por un contrato de entre 5 a 10 años. Luego, los ingresos anuales serán alrededor de 225 UF por proyecto (3 puntos de monitoreo por proyecto).

## 14.4 Flujo de caja simple

El flujo de caja expuesto en la *Figura 27* toma el plan de monetización expuesto anteriormente y el modelo de costos expuesto en el apartado 1.14.7. Es importante entender que este flujo toma el caso de implementación de 2 proyectos (a lo largo de todos los años) de empresas mineras que a partir del 2024 parten como desalinizadoras (2 puntos de monitoreo por proyecto). Con el paso de los años estos dos proyectos se van desarrollando, a partir de 2025 se expanden como proyectos de producción de hidrógeno verde (3 puntos de monitoreo por proyecto). Para 2026 los proyectos se encuentran produciendo hidrógeno verde a partir de agua desalinizada pura donde en este año, como se mencionó anteriormente, We-Techs se adentrará en la medición de hidrógeno verde gaseoso producido (4 puntos de monitoreo por proyecto).

Finalmente, desde 2027 estos dos proyectos se espera que crezcan, como es posible apreciar en la *Figura 26*, y estén presentes en la cadena de valor hacia la producción de amoníaco y empezaran a utilizar parte de su hidrógeno verde producido como combustible para camiones de alto tonelaje (7 puntos de monitoreo por proyecto).

Años	2024	2025	2026	2027
Cientes	2	2	2	2
Ingresos anuales por Ventas (UF)	\$ 12.275.424	\$ 18.413.136	\$ 24.550.848	\$ 42.963.984
Ingreso por dispositivos	\$ 16.000.000			
Costos primer año	\$ -39.748.992			
Costos Fijos		\$ -29.592.540	\$ -29.592.540	\$ -29.592.540
Depreciaciones	\$ -280.000	\$ -280.000	\$ -280.000	\$ -280.000
<b>Resultado operacional</b>	<b>\$ -11.753.568</b>	<b>\$ -11.459.404</b>	<b>\$ -5.321.692</b>	<b>\$ 13.091.444</b>
Perdidas de capital				\$ -1.400.000
<b>Resultado no operacional</b>	<b>\$ -11.753.568</b>	<b>\$ -11.459.404</b>	<b>\$ -5.321.692</b>	<b>\$ 11.691.444</b>
Utilidad Antes de Impuestos	\$ -11.753.568	\$ -11.459.404	\$ -5.321.692	\$ 11.691.444
Impuesto (27%)	\$ 3.173.463	\$ 3.094.039	\$ 1.436.857	\$ -3.156.690
<b>UDI</b>	<b>\$ -8.580.105</b>	<b>\$ -8.365.365</b>	<b>\$ -3.884.835</b>	<b>\$ 8.534.754</b>
Depreciaciones	\$ 280.000	\$ 280.000	\$ 280.000	\$ 280.000
Ganancias de capital				\$ 1.400.000
<b>Flujo operacional</b>	<b>\$ -8.300.105</b>	<b>\$ -8.085.365</b>	<b>\$ -3.604.835</b>	<b>\$ 10.214.754</b>
Inversion	\$ -2.800.000			
<b>Flujo de capitales</b>	<b>\$ -2.800.000</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
<b>Flujo de caja</b>	<b>\$ -11.100.105</b>	<b>\$ -8.085.365</b>	<b>\$ -3.604.835</b>	<b>\$ 10.214.754</b>

Figura 27: Captura Flujo de Caja Simple en Excel. Fuente: Elaboración propia.

Del flujo de caja podemos concluir que para 2027 con dos proyectos de producción de hidrógeno verde con desalinizadora y en total contando con 14 puntos de monitoreo (7 cada uno en 2027), el proyecto sería rentable ya que se empezaran a generar retornos constantemente. A partir de este punto si es que We-Techs se adentra en cada vez más proyectos en diversos puntos, el proyecto generaría cada vez más ingresos ya que independiente de la cantidad de clientes o proyectos, se asume que los costos de personal y mantención son los mismos, y los costos iniciales por proyecto no son realmente significativos en comparación a las ganancias con la adición de más puntos de monitoreo. En caso de que los costos de personal y mantención aumenten con el paso del tiempo, el impacto tampoco sería significativo al mantener mas de 14 puntos de monitoreo mensual con el paso de los años. Adicionalmente las ganancias por punto también es un valor que puede aumentar.

Para el cálculo de la depreciación, pérdida de capital y capital de trabajo, se realizó una planilla a parte, la cual se puede observar en la *Tabla 9*, donde la única inversión presente que cuente realmente con una vida útil serán los paneles de telemetría y control, los cuales tienen una vida útil aproximada de 10 años. A partir de esto y los costos implicados en su creación se calcularon los factores de interés. Cabe destacar que no se tomó en cuenta un valor residual debido a que luego de la instalación, los paneles corresponden al cliente, por lo tanto, no es un valor relevante para We-Techs:

Tabla 9: Planilla de Cálculos. Fuente: Elaboración propia.

Activo	Inversión	Vida útil	Depreciación/Año	Valor libro/Año 4
Panel telemetría	\$ 1.200.000	10	\$ 120.000	\$ 720.000
Panel Control	\$ 1.600.000	10	\$ 160.000	\$ 960.000
Total	\$ 2.800.000		\$ 280.000	\$ 1.680.000

Ganancia/pérdida de capital	\$ -1.680.000	(VR-VL)
Capital de trabajo	\$ 5.000.000	

El costo de adquisición del cliente (COCA, por sus siglas en inglés) representa el costo que implica a la empresa conseguir que un cliente compre o adquiera su servicio. El cálculo de este se hizo a partir de los costos de implementación dividido la cantidad de clientes estimados:

Tabla 10: Cálculo COCA. Fuente: Elaboración propia.

<b>COCA</b>	<b>\$ 2.167.500</b>
Costos de implementación	\$ 34.680.000
Cientes estimados	16

El Lifetime Value (LTV) representa la estimación del beneficio que equivaldría un cliente para el proyecto a lo largo de todo el periodo de duración del contrato (5-10 años). Para calcularlo se multiplicó la ganancia mensual por la duración en años del contrato por la cantidad de meses en un año:

Tabla 11: Cálculo LTV. Fuente: Elaboración propia.

<b>LTV</b>	<b>\$ 61.377.120</b>
Ganancia mensual	\$ 1.022.952
Contrato en años	5
Meses	12

Los supuestos planteados para la formación del modelo de negocios y flujo de caja son los siguientes:

- Se asume el caso de dos clientes que parten como planta desalinizadora y con el paso de los años se expande a un proyecto de producción de H2V completo.
- 7 UF por punto de monitoreo
- La UF se mantiene a \$36.534
- Todos los proyectos funcionan de forma similar, con un electrolizador.
- Los clientes invertirán en ambos paneles, de telemetría y control.
- El costo de instalación se aproxima a \$1.500.000
- El costo de mantención de plataforma de aproxima a \$800.000
- La tasa de impuestos es del 27%
- El cálculo del COCA se hizo a partir del supuesto de que para 2027 se tendrán 16 clientes.
- We-Techs no ofrece mantenimiento a los equipos que implementa, por lo tanto, no es un costo.

## 14.5 Canvas del Modelo de Negocio

<b>Socios Clave</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proveedores de instrumentación</li> <li>• Empresas con proyectos de producción H2V futuros</li> </ul>	<b>Actividades Clave</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección de anomalías en los flujos</li> <li>• Monitoreo preciso y entrega de datos certeros y telemetría</li> <li>• Reportes automáticos diarios</li> </ul> <b>Recursos Clave</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tableros de operación de We-Techs</li> <li>• We App, equipo especializado, software We</li> </ul>	<b>Propuesta de Valor</b> <p>Solución de manejo de datos robusta, confiable y centralizada en reportes diarios a autoridades y monitoreo en producción de H2V para una nueva industria</p>	<b>Relaciones con Cliente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo en línea, apoyo en la operación y en toma de decisiones</li> <li>• Alarmas personalizadas.</li> <li>• Reportes automáticos a autoridades</li> </ul> <b>Canales</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Charlas y seminarios</li> <li>• LinkedIn</li> <li>• Sitio Web y revistas técnicas.</li> <li>• Anuncios &amp; E-Mail marketing</li> </ul>	<b>Segmento Clientes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantas productoras de H2V</li> <li>• Futuros proyectos de H2R</li> <li>• Plantas desaladoras</li> </ul>
<b>Estructura de Costos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de paneles telemetría y control ≈ 74 UF (Costo fijo)</li> <li>• Mantenimiento anual de plataforma ≈ 22 UF (Costo fijo)</li> <li>• Viajes a terreno (Pasajes, transporte, alojamiento, etc) ≈ 21 UF</li> <li>• Instalación ≈ 41 UF</li> <li>• Personal (33 UF X 2 personas) ≈ 792 UF anual</li> </ul>		<b>Fuente de Ingresos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 puntos de medición por planta (desalación y agua para producción)</li> <li>• 7 UF por punto de medición ≈ 21 UF mensual por proyecto.</li> <li>• venta e Instalación de paneles de telemetría y control ≈ 219 UF por planta</li> <li>• Cliente ligado por 10 años</li> <li>• Total primer año ≈ 471 UF</li> <li>• Total anual después de primer año ≈ 252 UF</li> </ul>		

Figura 28: Canvas propuesta de modelo de negocio. Fuente: Elaboración propia.

## 14.6 Plan de implementación propuesto posterior a este proyecto

Como se mencionó en la hoja de ruta, el plan de implementación parte al inicio de la cadena de valor del hidrógeno verde, es decir, en las desalinizadoras. Posteriormente, una vez adquirida la experiencia y conocimientos del primer año, el proyecto se adentrará en la medición de hidrógeno gaseoso. Finalmente, a partir de 2027 en adelante se proyecta que We-Techs tendrá las capacidades de expandirse al resto de la cadena de valor como lo sería la producción de amoníaco y/o la carga de camiones de alto tonelaje como se mencionó anteriormente. Adicionalmente, como se mencionó con anterioridad, con el paso de los años diversos proyectos en portafolio iniciaran sus operaciones, dando la posibilidad de generar relaciones con nuevos clientes en el tiempo.

Este proyecto propiamente tal no se ha enfocado concretamente en la medición del gas H<sub>2</sub> ni en el resto de la cadena de valor debido a las razones antes mencionadas donde es un gas altamente corrosivo y destructivo, que requiere equipamiento adicional. Aun así, se espera que el software de We H<sub>2</sub>V se pueda adaptar de forma efectiva con el paso de los años y la adquisición de experiencia y clientes para poder medir los sensibles parámetros del gas y otros potenciales elementos.

## 14.7 Inversión requerida para el plan de implementación

La implementación del modelo en We-Techs requiere nuevo personal especializado en el área de monitoreo y TI para mantener el nuevo apartado de software, y ofrecer asistencia en el arreglo de errores, e implementar nuevas sugerencias para mejorar el funcionamiento del sistema. Cabe destacar que los empleados recibirán una inducción y entrenamiento para la ir a terreno, instalar equipos necesarios, asesorar al cliente y resolver dudas, entre otros aspectos.

La mantención de la plataforma y software y de los dos empleados que se tienen considerados para el área TI de We H<sub>2</sub>V se estima en \$29.000.000 anuales (\$1.200.000 mensual a cada empleado y mantención anual de \$800.000), lo cual se traduce en 810 UF (valor actual del UF: \$36.534)

La inversión necesaria para la creación de equipos, o sea, los paneles de telemetría, control y todo el apartado de hardware que esto conlleva tiene un costo de \$1.200.000 para el panel de telemetría y de \$1.600.000 para el panel de control (77 UF en total) (Datos otorgados por We-Techs).

Se estima que los costos de instalación de los equipos y paneles en terreno implicarán un costo aproximado de \$1.500.000 (41 UF) (En base a los costos actuales de We-Techs).

Finalmente, los costos relacionados a todo lo que corresponde la ida a terreno relacionada a un proyecto, lo cual implicaría viaje ida y vuelta en avión (\$200.000 en Sky Airlines), Traslado (dos viajes: \$80.000), Alojamiento (3 días: \$200.000) y Transporte en terreno (arriendo de vehículo todoterreno por tres días: \$300.000), tendría un costo aproximado de \$780.000 (21 UF).

En la *Tabla 12*, se expone un modelo de costos estimados para la implementación de la solución y prototipo por proyecto o cliente para tener un mayor entendimiento (Los datos fueron proporcionados por la empresa y estimados a partir de diversas fuentes):

Tabla 12: Estimación de costos de implementación por proyecto. Fuente: Elaboración propia.

<b>Costos por proyecto We-Techs</b>	
Panel de Telemetría	\$ 1.200.000
Panel We Control	\$ 1.600.000
Personal (2 encargados del área de monitoreo H2V)	\$ 2.400.000
Instalación	\$ 1.500.000
Mantenición de plataforma	\$ 800.000
Viajes a terreno, implica:	
Viaje ida y vuelta en avión (Sky Airlines)	\$ 200.000
Traslado (2 viajes)	\$ 80.000
Alojamiento (3 días)	\$ 200.000
Transporte (Arriendo de vehículo 3 días)	\$ 300.000
Total viajes a terreno	\$ 780.000
Costos operacionales año 0	50%
Costos operacionales anual	30%
<b>TOTAL COSTOS POR PROYECTO PRIMER AÑO</b>	<b>\$ 34.680.000</b>
<b>TOTAL COSTOS POR PROYECTO PRIMER AÑO EN UF</b>	<b>949</b>
<b>Costos anuales después del primer año en UF</b>	<b>810</b>



## 15 Resultados

Los resultados expuestos a continuación corresponden al conjunto de etapas realizadas a lo largo del proyecto: investigación, validaciones, idea de solución, pruebas y simulación de laboratorio y prototipo.

### 15.1 Principales resultados del Proyecto

Los resultados en torno a la investigación de la industria y el problema fueron satisfactorios, como se expuso anteriormente, diversos actores validaron gratamente el progreso logrado. Con esto presente se propuso la idea de solución ya mencionada la cual también fue validada por diversos expertos y aprobada por We-Techs. Con estas dos partes ya validadas y habiendo implementado el feedback correspondiente, se procedió a realizar las pruebas y simulaciones necesarias las cuales también fueron validadas técnica y tecnológicamente. Los resultados de las pruebas fueron fundamentales para proceder a crear el prototipo WebApp de We H2V, ya que los datos almacenados de las pruebas se utilizaron para reflejar como funcionaria la plataforma, exponiendo los datos y gráficos correspondientes a la necesidad del cliente. Una vez realizado el prototipo este también fue validado satisfactoriamente por expertos técnicos y académicos, lo cual evidencia que tiene potencial para que We-Techs lo implemente a su actual plataforma para un futuro ingreso en esta industria.

En términos del modelo de negocios y flujo de caja, según cálculos y estimaciones, los resultados son satisfactorios, ya que con tan solo 14 puntos de monitoreo (7 UF por punto) se obtendrán flujos positivos los cuales aumentarán con la participación en nuevos proyectos, a diferencia de los costos en el caso de que la mantención a plataforma y los sueldos se mantienen igual (lo cual es poco probable pero no impactaría de forma significativa si se suman a más proyecto). Igualmente, para la creación del modelo de negocios y flujo de caja se siguió el consejo del Director Financiero (CFO) de We-Techs.

Como se mencionó anteriormente, la implementación del prototipo hoy en día en un escenario real es prácticamente imposible debido a que estamos frente a una industria en desarrollo la cual actualmente es insignificante a nivel nacional, y como ya se mencionó, hoy en día se encuentra operando solo una planta de producción de hidrógeno verde en Magallanes, a la cual no es posible acceder debido a la magnitud del asunto entre otros factores. Sin embargo, a partir del 2024 se espera que ya estén operando más de 10 proyectos en Chile, y para 2030 se estima que estarán operando aproximadamente 49 plantas. Por lo tanto, en un futuro cercano se espera poder probar el prototipo en terreno siguiendo los protocolos y acuerdos correspondientes para la evaluación de su eficiencia y resultados.

### 15.2 Métricas y KPI's del Proyecto

Según los objetivos específicos establecidos, se listan nuevamente, junto a su KPI y valor necesario de este.

Evaluar a fondo y en detalle el potencial de mercado de la industria del hidrógeno verde, identificando oportunidades y desafíos.

- KPI: *Potencial de Mercado* ( $\geq 70\%$ ) =  $\frac{Oportunidades + Desafíos + White - Spots}{Total\ de\ puntos} \cdot 100$

Analizar los requisitos técnicos y tecnológicos actuales en la producción de hidrógeno verde, considerando estándares de la industria y avances tecnológicos, e identificar white-spots en el conocimiento y como otras empresas en el sector los cubren, enfocándose en áreas donde We-Techs puede diferenciarse y aportar un valor único.

- KPI: *Nuevo valor* ( $\geq 70\%$ ) =  $\frac{White - Spots\ que\ We - Techs\ cubre}{\sum White - Spots\ que\ We - Techs\ cubre + otras\ industrias} \cdot 100$

Realizar un estudio de caso de negocio detallado, evaluando la viabilidad técnica y económica de la propuesta de solución, aprovechando la experiencia y capacidades actuales de We-Techs, incluyendo su software, para desarrollar una solución tecnológica que aborde de manera integral los desafíos identificados en la industria del hidrógeno verde.

- KPI: *Viabilidad total* ( $\geq 70\%$ ) =  $\frac{Viabilidad\ técnica + Viabilidad\ económica}{\sum Capacidades\ técnicas\ de\ We - Techs} \cdot 100$ 
  - *Viabilidad técnica* =  $\frac{\sum Capacidades\ técnicas\ de\ We - Techs}{100}$
  - *Viabilidad económica* =  $\frac{(\sum Capacidades\ económicas\ de\ We - Techs)}{Potencial\ de\ Mercado}$

Construir un prototipo de implementación de la solución, permitiendo pruebas y validaciones para asegurar su eficacia y alineación con los objetivos estratégicos de We-Techs, y comprobar la hipótesis mediante confirmación con expertos y trabajadores de la industria, y expertos académicos.

- KPI: *Tasa de éxito* ( $\geq 80\%$ ) =  $\frac{\text{Pruebas de laboratorio exitosas}}{\text{Total pruebas} \cdot 100}$ 
  - Considerar el total de pruebas como  $\sum \text{pruebas}_{\text{exitosas}} + \text{pruebas}_{\text{fallidas}}$ .

Los valores de 70% y 80% fueron definidos en base a la investigación del proyecto, y por simulaciones de los cálculos.

### 15.3 Validación de Resultados con experto académico

Cedric Little, profesor de la FIC UAI - Ingeniero Civil Industrial, Bioingeniería y Medioambiental

- “Creo que es un proyecto muy bien elaborado, con buenas bases y fundamentos.”

### 15.4 Validación de Resultados con experto de la industria

Enrique Cáceres, experto en H2V - H2 Chile y Ministerio de Economía.

- “El potencial de este proyecto es grande, sobre todo considerando el potencial que Chile tiene en la industria de las energías renovables. Es muy importante aprovechar este potencial en este país, al ofrecer grandes oportunidades de crecimiento económico y reducción de las emisiones de carbono. En términos técnicos, la investigación de la economía está bien, y la estimación de los LCOH (Costo nivelado de hidrógeno) son correctos. Finalmente, la solución parece una buena idea, y es un muy buen proyecto para ayudar a desarrollar el área del hidrógeno verde que tiene una gran historia de éxitos y fracasos, donde este proyecto podría ser un éxito.”

Francisca Salas, Experta en H2V - New Energy.

- “Es súper bueno el desarrollo de proyectos como este, les va a ir increíble. Considero que es importante enfatizar que grandes potencias del mundo convinieron que el hidrógeno de baja emisión es la alternativa viable para descarbonizar las grandes industrias. Prueba de esto es cómo la Comisión Europea lanzó un banco de hidrógeno con billones de euros, así como EE.UU. y Japón han fomentado también el desarrollo de bancos de hidrógeno; esto hace que Chile, país con un potencial de energía renovable a muy bajo costo y de muy alta calidad, sea un perfecto mercado para el hidrógeno verde, el cual necesita tecnología muy sofisticada para cumplir con los niveles de calidad. En el fondo, lo que ustedes han investigado y desarrollado viene a garantizar que esta calidad sea efectiva, impactando positivamente no solo en la industria, sino que también en aspectos como la crisis hídrica que sufrimos a nivel país.”

## 16 Lecciones aprendidas

Cada día a lo largo de este semestre ha sido un gran desafío. El primer desafío que se enfrentó como grupo fue forjar una idea para el proyecto; se descharon varias ideas en un inicio hasta que se llegó, finalmente, a este proyecto en conjunto con el apoyo del profesor guía, Ricardo Seguel.

La identificación de un problema relevante fue probablemente la principal frustración y obstáculo que presentó el equipo. Cada día fue un constante pivoteo en todo el progreso del proyecto, lo cual era una desmotivación constante, pero a la vez, una adquisición de aprendizaje que a futuro daría frutos.

Al estar frente a una industria completamente desconocida y casi inexistente, con proyectos en desarrollo y de gran magnitud, el equipo se vio abrumado en torno a la adquisición de información específica y contactos, pese a lo anterior, se consiguió salir adelante.

El trabajo en equipo no fue un problema menor, casi la mitad del semestre académico hubo desorganización, disputas y frustraciones en el equipo, es más, hubo un periodo de incertidumbre de si el equipo se disolvió o no. Sin embargo, luego de importantes reflexiones y conversaciones el equipo logró determinar un plan de trabajo y organización que dio frutos.

Las expectativas en torno al proyecto y a lo que representa Startup School eran gigantescas. No tardaron en decaer y finalmente saber que el mayor peso no eran las expectativas que tenía el equipo respecto al proyecto, sino que las expectativas que tenían los relacionados en torno al equipo, lo cual fue un peso constante, pero a la vez motivación para generar un buen proyecto.

Este proyecto ha proporcionado un aprendizaje enorme al equipo en torno a una grandísima variedad de temas, herramientas y experiencias. A pesar de que el camino fue tremendamente arduo, e independiente de lo que venga más adelante, la experiencia y conocimientos adquiridos día a día a lo largo de este proyecto son invaluable para el futuro desarrollo profesional del equipo.

## 17 Conclusiones

Al inicio de las actividades del proceso Startup School, había mucha incertidumbre sobre qué problemática abordar, y luego de varias reuniones e ideas descartadas, con ayuda del profesor guía, se comenzó a trabajar sobre la entrada de la empresa We-Techs a la industria del hidrógeno verde.

Los objetivos del proyecto se han cumplido, y la hipótesis fue comprobada positivamente.

La factibilidad técnica, tecnológica y económica de We-Techs para adentrarse en el sector de hidrógeno verde es positiva, pues la investigación de la industria y el mercado ha demostrado ser muy prometedora para el futuro, y múltiples fuentes indican que tendrá un crecimiento exponencial. Además, al ser una industria naciente, es altamente valioso adentrarse en esta como los early adopters de la tecnología de parametrización y medición del proceso de generación de hidrógeno verde, en el área IIoT.

Los white-spots que cubren otras empresas o sustitutos no llegan a cubrir todo lo que el proyecto We H2V ofrece, al ser este una solución más completa, robusta y centralizada para la medición, procesamiento de datos, automatización de procesos y envío de parámetros a los organismos gubernamentales para cumplir con la normativa, lo cual corresponde a una importante diferenciación.

Para el desarrollo del proyecto, se hizo pivoteo entre varias opciones de problemáticas específicas, entre medición de la electricidad, la cual se escapa de las capacidades técnicas de la empresa, hasta la medición del gas hidrógeno, el cual, presentaba un desafío técnico alto, a pesar de que We-Techs ya tiene experiencia en medición de gases, este gas tiene características muy diferentes a las de un gas convencional, por lo que se terminó optando por la medición de agua ultrapura.

La construcción del prototipo inició como un algoritmo de “*machine learning*” para hacer regresión lineal de los datos que se leían por parte de la sonda. Para el mockup, se generaron datos al azar en un dataframe para simular la entrada de datos. Finalmente, el prototipo cambió a sólo mostrar los datos actuales e históricos con mediciones reales en el laboratorio de We-Techs, donde se diseñó además una WebApp donde mostrar los datos y hacer un sistema de inicio de sesión.

Respecto a la validación del prototipo, fue exitosa, con varios expertos y trabajadores de la empresa aprobando su funcionalidad actual.

El potencial impacto a la industria de la implementación de este proyecto ayudaría a hacer los procesos de las empresas más eficientes, mejorando su productividad y reduciendo costos al prevenir daños en los sistemas, haciendo ajustes automáticos según las mediciones de los sensores, y los parámetros establecidos por la empresa. Adicionalmente, permitirá comunicar de forma efectiva y centralizada todos los datos medidos, y poder ordenarlos o mostrarlos según las necesidades ya sea de tiempo, ubicación u otros filtros que ofrece la WebApp. Finalmente, la comunicación con entidades legales permitirá evitar multas y garantiza el funcionamiento correcto y transparente de la industria.

## 18 Autores



Hipster: Valentina Sotomayor

Estudiante de Quinto Año en Ingeniería Civil Industrial con Mención en Ciencia de Datos de la Universidad Adolfo Ibáñez.

Cuenta con experiencia impartiendo clases como ayudante de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, así como también en el Departamento de Liderazgo de la universidad. Además, es integrante de grupos organizados como Visionarios y FantásTICas, organizaciones en las que ha participado de diferentes actividades con foco en el desarrollo de herramientas y crecimiento de la comunidad dentro y fuera de la institución, así como también en el fomento de la participación femenina en las ingenierías.



Hacker: Andrés Bravo

Bioingeniero y minor en data science en Universidad Adolfo Ibáñez.

Amor por la ciencia, la tecnología, y la computación. Busca combinar estos conocimientos para desarrollar mejores y más creativas soluciones.

Cuenta con experiencia en Python, Full-Stack Dev, uso de herramientas de mecánica, investigación científica, impartiendo clases de programación a niños, y manteniendo un servidor de un videojuego de enfoque técnico, desde la ciberseguridad, a la eficiencia del funcionamiento.

Hobbies: Tocar el piano y jugar videojuegos de ingeniería.



Hustler: Gerónimo Spondelli

Bioingeniero con mención en medio ambiente en Universidad Adolfo Ibáñez.

Cuenta con experiencia en Investigación científica de información primaria, generación de informes de investigación, desarrollo de proyectos y desarrollo de un taller de investigación dirigida en torno a la simulación de microgravedad.



Profesor Guía: Ricardo Seguel Pérez

Ricardo Seguel es Matemático con doble mención en Estadística y Computación, y Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtuvo su Ph.D. en Information Systems en la Facultad de Ingeniería Industrial e Innovación de la Eindhoven University of Technology, Holanda.

Ricardo es profesor de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez y Director Ejecutivo del Startup School. Además, es Director Académico del Magíster en Ciberseguridad y Director Académico del Diplomado en Transformación Digital. Cuenta con más de 20 años de experiencia profesional, investigación y desarrollo de soluciones de alta tecnología y estado del arte, y Startups digitales.

## 19 Bibliografía

- Abdalla, A. M., Hossain, S., Nisfindy, O. B., Azad, A. T., Dawood, M., & Azad, A. K. (1 de Junio de 2018). Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review. *Elsevier*, 165, 602-627. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890418303170>
- Analog Devices. (2014). *Full Guide to Serial Communication Protocol and Our RS-485*. Obtenido de Analog Devices: <https://www.analog.com/en/technical-articles/full-guide-to-serial-communication-protocol-and-our-rs485.html>
- Anam. (2023). *Nosotros*. Obtenido de Anam: <https://www.anam.cl/>
- Ariema. (4 de Diciembre de 2019). *Producción de Hidrógeno Verde a partir de Agua*. Obtenido de Ariema: <https://www.ariema.com/produccion-de-hidrogeno-verde-a-partir-de-agua>
- Australian Government. (4 de Mayo de 2023). *Australian hydrogen company develops large-scale storage and transport solutions*. Obtenido de Austrade: <https://www.austrade.gov.au/en/news-and-analysis/news/australian-hydrogen-company-develops-large-scale-storage-and-transport-solutions>
- Avidity Science. (2016). *How water purity is measured?* Obtenido de Avidity Science: [https://www.avidityscience.com/en\\_gb/news/water-purification/how-water-purity-is-measured](https://www.avidityscience.com/en_gb/news/water-purification/how-water-purity-is-measured)
- Banco Mundial. (2 de Marzo de 2023). *Emisiones de CO2 (kt)*. Obtenido de Banco Mundial | Datos: [https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?most\\_recent\\_value\\_desc=true&view=chart](https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?most_recent_value_desc=true&view=chart)
- Bataille, C., & Corbeau, A. (8 de Agosto de 2023). *Japan's Investments in Hydrogen and Its Derivatives in Southeast Asia - Center on Global Energy Policy at Columbia University SIPA | CGEP* %. Obtenido de Center on Global Energy Policy: <https://www.energypolicy.columbia.edu/japans-investments-in-hydrogen-and-its-derivatives-in-southeast-asia/>
- Belmar Añasco, F. (3 de Octubre de 2023). Estudio Valle de Hidrógeno Verde Zona Central de Chile. Santiago, Chile.
- Biblioteca Del Congreso Nacional. (1981). *df11122 (29-oct-1981) M. de Justicia - Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>
- Biblioteca del Congreso Nacional. (2001). *DECRETO 90 ESTABLECE NORMA DE EMISION PARA LA REGULACION DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES*. Obtenido de BCN | Ley Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637>
- Biblioteca del Congreso Nacional. (16 de Noviembre de 2023). *La Misión Nacional de Hidrógeno Verde que pretende posicionar a India en un hub global*. Obtenido de BCN: <https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/mision-nacional-hidrogeno-verde-india-desarrollo>
- Borrell, J. (28 de Abril de 2020). *Desarrollando el potencial de Hidrógeno Renovable en Chile*. Obtenido de European Union External Action: [https://www.eeas.europa.eu/delegations/chile/desarrollando-el-potencial-de-hidr%C3%B3geno-renovable-en-chile\\_es?s=192](https://www.eeas.europa.eu/delegations/chile/desarrollando-el-potencial-de-hidr%C3%B3geno-renovable-en-chile_es?s=192)
- Castillo Arteaga, M. G. (5 de Julio de 2022). Agua, enlaces, propiedades, poder disolvente, contaminación. *Vida Científica*, 10(20), 1-5. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/issue/archive>
- CGTN. (30 de Junio de 2023). China generates 99.9% pure 'green hydrogen' as world's largest H2 producer. *CGTN*. Obtenido de <https://news.cgtn.com/news/2023-06-30/China-generates-99-9-pure-green-hydrogen-world-s-largest-producer-1I3jTKIJuO4/index.html>
- Christensen, A. (18 de Junio de 2018). Assessment of Hydrogen Production Costs from Electrolysis: United States and Europe. Obtenido de [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/final\\_icct2020\\_assessment\\_of-\\_hydrogen\\_production\\_costs-v2.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/final_icct2020_assessment_of-_hydrogen_production_costs-v2.pdf)

- CNN. (5 de Mayo de 2020). A 83 años de la tragedia del dirigible Hindenburg. *CNN*. Obtenido de <https://edition.cnn.com/videos/spanish/2020/05/05/estalla-dirigible-hindenburg-zeppelin-eeuu-retro-guillermo-arduino-encuentro-cnnee.cnn>
- Colaboratory. (2023). *Google Colab*. Obtenido de Te damos la bienvenida a Colaboratory: <https://colab.research.google.com/?hl=es>
- Comisión Europea. (Diciembre de 2023). *Consecuencias del cambio climático*. Obtenido de Climate Action: [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_es](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_es)
- Corcoran Ruiz, I. (2023). Agencia de Sostenibilidad Energética. Santiago, Chile.
- Datosmacro. (2022). *PIB de Chile*. Obtenido de Expansión | Datosmacro.com: <https://datosmacro.expansion.com/pib/chile?anio=2022>
- Det Norske Veritas Group. (2023). *Hydrogen Forecast to 2050*. Obtenido de DNV: <https://www.dnv.com/focus-areas/hydrogen/forecast-to-2050.html>
- Dirección General de Aguas. (2023). *Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA*. Obtenido de Ministerio de Obras Públicas: [https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos\\_historicos/Paginas/default.aspx](https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx)
- Dirección General de Aguas. (2023). *Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE)*. Obtenido de DGA | Ministerio de Obras Públicas: <https://dga.mop.gob.cl/controlExtracciones/Paginas/documentos.aspx>
- Endress + Hauser. (2021). *Conductivity measurement in industrial processes. Selection and engineering guide for different industries and applications*. E+H. Obtenido de [https://portal.endress.com/dla/5001122/5892/000/02/CP01313CEN\\_0223\\_cond\\_selection\\_guide\\_web.pdf](https://portal.endress.com/dla/5001122/5892/000/02/CP01313CEN_0223_cond_selection_guide_web.pdf)
- Endress + Hauser. (2021). *pH measurement in industrial processes. Selection and engineering guide for different industries and applications*. E+H. Obtenido de [https://portal.endress.com/dla/5000315/4251/000/03/CP00010CEN\\_1621\\_pH%20selection%20guide\\_2021.pdf](https://portal.endress.com/dla/5000315/4251/000/03/CP00010CEN_1621_pH%20selection%20guide_2021.pdf)
- Endress + Hauser. (2023). *Soluciones de proceso para todas las industrias*. Obtenido de Endress+Hauser: <https://www.es.endress.com/es/soluciones-de-proceso>
- Entel Digital. (22 de Marzo de 2022). *Como MEE potencia la eficiencia del uso del agua en la agricultura*. Obtenido de Entel Digital: <https://enteldigital.cl/blog/como-mee-potencia-la-eficiencia-del-uso-del-agua-en-la-agricultura>
- Entel Digital. (2023). *Entel Ocean*. Obtenido de Entel Digital: <https://landing.enteldigital.cl/ciberseguridad>
- Flask. (2010). *User's Guide*. Obtenido de Flask: <https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/>
- Gambou, F., Gilbert, D., Zasadzinski, M., & Rafaralahy, H. (9 de Mayo de 2022). A Comprehensive Survey of Alkaline Electrolyzer Modeling: Electrical Domain and Specific Electrolyte Conductivity. *Energies*, 15(9), 34-52. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/9/3452>
- Givirovskiy, G., Ruuskanen, V., Ojala, L. S., Lienneman, M., Kokkonen, P., & Ahola, J. (Mayo de 2019). Electrode material studies and cell voltage characteristics of the in situ water electrolysis performed in a pH-neutral electrolyte in bioelectrochemical systems. *PubMed Central*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6522695/#:~:text=Platinum%20is%20widely%20used%20as,but%20not%20highly%20catalytic%20material>
- Gobierno de Chile. (2018). *MANUAL DE PROCEDIMIENTO SANCIONATORIO DE FISCALIZACIÓN*. Unidad de Fiscalización. Obtenido de [https://dga.mop.gob.cl/orientacionalpublico/Informacin/Manual\\_%20Abril2018.pdf](https://dga.mop.gob.cl/orientacionalpublico/Informacin/Manual_%20Abril2018.pdf)
- Godoy Stehr, T. (24 de Octubre de 2023). Entrevista. Santiago, Chile.
- H2 Chile. (2023). Mapa Proyectos Planilla Prensa. Santiago, Región Metropolitana, Chile.
- HACH. (2020). *Instrumentos de proceso para la analítica de aguas*. Obtenido de Hach: [https://es.hach.com/cms-portals/hach\\_es/cms/documents/pdf/process-catalogue-ES.pdf](https://es.hach.com/cms-portals/hach_es/cms/documents/pdf/process-catalogue-ES.pdf)



- Hach Company. (2023). ¿Qué es la conductividad? Obtenido de HACH: [https://latam.hach.com/cms-portals/hach\\_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf](https://latam.hach.com/cms-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf)
- HANNA Instruments. (2023). ¿Qué es el pH? Obtenido de HANNA Instruments Colombia: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/447/que-es-el-ph>
- Iberdrola. (2023). ¿Sabes qué es un PPA de energía? Obtenido de Contrato de compraventa de energía: <https://www.iberdrola.com/conocenos/contrato-ppa-energia>
- Iberdrola. (2023). *Amoníaco verde: la revolución sostenible en la industria química*. Obtenido de Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/amoniac-verde>
- IBM. (3 de Enero de 2023). *Regresión lineal múltiple*. Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/11.1.0?topic=tests-multiple-linear-regression>
- IBM. (2023). *What is Random Forest?* Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/topics/random-forest>
- Indeed. (9 de Agosto de 2023). *Qué hace un superintendente de obra y mucho más*. Obtenido de Indeed: <https://www.indeed.com/orientacion-profesional/como-encontrar-empleo/hace-superintendente-obra>
- International Energy Agency. (24 de Septiembre de 2020). *Global average levelised cost of hydrogen production by energy source and technology, 2019 and 2050 – Charts – Data & Statistics*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-average-levelised-cost-of-hydrogen-production-by-energy-source-and-technology-2019-and-2050>
- International Energy Agency. (10 de Julio de 2023). *Electrolysers*. Obtenido de International Energy Agency: <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/electrolysers>
- International Energy Agency. (2023). *Global Hydrogen Review 2023*. IEA. Obtenido de <https://h2news.cl/wp-content/uploads/2023/09/GlobalHydrogenReview2023.pdf>
- Jaeger, H. (2 de Noviembre de 2022). *Needed: Electrolyzers producing cheap, green, hydrogen*. Obtenido de Gas Turbine World: <https://gasturbine-world.com/electrolyzers-green-hydrogen/>
- Krohne. (2 de Marzo de 2023). *SMARTPAT COND 3200*. Obtenido de Krohne: <https://smartpat.krohne.com/en/cond/cond-3200/>
- Lakhani, N. (7 de Marzo de 2023). Is hydrogen really a clean enough fuel to tackle the climate crisis? *The Guardian*. Obtenido de <https://www.theguardian.com/environment/2023/mar/07/hydrogen-clean-fuel-climate-crisis-explainer>
- Lindquist, G. A., Xiu, Q., Oener, S. Z., & Boettcher, S. W. (16 de Diciembre de 2020). Membrane Electrolysers for Impure-Water Splitting. *ScienceDirect*, 4(12), 2549-2561. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435120304566>
- Majewski, P., Salehi, F., & Xing, K. (20 de Septiembre de 2023). Hidrógeno verde. *AIMS Energy*, 11(5), 878-895. Obtenido de <https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/energy.2023042>
- Markes International. (5 de Noviembre de 2023). *Analysis of hydrogen fuel impurities*. Obtenido de Markes International: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.09.020>
- MathWorks. (2023). *Conceptos clave de Support Vector Machine (SVM)*. Obtenido de MathWorks: <https://la.mathworks.com/discovery/support-vector-machine.html>
- Matplotlib. (2023). *Matplotlib*. Obtenido de About Us: <https://matplotlib.org/>
- Medium. (1 de Agosto de 2017). *Ensemble Methods in Machine Learning: What are They and Why Use Them?* Obtenido de Towards Data Science: <https://towardsdatascience.com/ensemble-methods-in-machine-learning-what-are-they-and-why-use-them-68ec3f9fef5f>
- Ministerio de Ciencias. (12 de Enero de 2023). *Ministerio de Ciencia financiará proyectos de hasta \$600 millones para responder a desafíos de interés público*. Obtenido de Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación: <https://www.minciencia.gob.cl/noticias/ministerio-de-ciencia-financiara-proyectos-de-hasta-600-millones-para-responder-desafios-de-interes-publico/>
- Ministerio de Energía. (19 de Junio de 2023). *Gobierno presenta Fondo por US\$ 1.000 millones para el desarrollo del Hidrógeno Verde en Chile | Ministerio de Energía*. Obtenido de Ministerio de Energía: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/gobierno-presenta-fondo-por-us-1000-millones-para-el-desarrollo-del-hidrogeno-verde-en-chile>

- Ministerio de Energía. (Julio de 2023). Medidas de impulso al Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030. *Plan de Acción Hidrógeno Verde*. Obtenido de <https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/documento-medidas-de-impulso-h2v.pdf>
- Ministerio de Energía. (2023). *Tecnología de celda de combustible de hidrógeno*. Obtenido de Plataforma de Electromovilidad: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/hidrogeno-verde/tecnologias-en-un-fcev>
- Naciones Unidas. (2023). *El Acuerdo de París*. Obtenido de Naciones Unidas | Acción por el Clima: <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. Obtenido de CEPAL: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- NGrok. (2023). *Product*. Obtenido de NGrok | Unified Application Delivery Platform for Developers: <https://ngrok.com/product>
- NumPy. (2023). *About Us*. Obtenido de NumPy: <https://numpy.org/about/>
- OECD. (2022). *Project Nour in Mauritania*. Obtenido de Chariot & Total Eren: <https://www.oecd.org/environment/cc/cefim/green-hydrogen/chariottotaleren-projectnourinmauritania.htm>
- Pandas. (2023). *About Pandas*. Obtenido de Pandas: <https://pandas.pydata.org/about/>
- Precedence Research. (Octubre de 2023). *Green Hydrogen Market Size to Hit USD 134.38 Billion by 2032*. Obtenido de Precedence Research: <https://www.precedenceresearch.com/green-hydrogen-market>
- Probest. (2023). *MP301 China Multi-sensor Multi-channel Multi-parameter Analyzers Combo Water Quality Meter*. Obtenido de Probest: <https://probesti.com/MP301-China-Multi-sensor-Multi-channel-Multi-parameter-Analyzers-Combo-Water-Quality-Meter-pd98352346.html>
- Python. (2023). *About Python*. Obtenido de Python: <https://www.python.org/about/>
- Raspberry. (2023). *¿Que es Raspberry Pi?* Obtenido de Raspberry Pi: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>
- Rathi, A. V. (2021). *Green Hydrogen*. Obtenido de Green Hydrogen Portal: <https://www.greenhydrogen-india.com/about-us/>
- Renewables.Digital. (9 de Julio de 2023). *List of 3 German green hydrogen developers*. Obtenido de Renewables.Digital: <https://renewables.digital/list-of-3-german-green-hydrogen-developers/>
- Reporte Minero. (21 de Julio de 2023). *¡Líder en América Latina!: Chile avanza en el Ranking Mundial de Energías Renovables. Reporte Minero*. Obtenido de <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2023/07/chile-avanza-ranking-mundial-energias-renovables>
- Schelling, K. (9 de Agosto de 2023). *Green Hydrogen to Undercut Gray Sibling by End of Decade*. Obtenido de BloombergNEF: <https://about.bnef.com/blog/green-hydrogen-to-undercut-gray-sibling-by-end-of-decade/>
- Scikit Learn. (2023). *About us*. Obtenido de Scikit-learn: <https://scikit-learn.org/stable/about.html>
- Siemens. (2023). *Smart Infrastructure*. Obtenido de Siemens: <https://www.siemens.com/cl/es/compania/about-us/nuestros-negocios/smart-infrastructure.html>
- Simtech. (2023). *Nuestra Historia*. Obtenido de Simtech: <https://simtech.cl/nuestra-empresa/nuestra-historia/>
- Slotnisky, D. (17 de Noviembre de 2022). *HTML, CSS y Javascript ¿para qué sirve cada lenguaje?* Obtenido de Digital House: <https://www.digitalhouse.com/blog/html-css-y-javascript-para-que-sirve-cada-lenguaje/>
- SWAN. (2023). *Quienes Somos y que Hacemos*. Obtenido de Swan Análisis Chile: <http://chile.swan.ch/#sobre>
- The World of Hydrogen. (2023). *Hydrogen in history*. Obtenido de The World of Hydrogen: <https://www.theworldofhydrogen.com/gasunie/history>

- U.S. National Science Foundation. (6 de Octubre de 2020). *Generating renewable hydrogen fuel from the sea / NSF*. Obtenido de National Science Foundation: <https://new.nsf.gov/news/generating-renewable-hydrogen-fuel-sea>
- We-Techs. (2023). *Nosotros*. Obtenido de We Techs: <https://www.we-techs.com/nosotros/>
- Wood Mackenzie. (25 de Octubre de 2019). *The future for green hydrogen*. Obtenido de Wood Mackenzie: <https://www.woodmac.com/news/editorial/the-future-for-green-hydrogen/>
- Xie, H., Zhao, Z., Wu, Y., Lang, C., Jiang, W., Zhu, L., . . . Shao, Z. (30 de Noviembre de 2022). A membrane-based sea water electrolyser for hydrogen generation. *Nature*(612), 673–678. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05379-5#citeas>