



UNIVERSIDAD  
**SAN SEBASTIAN**  
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO  
INGENIERÍA EN ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL  
SEDE SANTIAGO BELLAVISTA**

**ESTUDIO PRELIMINAR-BASE PARA LA VIABILIDAD DE INSTALAR  
UNA PLANTA DE HIDRÓGENO VERDE EN LA MACRO ZONA SUR DE  
CHILE**

Tesis para optar al título de Ingeniero en Energía y Sustentabilidad Ambiental.

Profesor Guía: Oscar A. Inostroza Aliaga

**Estudiantes: Abraham Tokerau Díaz Avaka**

**Vicente Andrés Pino Santander**

Santiago de Chile  
Abril de 2023

© Abraham Díaz Avaka, Vicente Pino Santander

Se autoriza la reproducción parcial o total de este trabajo, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento siempre y cuando se incluya cita bibliográfica del documento.

## CALIFICACIÓN DE LA MEMORIA

En Santiago, el \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2023, los abajo firmantes dejan constancia que los alumnos Abraham Tokerau Díaz Avaka y Vicente Andrés Pino Santander, de la carrera Ingeniería En Energía y Sustentabilidad han aprobado el proyecto de título para optar al título de Ingeniero en Energía y Sustentabilidad Ambiental con una nota de \_\_\_\_\_.

---

Óscar Inostroza Aliaga

---

Ariel Valdés Barrera

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres Mauricio Pino Escares y María Paz Santander, quienes con su rigor y afecto guiaron mi camino, me dieron las herramientas y oportunidades para aspirar lo más alto posible y sin su esfuerzo y sacrificios no podría haber llegado hasta esta instancia.

Vicente Pino Santander

## **DEDICATORIA**

Dedicó con todo mi corazón esta tesis a mis padres, sin su apoyo a lo largo de estos años no lo habría logrado. Su bendición y esfuerzos diarios en este trayecto me impulsaron a seguir adelante. Por esto que les doy este trabajo en ofrenda a su paciencia y su incondicional amor.

Abraham Tokerau Díaz Avaka

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a toda mi familia, mis padres, hermana, tías, mis abuelos y primos, por todo su apoyo incondicional, a mis compañeros, Ambar, Valentina, Kevin, Seba, Toke, y Martín, y muchos más, que me acompañaron, apoyaron y también muchas veces hicieron rol de profesor, a la selección de basket de la universidad por siempre ser mi herramienta de despejar la mente, por mantener presentes en mí todos y cada uno de los valores que el deporte me brindó, por hacerme sentir un Sebastiano en cada entrenamiento, partido y gira. A mi alma gemela, Paula Arancibia por ser fuente inagotable de apoyo y comprensión. En especial agradecer a Miguel Pavez Román, “Mike”, por toda su entrega y abnegación, ya que sin su sabiduría y conocimientos nada de este proyecto habría sido posible.

Vicente Andrés Pino Santander

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis agradecimientos a mi familia, profesores y compañeros, que han destinado parte de su tiempo todos estos años para enseñarme, para brindarme su apoyo y aportes invaluable que me servirán para toda la vida. Agradecer especialmente a quienes estuvieron presentes en la evolución y posterior desarrollo de esta tesis , a mi compañero y amigo tesista Vicente , quien en los momentos difíciles de esta investigación, me ayudó con creces, no solamente en este proyecto sino durante todos los años. Agradecimiento a todo y cada uno de ellos. Los quiero

Abraham Tokerau Díaz Avaka

## **I. RESUMEN**

El mundo está experimentando los efectos del calentamiento global, debido en gran parte a los gases de efecto invernadero, producidos en la industria energética por el uso de combustibles fósiles. Una alternativa a esta situación se logra divisar en el hidrógeno verde.

Chile se posiciona como una fuerte opción de producción de hidrógeno verde, por sus características energéticas, climáticas y geográficas, El presente informe entrega un estudio preliminar-base de un de un anteproyecto para la viabilidad de instalar una planta de hidrógeno verde en la macro zona sur de Chile, específicamente en la región del Biobío.

Con los resultados de un perfil geomorfológico de la región, datos de velocidad de viento, radiación de la zona, la hidrografía de la zona, puertos cercanos y las áreas protegidas de la región, se sugirió un diseño de propuesta de instalación de una planta de hidrógeno verde, estimando una planta eólica y solar, la que alimenta de energía la planta de hidrógeno, con su respectivo electrolizador.

En este trabajo se concluyó que la región del Biobío es apta para poder instalar una planta de hidrógeno verde, con un alto potencial de energía eólica, respaldado por energía solar, la región además es abundante de recurso hídrico, lo que es un aspecto muy favorable para el análisis de instalar una planta de hidrógeno verde



## **II. ABSTRACT**

The world is experiencing the effects of global warming, largely due to greenhouse gasses. An alternative to this situation can be seen in green hydrogen.

Chile is positioned as a strong option for the production of green hydrogen, due to its energetic, climatic and geographical characteristics. This report provides a preliminary-base study base of a preliminary project for the feasibility of installing a green hydrogen plant in the southern macro zone of Chile, specifically in the Biobío region.

With the results of a geomorphological profile of the region, wind speed data, radiation of the area, the hydrography of the area, nearby ports and protected areas of the region, a design proposal for the installation of a green hydrogen plant can be suggested, estimating a wind and solar plant, which feeds energy to the hydrogen plant, with its respective electrolyser.

In this work it was concluded that the Biobío region is suitable for the installation of a green hydrogen plant, with a suitable wind potential and solar energy that supports the contribution of wind energy, the region is also abundant in water resources, which is a very favourable condition for the analysis of installing a green hydrogen plant.

### III. Tabla de contenido

CAPÍTULO I.....	3
1. Introducción.....	3
1.1. Hipótesis.....	4
1.2. Objetivo general.....	4
1.3. Objetivos Específicos .....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. Marco Teórico .....	5
2.1. Calentamiento global.....	5
2.2. Gases que producen el Calentamiento global.....	7
2.3. Gases de Efecto Invernadero .....	8
2.4. Combustibles fósiles y su relación con la producción energía .....	11
2.5. Energías Renovables .....	12
2.6. Energías Limpias.....	14
2.7. Necesidad de cambio de transición a energías limpias.....	15
2.8. Tipos de generación de energía eléctrica en Chile .....	16
2.9. Hidrógeno una nueva fuente de energía .....	18
2.10. Tipos de hidrógeno según las emisiones contaminantes producidas.....	19
CAPÍTULO III.....	23
3. Área de Estudio .....	23
3.1.VIII Región del Biobío.....	23
3.2. Aspectos del clima de la VIII región .....	24
CAPÍTULO IV .....	25
4. Metodología .....	25
4.1. Criterios de inclusión .....	25
4.2. Criterios de exclusión .....	25
4.3. Métodos de producción de hidrógeno verde .....	26
4.4. Estimación del potencial energético, ambiental y físico de la región de Biobío	27
4.4. Análisis de variables óptimas donde poder instalar la planta de hidrógeno verde en la VIII región del Biobío .....	39
CAPÍTULO V. ....	40
5. Resultados.....	40

5.1. Desarrollo objetivo 1: Principales métodos de producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno verde. ....	40
5.1.1. Planta de Hidrógeno.....	40
5.1.2. Producción de Hidrógeno.....	41
A. A Partir de Hidrocarburos: .....	41
B. A partir de Agua:.....	43
5.1.3. Almacenamiento del Hidrógeno.....	48
5.1.4. Transporte de Hidrógeno.....	50
Tuberías.....	51
Tanques a presión .....	51
Traslado de Contenedores.....	52
Generación In-situ.....	52
5.1.5. Uso del agua en el proceso de producción. ....	54
5.2. Desarrollo objetivo 2: Potencial energético, ambiental y físico de la VIII región, del Biobío. ....	54
5.2.1. Potencial energía eólica .....	54
5.2.2. Potencial energía solar.....	57
5.2.3. Fuente de obtención del recurso Hídrico.....	59
5.2.4. Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios para la conservación de la biodiversidad.....	61
5.2.5. Análisis geomorfológico de la VIII región .....	79
5.1.6. Puertos de Exportación .....	81
5.3.1. Analizar variables óptimas donde poder instalar una planta de hidrógeno verde en la región del Biobío.....	82
CAPÍTULO VI .....	93
6. Conclusión .....	93
CAPITULO VII .....	95
7. Referencias:.....	95
CAPITULO VIII .....	99
Anexos .....	99

# CAPÍTULO I

## 1. Introducción

Es un hecho que el mundo está evidenciando las consecuencias del cambio climático. Aumento de la temperatura global desde la era preindustrial, derretimiento de hielos, desastres naturales cada vez más frecuentes, sequías y olas de calor son solo algunas de las consecuencias del cambio climático (WMO, 2018). Esto debido en gran parte a los gases de efecto invernadero (GEI) producidos en el desarrollo de las actividades diarias de nuestra sociedad, relacionado también, con un aumento en el requerimiento de energía.

En Chile, en el 2018 las emisiones de gases de efecto invernadero sufrieron un incremento del 2%, desde el año 2016; por lo que se ha mantenido en aumento desde 1990 a la fecha en un 128% (Ministerio del Medio Ambiente, 2020), este problema, ha orientado los intereses en desarrollar las energías renovables, las cuales cada día están produciendo más energía, de forma sostenible y sin contaminar. Este hecho colabora a mitigar el cambio climático. Una alternativa a esta situación es el elemento más abundante del planeta: el Hidrógeno.

El Hidrógeno, en condiciones estándar de temperatura y presión forma un gas ( $H_2$ ) inflamable, incoloro, inodoro, no tóxico e insoluble en agua. En su proceso de combustión, produce una gran cantidad de energía y su subproducto es vapor de agua. En particular, se denomina Hidrógeno Verde al obtenido a partir de fuentes renovables y libres de carbono.

Dado que no se encuentra hidrógeno molecular en la naturaleza es necesario obtenerlo a partir de otras moléculas, para lo cual se requiere una gran cantidad de energía, y así, el Hidrógeno obtenido se ajusta a un modelo de energía limpia, en donde el ciclo completo es libre de carbono. Consideramos que este proceso se lleva a cabo a través de un proceso llamado electrólisis, el cual consiste en la descomposición de las moléculas de agua ( $H_2O$ ) en oxígeno ( $O_2$ ) e Hidrógeno ( $H_2$ ).

Chile se posiciona como una gran opción de producción de hidrógeno verde debido a su potencial energético renovable, dada su geografía y clima, Chile se destaca que podría ser clave para la producción de  $H_2$  verde a nivel mundial. Pudiendo habilitar su uso en los sectores mineros, industrial, agrícola y transporte en el país, y en el mediano plazo su exportación a mercados internacionales. Es por esto, que en esta tesis se analizará la macro zona sur para instalar una planta de Hidrógeno Verde, específicamente en la región del Biobío.

### **1.1. Hipótesis**

La VIII región del Biobío, Chile, presenta condiciones óptimas para el desarrollo de una planta de hidrógeno verde, desde el punto de vista energético, ambiental y físico.

### **1.2. Objetivo general**

Determinar, en la VIII región del Biobío, las mejores condiciones para la instalación de una planta de hidrógeno verde.

### **1.3. Objetivos Específicos**

1. Analizar los principales métodos de producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno verde.
2. Identificar el potencial energético, ambiental y físico de la región del Biobío.
3. Determinar la zona óptima donde poder instalar una planta de hidrógeno verde en la región del Biobío.

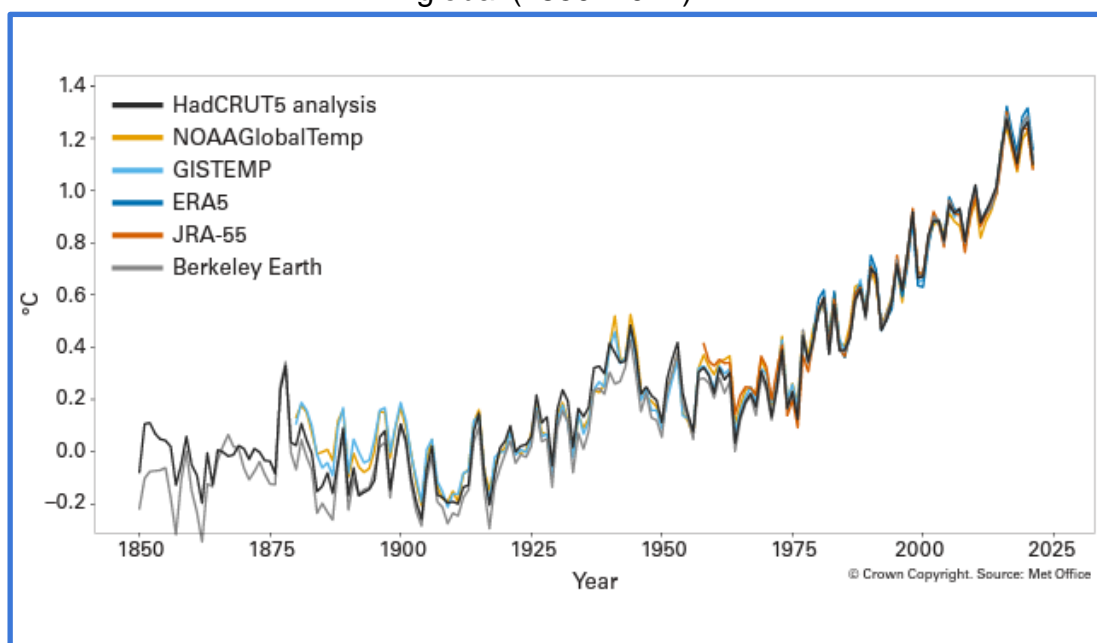
## CAPÍTULO II

### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Calentamiento global

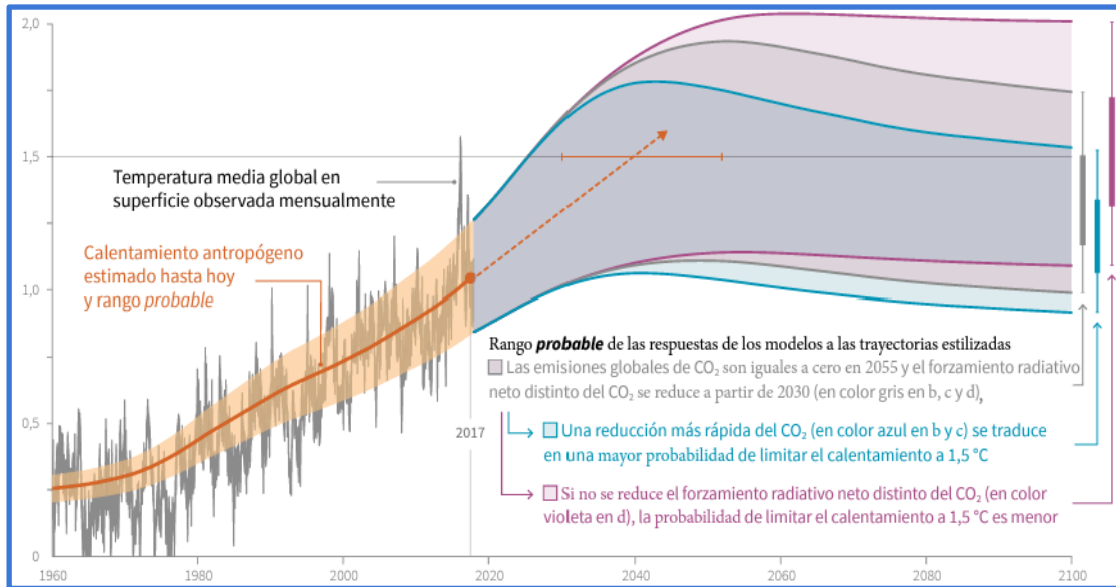
El calentamiento global se define como «El acelerado calentamiento de la temperatura en la tierra, causado debido a un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, monóxido de carbono y gases de azufre» (Gavilánez. et al. 2020). América Latina ha contribuido históricamente al cambio climático en menor medida que otras regiones (ver figura 2.3), de todos modos resulta particularmente vulnerable a sus efectos y, más aún, estará involucrada de diversas formas en sus posibles soluciones (CEPAL, 2014).

Figura 2.1: Diferencia de la temperatura media anual global con respecto a las condiciones preindustriales (1850-1900) para seis conjuntos de datos de temperatura global (1850–2021).



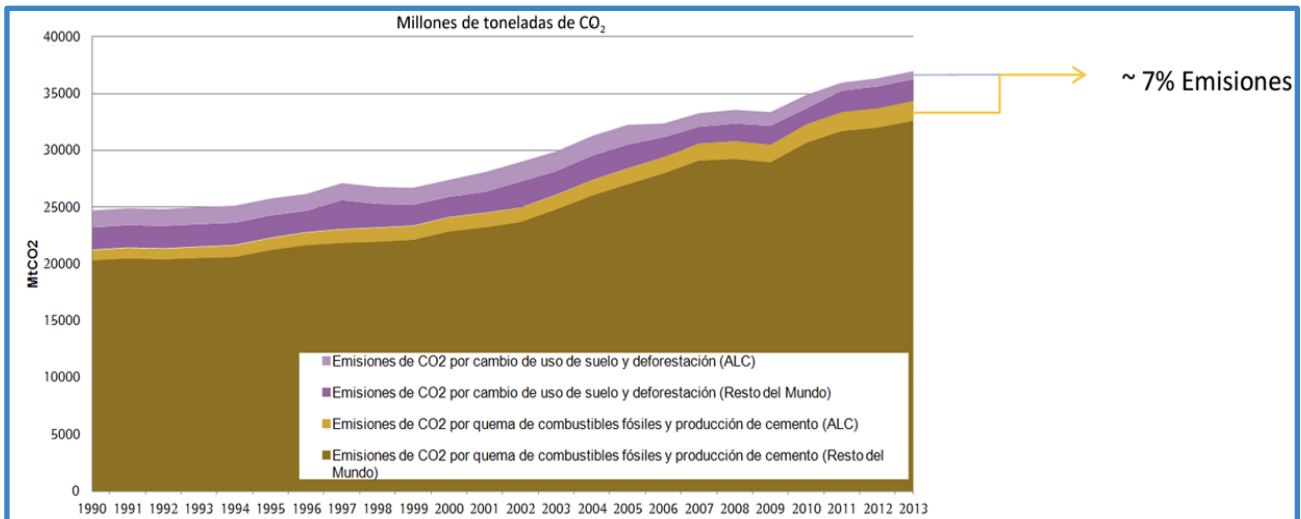
Fuente: Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2020.

Figura 2.2: Calentamiento global con respecto a 1850 – 1900



Fuente: IPCC, 2018

Figura 2.3: Emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por tipo de fuente: América Latina y el Caribe y el resto del mundo (1990 - 2013)



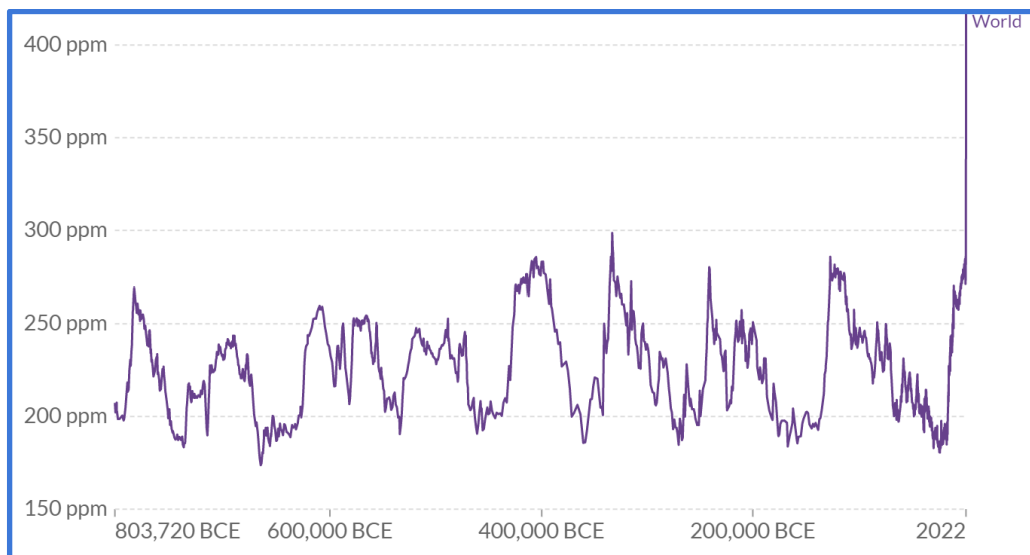
Fuente: Elaboración de CEPAL con base en datos del Instituto de los Recursos Mundiales (WRI) "Climate Analysis Indicators Tool" (CAIT) [en línea] <http://cait.wri.org/historical>

## 2.2. Gases que producen el Calentamiento global

El clima mundial se verá alterado significativamente, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero en la atmósfera, como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos. Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que contribuirán en aumentar la temperatura entre 1,5 y 4,5 °C. y continuará elevándose por algunas décadas aunque se estabilicen las emisiones (FAO, 2022).

Los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera han aumentado de manera constante durante los últimos 200 años. Esto se debe en gran medida al aumento del uso de combustibles fósiles, así como al aumento de la deforestación, que liberan grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Se estima además que la concentración actual de CO<sub>2</sub> es la mayor registrada en los últimos 800.000 años, lo que se grafica en la figura 2.4 y figura 2. 5. (Our World in Data, 2022).

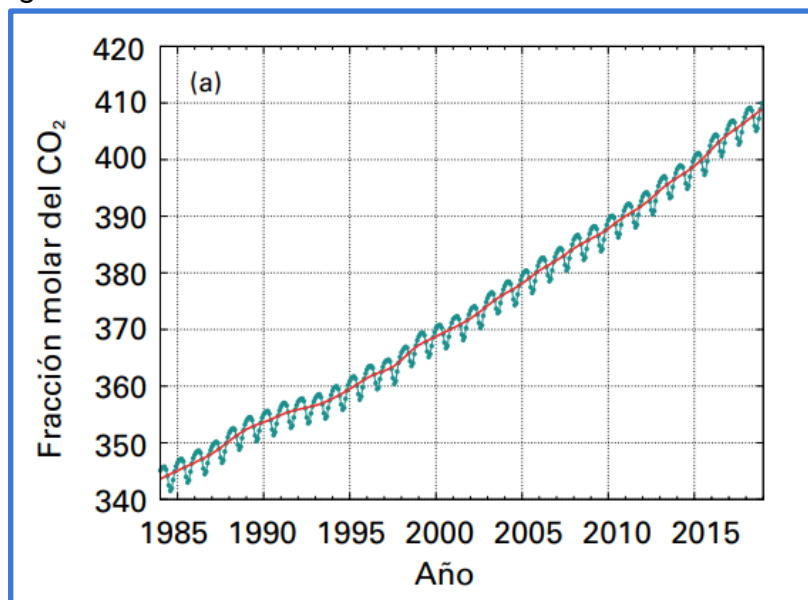
Figura 2. 4: Concentración global de CO<sub>2</sub> atmosférico



Fuente: Our World In Data, 2022



Figura 2.5: Fracción molar del CO<sub>2</sub> desde 1985 hasta 2015



Fuente: OMM, 2019

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el gas de efecto invernadero que suele expulsarse con más frecuencia a la atmósfera como consecuencia de distintas actividades humanas. Sin embargo, hay otros gases que, aunque se emiten en cantidades más pequeñas tienen un efecto aún más nocivo porque absorben con más facilidad la radiación térmica que emite la superficie planetaria. Esa radiación es luego devuelta a la superficie y a la atmósfera, lo que provoca un incremento de la temperatura. El metano, por ejemplo, es 80 veces más potente que el dióxido de carbono durante un periodo de 20 años. (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2021).

### 2.3. Gases de Efecto Invernadero

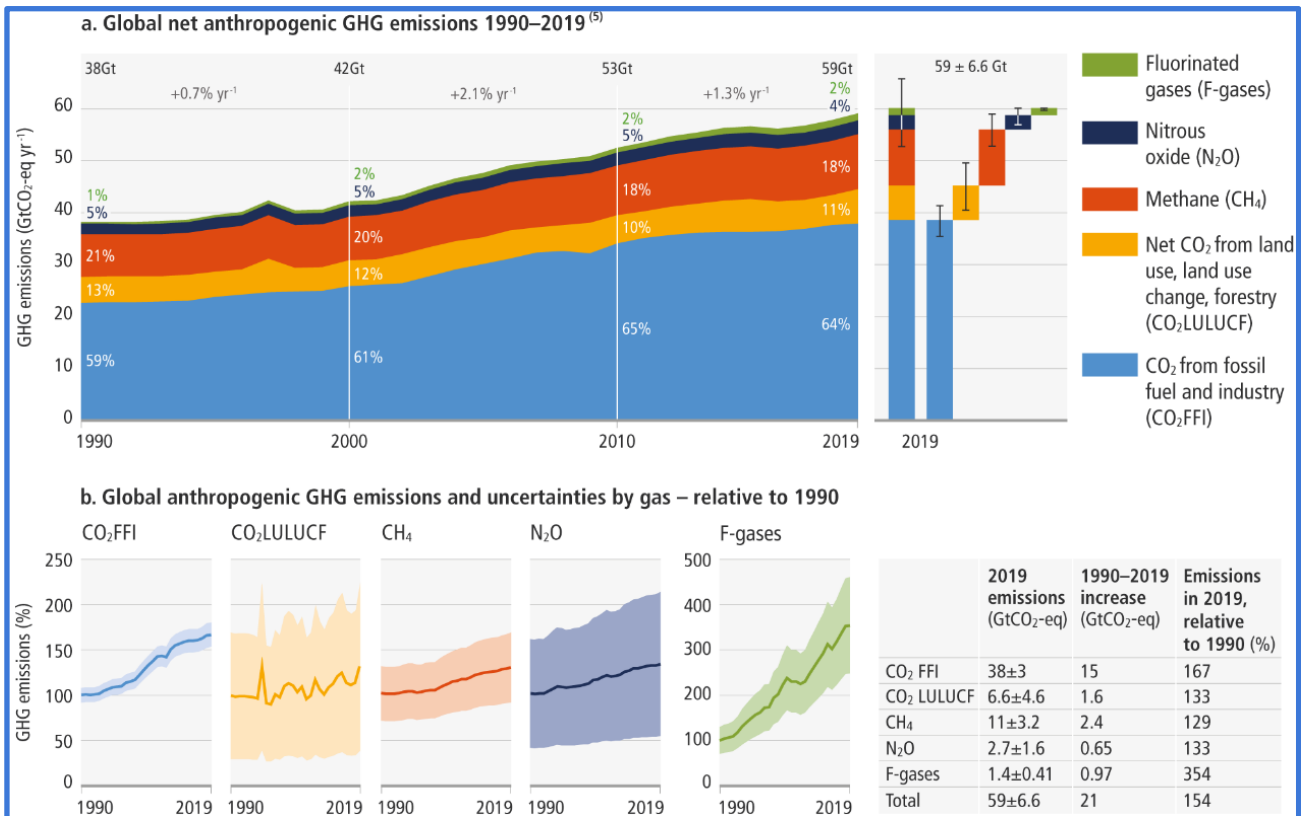
El gas de efecto invernadero es un gas en la atmósfera que actúa como el vidrio en un invernadero: absorbe la energía y el calor del Sol que se irradia desde la superficie de la Tierra, lo atrapa en la atmósfera y evita que escape al espacio.

Este proceso es la razón principal del efecto invernadero que mantiene la temperatura de la Tierra más caliente de lo que sería de otra manera, permitiendo que exista la vida en la Tierra.

Muchos de los gases de efecto invernadero se producen naturalmente en la atmósfera, pero la actividad humana agrega cantidades enormes, lo que aumenta el efecto invernadero que está contribuyendo al calentamiento global.

Han contribuido en torno a 1,1 °C al calentamiento global desde principios del siglo XX. Las emisiones antropogénicas netas globales de GEI durante la década (2010-2019) fueron más altas que en cualquier momento anterior de la historia de la humanidad (ver figura 2.6), además han contribuido en torno a 1,1 °C al calentamiento global desde principios del siglo XX. Estas actividades incluyen, por ejemplo, la quema de carbón, petróleo y gas, la deforestación y la agricultura. (IPCC, 2022).

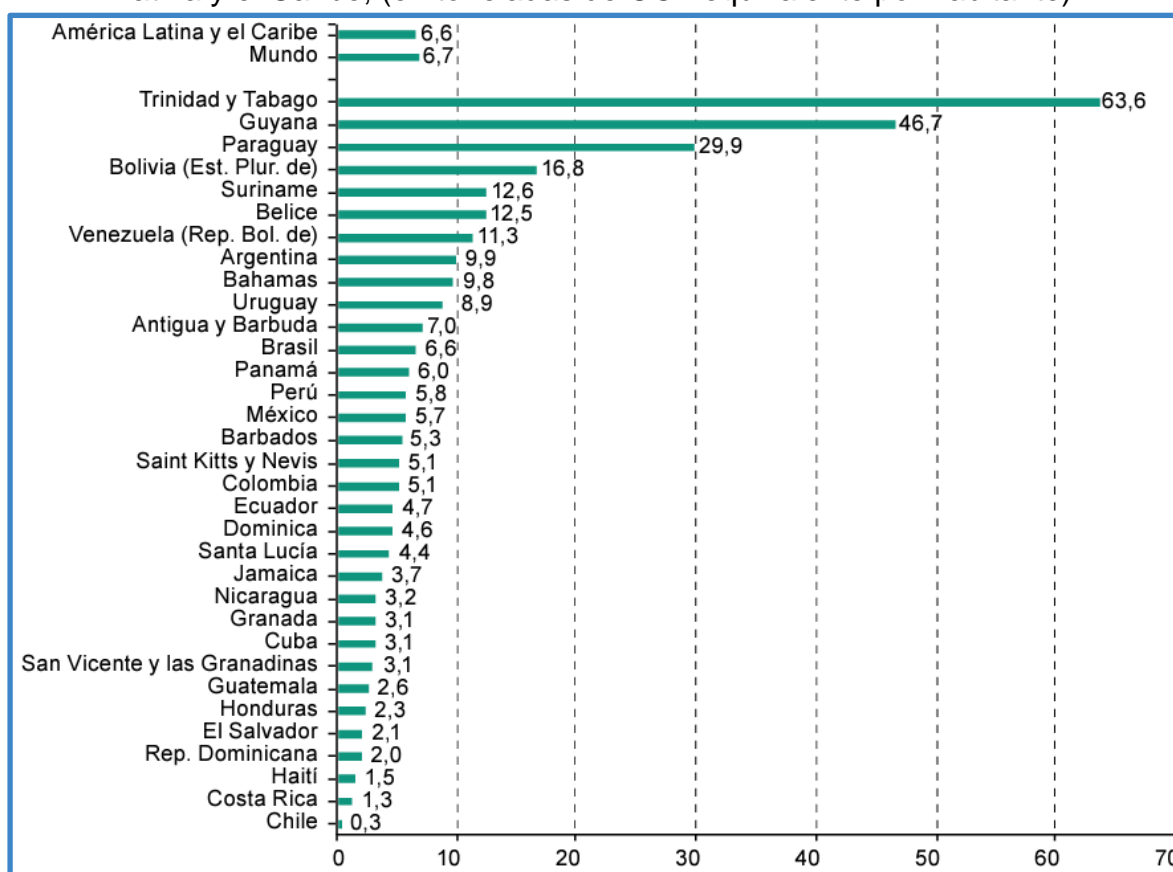
Figura 2.6: *arriba* Emisiones antropogénicas netas mundiales de GEI 1990-2019. *abajo*. Emisiones antropogénicas mundiales de GEI e incertidumbres por gas - en relación con 1990.



Fuente: IPCC, 2022

En 2016, las emisiones en América Latina y el Caribe fueron alrededor de 4,2 Gt de CO<sub>2</sub> eq, que corresponden aproximadamente 6,6 toneladas per cápita; esta cifra se ubica a la par de la media mundial, que es 6,7 toneladas per cápita (ver Figura 2.7).

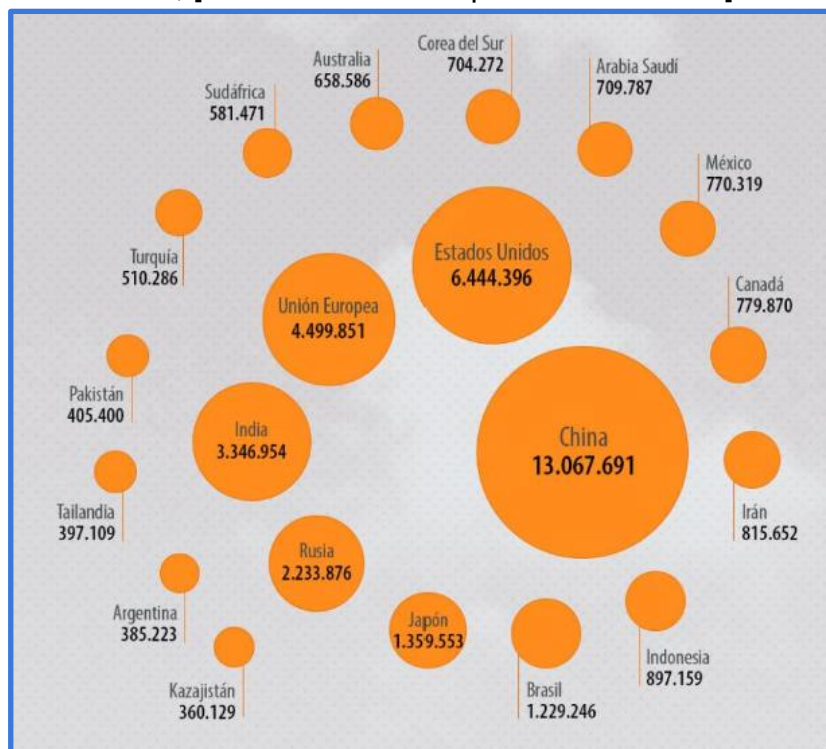
Figura 2.7: Emisiones de gases de efecto invernadero per cápita 2016, América Latina y el Caribe, (en toneladas de CO2 equivalente por habitante).



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de J. Gütschow et al, "The PRIMAP-hist national historical emission time series", Earth System Data, vol. 8, N°2, Göttingen, Copernicus Publications, 2016; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Base de Datos Estadísticos Sustantivos de la Organización (FAOSTAT) [en línea] <http://www.fao.org/faostat/en/>.

Los gases de efecto invernadero permanecen en la atmósfera por períodos que van desde algunos años hasta miles de años. Tienen además un impacto mundial, sin importar dónde fueron emitidos por primera vez. En la figura a continuación (Figura 2.8) se observan los principales países líderes en emisiones GEI, durante el año 2015.

Figura 2.8: Principales emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo en 2015, [kilotoneladas de equivalente de CO<sub>2</sub>].



Fuente: Informe de JRC sobre emisiones de CO<sub>2</sub> fósil y gases de efecto invernadero de todos los países del mundo (2019)

## 2.4. Combustibles fósiles y su relación con la producción energía

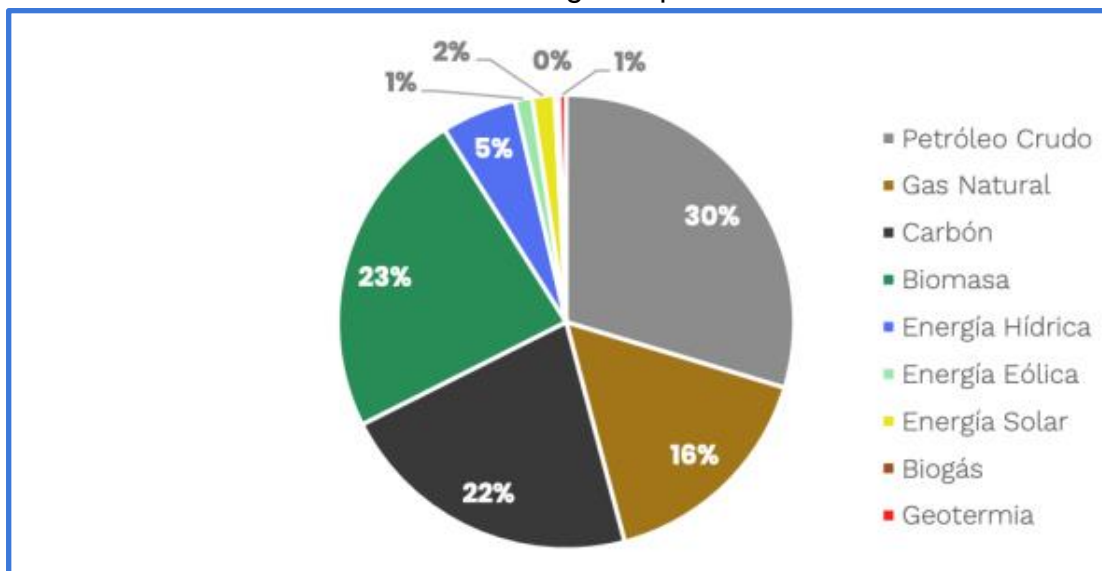
Los combustibles fósiles, y particularmente el petróleo, constituyen la base de la economía global y la civilización occidental. El crecimiento exponencial de la población en los últimos tres siglos ha ocurrido gracias al gran incremento de la energía disponible asociada al uso masivo de los combustibles fósiles (Ferrari, L. 2013).

Los combustibles fósiles comprenden el 80% de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial (32 % petróleo, 21 % gas y 27 % carbón) y el sistema energético es la fuente de aproximadamente dos tercios de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. Gran parte de los combustibles de biomasa se usan actualmente para calefacción y cocina pequeña en todo el mundo. Estos combustibles son extremadamente ineficientes y contaminantes, sobre todo en lo que respecta a la calidad del aire interior en muchos países menos avanzados. El uso de biomasa renovable de esta manera es un problema para el desarrollo sostenible.

Si la proporción actual de combustibles fósiles se mantiene y la demanda energética casi se duplica para 2050, las emisiones superarán enormemente la cantidad de carbono que se puede emitir si se ha de limitar el aumento medio de temperatura a nivel mundial a 2°C (Naciones Unidas, 2022).

Dentro de la matriz energética primaria de Chile, es capaz de ver que predominan principalmente los recursos fósiles, representando el 68% del total. En Chile, el consumo final de energía representado por la matriz secundaria de energía, alcanzó 301.629 Tcal en el año 2019 (ver gráfico 1), destacando principalmente que los derivados del petróleo y la electricidad son los principales componentes, concentrando el 58% y 22% respectivamente.

Gráfico 1: Matriz energética primaria Chile.



Fuente: Energía abierta, ministerio de energía (2020).

## 2.5. Energías Renovables

Las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes consideradas inagotables, y que se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento no se consumen a escala humana, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse en el tiempo. Entre estas fuentes de energía se consideran la hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. De igual forma, dependiendo de su modo de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables, la energía proveniente de la biomasa, la energía geotérmica y los biocombustibles (Ministerio de Energía, 2022). La energía renovable proviene de los recursos naturales, por esta razón no contamina el medioambiente, no se agotan, porque algunos recursos como el sol son abundantes o porque son recursos que se pueden encontrar en cualquier lugar del mundo.

Algunas de las características más importantes de la energías renovables son:

### 2.5.1 No contaminan

Es una energía limpia, en la que cualquier proceso de producción o extracción de la energía genera residuos que vayan a contaminar el medioambiente, esto quiere decir que se elimina la posibilidad de que haya un efecto contaminante, porque se elimina todo tipo de residuo que resulte peligroso para el ambiente.

### 2.5.2 No se agota

Es una energía inagotable, ya que proviene de recursos naturales y totalmente renovables, las cantidades disponibles se pueden mantener a largo plazo, aunque se utilice en grandes proporciones.

### 2.5.3 Es competitiva

Es un tipo de energía la cual puede mantener diversas aplicaciones en la industria, dentro de las más importantes es que contribuye al desarrollo económico sostenible. además, de que es una energía competitiva, puesto que una vez realizada la primera inversión para que funcione, los costos más adelante son relativamente bajos.

las energías renovables son muy diversas, pero dentro de las más utilizadas hoy en día encontramos:

La energía solar, la cual se obtiene de la luz o del calor del sol y puede tener dos formas de uso de tal energía.

- **Solar fotovoltaica:** transforma en directa la radiación solar, convirtiéndola en electricidad, por medio de paneles o módulos construidos a base de silicio.
- **Solar termoeléctrica:** conocida también como termosolar, pero en este caso se utiliza la radiación solar para producir calor con el fin de poder calentar agua y cocinar alimentos. La energía solar se concentra por medio del uso de espejos o lentes.

La energía Eólica, que logra producir energía aprovechando la energía del viento, moviendo las aspas y estas aspas los rotores que se encuentran conectados a un generador de electricidad. Se pueden utilizar en grandes parques energéticos, como también para una aplicación más domiciliaria moviendo generadores de potencia inferior a 100KW, permitiendo así adaptarse a las necesidades de consumo de cada lugar específico, incluso en zonas aisladas.

La energía hidráulica, es la energía que se produce con el uso de las corrientes de ríos o de agua dulce, conocida también como energía hidroeléctrica. Se genera en presas y por la energía cinética producida por la fuerza de agua mueve las turbinas que

producen electricidad. Esta ha sido una de las formas más antiguas que se han usado para generar electricidad.

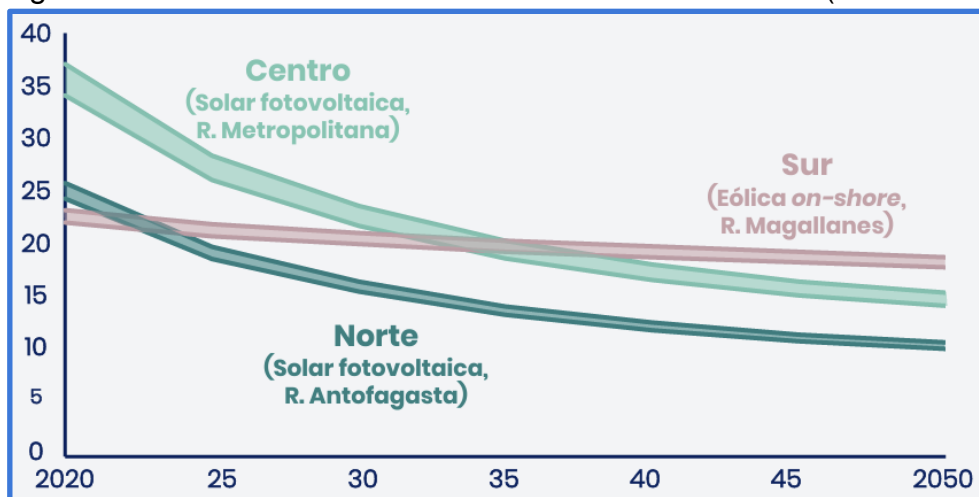
El año 2022 fue récord para las ERNC en Chile, con un 33% de participación en la generación eléctrica, aumentando así 6 puntos porcentuales con respecto al año anterior. También así la capacidad instalada en ERNC también aumentó, alcanzando los 13.781 MW, lo que equivale al 41,3% de la capacidad instalada del país.(energías-renovables.2022)

## 2.6. Energías Limpias

Las energías limpias son aquellas que para su producción no se genera contaminación y las energías renovables son las que no se agotan y las que provienen de fuentes naturales. Podemos encontrar energías renovables que provienen de recursos inagotables y que a su vez son limpias, ahora bien, también nos podemos encontrar con energías limpias que no provienen de fuentes renovables (como es el gas natural, que contamina muy poco). Aunque la diferencia es mínima, es importante dejarla clara (SolarPack, 2022).

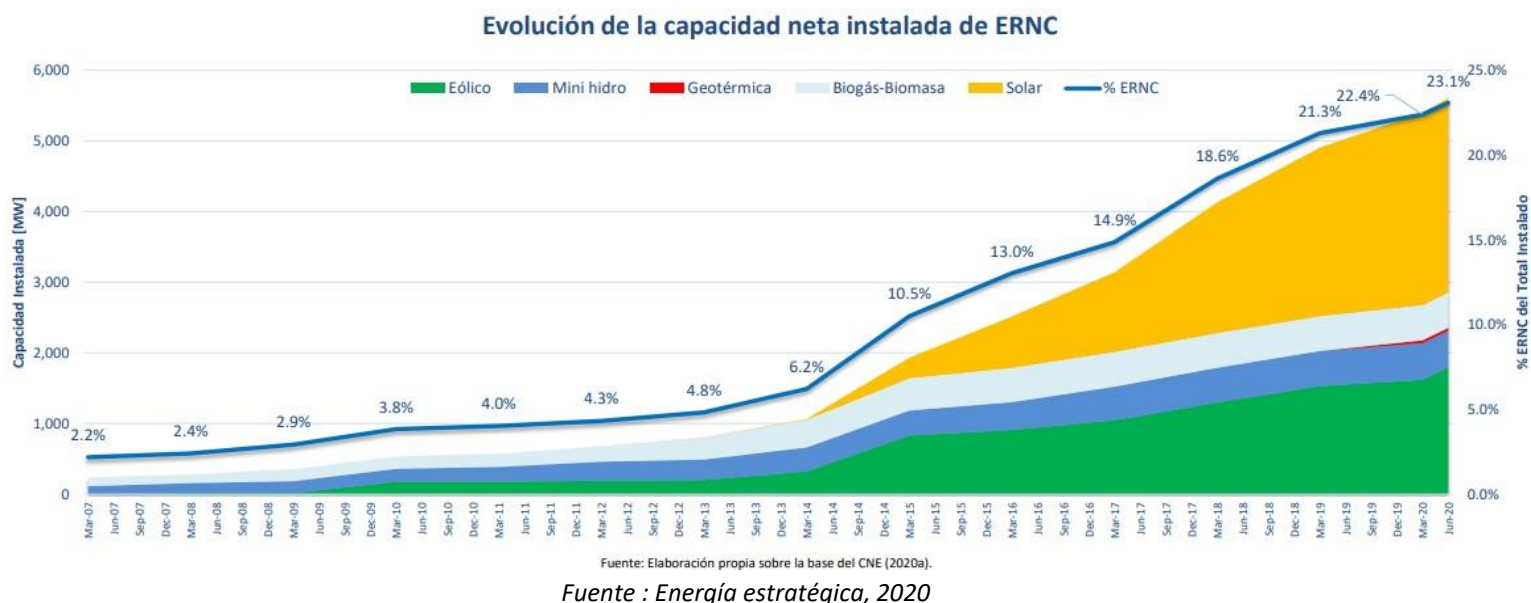
Chile es un país rico en energías renovables, tiene un potencial energético renovable de más de 1800 GW, que equivalen a 80 veces la demanda de Chile. Además, la proyección decreciente de los costos de ERNC para las distintas macrozonas de Chile junto con la evolución de la capacidad neta instalada, como se muestra en las figuras 2.9 y 2.10, respectivamente, posicionan a Chile como uno de los lugares más baratos del mundo para la producción de Hidrógeno Verde (Ministerio de Energía, 2020).

Figura 2.9: Costo Nivelado de Electricidad Renovable en (USD/MWh)



Fuente: (McKinsey & Company, 2020)

Figura 2.10: Evolución de la capacidad neta instalada de ERNC



## 2.7. Necesidad de cambio de transición a energías limpias

Chile es un país altamente vulnerable al cambio climático, cumpliendo con la mayoría de los nueve criterios de vulnerabilidad enunciadas por la CMNUCC, a saber: posee áreas costeras de baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas de bosques; territorio susceptible a desastres naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y ecosistemas montañosos. (Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, 2017-2022).

Dentro del aumento de las emisiones de GEI, que se han incrementado en un 128% desde 1990, el sector Energía es el principal emisor de GEI representando el 77 % de las emisiones totales en 2018 (tabla 2.1), mayoritariamente por las emisiones producto de la quema de carbón mineral y gas natural para la generación eléctrica; y de combustibles líquidos para el transporte terrestre. (Cuarto informe Bienal de actualización de Chile sobre el Cambio Climático, 2020)



Tabla 2.1 : Balance de emisiones totales de GEI (kt<sup>1</sup> CO2 eq<sup>2</sup>) por sector, serie 1990 - 2018

Sector	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018
1. Energía	33.631,4	51.746,4	66.607,7	79.901,3	86.191,0	86.896,1	86.954,3
2. IPPU	2.224,2	4.803,6	4.279,6	5.084,5	5.977,1	6.079,8	6.611,3
3. Agricultura	11.834,8	13.708,9	12.921,1	12.597,4	11.881,3	11.724,0	11.789,4
4. UTCUTS	-60.152,6	-73.364,3	-76.966,4	-77.561,5	-74.697,9	-11.710,3	-63.991,9
5. Residuos	1.519,0	2.742,6	4.133,6	5.095,1	6.106,6	6.515,7	6.957,6
<b>Balance<sup>1</sup></b>	<b>-10.943,1</b>	<b>-362,9</b>	<b>10.975,6</b>	<b>25.116,9</b>	<b>35.458,2</b>	<b>99.505,3</b>	<b>48.320,7</b>
<b>Total<sup>2</sup></b>	<b>49.209,5</b>	<b>73.001,4</b>	<b>87.942,1</b>	<b>102.678,4</b>	<b>110.156,0</b>	<b>111.215,6</b>	<b>112.312,6</b>

Fuente: Equipo técnico coordinador el MMA, Cuarto informe Bienal de actualización de Chile sobre el Cambio Climático, 2020.

Este problema, ha orientado los intereses a desarrollar las energías renovables, las cuales cada día están produciendo más energía, en forma sostenible y sin contaminar. Lo que colabora a mitigar el cambio climático. Una alternativa a esta situación es el elemento más abundante del planeta: el Hidrógeno.

## 2.8. Tipos de generación de energía eléctrica en Chile

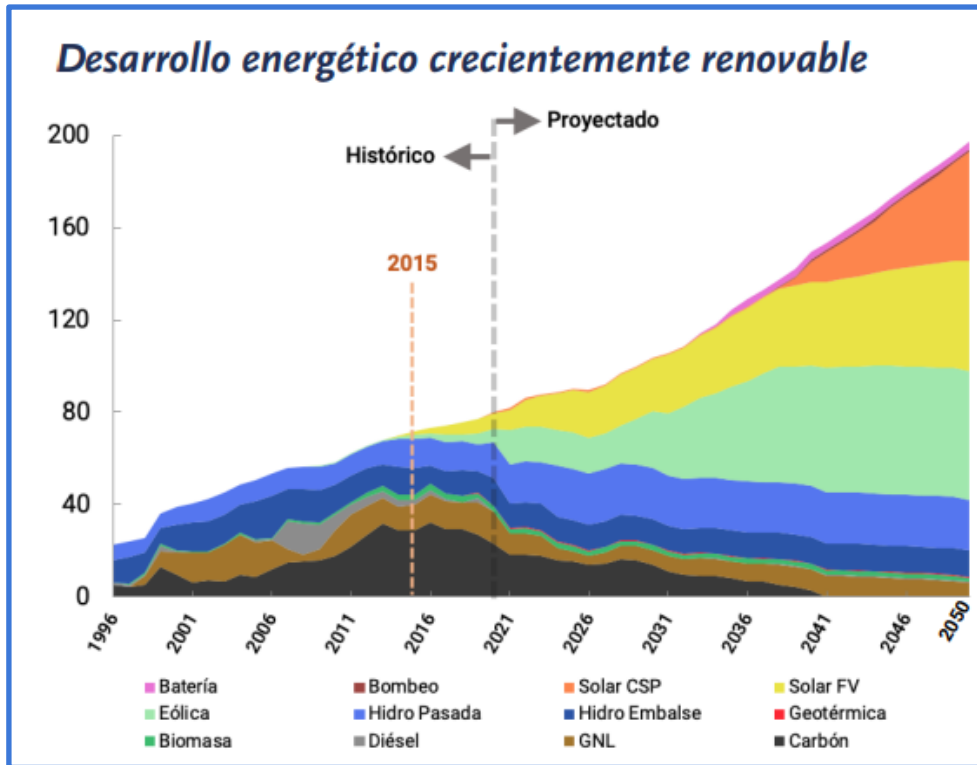
En la matriz energética primaria de Chile, como se observa en la figura 2.11, predominan los recursos fósiles con una representación del 68% del total, que corresponde a la suma del petróleo crudo (30%), carbón mineral (22%) y gas natural (16%). Con menor participación destaca la energía primaria proveniente de la biomasa (23%), seguido por aquellas de origen hídrico (5%), solar (2%) y eólica (1%). (BCN, 2021).

Durante el año 2015 las energías renovables recién comenzaban a desarrollarse en el país, y el carbón aún predominaba como fuente de generación. Durante los últimos años hemos desarrollado fuertemente las energías renovables especialmente del sol, en el norte de nuestro país y del viento, hacia el sur, las que se han desplegado de manera masiva, las cuales se han prácticamente duplicado su desarrollo respecto al año 2015, como se puede observar en la figura 2.11, Existe un desarrollo energético crecientemente renovable en Chile. Matriz energética de Chile figura 2.12.

<sup>1</sup> Kilotoneladas.

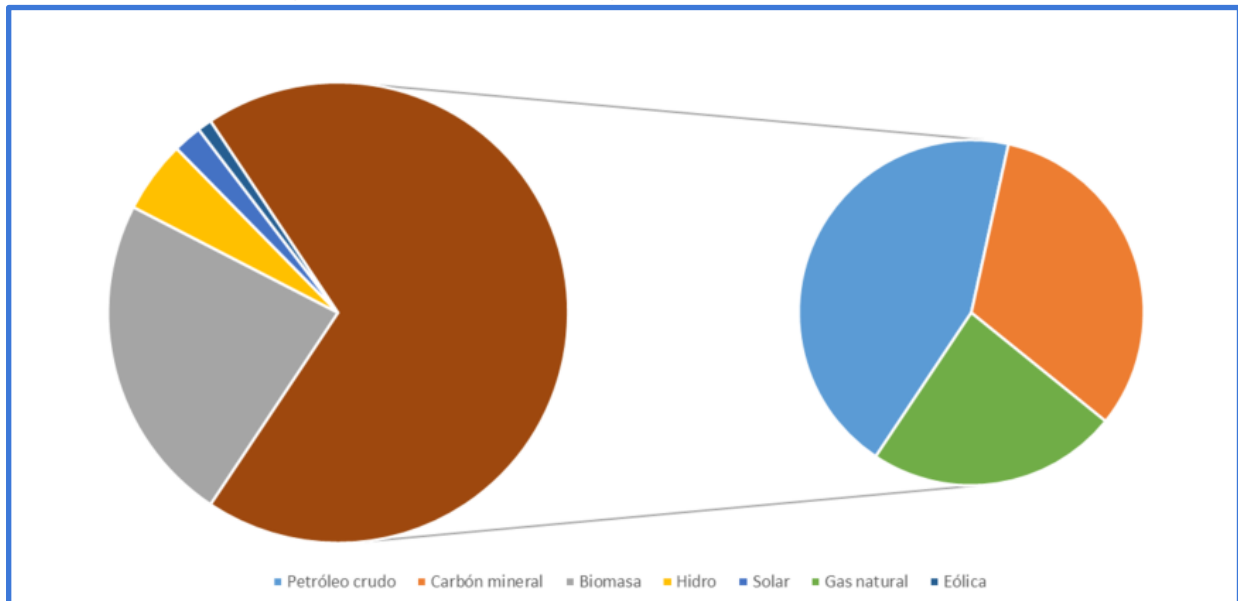
<sup>2</sup> Equivalentes.

Figura 2.11: Generación eléctrica por tipo de fuente (TWh) 1996-2050



Fuente: Comisión nacional de energía de Chile y proyecciones del informe preliminar de la planificación energética de largo plazo (PELP).

Figura 2.12: Matriz Energética Primaria, año 2020.



Fuente: Elaboración propia en base a la BCN, 2021.

## 2.9. Hidrógeno una nueva fuente de energía

El hidrógeno (H), es el primer elemento de la tabla periódica, uno de los más abundantes de nuestro planeta y es el más simple, sin embargo, no se encuentra en estado puro en la naturaleza, sino que se combina con otros compuestos generando diferentes tipos de moléculas, principalmente orgánicas como el agua (H<sub>2</sub>O), amoníaco (NH<sub>3</sub>), entre otros. Es por esto, que el hidrógeno debe ser producido o purificado a partir de materias primas. Estos procesos tienen en su mayoría una alta demanda energética, a pesar de ello de entre todos los combustibles no nucleares, y como se observa en la tabla 2.2, el hidrógeno es el que tiene mayor densidad energética en peso (Ministerio Energía, 2022). El hidrógeno es el elemento químico más ligero de la tabla periódica, con un peso molecular de 2,02 g/mol. Bajo condiciones estándar (1,013 bar y 0°C), tiene una densidad de 0,09 kg/m<sup>3</sup>. Si es comprimido a 200 bar, la densidad aumenta a 15,7 kg/m<sup>3</sup> y a 950 bar llega hasta 50,55 kg/m<sup>3</sup>.

Una propiedad importante del hidrógeno es que es el combustible con mayor contenido de energía por unidad de masa, siendo su valor calorífico superior (HHV: Higher Heating Value) 141,88 MJ kg y su valor calorífico inferior (LHV: Lower Heating Value) 119,96 MJ kg, valores que corresponden a casi el triple del HHV y LHV de la gasolina convencional. (Araneda Orellana, R. 2022).

Durante los últimos años se habla cada vez más del hidrógeno y de las pilas de combustible y de la importancia que pueden tener en nuestro futuro energético como herramienta, con el objetivo de ir cambiando el actual modelo basado en el consumo de combustibles fósiles. Como sabemos, las reservas de combustibles fósiles son limitadas y su combustión incide negativamente en la calidad del aire que respiramos. (Ministerio de Energía, 2022).

Lo cierto es que la industria del hidrógeno no es nada nuevo, todo lo contrario, el primer motor de combustión de la historia era a base de hidrógeno construido en el año 1863. Hoy en día es utilizado para la refinación de petróleo o la producción de productos químicos, como fertilizantes o amoníacos. Sin embargo, el gran problema que presenta el hidrógeno hasta ahora fue su método de obtención, que mediante el uso de combustibles fósiles se producen grandes emisiones de gases de efecto invernadero, aportando así al calentamiento global. A diferencia de la energía eólica o el gas natural, por ejemplo, no es una fuente de energía como tal, sino un vector energético, esto quiere decir que se precisa de energía para producir posteriormente más energía, actuando en cierto modo como una unidad de almacenaje. Por eso, el hidrógeno que utilizamos para producir energía, hay que generarlo como tal, lo que significa que requiere energía para el proceso y genera subproductos (Ministerio de Energía, 2022c).

Tabla 2.2: Contenido energético de los distintos combustibles

Fuel	Energy content (MJ/kg)
Hydrogen	120
Liquefied natural gas	54.4
Propane	49.6
Aviation gasoline	46.8
Automotive gasoline	46.4
Automotive diesel	45.6
Ethanol	29.6
Methanol	19.7
Coke	27
Wood(dry)	16.2
Begasse	9.6

Fuente: El-Shafie, M. et al., 2019

## 2.10. Tipos de hidrógeno según las emisiones contaminantes producidas.

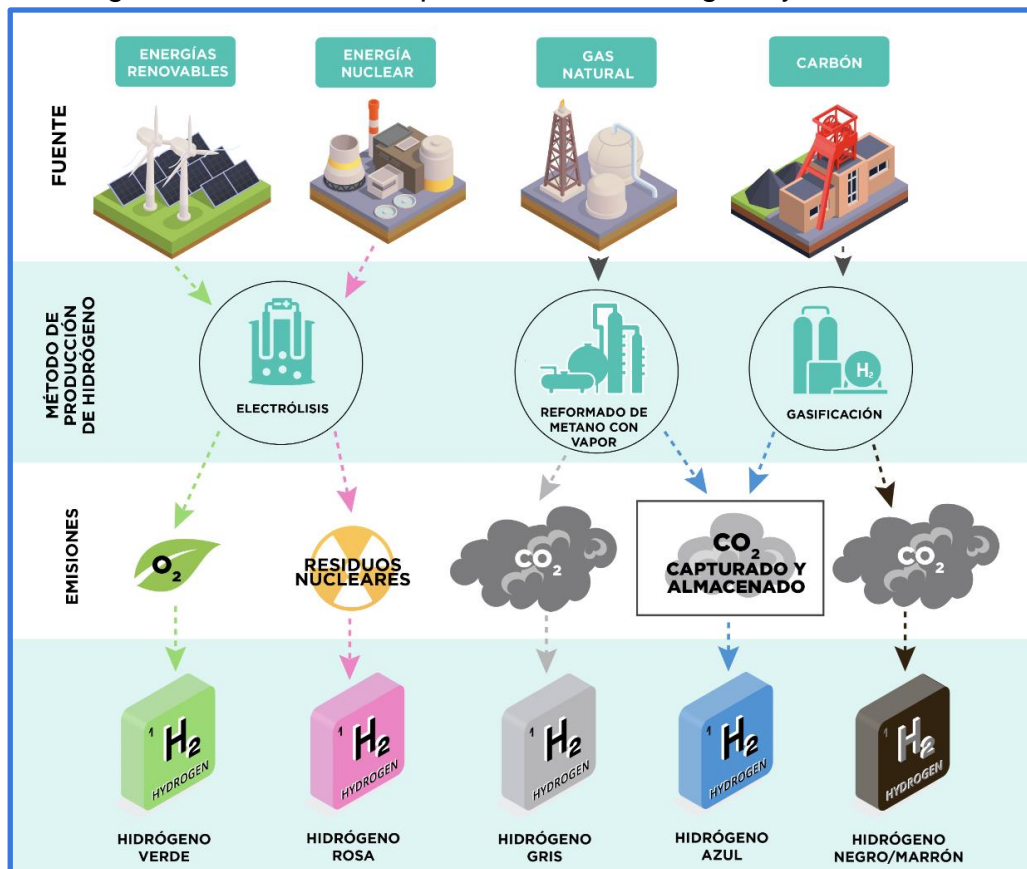
Aunque el hidrógeno es abundante en el universo, el hidrógeno libre no se encuentra fácilmente en la tierra. Ya que se encuentra unido a moléculas, las más abundantes de las cuales son el agua ( $H_2O$ ) y los hidrocarburos, especialmente el metano ( $CH_4$ ). De manera que, para obtener hidrógeno libre, estas moléculas deben dividirse aportando energía, que luego puede recuperarse mediante una recombinación con el oxígeno a partir del agua. De ahí que se describe al hidrógeno como un vector energético y no como fuente de energía primaria.

Todos los procesos de producción de hidrogeno pueden caracterizarse asignando al hidrógeno una etiqueta de color (ver figura 2.13). aunque el hidrógeno es un gas incoloro, estas etiquetas son de uso común como notación abreviada y se describen a continuación:

- El hidrógeno gris se obtiene mediante el reformado de metano con vapor y el  $CO_2$  producido se libera a la atmósfera.
- El hidrógeno azul se obtiene mediante el reformado de metano con vapor, pero el  $CO_2$  se captura y almacena en un sistema CCUS (carbon capture, use and storage, por sus siglas en inglés).
- El hidrógeno rosa se obtiene mediante la electrólisis del agua, cuando la electricidad del electrolizador proviene de fuentes nucleares.

- El hidrógeno marrón/negro, se obtiene a partir del carbón mediante la gasificación, o por la combustión de fuentes fósiles. Sin embargo, es un proceso muy contaminante ya que se libera  $\text{CO}_2$  a la atmósfera.
- Finalmente, el hidrógeno verde, este método utiliza la corriente eléctrica para separar el hidrógeno del oxígeno que hay en el agua, por lo que, si esa electricidad se obtiene de fuentes renovables, produciremos energía sin emitir dióxido de carbono a la atmósfera.

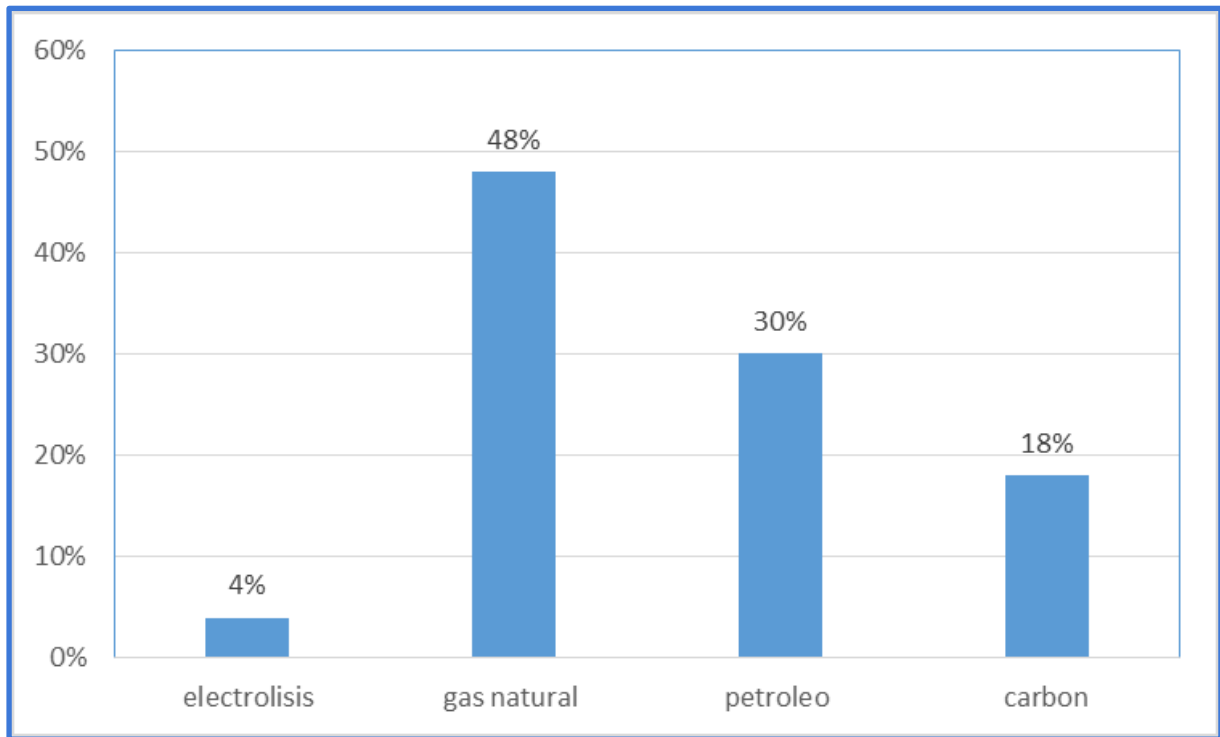
Figura 2.13: Método de producción de hidrógeno y sus colores



Fuente: Cic Energigune. Métodos de producción de hidrógeno y sus colores, 2022.

Como se menciona en el punto anterior, la producción de hidrógeno con fines energéticos se clasifica por colores que hacen referencia a qué tan limpia o no es su generación. En la actualidad, se obtiene hidrógeno a partir de las fuentes presentadas en la figura 2.13, de ellas casi la mitad es a partir de gas natural (48%), el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables representa el mínimo (4%), mientras que el hidrógeno negro por petróleo (30%) y posteriormente el carbón (18%), representado en la figura 2.14.

Figura 2.14: Origen del hidrógeno producido en la actualidad



Fuente: Elaboración propia en base a "PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO VERDE PARA APLICACIONES ENERGÉTICAS EN CHILE", Cancino Silva, R. 2021.

## 2.11 Mercado actual de hidrógeno en Chile

En Chile, las principales industrias y consumidores de hidrógeno actuales son las refinerías de petróleo, ya que utilizan el hidrógeno en sus procesos de hidrot ratamiento con el objetivo de producir combustibles libres de azufre. Existen dos grandes refinerías que incluyen el H<sub>2</sub> como insumo en sus procesos, el cual es producido por gas natural, por medio de tecnología SMR y otra planta industrial in-situ es el electrolizador de la empresa Indura para la productora de vidrios Lirquén.(GIZ,2018)

### Refinería Aconcagua

Esta refinería cuenta con una unidad de un reformador de vapor de H<sub>2</sub> con una capacidad de 46.000 Nm<sup>3</sup>/h, la tecnología utilizada es SMR, con un sistema de purificación de H<sub>2</sub>. El hidrógeno generado es mayoritariamente entregado a la empresa y los excedentes generados son comercializados en el mercado de cilindros o grandes tubos de presión. Linde diseñó, construyó y opera la planta para suministrar el hidrógeno en una modalidad de OFT (over the fence) a la refinería.

### Refinería Bío Bío

Esta unidad cuenta con dos plantas generadoras de H<sub>2</sub>, con una capacidad de 25.000 Nm<sup>3</sup>/h la más moderna. La puesta en marcha fue en el año 2004, construida por Sigdo Koppers y entregada a Enap bajo la modalidad BOT (building own transfer). Sin embargo no cuenta con una estación de envasado de hidrógeno para el mercado. La otra planta pequeña posee una capacidad de 6.000 Nm<sup>3</sup>/h con un funcionamiento intermitente.

### Vidrios planos Lirquen.

Esta planta productora de vidrios planos, también requiere H<sub>2</sub> para sus operaciones. Actualmente la empresa Indura le suministra el H<sub>2</sub> a partir de una planta de electrólisis. La unidad productora es de 200 Nm<sup>3</sup>/h y su producción es exclusiva para vidrios Lirquén.

En la siguiente tabla (2.3) se detallan algunas de las plantas de producción de hidrógeno en Chile.

Tabla 2.3: plantas de producción de hidrógeno en Chile.

Ubicación	Tecnología	Capacidad	Construcción	Operación	Uso
Refinería aconcagua de Enap	SMR	46.700 Nm <sup>3</sup> /h	2006 por linde	por linde modalidad "over the fence"	Hidrotratamiento de combustibles
Refinería Bío bío de Enap	SMR	25.000 Nm <sup>3</sup> /h	2005 por Sigdo Koppers	Por enap modalidad "building own transfer"	
Refinería Bío Bío de Enap	SMR	6.000 Nm <sup>3</sup> /h	1995 por Foster Wheeler	en forma intermitente	
Plante de vidrios Lirquén (Bío Bío)	Electrolisis	200 Nm <sup>3</sup> /h	1996 por Indura	Indura	Vidrio plano
Campamento cerro pabellón	Electrolisis	n/a	2017 por Electro Power System	Enel/EPS	
Planta	Electrolisis	n/a	n/a	Indura	

Indura Graneros (O'higgins)					
Nestlé	Electrolisis	n/a	n/a	n/a	Hidrogenación de aceites

Fuente: Informe final de hidrogeno verde en Chile. GIZ 2018

## CAPÍTULO III

### 3. Área de Estudio

#### 3.1.VIII Región del Biobío

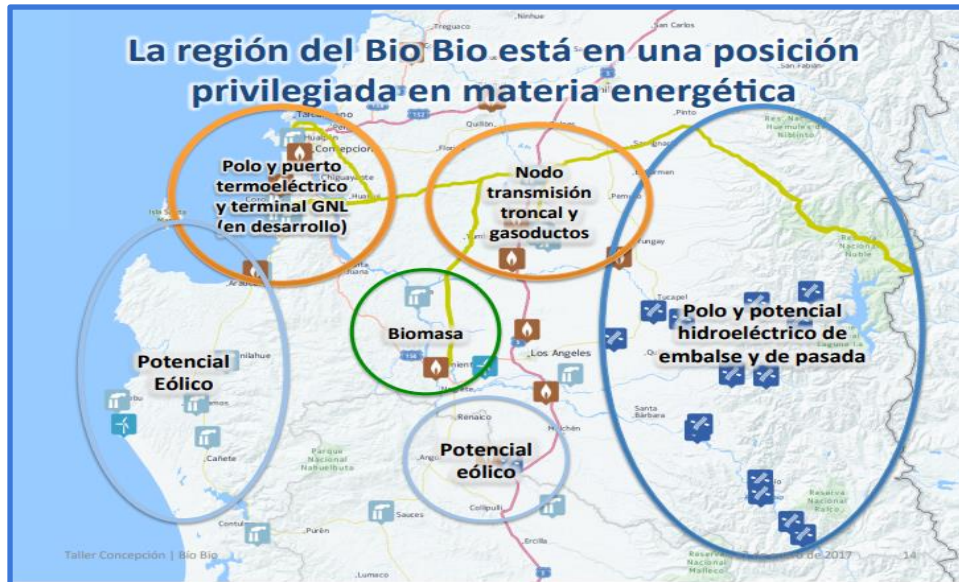
Para efectos de esta investigación se considerarán como límites geográficos la VIII región del Biobío, Chile, esta se localiza en el límite sur de la zona central específicamente entre los 36°26' y los 38°29' de latitud sur.

Se escogió esta región ya que es una de las regiones más importantes en el país. Luego de Santiago, el área metropolitana del Gran Concepción es el segundo conglomerado urbano del país. Además de ello, la región es una de las principales concentradoras de importantes actividades económicas. En su interior acoge rubros tan diversos como la siderurgia (Huachipato), la agricultura tradicional, la industria de la celulosa, la actividad forestal, la generación de electricidad, entre otros (BCN, 2022).

La Región del Biobío tiene la mayor capacidad instalada de generación de Chile, ya que cuenta con diferentes fuentes como el agua, viento, los residuos agrícolas y forestales y de combustibles fósiles, también dentro de esta se encuentra con un importante polo de refinación de petróleo y no menos importante el Gasoducto del Pacífico que une Chile con Argentina. Al 31 de diciembre de 2015 la capacidad instalada en la Región del Biobío era de 4.785MW, de los cuales 3.100MW provienen de energías renovables, principalmente de hidroeléctricas de embalse (figura 3.15).



Figura 3.15: Mapa de la región VIII, diferentes fuentes energéticas.



Fuente: Generadoras de Chile. 2017.

### 3.2. Aspectos del clima de la VIII región

La región es el punto intermedio entre los climas templados de la zona central de Chile con los climas templados lluviosos que se desarrollan inmediatamente al sur de la octava región. Podemos organizar la región en 4 zonas:

- La franja costera y en los sectores altos y laderas occidentales de la cordillera de la costa se presenta un clima templado húmedo, con una humedad constante con precipitaciones que fluctúan entre 1.200 mm y 2.000 mm anuales de norte a sur de la región (BCN, 2022).
- Hacia el Interior se pueden encontrar temperaturas menos extremas donde las precipitaciones alcanzan 1.330 mm anuales con un período seco de cuatro meses. En el valle longitudinal las temperaturas presentan un mayor contraste entre día y noche (BCN, 2022).
- Sector norte de la región predomina el clima templado mediterráneo abarcando toda la zona intermedia, bordes orientales de la cordillera de la costa y los sectores más bajos de la precordillera (BCN, 2022).
- Por último, al oriente, en la cordillera de Los Andes por sobre los 1.500 metros de altura se desarrolla el clima frío de altura con abundantes precipitaciones, más de 2.000 mm anuales y las bajas temperaturas que permiten la presencia de nieves permanentes en las alturas de la cordillera (BCN, 2022).

## Capítulo IV

### 4. Metodología

Con la intención de que el presente informe sirva para introducir las bases preliminares para una posible futura instalación de una planta de hidrógeno verde en la VIII región, se pretende determinar, en la región del Biobío, Chile, las mejores condiciones para la instalación de una planta de hidrógeno verde, desde el punto de vista energético, físico y ambiental.

Para ello primeramente se realizará una revisión bibliográfica de carácter descriptiva cualitativa, teniendo en cuenta los siguientes criterios de selección:

#### 4.1. Criterios de inclusión

Se consideraron artículos enfocados en conceptos de hidrógeno, energía en base a hidrógeno, energías renovables y la estrategia nacional de hidrógeno verde. Para la identificación de potencial energético, se consideraron energía eólica y solar. Se definió como magnitud del estudio, una planta de baja escala.

#### 4.2. Criterios de exclusión

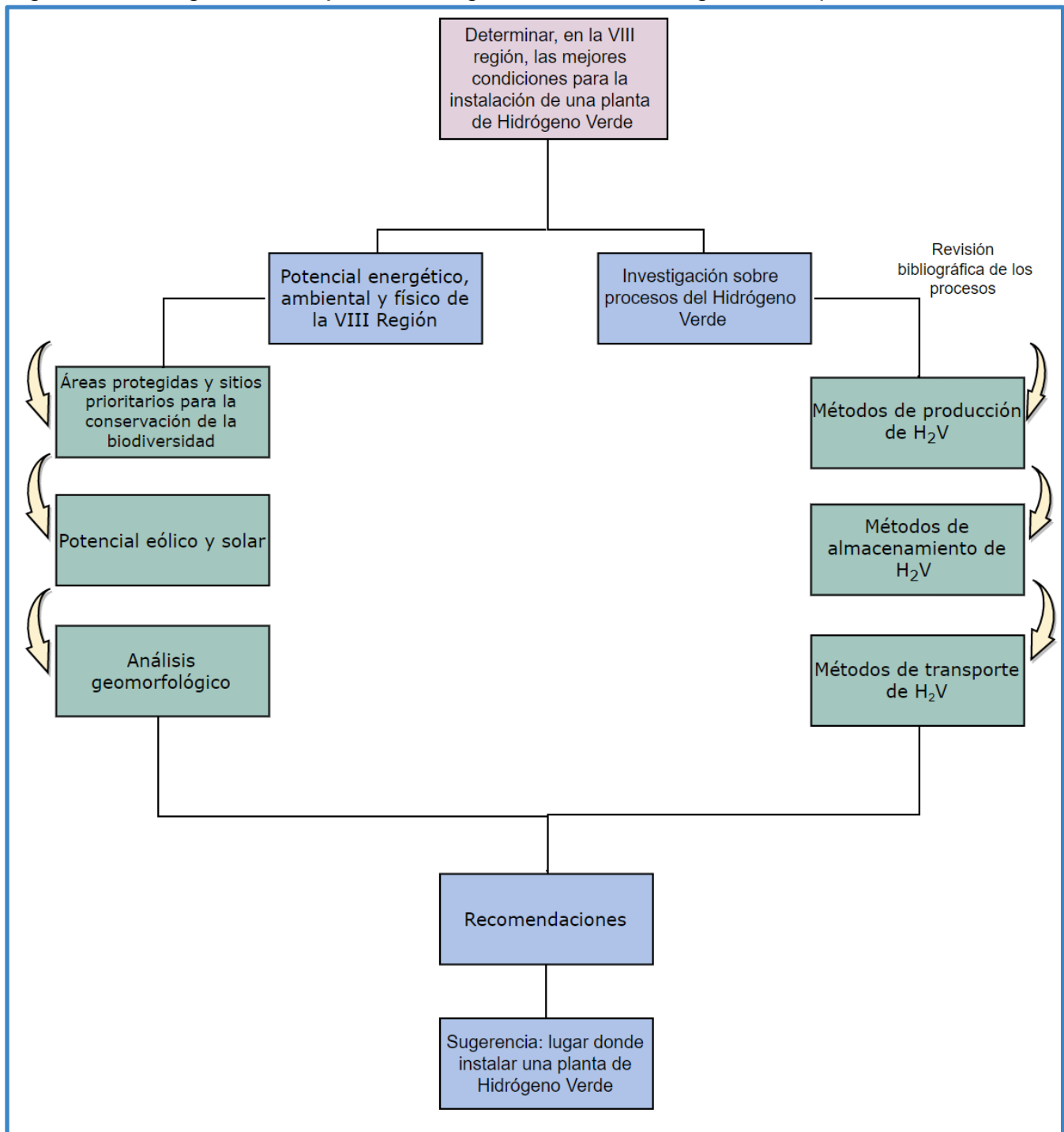
Se excluyeron todos los artículos que no estuviesen en el idioma español o inglés, que hayan sido publicados anterior al año 2012, es decir que tuviesen antigüedad de 10 años como máximo.

Estrategia de búsqueda:

- Contaminación ambiental AND Gases de efecto invernadero.
- Hidrógeno Verde AND Energías renovables.
- Hidrógeno AND transporte.
- Hidrógeno AND producción.

A continuación, se presentan los pasos y supuestos utilizados para el desarrollo de los objetivos de este estudio, a través de la elaboración de un flujograma (figura 4.16).

Figura 4.16: Diagrama de flujo, metodología de revisión bibliográfica del presente informe.

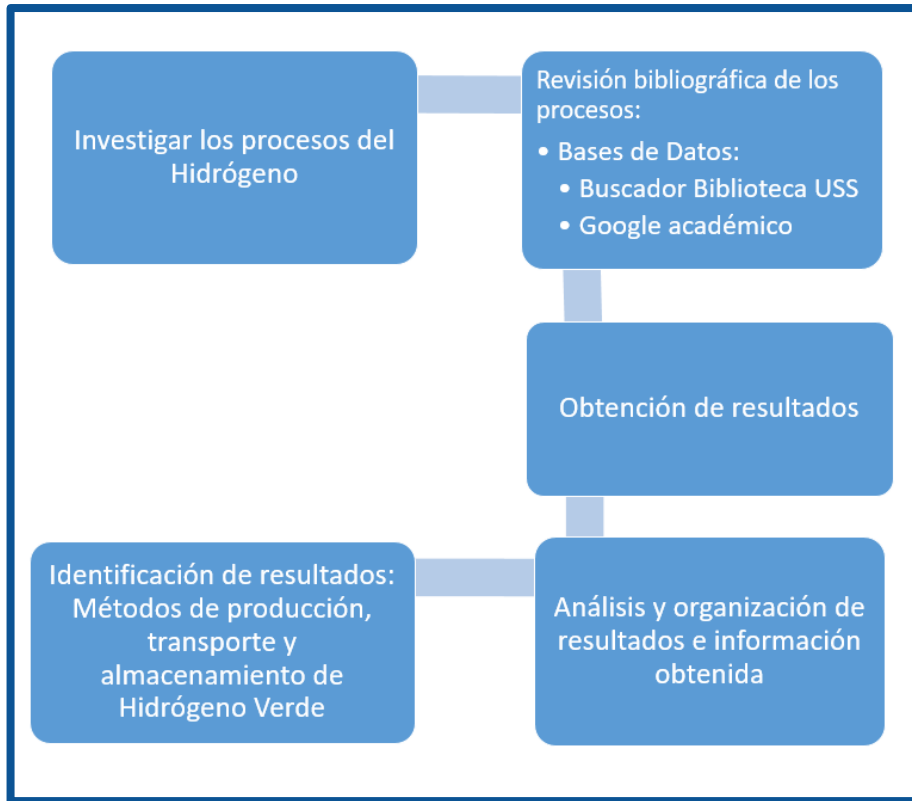


Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Métodos de producción de hidrógeno verde

La obtención de la información se llevará a cabo a través de un proceso detallado que se muestra en el siguiente diagrama de procesos Figura 4.17.

Figura 4.17: Flujograma, metodología de revisión bibliográfica sobre procesos del hidrógeno, métodos de producción según hidrocarburos o a partir de agua, métodos de almacenamiento y transporte.



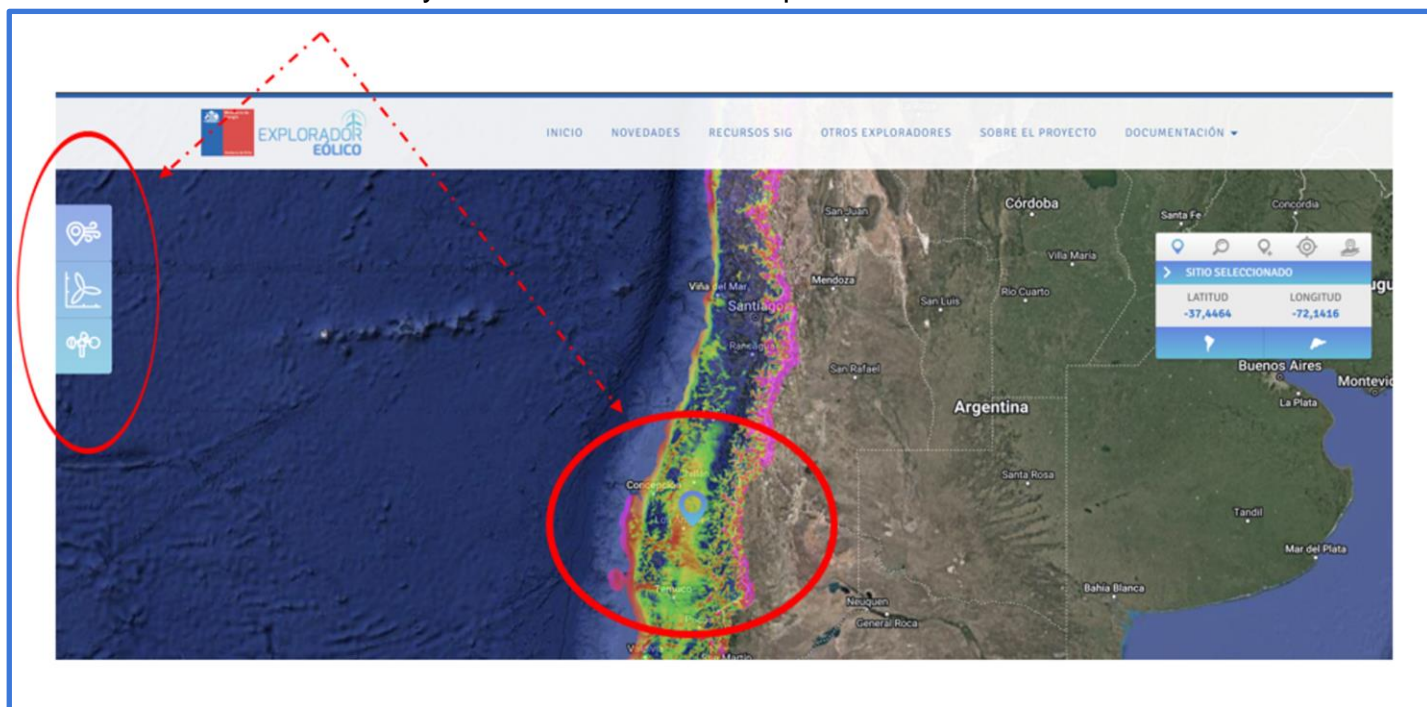
Fuente: Elaboración propia

## 4.4. Estimación del potencial energético, ambiental y físico de la región de Biobío

### a. Potencial eólico

Para poder llevar a cabo la identificación del potencial eólico y medir la velocidad del viento, se utilizará el servidor de mapas del explorador eólico del Ministerio de Energía, (Ministerio de Energía,2022), del cual se observarán indicadores de velocidad del viento como se indica en la figura 4.18, para luego comparar los datos proporcionados por el servidor de mapas y así poder identificar el potencial energético de la región.

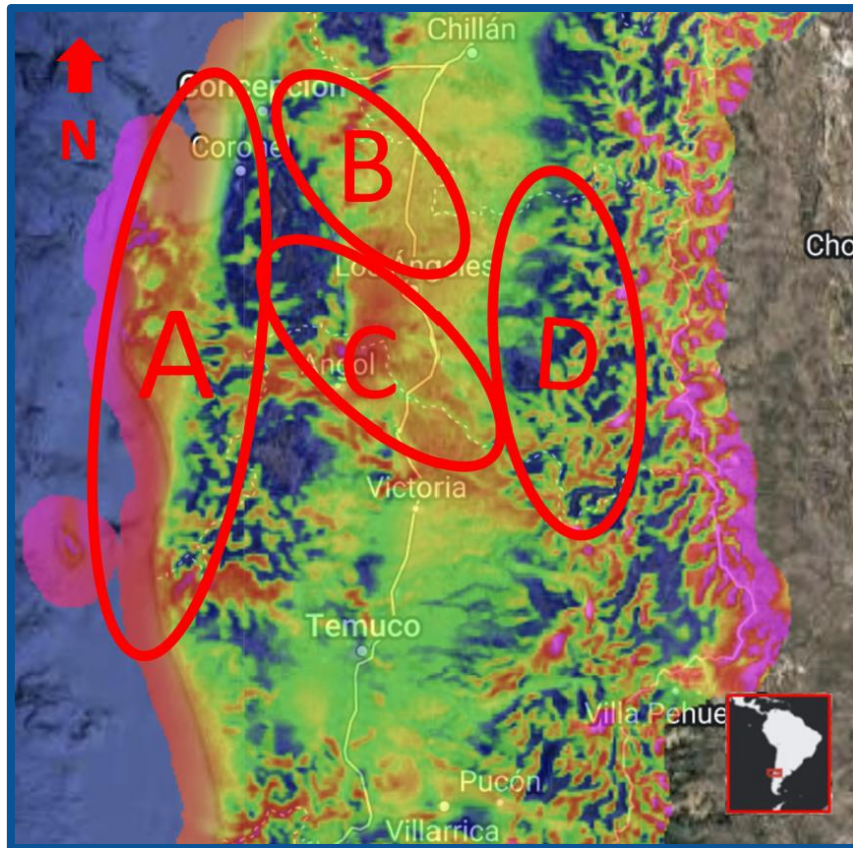
Figura 4.18: Servidor de mapas del explorador eólico del Ministerio de Energía, herramientas y su zona a identificar su potencial



Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de poder realizar el análisis espacial del potencial eólico, se organizará estratégicamente el área de estudio, según geomorfología identificada en la región, en 4 zonas (Ver Figura 5.32). Las que se analizaron cada una independiente de las demás zonas.

Figura 4.19: Mapa de referencia VIII región, con división estratégica para análisis.

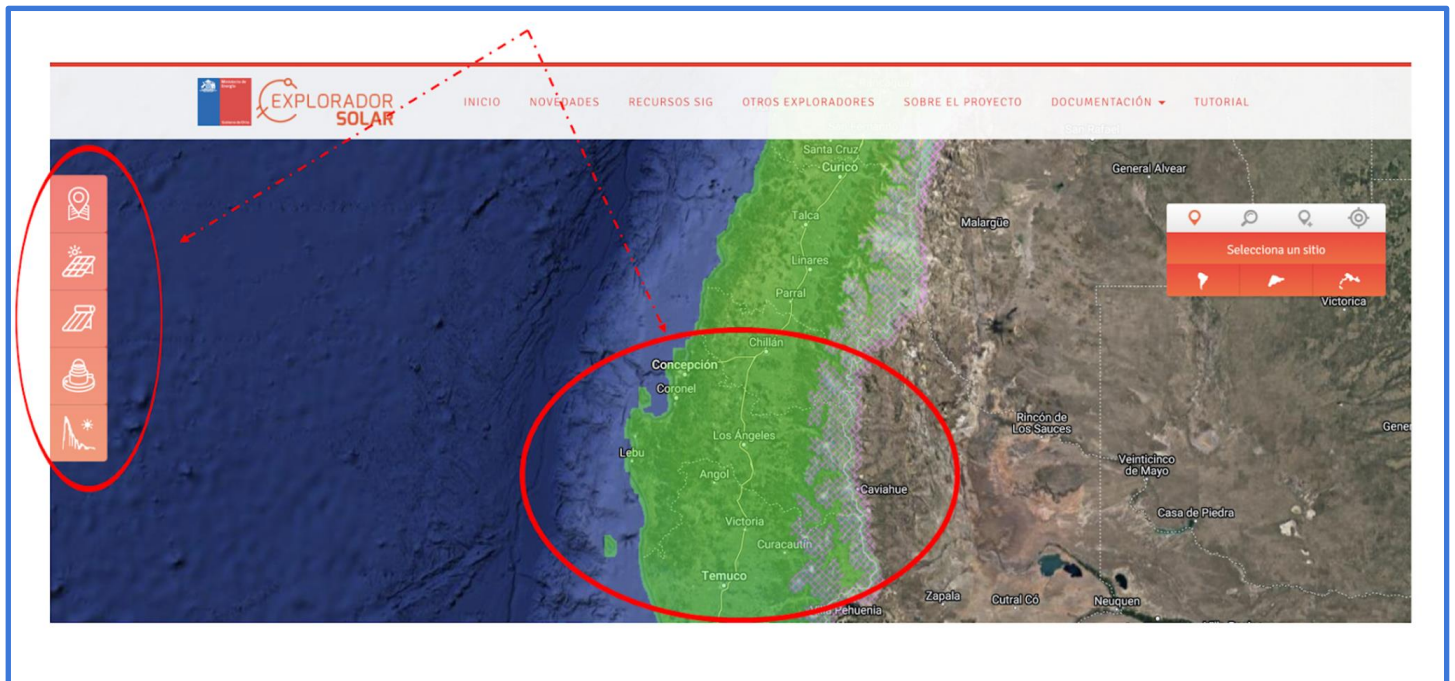


Fuente: Elaboración propia

#### b. Potencial solar

Para poder llevar a cabo la identificación del potencial solar y determinar la radiación anual global horizontal, radiación anual global inclinado  $37^\circ$ , promedio radiación anual directa y radiación anual difusa horizontal, se utilizará el servidor de mapas del explorador solar del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2022), en la cual se observará niveles y mediciones del recurso solar y datos meteorológicos, como se observa en la figura 4.20, para luego comparar los datos proporcionados por el servidor de mapas y así poder identificar el potencial energético de la región.

Figura 4.20: Servidor de mapas del explorador Solar del Ministerio de Energía, y herramientas y zona a identificar su potencial.



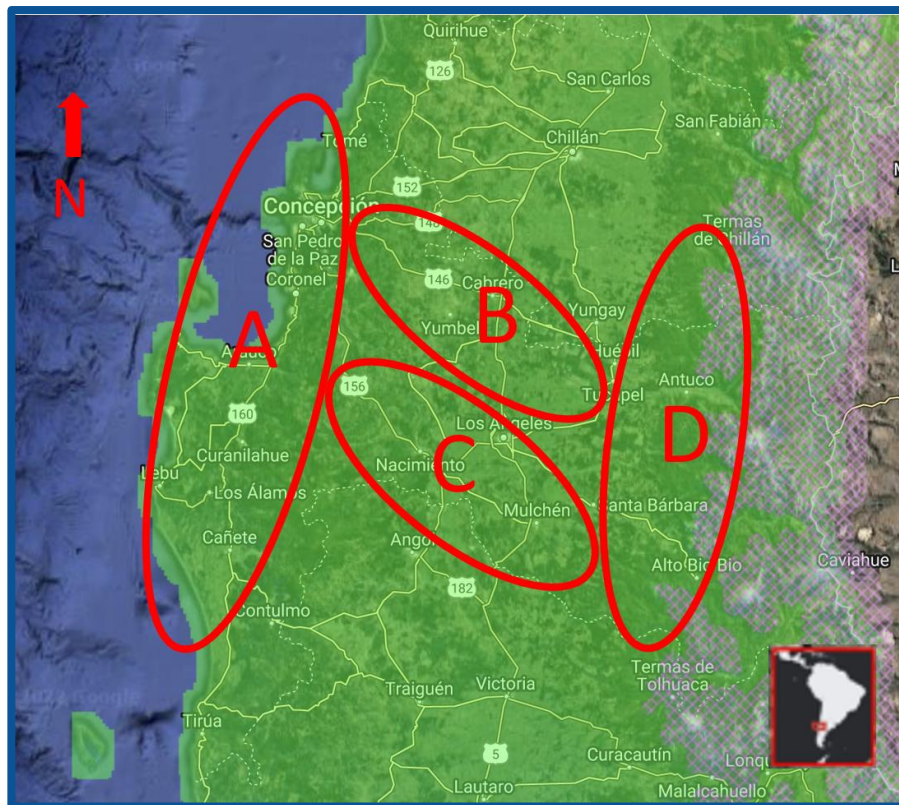
Fuente: Elaboración propia.

Esta herramienta nace de la colaboración entre el Ministerio de Energía, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, así como también de la Corporación Nacional Forestal y la Universidad Austral de Chile, la Dirección General de Aguas (DGA) y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).

Presenta la información pública más detallada que existe actualmente sobre el recurso solar en Chile. Los datos de este sitio han sido generados a partir de modelos atmosféricos y datos satelitales, para el período comprendido entre los años 2004 y 2016, con una resolución espacial de 90 metros. Las mediciones son obtenidas usando 120 estaciones de medición a lo largo del país, las cuales pertenecen a redes públicas y privadas (Molina, A.et al.,2017).

Para efectos de poder realizar el análisis del potencial solar, se organizó el área de estudio, según geomorfología identificada en la región, en 4 zonas (Ver Figura 5.37), al igual que para el análisis del potencial eólico. Para mayor congruencia del presente informe se analizarán los datos en las mismas coordenadas que se utilizaron para el análisis del potencial eólico.

Figura 4.21: Mapa de referencia de la VIII Región con división estratégica para análisis



Fuente: Elaboración propia

### c. Estimación del recurso hídrico

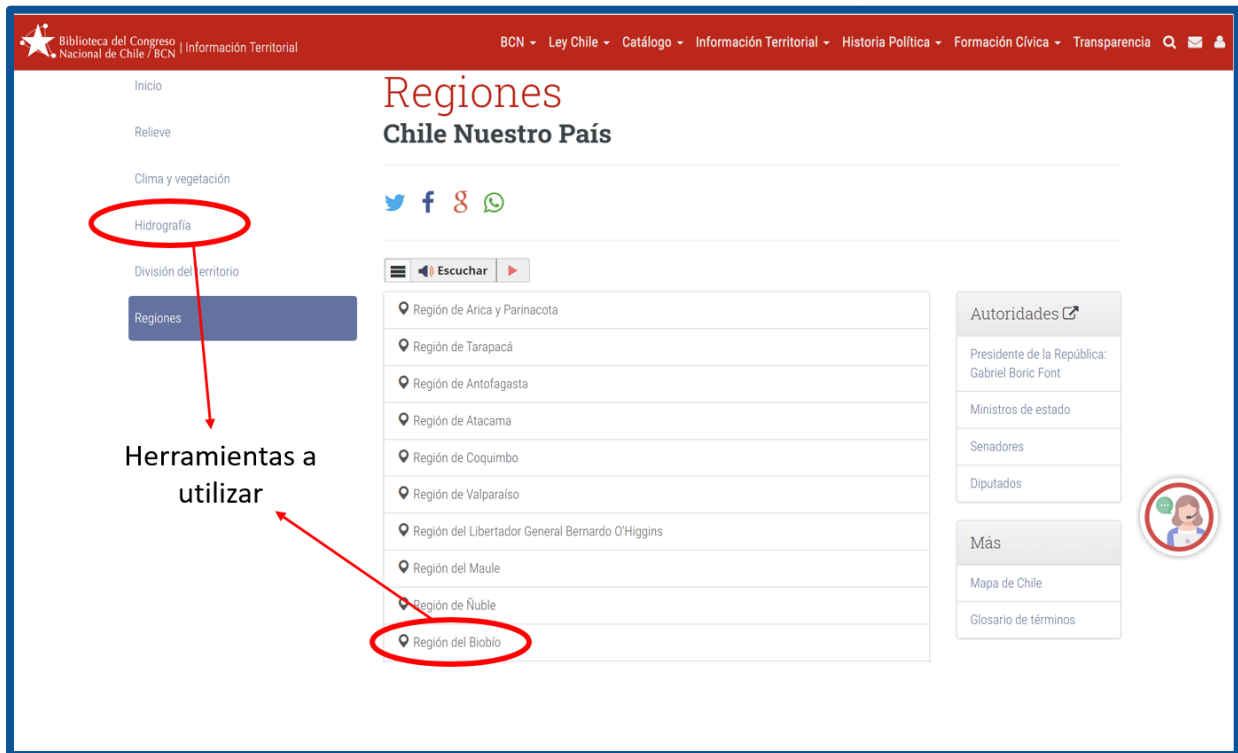
Con el fin de obtener lineamientos sobre la normativa de la extracción del recurso hídrico de la VIII región, se analizará el mapa hídrico de la zona, consultando la BCN<sup>3</sup>, en la sección de Servicio Integrado de Información Territorial (SIIT), junto con el navegador del Explorador Climático y la plataforma Camels herramientas disponibles en la DGA<sup>4</sup>, herramientas bibliográficas que se pueden observar en la figura 4.22 y figura 4.23, de la cual también se obtendrán los caudales extraídos de la fuente de obtención de recurso hídrico, como se puede observar en la figura 5.42.

<sup>3</sup> Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

<sup>4</sup> Dirección General de Aguas



Figura 4.22: Sitio a consultar para la investigación sobre el recurso hídrico de la zona de estudio, Biblioteca Nacional del Congreso.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.23: Fuente bibliográfica a utilizar, Dirección General de Aguas.

**Herramientas disponibles en la DGA, a utilizar**

**Servicios Climáticos del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2**

El (CR)2 es un centro de excelencia Fondap patrocinado por la Universidad de Chile y en asociación con la Universidad Austral y Universidad de Concepción. Su objetivo es estudiar de manera interdisciplinaria la ciencia climática en Chile para mejorar la comprensión del sistema y la búsqueda de formas para adquirir resiliencia.

**Plataforma de Simulaciones Climáticas**

Esta plataforma de visualización y descarga de datos climáticos, fue implementada con el objetivo de proveer información de proyecciones climáticas para ser utilizada por distintas instituciones de gobierno, comunidad científica y por otros actores que requieran esta información.

**\*\* Visita la plataforma haciendo clic aquí \*\***

**Explorador Climático**

Está diseñada para el uso de la comunidad en general, y también profesionales con conocimientos avanzados en meteorología, por lo que esperamos que sea una herramienta útil de análisis para apoyar la toma de decisiones. En particular, permite a los usuarios acceder a la base de datos meteorológicos, realizar cálculos y estadísticas simples, desplegar los resultados como mapas o series de tiempo y exportarlos a diversos formatos.

**\*\* Visita el explorador climático haciendo clic aquí \*\***

**Visualizador Climático (Vismet)**

El Visualizador meteorológico (VisMet) es un sistema de despliegue de datos meteorológicos actuales e históricos (precipitación y temperatura del aire), registrados a nivel horario en más de 500 estaciones operadas por la Dirección Meteorológica de Chile, la Dirección General de Aguas y la Red Agroclimática Nacional. El sistema está orientado al análisis espacial de eventos meteorológicos de corta duración (1-72 horas), incluyendo su seguimiento en tiempo real.

**\*\* Visita el visualizador climático haciendo clic aquí \*\***

**Explorador de Cuencas (CAMELS-CL)**

El Explorador de Cuencas Hidrográficas es una herramienta en línea que permite visualizar los datos de CAMELS-CL, que integra información física e hidro-meteorológica de cuencas de todo Chile. El explorador fue desarrollado el año 2018 por investigadores del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2.

**\*\* Visita el explorador de cuencas haciendo clic aquí \*\***

Fuente: Elaboración propia con base en DGA<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> DGA: Dirección General de Aguas.

Figura 4.24: Fuente bibliográfica a utilizar, Derechos de aprovechamientos de aguas registrados en DGA.

The image shows a screenshot of the website of the Dirección General de Aguas (DGA) of Chile. The header includes the logo of the DGA and the text 'Dirección General de Aguas', 'Ministerio de Obras Públicas', and 'Gobierno de Chile'. On the left side, there is a navigation menu with items: 'Acerca de la DGA', 'Legislación, Normativas y Circulares', 'Atención Ciudadana', and 'DGA en Terreno'. The main content area is titled 'Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA'. It contains text explaining that this section provides information on original water rights, including transfers and changes in capture points. It also mentions that information is available through a search tool by region and a national consolidated list updated monthly. A list of regions is provided, with three regions circled in red: VIII Región del Bío Bío, XVI Región de Nuble, and IX Región de la Araucanía. A red arrow points from the text 'Datos de Regiones a utilizar' to these three circled regions.

Fuente: Derechos de aprovechamiento de aguas DGA, MOP<sup>6</sup>.

#### d. Identificación de las Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad

Para el presente informe, las áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad se abordarán en base a la revisión (MMA, 2022) y análisis espacial (MMA, 2022) y Áreas Protegidas presentadas en el servidor de mapas del Ministerio del Medio Ambiente, ver figura 4.25, de las que se podrá identificar el potencial ambiental de la región del Biobío, y las zonas en las que sería posible una futura instalación de la planta de Hidrógeno.

<sup>6</sup> MOP: Ministerio Obras Públicas.

Figura 4.25: Sitio a consultar para la investigación de áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad.



Fuente: Elaboración propia.

En el Marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, oficializada por la Dirección del Servicio de Evaluación Ambiental mediante el ORD. D.E. N° 130844/13, el mismo concepto de “área bajo protección oficial” permite identificar aquellos elementos que componen estas áreas, y que corresponden a:

- Área: debe tratarse de un espacio geográfico delimitado. Idealmente, dicha delimitación deberá encontrarse georreferenciada y constar en el acto formal declarativo del área.
- Declaración oficial: debe existir un acto formal, emanado de autoridad competente al efecto, en virtud del cual se somete determinada área a un régimen de protección.
- Objeto de protección: la declaración respectiva debe responder, directa o indirectamente, a un objetivo de protección ambiental.

Esta Minuta Técnica posteriormente fue complementada por el OF. ORD. N°161081/16, conformando en definitiva una lista de categorías de áreas protegidas y áreas colocadas bajo protección oficial para efectos del SEIA, indicadas en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Áreas Protegidas para efectos del SEIA.

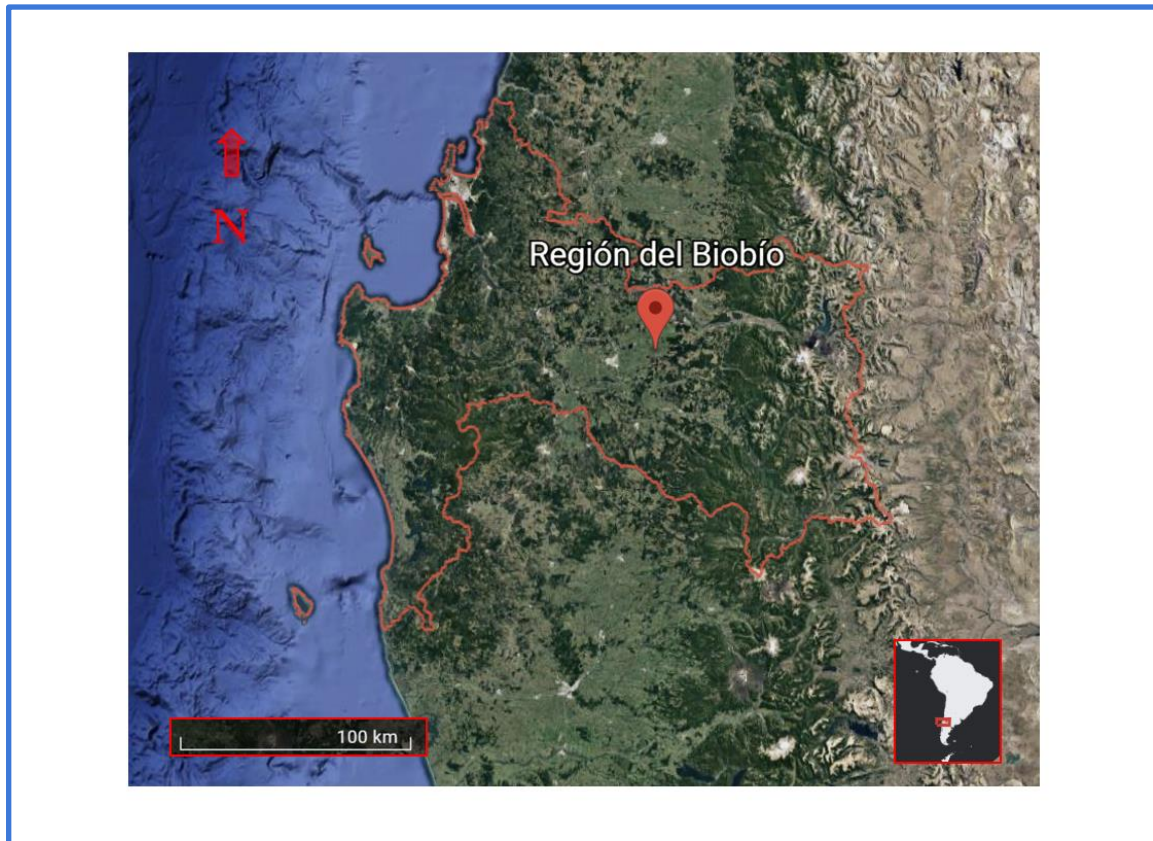
ID	Categoría de Áreas Protegidas
1	Parque Nacional o Parque Nacional de Turismo
2	Reserva Nacional
3	Monumento Natural
4	Reserva de Región Virgen
5	Santuario de la Naturaleza
6	Reserva de Bosque o Reserva Forestal
7	Acuífero que alimenta vegas y bofedales en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta.
8	Bien Nacional Protegido o Inmueble Fiscal para Fines de Conservación Ambiental
9	Área Marina Costera Protegida o Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos cuando la declaración respectiva obedezca a un objetivo de protección ambiental
10	Zonas de Conservación Histórica
11	Inmuebles de Conservación Histórica
12	Humedales declarados sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad (Sitios Ramsar)

Fuente: SEA, 2013 y SEA. 2016.

#### e. Análisis geomorfológico

El análisis geomorfológico se aborda a través de la utilización de herramientas de apoyo de georreferencia como Google Earth Pro. Pudiendo así realizar un perfil geomorfológico para poder analizar las principales macro unidades geomorfológicas de la zona de estudio, la región del Biobío (ver figura 4.26).

Figura 4.26: Mapa de la zona de estudio para el análisis geomorfológico.



*Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth, 2022.*

#### f. Puertos de Exportación de Hidrógeno

Para investigar la existencia de puertos cercanos en la zona de estudio, se consultará las fuentes detalladas en las figuras 4.27, (Dirección de Obras Portuarias) y figura 4.28 (Cámara Marítima y Portuaria de Chile).

Figura 4.27: Sitio bibliográfico a consultar, Dirección de Obras Portuarias.

**Dirección de Obras Portuarias**  
Ministerio de Obras Públicas  
Gobierno de Chile

Acerca de la DOP  
Direcciones regionales  
Leyes vinculadas a la DOP  
Noticias  
Preguntas Frecuentes  
Programa de Licitación  
Programas de Inversión  
Proyectos Privados  
Publicaciones en Medios de Comunicación

### Mapas Interactivos

#### Caletas pesqueras reconocidas por decreto N° 240

En este mapa se pueden ver las caletas reconocidas en la Nómina Oficial de Caletas de Pescadores contenidas en el D.S N°240 (Publicado en D.O. N° 36.196, de 24 de Octubre de 1998), modificado por D.S N°337 del 15 de Noviembre de 2004 (Publicado en el D.O N° 38.082 de fecha 09 de febrero de 2005) y por el D.S N°237 del 14 de Agosto de 2009 (Publicado en el D.O N° 39.517 de fecha 21 de Noviembre de 2009). Estas corresponden tanto a las que tienen inversión por parte de la Dirección de Obras Portuarias (DOP) como a las que no.

Caletas pesqueras reconocidas por decreto N° 240

#### Infraestructura Marítima

Este mapa contiene todas las obras construidas por la Dirección de Obras Portuarias (DOP). La información contenida en el mapa ha sido proporcionada luego de la consultoría "Diagnóstico de Infraestructura Marítima, Portuaria y Costera".

Infraestructura Marítima, Portuaria y Costera

Categoría del sitio DOP, a consultar

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.28: Sitio bibliográfico a consultar, Cámara Marítima y Portuaria de Chile.

**CAMPORT**  
CAMARA MARITIMA Y PORTUARIA DE CHILE S. A.

Somos    Desafíos    Estadísticas    Publicaciones

## Estadísticas de Comercio Exterior vía Marítima

Cifras actualizadas a Noviembre 2022 – excluyen cabotaje y tránsito

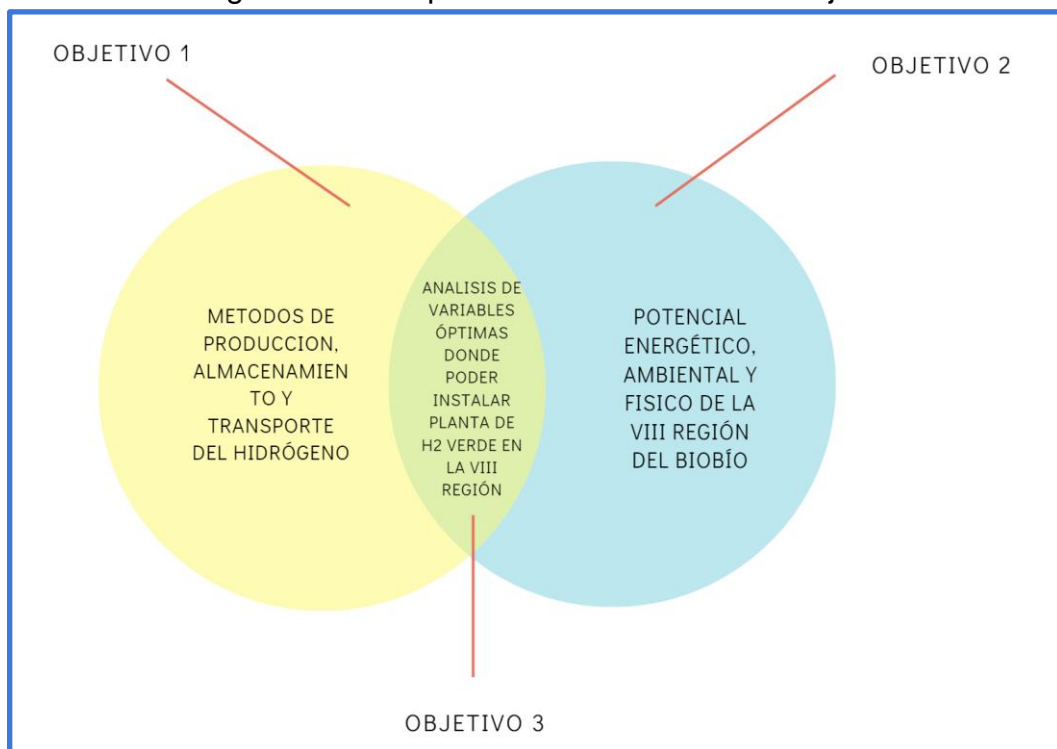
Fuente: Cámara Marítima y Portuaria de Chile

## 4.4. Análisis de variables óptimas donde poder instalar la planta de hidrógeno verde en la VIII región del Biobío

El análisis de variables óptimas de donde poder instalar la planta de hidrógeno verde en la región del Biobío, se llevará a cabo como muestra la figura 4.29 y considerando los siguientes puntos:

- Los resultados del objetivo 1: Los principales métodos de producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno verde.
- Resultados del objetivo 2: El potencial energético, ambiental y físico de la región del Biobío.
- Tomando en cuenta perfil geomorfológico
- Zonas de áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad
- Potencial eólico
- Potencial solar
- Fuente de abastecimiento del recurso hídrico

Figura 4.29: Esquema de formulación de Objetivo 3



Fuente: Elaboración propia.



Con los datos que se obtendrán de la revisión bibliográfica del [objetivo 1](#) y de la identificación de potenciales de la zona del [objetivo 2](#), se podrá construir los resultados del objetivo 3, para ello se escogerá el mejor método de producción de hidrógeno, y se plantearán recomendaciones de métodos para transporte y almacenamiento de hidrógeno para una futura planta de hidrógeno verde.

Desde el ámbito energético, físico y ambiental, se utilizará la elección de la zona óptima, de la división estratégica del potencial energético planteada en el punto [4.4.1. a](#) y [4.4.1. b](#). y se integrará al análisis espacial mencionado en el punto [4.4.1.d](#). de las áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad, para elegir una zona admisible/compatible para poder instalar una planta de hidrógeno, considerando los datos del perfil geomorfológico del punto [4.4.1. e](#). y se ubicará un punto del cual la futura planta pueda abastecerse de recurso hídrico.

Con lo anterior se podrá diseñar una sugerencia de planta de hidrógeno verde, partiendo con que se escogerá un electrolizador, escogiendo la mejor tecnología investigada, y tomando como referencia un proyecto piloto en la patagonia, para así poder tomar parámetros de potencia y diseñar una estimación de planta eólica, de la que se tomó en consideración la potencia de seis aerogeneradores, esto ya que por lo general los parques eólicos de pequeña escala son de son cinco-seis aerogeneradores y planta fotovoltaica, junto con poder calcular el consumo del recurso hídrico necesario de la planta.

## **Capítulo V.**

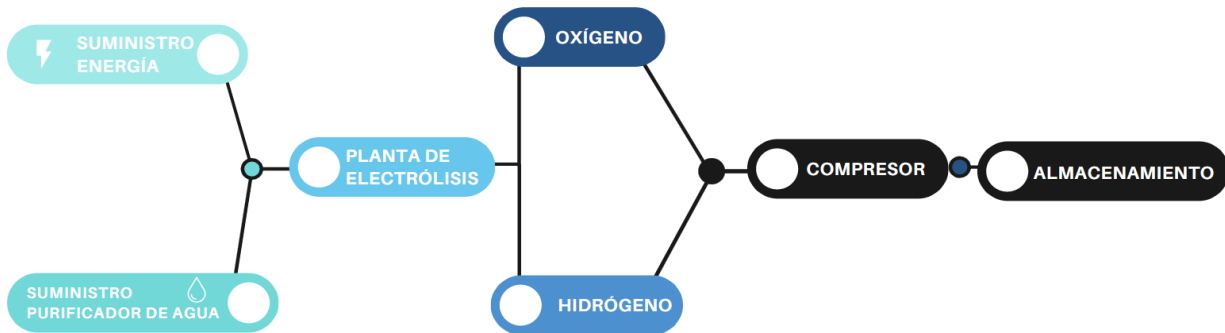
### **5. Resultados**

#### **5.1. Desarrollo objetivo 1: Principales métodos de producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno verde.**

##### **5.1.1. Planta de Hidrógeno**

Una planta de Hidrógeno Verde está compuesta de diferentes partes, principalmente está compuesta de planta que aporta el suministro eléctrico (energía renovable), a su vez se encuentra el suministro purificador de agua, ambas conectan con una planta electrolizadora, la que produce Hidrógeno y Oxígeno, que transitan hacia un compresor y posterior almacenamiento del hidrógeno. Proceso que se detalla en el siguiente diagrama de procesos en la figura 5.30.

Figura 5.30: Partes y procesos de una planta de Hidrógeno



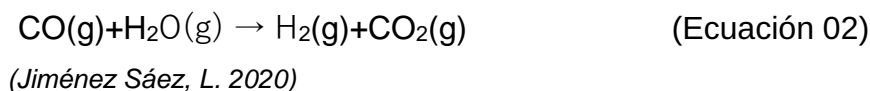
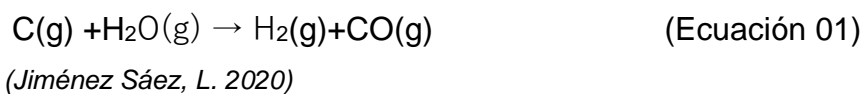
Fuente: Elaboración propia

## 5.1.2. Producción de Hidrógeno

### A. A Partir de Hidrocarburos:

#### -Gasificación del Carbón:

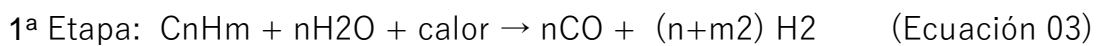
Este proceso consiste en llevar carbón a temperaturas superiores a los 1000 °C—en un ambiente controlado para evitar la combustión— de manera que pase a estado gaseoso y así mezclarlo con agua, obteniendo hidrógeno y monóxido de carbono, además el monóxido de carbono se mezcla con agua nuevamente en un segundo reactor a 400 °C para generar hidrógeno y dióxido de carbono. El proceso queda descrito entonces por las siguientes ecuaciones:



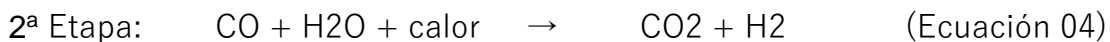
Si bien este proceso es utilizado en la industria debido a su relativa simpleza, es evidente que se generan gases de efecto invernadero los cuales deben ser captados y tratados adecuadamente para no provocar emisiones no deseadas, siendo por lo tanto un método no deseado en el ciclo del hidrógeno limpio (Jiménez Sáez, 2020).

## - Reformado de vapor de gas natural

Es un proceso endotérmico que se obtiene como producto Hidrógeno (H<sub>2</sub>) y dióxido de carbono, aunque dependiendo de la mezcla, monóxido de carbono (CO). En el caso de que el gas natural contenga azufre será necesaria la remoción de este y otras impurezas. Este proceso, al igual que la gasificación de carbón, se lleva a cabo en 2 etapas para aumentar su eficiencia, la primera donde se aporta vapor de agua y calor a los hidrocarburos para producir la reacción a altas temperaturas en presencia de un catalizador. En esta primera etapa se produce monóxido de carbono e hidrógeno. Posteriormente en una segunda etapa ese monóxido de carbono vuelve a reaccionar con vapor de agua y calor. Esta etapa en la industria se conoce como gas de síntesis. Los productos que se obtienen son dióxido de carbono e hidrógeno. Este dióxido de carbono se tendría que capturar. Las reacciones de este proceso son endotérmicas. El rendimiento del proceso se aproxima al 80% - 90%.



*(Pérez Pozuelo, Isabel, 2020)*

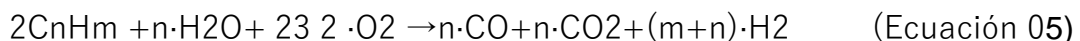


*(Pérez Pozuelo, Isabel, 2020)*

Es uno de los procesos más comunes en la industria debido a que los costos asociados a este proceso son menores que los de otros procesos basados en hidrocarburos además puede alcanzar eficiencias mayores, utiliza tecnología ya desarrollada y tiene una alta eficiencia, pero el inconveniente es que usa combustibles fósiles. (Pérez Pozuelo, 2020)

## - Oxidación de hidrocarburos

Otro método similar a los ya descritos es el proceso de oxidación parcial de hidrocarburos. Este proceso consiste en incorporar oxígeno, vapor de agua y algún hidrocarburo en estado líquido o gaseoso a un reactor a presiones elevadas, de manera de que se genere una reacción exotérmica de oxidación regida por la siguiente ecuación:



*(Jiménez Sáez, F. 2020)*

Este proceso es utilizado principalmente para obtener hidrógeno a partir de hidrocarburos pesados o que contengan más elementos o impurezas, que no pueden ser reformados a vapor. Es evidente que esta clase de procesos, al igual que la gasificación del carbón y la reformación de vapor de hidrocarburos, generan subproductos indeseados en la cadena de producción del hidrógeno libre de carbono, por lo tanto, aunque son ampliamente utilizados en la industria no son óptimos para el

desarrollo de una economía basada en hidrógeno y deben buscarse métodos alternativos para la producción sustentable del hidrógeno (Jiménez Sáez, F. 2020).

## **B. A partir de Agua:**

La molécula de agua se puede disociar en sus dos elementos fundamentales: oxígeno e hidrógeno. Para dividir la molécula se requieren 286 kJ/mol, o 123MJ (34, 17 kWh) para producir 1 kg de hidrógeno; esta energía puede ser térmica o eléctrica (Rodríguez Machuca, P. 2017).

### **-Termólisis**

El proceso de termólisis consiste en la extracción del hidrógeno de la molécula que lo alberga, mediante la aplicación de calor de una fuente externa, como la energía solar concentrada o la energía nuclear de alta temperatura.

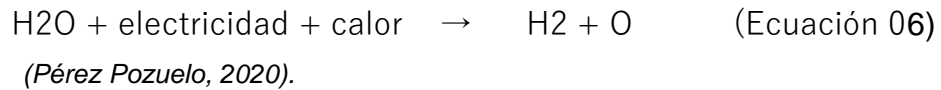
El procedimiento consiste en poner en contacto agua con una superficie a alta temperatura para que absorba una gran cantidad de energía calórica, de este modo se logra separar la molécula en los elementos que la componen, sin embargo se debe tener la precaución de extraer rápidamente los gases resultantes debido a que esta reacción es reversible por lo tanto el oxígeno y el hidrógeno podrían recombinarse en agua liberando mucha energía llegando incluso a ser una reacción explosiva.(Jiménez Sáez, 2020)

Se puede clasificar según la temperatura de operación en tres categorías. El proceso que mayor temperatura requiere es la termólisis directa del agua, que se verifica a partir de 2500 K. A temperatura intermedia se tienen los procesos de descarbonización (pirólisis, gasificación y reformado), situados todos alrededor de 1000 K. La inclusión en esta sección se debe a que el aporte de calor se realiza con una fuente externa (solar o nuclear de alta temperatura). También pertenecen a este tipo las reacciones de reducción de óxidos metálicos que se sitúan en un nivel superior de temperaturas, sobre los 2500 K. Por último, a “baja temperatura”, entre 900 y 1000 K, se verifican ciertos ciclos termoquímicos, de los que el de yodo-azufre es el más prometedor (Pérez Pozuelo, 2020).

### **-Electrólisis**

Los procesos electrolíticos utilizan electricidad para romper la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno, un proceso que ocurre en un electrolizador. El hidrógeno producido vía electrólisis puede dar lugar a emisiones de gases responsables del efecto invernadero cercanas a cero, dependiendo de la fuente de electricidad usada. El principio de funcionamiento del proceso, ilustrado en la figura 5.30, consiste en dos

conductores eléctricos conocidos como electrodos sumergidos en un conductor iónico, llamado electrolito. Se hace pasar una corriente continua por medio de los electrodos y a través del electrolito, tal que los enlaces entre el oxígeno y el hidrógeno se rompan. Da como resultado una reacción de oxidación – reducción (redox), no espontánea. Los iones positivos migran hacia el cátodo mientras que los iones negativos migran hacia el ánodo. En los electrodos, los cationes serán reducidos y los aniones serán oxidados. La reacción química neta dentro de este proceso es:



Es un proceso de alto rendimiento capaz de aprovechar la materia prima en su totalidad (Pérez Pozuelo, 2020).

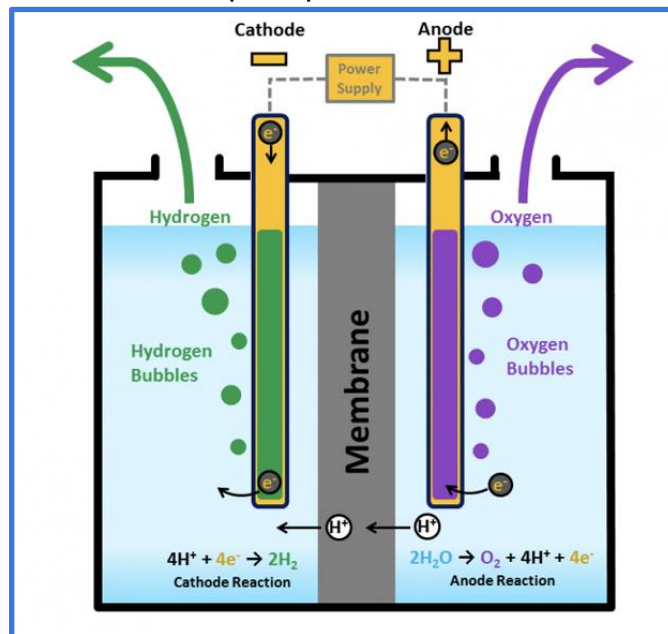
Tabla 5.5 : ventajas y desventajas de los tipos de producción de hidrógeno

Métodos de Producción	Ventajas	Desventajas
Gasificación del Carbón	Este proceso se caracteriza por ser un proceso Relativamente simple, es empleado hoy en día pero sus desventajas hacen que se descarte como primera alternativa.	En su proceso genera monóxido de carbono, y Evidentemente genera gases de efecto invernadero siendo un potente desventaja para descartar este método.
Reformado de vapor de gas natural	Si bien el rendimiento del proceso se aproxima al 80% - 90%, y tiene un bajo costo, sus desventajas hacen que se descarte como primera alternativa.	Proceso basado en hidrocarburos. Su mayor desventaja es el uso de combustibles fósiles.
Oxidación de hidrocarburos	Proceso utilizado para hidrocarburos pesados o que contengan más elementos o impurezas, que no pueden ser reformados a vapor.	Es evidente que esta clase de procesos, al igual que la gasificación del carbón y la reformación de vapor de hidrocarburos, generan subproductos indeseados en la cadena de producción

		del hidrógeno libre de carbono.
Termólisis	Un método que no utiliza en sus procesos combustibles fósiles por lo que no emite gases de efecto invernadero.	Fundamentalmente el alto costo de adquisición y mantenimiento debido a las altas temperaturas que requiere el proceso. Grandes cantidades de energía necesaria para llegar a la temperatura de separación.
Electrólisis	Un método que no utiliza en sus procesos combustibles fósiles por lo que no emite gases de efecto invernadero.	Accesibilidad de los electrolizadores, que la agenda 2030 y la estrategia nacional de hidrógeno verde promete disminuir.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.31: Electrolizador, principio de funcionamiento de la electrólisis



Fuente: Jiménez Sáez, F. (2020)

Existen diferentes tecnologías de electrólisis de agua disponibles, tanto a escala de industrial como de laboratorio, difiriendo principalmente en el tipo de electrolito utilizado en la celda. De esta forma los principales equipos disponibles comercialmente son: (A) Electrolizadores alcalinos (AWE), (B) Electrolizadores de Membrana de intercambio de protones (PEM) y (C) Electrolizadores de óxido sólido (SOE). Los procesos de cada tipo de electrolizador difieren además en la temperatura de operación, la electrólisis se

puede realizar a baja temperatura, a través AWE Y PEM, o a alta temperatura, empleando para ello SOE (Paillao Moreno, 2022).

A continuación se describen las principales tecnologías para el proceso de electrólisis.

### **Electrólisis Alcalina (AWE)**

La electrólisis del agua alcalina opera a baja temperatura (60–80 °C), con solución acuosa de KOH (hidróxido de potasio) y/o NaOH como electrolito, la concentración del electrolito es de aproximadamente 20%–30%. Los electrodos son de materiales de níquel y el diafragma/membrana de separación es de asbesto. El consumo de energía para la producción de H<sub>2</sub> es aproximadamente 4,5–5,5 kWh/Nm<sup>3</sup> con una eficiencia de aproximadamente el 60%. Los electrolizadores alcalinos no pueden arrancar rápidamente, y tienen una respuesta de carga lenta. La larga preparación para la puesta en marcha dificulta la adaptación de electrolizadores alcalinos a la variable naturaleza de las fuentes de energía renovables. Por lo tanto, los electrolizadores alcalinos se utilizan normalmente con una entrada de energía constante (Chi & Yu, 2018 ).

### **Electrólisis de membrana de electrolito de polímero (PEM)**

Esta tecnología está basada en la membrana de intercambio de protones de las celdas de combustible. La membrana de intercambio de patrones reemplaza el asbesto que se encuentra en el electrolizador alcalino. Este electrolizador tiene una mejor respuesta y una alta eficiencia, lo que hace de este un buen candidato para la producción de hidrógeno (Chi & Yu, 2018). Presenta un porcentaje de eficiencia entre un 55-65% con un nivel de pureza del hidrógeno producido del 99.999%, el más alto entre las otras tecnologías, además de un diseño más compacto por ende ocupa menos espacio dentro de las instalaciones. Sin embargo, sus principales desventajas son que tiene altos costos en los materiales de la pila y una vida útil bastante baja comparado con la tecnología alcalina.(AH2vBiobío)

### **Electrólisis a alta temperatura (SOE)**

Los electrolizadores de óxido sólido, conocidos por sus siglas en inglés como SOEC, poseen una tecnología más avanzada que permite la electrólisis del agua a altas temperaturas, entre 650-1000 oC, resultando en un proceso con mayor eficiencia que los dispositivos anteriores. Las eficiencias actuales se encuentran en el rango de 74-81 %, con una vida útil entre 10,000 y 30,000 horas (Paillao Moreno, 2022). Su nivel de eficiencia ronda entre el 70% y 80%, aún se desconoce el % de pureza del hidrógeno producido en este tipo de tecnología, pero cuenta con eficiencias teóricas hasta de un 100%, pudiendo trabajar también a altas densidades de corriente. Sin embargo, sus principales desventajas son los largos tiempos de encendido y apagado del

electrolizador y se requiere de una fuente adicional de energía externa para asegurar su funcionamiento.(AH2vBiobío)

Tabla 5.6: ventajas y desventajas de los tipos de electrolizadores

Tipo de tecnología	Ventajas	Desventajas
Electrólisis Alcalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es una tecnología madura y la más extendida a nivel comercial en el mundo, para la producción de hidrógeno hasta el rango de 1 MW.</li> <li>- en el anodo y catodo utiliza elementos no nobles como catalizadores, disminuyendo su coste de producción.</li> <li>- con una vida útil de la celda de unas 90.000 horas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizan químicos dentro del electrolito como KOH (hidróxido de potasio) y NaOH (hidróxido de sodio), hacen que la operación sea más complicada que en el caso de solo utilizar agua.</li> <li>- bajas densidades de corriente debido a altas pérdidas óhmicas a través del electrolito líquido y el diafragma.</li> <li>- alcanza un 99% de grado de pureza el hidrógeno producido.</li> <li>- La tecnología alcalina funciona a presión atmosférica, lo que genera la necesidad de compresión mecánica</li> </ul>
Electrólisis PEM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se alcanzan altas densidades de corriente debido a lo delgado de la membrana que brinda una buena conductividad de protones.</li> <li>- Con un buen rango de carga parcial, la celda puede trabajar desde un 10% hasta el 100% de la potencia de entrada nominal.</li> <li>- Consta con un diseño más compacto, debido al electrolito sólido.</li> <li>- alta pureza del gas producido 99,999% debido a que la membrana impide el cruce de gases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto costo de sus componentes. Las membranas Nafion se producen en USA.</li> <li>- baja durabilidad de los materiales, en el caso de que el ensamblado de la celda se efectúe de manera desprolija (torque excesivo, electrodos con bordes filosos).</li> <li>- Las pilas PEM utiliza modo de operación presurizado, que omite la necesidad de compresión mecánica y consumo de energía asociado</li> </ul>



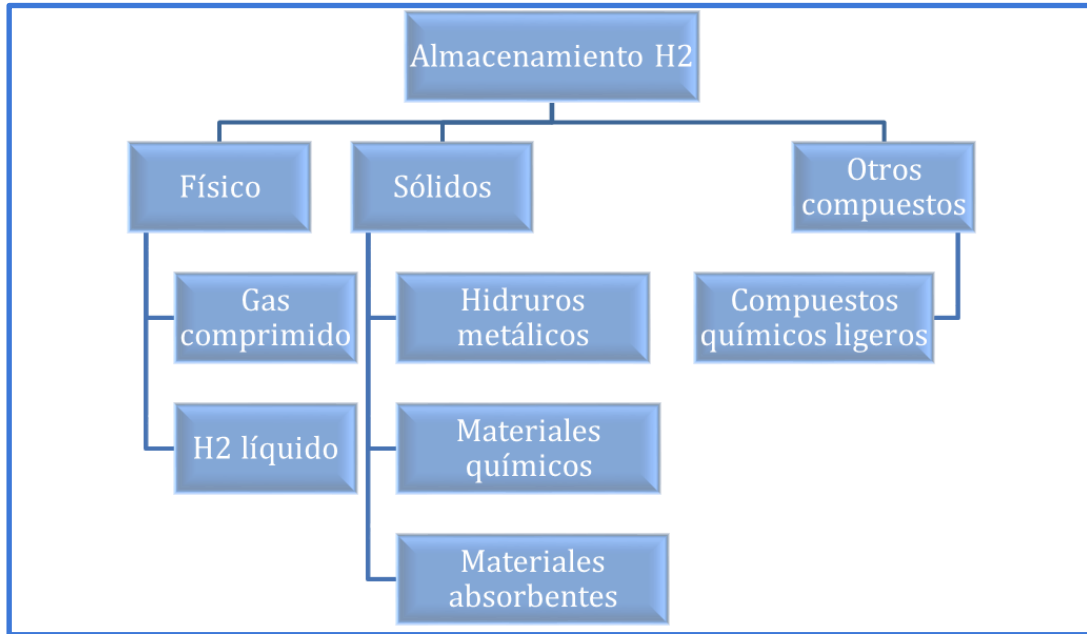
	<p>producidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ecológicamente más limpio, debido a que no ocupa elementos químicos extras en el agua, como el electrolizador alcalino.</li> </ul>	
Electrólisis a alta temperatura SOE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- permiten operar a altas presiones, por lo que se evita ocupar energía en una etapa posterior de compresión de gases.</li> <li>- no depende de elementos químicos nobles como catalizadores, que aumentan el costo de producción del equipo.</li> <li>- La eficiencia del proceso de conversión electroquímico es de un 100%. toda la energía eléctrica aplicada es convertida en energía química almacenada en hidrógeno y oxígeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sin embargo el último punto de las ventajas, también es su gran desventaja, porque debe efectuarse a altas temperaturas (entre 600 a 900° C) con la consiguiente baja durabilidad de las cerámicas.</li> <li>- Además necesita de una fuente de energía adicional (nuclear, solar, geotérmica u otra) la que permita llegar a esas temperaturas.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia, en base a información de "análisis conceptual constructivo y estructural de los electrolizadores". (Octavio soto.2020).*

### 5.1.3. Almacenamiento del Hidrógeno

El hidrógeno se puede almacenar (ver Figura 5.32.) en forma gaseosa (gas comprimido), como un líquido, en medios sólidos y en otros compuestos. Los dos primeros métodos mencionados, son tecnologías bastante establecidas con varias limitaciones, la más importante de las cuales es su carácter intensivo en energía.

Figura 5.32: Formas de almacenamiento de hidrógeno.



Fuente: (Cancino Silva, R. 2021).

Los estanques o estructuras sólidas que almacenan hidrógeno gaseoso o líquido son tecnologías bien estudiadas y procesos de almacenamiento con elevado consumo en energía. Para el caso del almacenamiento fijo, el hidrógeno es comprimido a 800 [Bar] para obtener densidades aceptables o licuado usando temperaturas menores a 20 K.

En el caso de almacenamiento de hidrógeno comprimido, los estanques a presión tradicionales están hechos de acero inoxidable, soportan presiones entre 250 y 300 [bar], lo que impide almacenar una gran cantidad de energía.

Actualmente se está realizando una intensa investigación para superar las limitaciones de las tecnologías de almacenamiento de hidrógeno existentes y desarrollar soluciones viables, en términos de eficiencia y seguridad (Cancino Silva, R. 2021).

Tabla 5.7 : Ventajas y desventajas de los tipos de almacenamiento de hidrógeno

Tipo de tecnología	Ventajas	Desventajas
Gas a alta presión.	Tecnología madura probada en diferentes industrias, incluso en automóviles a hidrógeno.	Las altas presiones que alcanza, pueden resultar en un factor de riesgo.
Líquido.	Tecnología madura probada en diferentes industrias.	Se requiere hasta un 30% de la energía almacenada para el enfriamiento y compresión del hidrógeno. Existe un alto riesgo por evaporación espontánea o descontrolada.

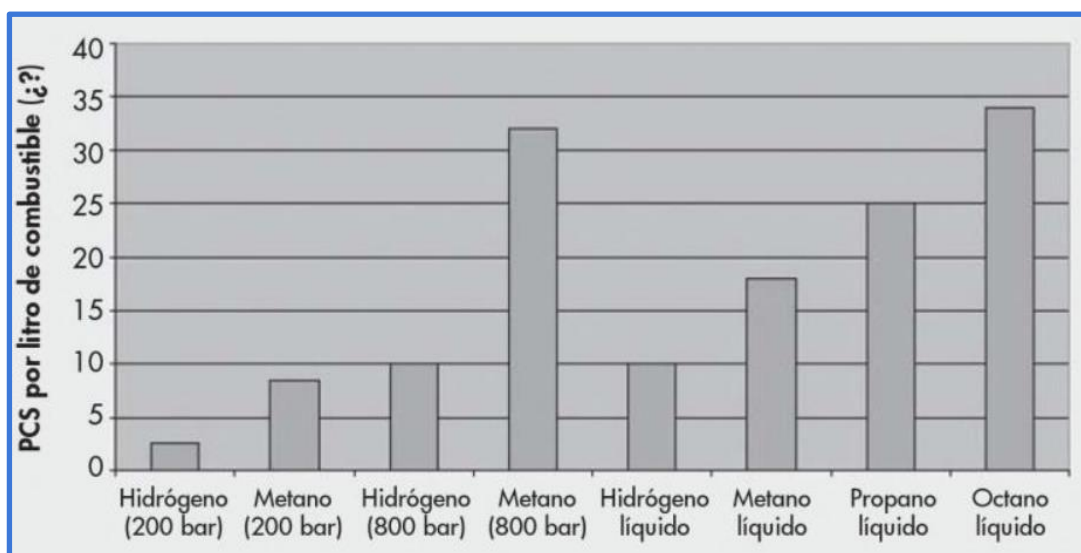
Compuestos químicos líquidos.	Hay posibilidad de ocupar la infraestructura existente para utilizarlo como combustible.	Aún es una tecnología muy básica que sigue en investigación y requiere uso de catalizadores y reactores a muy elevadas temperaturas.
Compuestos químicos sólidos.	Mayor seguridad en la obtención de H <sub>2</sub> de alta pureza.	Tecnología que aún se encuentra en investigación. No existe una solución universal tiene que ser a medida de las necesidades del usuario.

Fuente: Elaboración propia en base a información de Generadoras Chile.

#### 5.1.4. Transporte de Hidrógeno

Para el almacenamiento y transporte de hidrógeno, es muy importante tener en cuenta su poder calorífico volumétrico, graficado en la figura 5.33. El hidrógeno debe ser comprimido o licuefactado para su almacenamiento y transporte. El hidrógeno a 800 bar o licuefactado, solamente puede ser almacenado en tanques a presión y tanques criogénicos, mientras que los líquidos a presión atmosférica son fácilmente transportables. Esto hace del metanol un vehículo energético ideal (Castells, X. E., & de Gracia, L. J. 2012).

Figura 5.33: Densidad por energía para diversos combustibles



Fuente: Elias Castelis, Jurado de García, 2012.

En la actualidad existen varios tipos de transporte para combustibles utilizados hasta hoy en día como barcos, tuberías, camiones y trenes con estanques para líquidos y gases. Sin embargo, el hidrógeno dada su baja densidad, representa complejidad adicional dado que con los transportes tradicionales se logra mover cantidades insuficientes de hidrógeno, es por esto que se requieren perfeccionar algunos mecanismos de transporte más especializado y combinarlo además con los métodos de almacenamiento ya descritos.

## Tuberías

Una de las varias soluciones que existen para el transporte de hidrógeno por tuberías, es ocupando las redes de transporte de gas natural existentes, e inyectando en ellas un porcentaje de hidrógeno. Este método de transporte ya se ha revisado e incluso aplicado alrededor del mundo y se realiza sin mayores modificaciones a la red, excepto en los puntos de inyección y retiro donde se deben separar los gases. A pesar de que inyectar hidrógeno en las tuberías disminuye la cantidad de gas natural transportado, usar bajos porcentajes de hidrógeno (10%- 20%) no perjudica demasiado el transporte de gas natural ya que aún se logra transportar lo requerido por la demanda, sin embargo, no se puede transmitir mucho más hidrógeno pues dada la baja densidad de éste se desabastece la demanda de gas natural sin ofrecer suficiente hidrógeno como para compensarlo.

Una complejidad que se presenta en este método es la del fenómeno conocido como, *embrittlement*<sup>7</sup>, el cual consiste en pequeñas fugas de gas en ciertas tuberías especialmente las de material de acero, debido a que el espacio entre las moléculas de dicho material es más grande que las moléculas del gas. Puede evitarse utilizando metales con menor espacio entre moléculas o materiales constituidos por polímeros sintéticos derivados del plástico.

También se pueden construir cañerías exclusivamente para el transporte y distribución del hidrógeno, diseñándolas con un diámetro mayor y capaces de soportar mayor presión, usando materiales que evitan el fenómeno *embrittlement*, de este modo se puede transportar hidrógeno comprimido y con grandes flujos, así el hidrógeno se vuelve competitivo respecto del gas natural—e inclusive de la red eléctrica en algunas ocasiones (Jiménez Sáez, F. 2020).

## Tanques a presión

El hidrógeno puede ser almacenado en tanques livianos presurizados a 200 bares. Existen tanques certificados para el almacenamiento de hidrógeno, fabricados en materiales compuestos (fibra de carbono), 70% más liviano que el acero de los

---

<sup>7</sup> embrittlement su traducción literal al español es fragilización.

estanques tradicionales y 10 veces más liviano que un tanque de hidruros metálicos. Este sistema de almacenamiento lo coloca en una posición altamente competitiva para soluciones móviles.

También existen sistemas de almacenamiento en estanques que cumplen con rigurosos estándares de seguridad, y almacenan hidrógeno en rangos de presión que van de 350 a 800 bar.

La desventaja que tienen los sistemas presurizados es el proceso de comprimir el hidrógeno, pues se requieren compresores especiales por el tipo de gas (compresores de diafragma), los cuales son técnicamente más complejos que compresores estándar y disminuyendo el ciclo neto de eficiencia de almacenamiento (Rodríguez Machuca, P. 2017).

## **Traslado de Contenedores**

Existen rutas alternativas para transportar gases, como el proceso de licuefacción para llevarlo a estado líquido y luego transportarlo en camiones o trenes similares a los usados para transportar combustibles líquidos. Este medio de transporte puede no ser una alternativa óptima ya que aún en estado líquido un depósito de hidrógeno contiene menos masa, y menos energía utilizable, que un camión de combustible. Otra alternativa es utilizar métodos de almacenamiento con hidruros metálicos normales o alcalinos, los cuales al resultar aleaciones sólidas estables que contienen grandes cantidades de hidrógeno, pueden ser transportados vía medios tradicionales como camiones, trenes, barcos, etc. Luego en el destino estos pueden liberar el hidrógeno directamente en la locación de la demanda y transportar la aleación metálica vacía de hidrógeno hasta las plantas de producción nuevamente y reiniciar así el ciclo. Si bien esto implica mayor logística y preparación respecto al transporte y distribución de combustibles más tradicionales, la versatilidad del hidrógeno como combustible sumado a los factores medioambientales ya expuestos pueden posicionar estos métodos como alternativas competitivas y hasta deseables u óptimas, según las características de la demanda y la regulación legislativa asociada (Jiménez Sáez, F. 2020).

## **Generación In-situ**

Si bien esta alternativa no es un medio de transporte, está fuertemente relacionada a esto, debido a que generar el hidrógeno en el lugar donde es demandado o en sus cercanías puede desplazar parcial o totalmente (dependiendo de la escala) la necesidad de transportar el hidrógeno. La analogía más clara para describir este método es la generación distribuida de electricidad respecto a la transmisión y distribución de ésta, de hecho, comparten muchos desafíos como la disponibilidad del recurso para abastecer siempre la demanda o la factibilidad técnica o geográfica de

instalar plantas del tamaño necesario en los lugares donde la demanda es considerable. Si bien existen muchos desafíos por resolver respecto a esto, surge como una alternativa para complementar un esquema de producción más tradicional y centralizado, disminuyendo los desafíos de la generación, almacenamiento y transporte a gran escala (Jiménez Sáez, F. 2020).

Tabla 5.8 Análisis de resultados: Pros y contras métodos de transporte de Hidrógeno Verde.

Tecnología de transporte de Hidrógeno	Ventajas	Desventajas
Tuberías	Es rápido, directo y constante.	Proceso muy invasivo y un alto tiempo y costo de implementar.
Tanques a presión	Dosis de Hidrógeno que se pueden trasladar a cualquier lugar donde sea requerido	El proceso de comprimir el hidrógeno, pues se requieren compresores especiales por el tipo de gas (compresores de diafragma), los cuales son técnicamente más complejos que compresores estándar y disminuyendo el ciclo neto de eficiencia de almacenamiento
Traslado de contenedores	El traslado de contenedores lo hace más accesible a lugares o zonas rurales que no estén tan conectadas con las grandes urbes.	Este medio de transporte puede no ser una alternativa óptima ya que aún en estado líquido un depósito de hidrógeno contiene menos masa, y menos energía utilizable, que un camión de combustible
Generación in-situ	Si las condiciones son aptas para poder generar hidrógeno y coinciden en lugar con la demanda de hidrógeno, se ahorraría en término de energía y costo el traslado del combustible.	Es requerido primeramente un lugar de demanda de hidrógeno y en base a esto debe ser apto y compatible para poder instalar una planta para poder generar hidrógeno en el lugar donde es demandado.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.5. Uso del agua en el proceso de producción.

Los electrolizadores generalmente requieren de agua pura, requiere de procesos de desalación y desmineralización necesarios. El costo del agua impacta en menos del 1% al costo final del hidrógeno y se requiere relativamente poca agua (10 litros por kilogramo de hidrógeno verde), por lo que utilizar agua desalada en zonas de escasez hídrica no es una barrera al desarrollo del hidrógeno. Es más, en lugares como Australia se han desarrollado proyectos que usan excedentes de desaladoras ya existentes. En paralelo, investigadores e innovadores en todo el mundo están desarrollando tecnologías y materiales para realizar electrólisis directa del agua de mar de manera eficiente, incluyendo empresas chilenas. Por tanto, la localización de las plantas de producción de hidrógeno verde no está completamente restringida por la disponibilidad de agua dulce, sino que se determinará principalmente por la existencia de buenos recursos energéticos renovables (viento, radiación solar, entre otros) y de una potencial demanda relativamente cercana (Ministerio de Energía, 2020).

El agua utilizada durante el proceso debe ser tratada previamente logrando un nivel de pureza tal, que evite la deposición de minerales y el consiguiente deterioro de los elementos de las celdas. (Ministerio de Energía, 2018).

### **Ósmosis inversa y desionización**

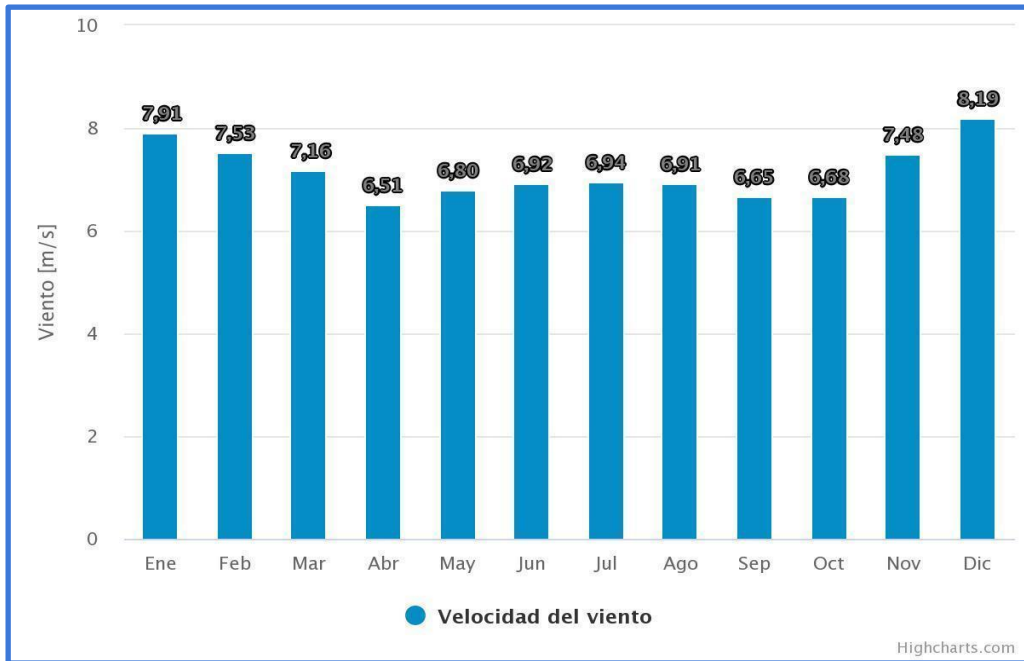
Para producir hidrógeno verde a través del proceso de electrólisis, se requiere de agua con un nivel de calidad tal, que evite la deposición de minerales y el consiguiente deterioro de los elementos de las celdas electrolíticas. El agua utilizada requerirá de un sistema de acondicionamiento que tenga por objeto obtener las características antes descritas, por lo que generalmente es tratada mediante procesos de ósmosis inversa y desionización (SEA, 2022).

## 5.2. Desarrollo objetivo 2: Potencial energético, ambiental y físico de la VIII región, del Biobío.

### 5.2.1. Potencial energía eólica

Zona A: Como se grafica en la figura 5.34, se obtuvo que el viento promedio fue de 7,1 m/s. A 100 m, Latitud -37,48°; Longitud -73,50° y una altura de terreno de 226 msnm.

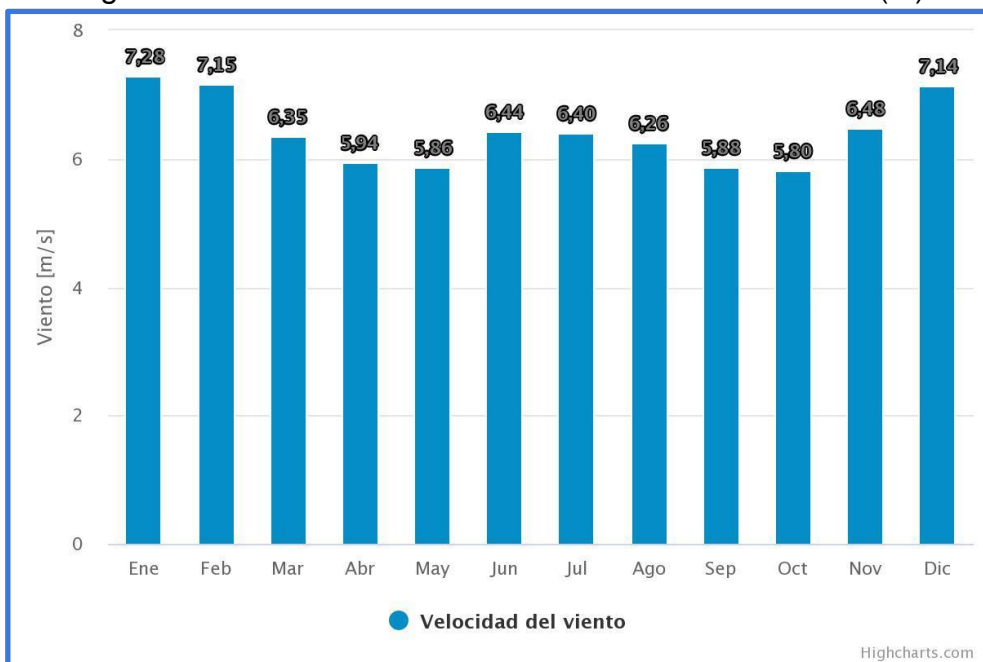
Figura 5.34: Ciclo anual de la velocidad del viento a 100 (m)



Fuente: Explorador eólico

**Zona B:** Como se grafica en la figura 5.35, se obtuvo que el viento promedio fue de 6,4 m/s. A 100 m, Latitud -37,10°; Longitud -72,42° y una altura de terreno de 128 msnm.

Figura 5.35: Ciclo anual de la velocidad del viento a 100 (m)

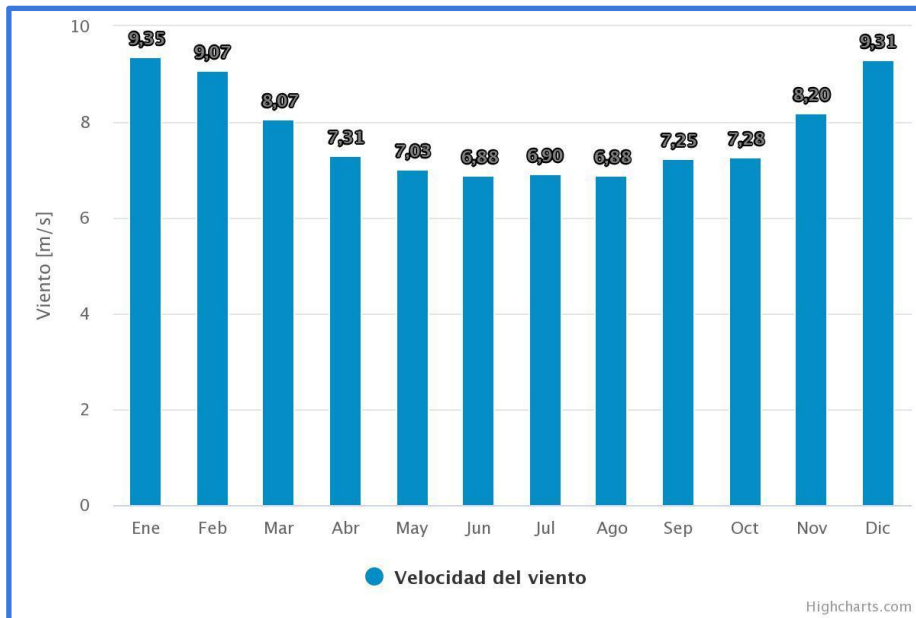


Fuente: Explorador eólico

**Zona C:** Como se grafica en la figura 5.36, se obtuvo que el viento promedio fue de 7,8 m/s. A 100 m, Latitud -37,63°; Longitud -72,53° y una altura de terreno de 88 msnm.



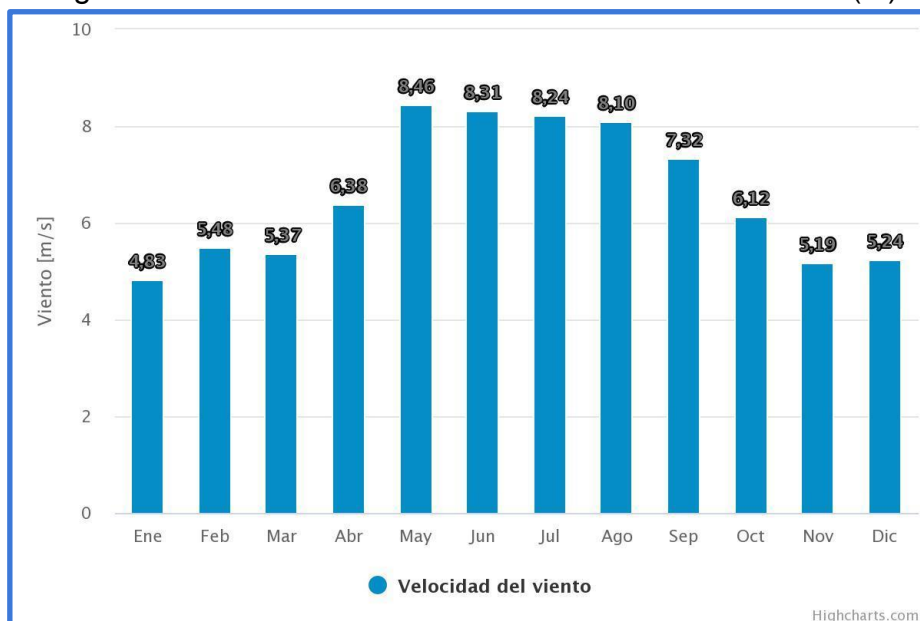
Figura 5.36: Ciclo anual de la velocidad del viento a 100 (m)



Fuente: Explorador eólico

Zona D: Como se grafica en la figura 5.37, se obtuvo que el viento promedio fue de 7,0 m/s. A 100 m, Latitud -37,26°; Longitud -71,62° y una altura de terreno de 1.361 msnm.

Figura 5.37: Ciclo anual de la velocidad del viento a 100 (m)



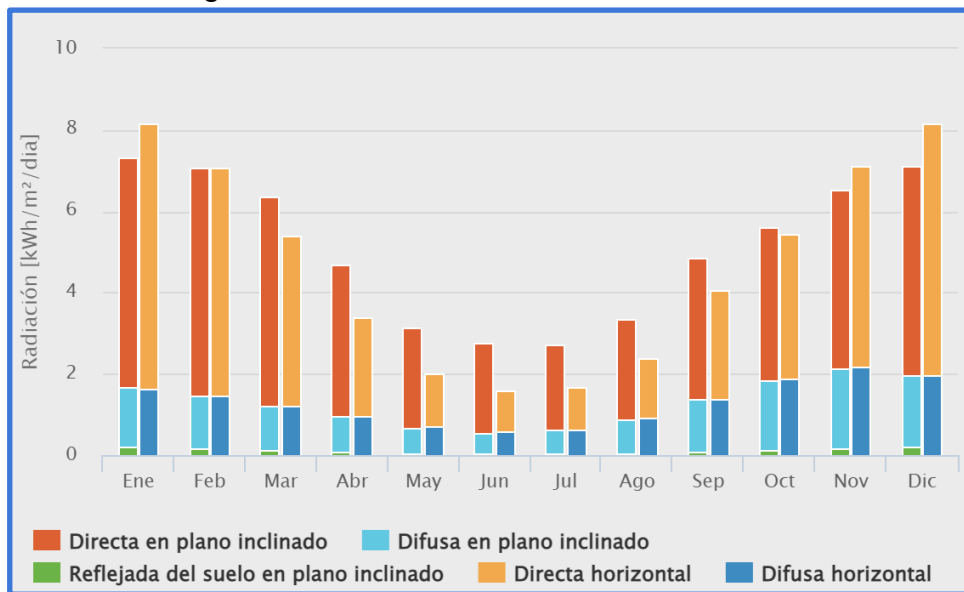
Fuente: Explorador eólico

## 5.2.2. Potencial energía solar

Los siguientes datos (figura 5.38, figura 5.39, figura 5.40 y figura 5.41) se obtuvieron del explorador solar, una herramienta del Ministerio de Energía, la cual permite la extracción de datos de cualquier sitio del país y algunas características básicas de la zona.

**Zona A:** Como se grafica en la figura 38, se obtuvo que el promedio de la radiación anual global horizontal fue de 4,71 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual global inclinado 37° fue de 5,13 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual directa normal fue de 6,08 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual difusa horizontal fue de 1,29 (kWh/m<sup>2</sup>/día). Datos medidos en Latitud -37,48°; Longitud -73,50° y una altura de terreno de 226 msnm.

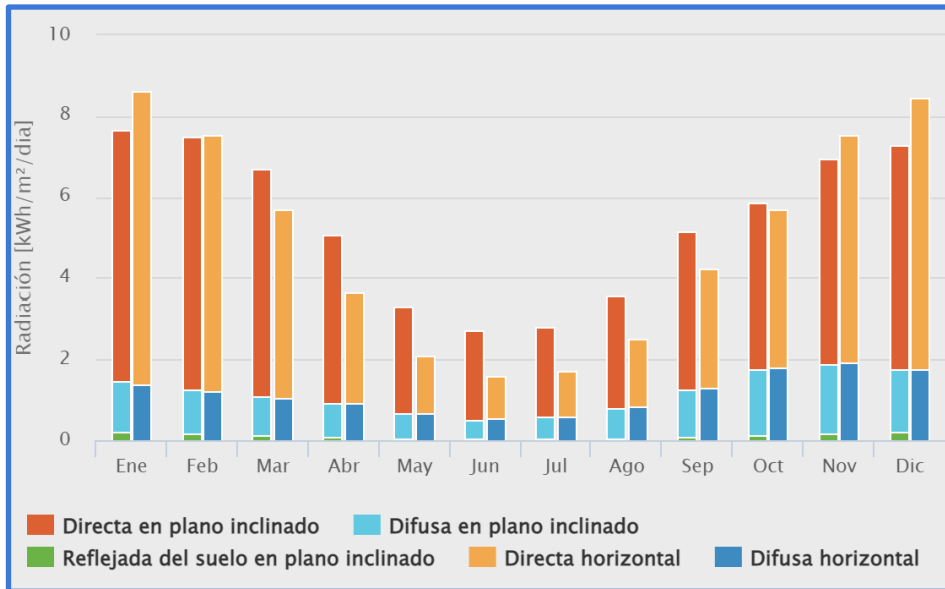
Figura 5.38: Variación Anual de la Radiación



Fuente: Explorador Solar

**Zona B:** Como se grafica en la figura 5.39, se obtuvo que el promedio de la radiación anual global horizontal fue de 4,94 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual global inclinado 37° fue de 5,38 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual directa normal fue de 6,65 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual difusa horizontal fue de 1,16 (kWh/m<sup>2</sup>/día). Datos medidos en Latitud -37,10°; Longitud -72,42° y una altura de terreno de 128 msnm.

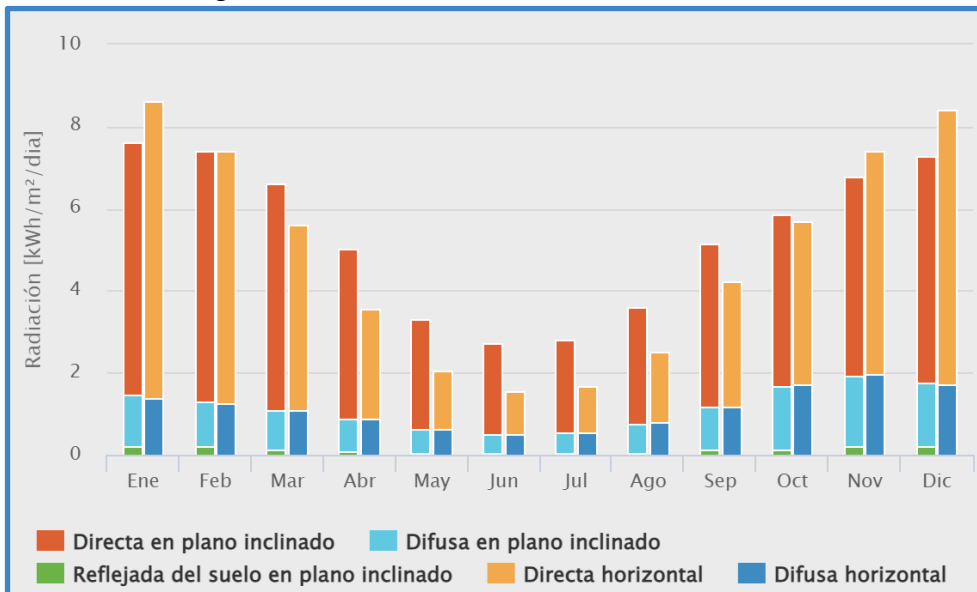
Figura 5.39: Variación Anual de la Radiación



Fuente: Explorador Solar

Zona C: Como se grafica en la figura 40, se obtuvo que el promedio de la radiación anual global horizontal fue de 4,89 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual global inclinado 37° fue de 5,35 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual directa normal fue de 6,62 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual difusa horizontal fue de 1,14 (kWh/m<sup>2</sup>/día). Datos medidos en Latitud -37,63°; Longitud -72,53° y una altura de terreno de 88 msnm.

Figura 5.40: Variación Anual de la Radiación

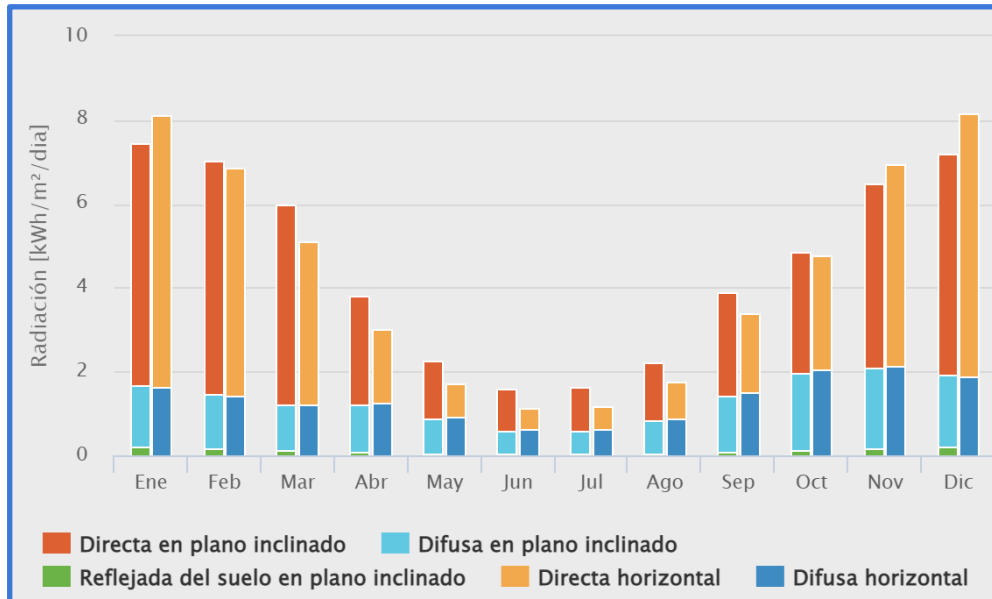


Fuente: Explorador Solar

Zona D: Como se grafica en la figura 5.41, se obtuvo que el promedio de la radiación anual global horizontal fue de 4,34 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual global inclinado 37° fue de 4,53 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual directa

normal fue de 4,58 (kWh/m<sup>2</sup>/día), el promedio de la radiación anual difusa horizontal fue de 1,35 (kWh/m<sup>2</sup>/día). Datos medidos en Latitud -37,26°; Longitud -71,62° y una altura de terreno de 1.361 msnm.

Figura 5.41: Variación Anual de la Radiación



Fuente: Explorador Solar

### 5.2.3. Fuente de obtención del recurso Hídrico

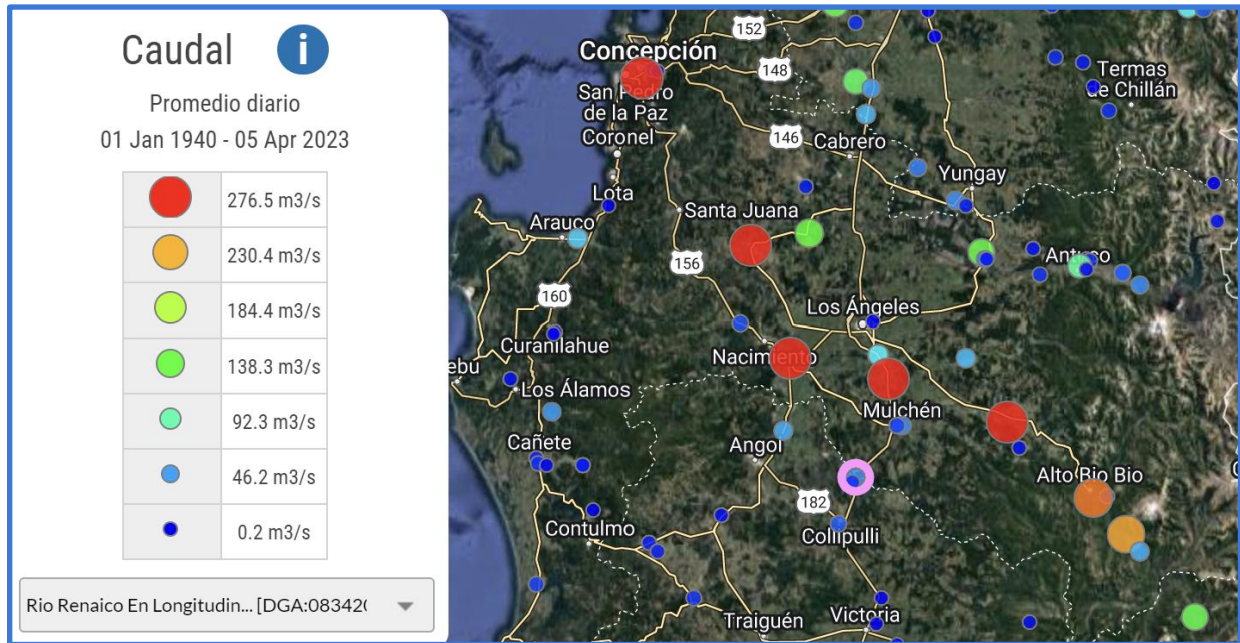
#### Hidrología de la Región del Biobío

La región del Biobío se articula principalmente en la hoya hidrográfica del río Biobío, curso de agua que atraviesa toda la región desde Cordillera al Mar. (BCN, 2022)

La gran característica del río Biobío es que posee una de las cuencas más extensas del país con 24.029 km<sup>2</sup>; es de régimen mixto con crecidas en invierno-primavera y su longitud alcanza los 380 km. Nace en la Cordillera de los Andes en la Región de la Araucanía, siendo el desagadero de dos lagos cordilleranos: Icalma y Galletué. En su curso medio recibe el aporte del Duqueco y del Bureo. En el paso por el valle longitudinal, el río Biobío cambia de curso al encontrarse con la Cordillera de la Costa y en la confluencia con el río Vergara vuelve a su curso normal. En la costa el río recibe al río Laja, su mayor afluente con un caudal medio de 173 m<sup>3</sup>/seg y desemboca en el río Bío Bío. En el curso inferior, desde la ciudad de Concepción, el río cambia de dirección para desembocar en el mar al sur de los cerros de Hualpén. (BCN, 2022)

En la siguiente figura, obtenida del servidor de mapas del explorador climático (cr)2, herramienta de apoyo de la DGA, se podrán observar los diferentes caudales de los diversos ríos que ostenta la región, ver figura 5.42.

Figura 5.42: Caudales de los ríos de la VIII región.



Fuente: Servidor de mapas del explorador climático (cr)2.

Las dos grandes hoyas hidrográficas que componen la cuenca, permiten cubrir con riego una superficie de 100.000 hectáreas de terrenos cultivables. Además, las aguas de los ríos son utilizadas para la generación de energía: en el Biobío se presentan las centrales de Pangué (467.000 kw de potencia), Ralco (690.000 kw) y Angostura (316.000 kw); mientras que en el río Laja se genera energía por medio de las centrales Abanico (de 136.000 kW), El Toro (de 450.000 kw) y Antuco con (320.000 kw). A estas actividades se le debe agregar la presión por el uso del agua para consumo humano e industrial, así como para el regadío. Además, existen hoyas hidrográficas menores como la del río Andalién que posee una superficie de 780 km<sup>2</sup> con un caudal de 10 m<sup>3</sup>/seg. (BCN, 2022)

Tabla 5.9 : uso del agua en la zona para generación eléctrica

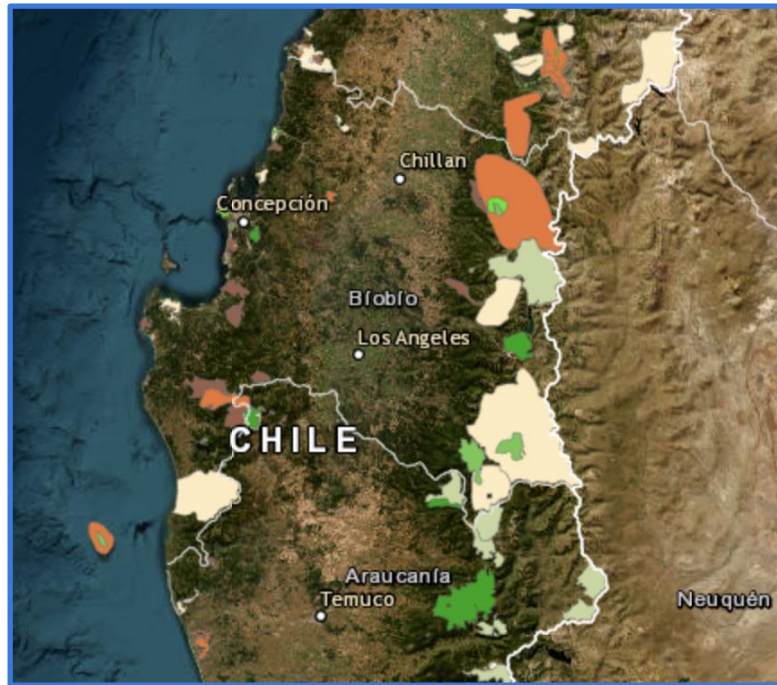
Centrales	Potencia Kw
Pangué	467.000
Ralco	690.000
Angostura	316.000
Abanico	136.000
El toro	450.000
Antuco	320.000

Fuente: Elaboración propia, en base a información de BCN.2020

#### 5.2.4. Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios para la conservación de la biodiversidad

Análisis espacial de las áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad de la región del Biobío, como se observa en la figura 5.43, las que están compuestas por las siguientes zonas:

Figura 5.43: Análisis espacial de Áreas protegidas y Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad de la región del Biobío.



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022

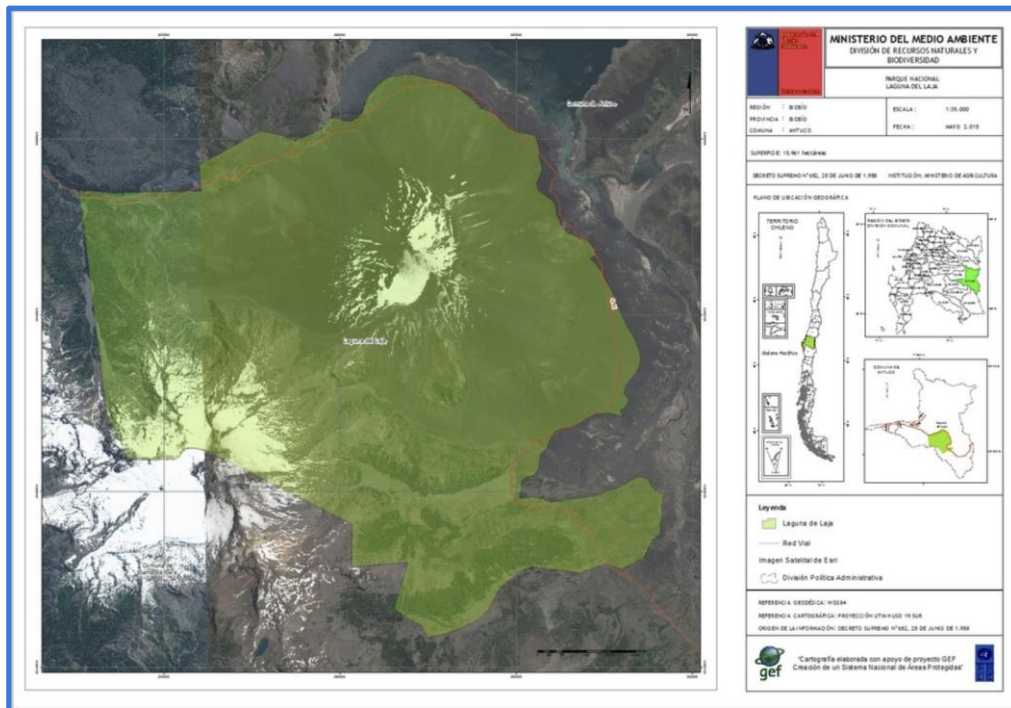
#### Parques Nacionales

La región del Biobío cuenta con 4 parques nacionales los cuales son:

- Parque Nacional laguna del Laja (ver figura 5.44): Está ubicada en la comuna de Antuco. Destacada por la protección de las especies de fauna, encontrándose 47 especies entre pajarillos, anátidos, rapaces y búhos entre otras, de especial interés son la bandurria y el cóndor. De las especies de flora presentes en el área, las más significativas son el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y la araucaria (*Araucaria araucana*). Otras especies presentes son la lenga (*Nothofagus pumilio*), el ñirre (*Nothofagus antarctica*), el chacay (*Discaria chacaye*), el maitén chico (*Maytenus disticha*), entre otras. De los mamíferos podemos mencionar el huemul (*Hippocamelus bisulcus*), la vizcacha (*Lagidium viscacia*), el quique (*Galictis cuja*), el puma (*Puma concolor*) y los zorros culpeo y chilla (*Pseudalopex culpaeus* y *P. griseus*). En cuanto a aves están presentes especies como el cóndor (*Vultur gryphus*), la bandurria (*Theristicus caudatus*) y el carpintero negro (*Campephilus magellanicus*), el peuquito (*Accipiter bicolor*), la perdicita cordillerana (*Attagis gayi*)

y la gaviota andina (*Larus serranus*). En los reptiles están presentes la culebra de cola corta (*Tachymenis chilensis*) y la culebra de cola larga (*Phylodrias chamissonis*). Los anfibios presentes en esta área son el sapito de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*), el sapo de rayas (*Bufo variegatus*) y el sapo (*Bufo papillosus*). (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

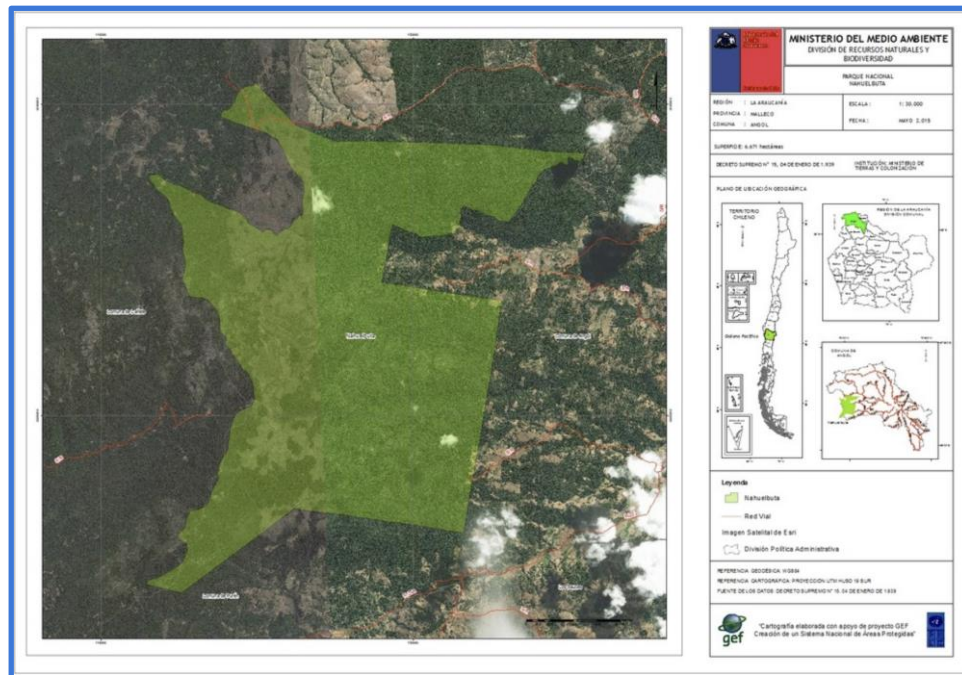
Figura 5.44: Cartografía del área protegida laguna del Laja



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022

- Parque Nacional Nahuelbuta (ver figura 5.45): Está ubicado en las comunas de Arauco y Cañete. Protege gran diversidad de especies y del notorio endemismo de su fauna silvestre. En cuanto a flora, está la araucaria. Se encuentran araucarias (*Araucaria araucana*) en las altiplanicies y cumbres de la cordillera de Nahuelbuta, bosques de roble (*Nothofagus obliqua*), coigüe (*Nothofagus dombeyi*) y ñirre (*Nothofagus antarctica*). En cuanto a la fauna, podemos mencionar la presencia del puma (*Puma concolor*), la güiña (*Oncefelis guigna*), el pudú (*Pudu pudu*), y los zorros chilla y culpeo (*Psedalopex griseus* y *P. culpaeus*). En las aves se observa la presencia de bandadas de choroyes (*Encognatus leptorhynchus*), cachañas (*Encognatus ferrugineus*) y carpinteros negros (*Campephilus magellanicus*) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.45: Cartografía del área protegida Nahuelbuta

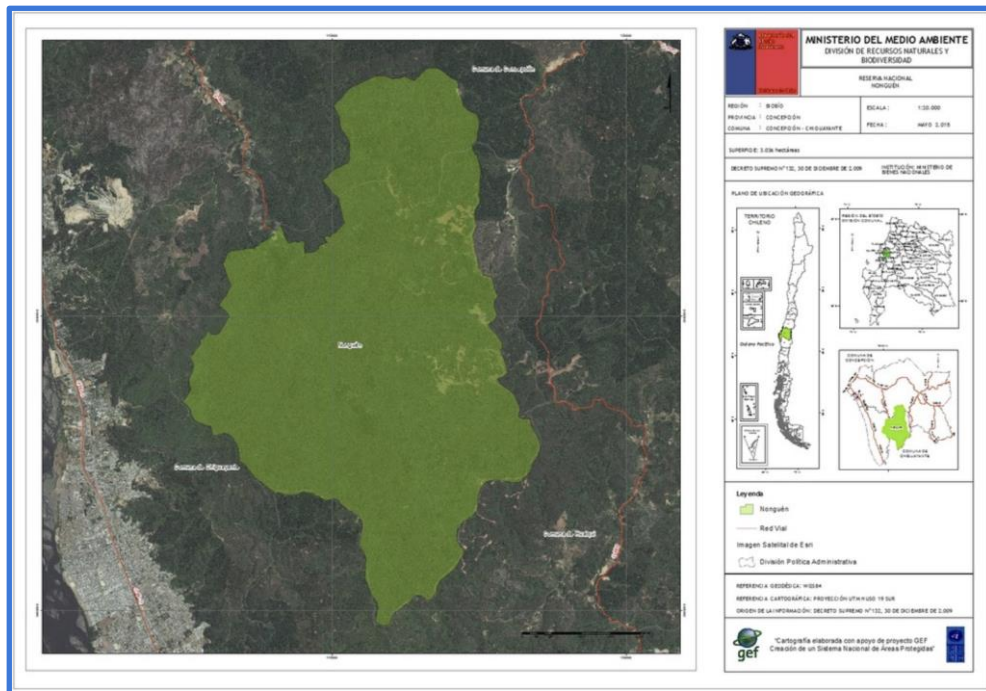


Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022

- Parque Nacional Nonguén (ver figura 5.46): Está ubicado en la provincia de Concepción, comunas de Chiguayante y Concepción. La unidad protege importantes especies de fauna. Su objetivo general, es conservar la cuenca hidrográfica del Estero Nonguén productora de agua, su diversidad Biológica y la Integridad Ecosistémica del Bosque Caducifolio de Concepción. Sus objetivos específicos son conservar la diversidad biológica y los ambientes naturales que posibilitan su existencia con énfasis en las especies de flora y fauna en problemas de conservación, promoviendo en Nonguén, como en su entorno, acciones de restauración natural y artificial, involucraron en la planificación y gestión del AP a los diversos actores interesados en la conservación y uso sustentable del patrimonio natural de Nonguén, incluyendo sus áreas de amortiguación e influencia, contribuir a mejorar el conocimiento de la estructura y funcionamiento del ecosistema para ejecutar un manejo sustentable del área, implementar e incentivar la educación ambiental de visitantes y la comunidad, así como otros usos humanos que no pongan en riesgo la integridad del ecosistema, orientar el manejo del recurso agua a su optimización en términos de calidad, cantidad y beneficios para la comunidad e impulsar un manejo de los recursos forestales alóctonos para su eliminación, control o producción sustentable, acorde con la zonificación del predio. (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).



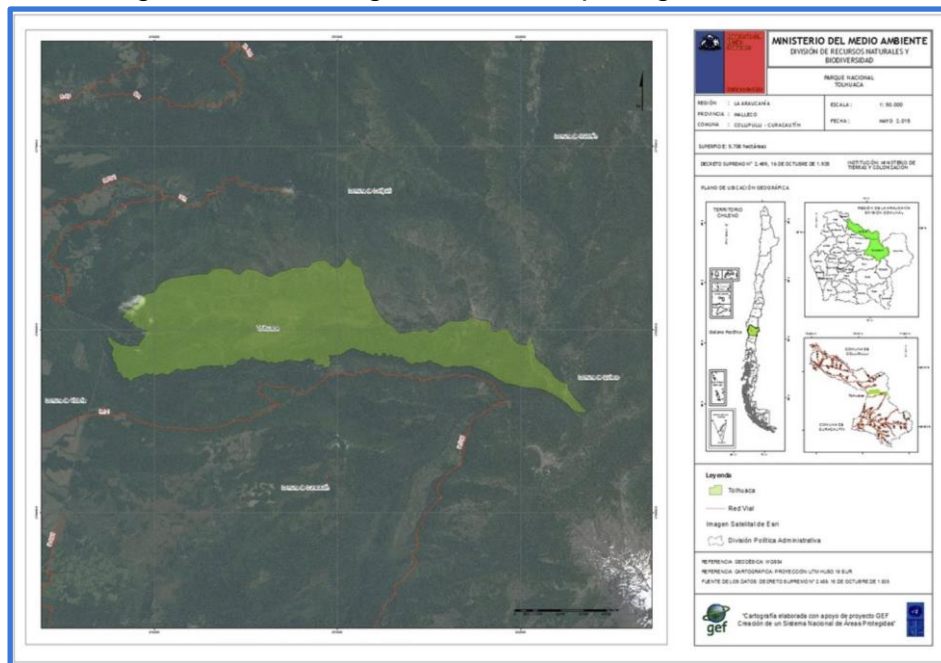
Figura 5.46: Cartografía del área protegida Nonguén



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

- Parque Nacional Tolhuaca (ver figura 5.47): La unidad Tolhuaca está ubicada en las comunas de Collipulli y Curacautín. En cuanto a flora, se encuentra: la araucaria, ciprés de la cordillera y guindo santo. En este Parque es posible encontrar bosques puros de araucaria (*Araucaria araucana*). En las zonas más bajas, en las cercanías de la laguna de Malleco, se desarrollan especies de bosque siempreverde como tineo (*Wienmannia trichosperma*), coigüe (*Nothofagus dombeyi*), olivillo (*Aextoxicon punctata*) y tepa (*Laurelia philippiana*); y caducifolias como el raulí (*Nothofagus alpina*) y el roble (*Nothofagus obliqua*). Junto a las cascadas, en los alrededores de la laguna Malleco, se desarrolla una vegetación de ambiente húmedo con presencia abundante de nalcas (*Gunnera scombro*) y fucsias (*Fuschia magellanica*). Entre las especies de fauna se encuentran el pudú (Pudu pudu), los zorros gris y culpeo (*Pseudalopex griseus* y *P. culpaeus*), quiques (*Galictis cuja*), chingues (*Conepatus chingue*), en las zonas boscosas, y coipos (*Mycastor coypus*), en la laguna de Malleco. Además, es posible observar aves como torcazas (*Columba araucana*) y cóndores (*Vultur gryphus*). Es parte de la Reserva de Biósfera Las Araucarias, (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.47: Cartografía del área protegida Tolhuaca



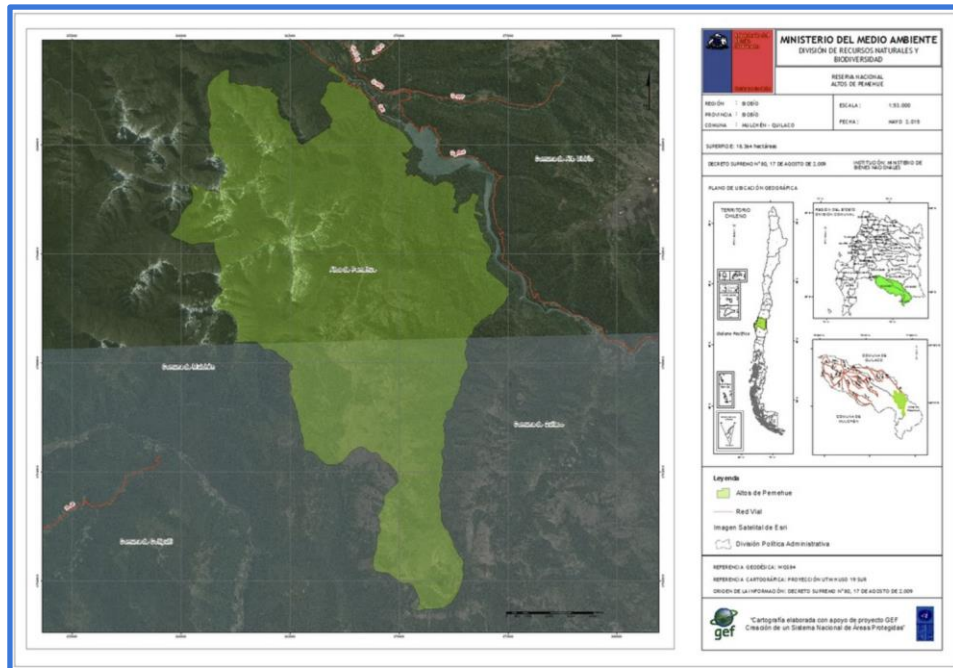
Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

## Reserva Nacional

En la región del Biobío se pueden encontrar tres reservas nacionales, los cuales son:

- Reserva Nacional Altos de Pemehue (ver figura 5.48): Está ubicada en las comunas de Quilaco y Mulchén. La unidad destaca por la protección de las especies de fauna como el cóndor, caquenes entre otras varias especies de aves. Entre los mamíferos se puede detectar la presencia de zorros y pumas. En lo que a flora se refiere, el predio presenta formaciones vegetales de bosque caducifolio andino del Biobío y bosque caducifolio altoandino con araucaria. En el área existe una diversidad de ambientes que poseen importantes y variados recursos cuyo potencial puede vincularse positivamente con el desarrollo de las comunidades pehuenches aledañas, mediante el manejo sustentable de sus recursos naturales y su protección, destacándose la formación vegetal de bosque Caducifolio Andino del Biobío, donde se encuentran bosques y renovales de robles-raulí-coigüe y la formación vegetal de Bosque Caducifolio Alto Andino con Araucaria araucana, siendo el más septentrional del país junto con los que se encuentran en la R.N. Ralco, de gran importancia ecológica para conservar la diversidad genética de esta especie, catalogada como Vulnerable de Extinción, (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.48: Cartografía de la reserva nacional Altos de Pemehue



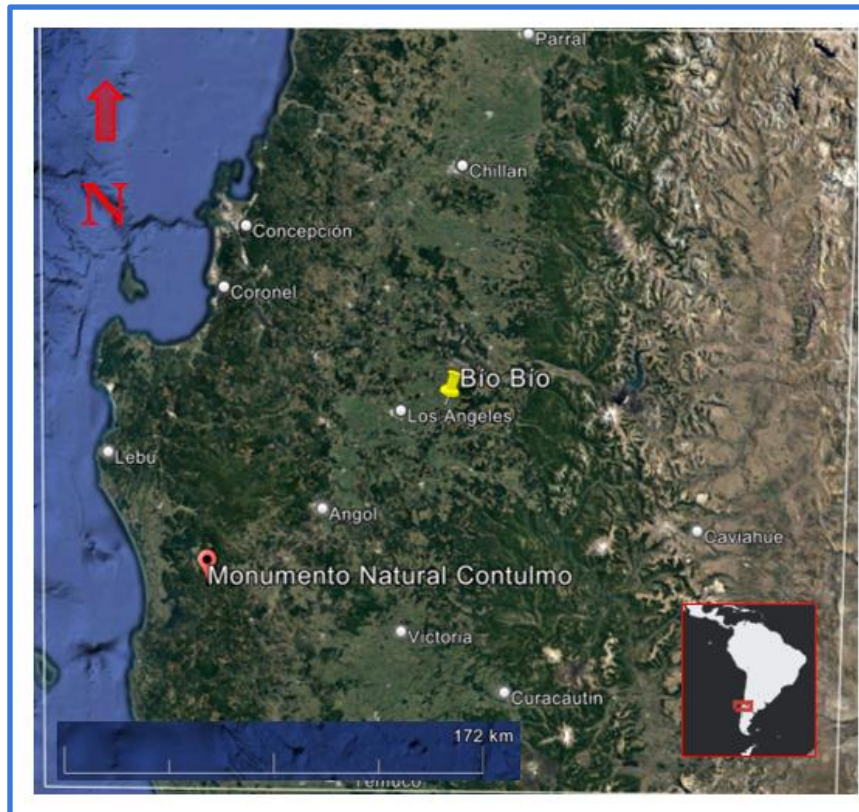
Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022

## Monumentos Naturales

La región del Biobío cuenta con un solo monumento natural, el monumento natural Contulmo.

- Monumento Natural Contulmo (ver figura 5.49): La unidad destaca por la protección de las especies de fauna como el pudú, la chilla y la ranita de Darwin. La microcuenca de la unidad es exorreica, la cual es de régimen lótico. La Unidad forma parte de la cuenca del río Purén, de la cual nacen pequeñas vertientes, en donde se destaca el estero Manzanal. Tales cursos de agua están incluidos en la cuenca del río Imperial. El Monumento se ubica en las laderas occidentales de la Cordillera de la costa y en la cordillera de Nahuelbuta, está ubicado en una ladera de relieve abrupto, de exposición sur-sudeste, a alturas que van de los 175 a los 500 msnm. De acuerdo a la clasificación, la unidad está inserta en la región del bosque caducifolio y, dentro de ésta, en la subregión del bosque caducifolio del llano, formación vegetacional del bosque caducifolio de Concepción, con algunos componentes e influencia de la región del bosque alto montano de Nahuelbuta (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.49: Mapa ubicación Monumento natural Contulmo



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth.

### Reserva de Región Virgen

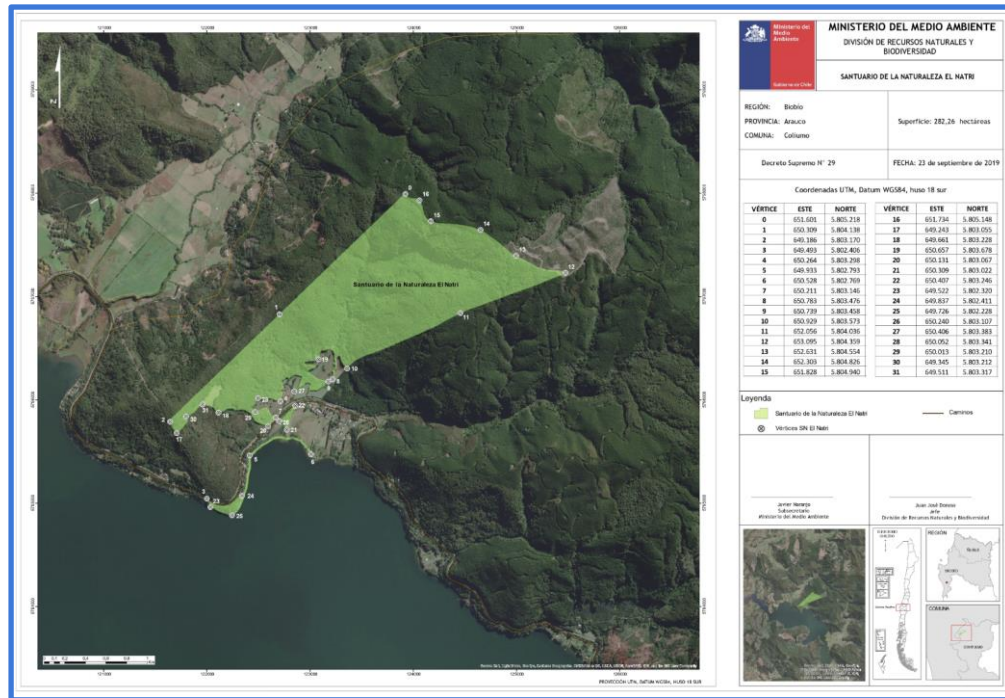
La región del Biobío no cuenta con ninguna reserva de región virgen, según fuentes consultadas.

### Santuario de la Naturaleza

Existen cuatro Santuarios de la Naturaleza en la región del Biobío:

- Santuario de la Naturaleza El Natri (ver figura 5.50): Se encuentra ubicado a los pies de la cordillera de Nahuelbuta y a orillas del lago Lanalhue, comuna de Contulmo, región del Biobío, con una superficie aproximada de 282,26 hectáreas. Formaciones vegetacionales de bosque mixto templado, costero de *N. dombeyi* y *N. obliqua*. También encontramos zonas de humedales. En cuanto a su avifauna es hábitat de aves rapaces, zorro de Darwin (*Lycalopex fulvipes*) y pudú (*Pudu pudu*). También hay presencia de anfibios de bosque y anfibios de humedal. Se destaca además el alto nivel de endemismo de sus especies y la existencia de un bosque nativo de la cordillera de Nahuelbuta como reserva de germoplasma, producto del aislamiento biogeográfico. Otra característica relevante del área es la existencia de humedales, (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.50: Cartografía de Santuario de la Naturaleza El Natri



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

- Santuario de la Naturaleza Humedal Arauco Desembocadura Río Carampangue (ver figura 5.51): Es un estuario intermareal tipo marisma, donde existe un marcado gradiente de salinidad, lo que permite la existencia de diferencias ambientales con una importante diversidad de hábitats para especies de invertebrados, anfibios, reptiles y en especial de aves. El humedal presenta características de estuario intermareal con influencia ribereña permanente y temporal, conformado por una laguna litoral y extensas zonas de marismas, canales y vegas. Los aportes hídricos de este humedal provienen principalmente del río Carampangue que nace en la cordillera de Nahuelbuta y el segundo aporte proviene del agua de mar que se introduce por la entrada costera de la desembocadura del río. Entre sus principales servicios ecosistémicos destacan el aminoramiento y control de inundaciones, estabilización de la línea de costa, regulación de intensidad del oleaje, regulación hidrológica, provisión y mejoramiento de la calidad del agua, retención de contaminantes, recarga de napas subterráneas, protección contra marejadas, provisión de hábitats críticos para especies migratorias y para la reproducción de especies animales, (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

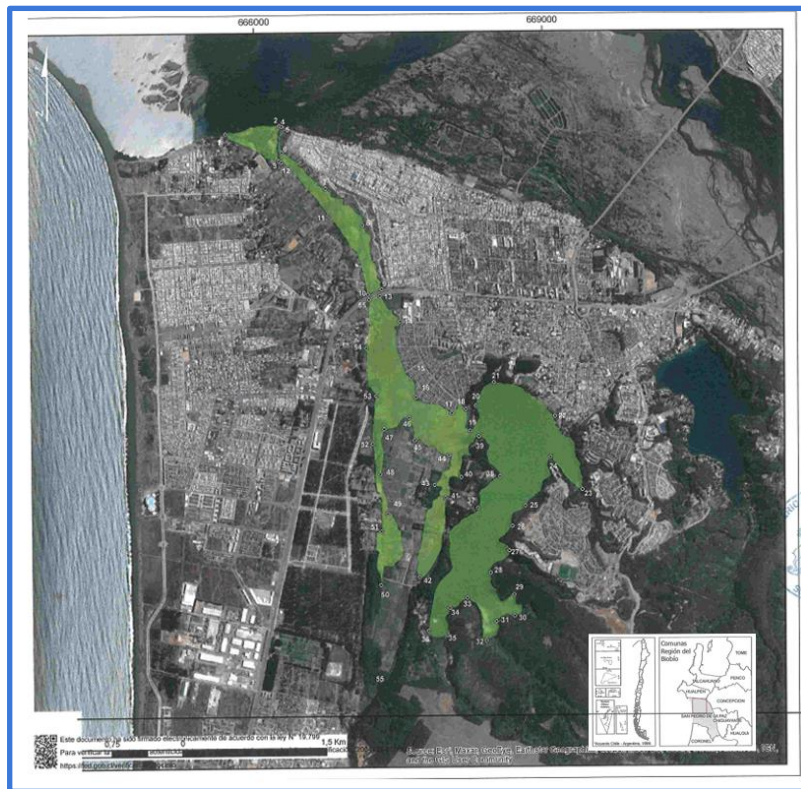
Figura 5.51: Cartografía de Santuario de la Naturaleza Humedal Arauco  
Desembocadura Río Carampangue



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

- Santuario de la Naturaleza Laguna Grande – Humedal Los Batros (ver figura 5.52): Este santuario de la naturaleza corresponde al cuerpo de agua más importante de San Pedro y de Concepción Metropolitano, posee características ecológicas particulares, dado que corresponde a una de las escasas zonas, a nivel comunal, con vegetación nativa, debido al desplazamiento de esta motivado por la urbanización y las plantaciones forestales. Este santuario de la naturaleza posee formaciones vegetacionales presentes en los humedales escasamente representadas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado, tanto a nivel nacional como regional. En términos de flora fueron identificadas aproximadamente 169 especies, tanto terrestres como acuáticas, de ellas, 52 son nativas, mientras otras 23, son endémicas, (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

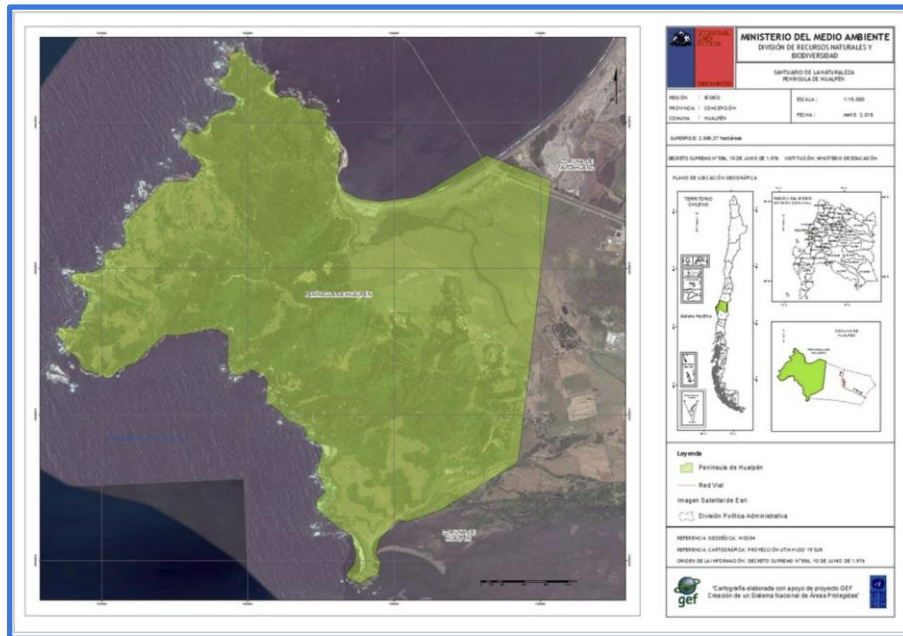
Figura 5.52: Cartografía de Santuario de la Naturaleza Laguna Grande – Humedal Los Batros



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

- Santuario de la Naturaleza Península de Hualpén (ver figura 5.53): El humedal de Lengua está conformado por una laguna costera de tipo estuarial que se forma en la desembocadura del estero Lengua. Constituye un lugar de descanso y nidificación para diversas especies de aves, y un importante sitio en la ruta de aves migratorias. Se destaca la presencia de parejas de cisne coscoroba (*Coscoroba coscoroba*) y de graza cuca (*Ardea coccoi*), especies que se encuentran en estado de conservación Peligro de Extinción. La vegetación se caracteriza por la coexistencia de comunidades de matorral costero arborescente de la zona mesomórfica y bosque de la zona hidromórfica. Otro aspecto de gran relevancia lo constituye la existencia de sitios de nidificación de aves migratorias en la zona que comprende los roqueríos y acantilados del litoral, (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.53: Cartografía de Santuario de la Naturaleza Península de Hualpén



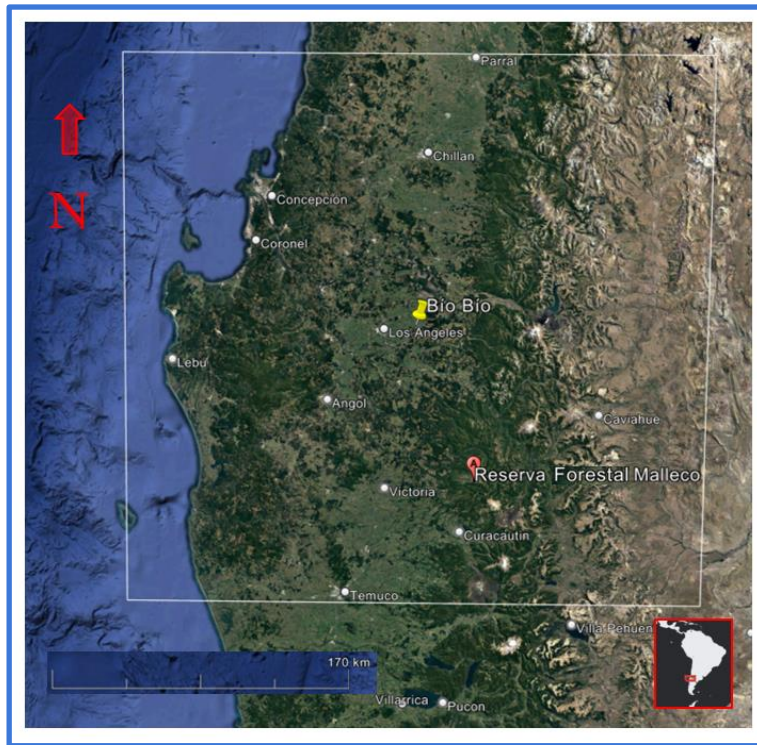
Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

Reserva de Bosque o Reserva Forestal: En la región se pueden distinguir reservas forestales:

- Reserva Forestal Malleco (ver figura 5.54): Ubicada en la Región de la Araucanía, provincia de Malleco, comuna de Collipulli. La unidad destaca por la protección de las especies de fauna como la guiña, el pudú, halcón peregrino y el concón. En lo que a flora se refiere, está la araucaria y ciprés de la cordillera. La superficie de la Reserva está cubierta de bosques nativos en un 80%, correspondiendo el 54% a bosques adultos y el 26% a renovables. La reserva está inserta en las regiones ecológicas del bosque caducifolio y bosque andino-patagónico. En la región del bosque andino-patagónico está presente la subregión de la cordillera de la Araucanía, donde se manifiesta la formación vegetacional del bosque caducifolio altoandino de araucaria (*Araucaria araucana*). Es parte de la Reserva de Biósfera Las Araucarias, (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).



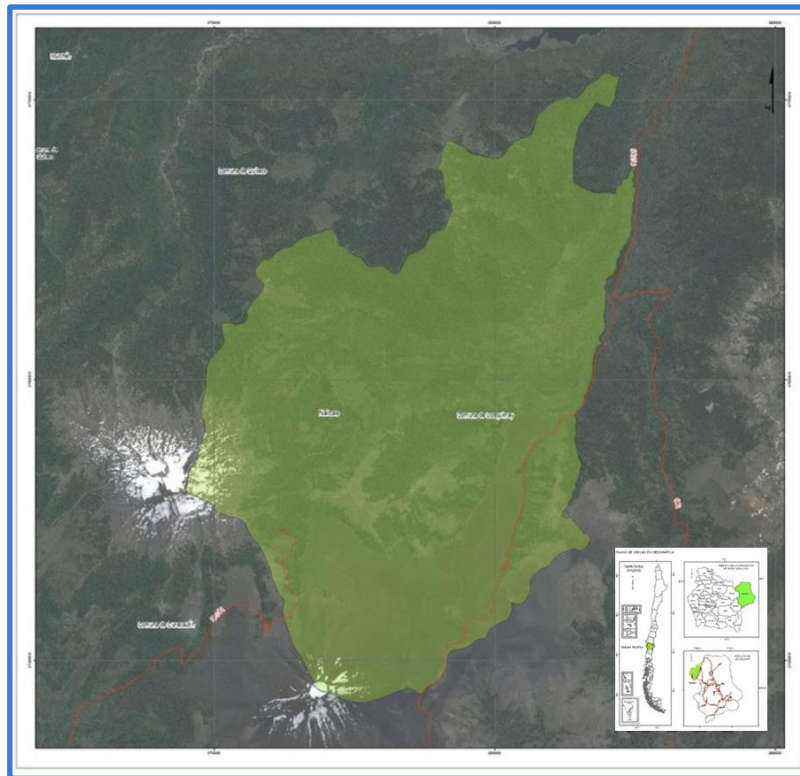
Figura 5.54: Cartografía de Reserva Forestal Malleco



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth, 2022.

- Reserva Forestal Nalcas (ver figura 5.55): Está ubicada en la Región de la Araucanía, en las Comuna de Lonquimay, Provincia de Malleco. La unidad destaca por la protección de las especies de fauna como la güiña, halcón peregrino, culebra de cola corta y ranita de Darwin. En lo que a flora se refiere, está la araucaria y ciprés de la cordillera. Esta área se encuentra dominada por bosques de roble (*Nothofagus obliqua*), raulí (*Nothofagus alpina*) y coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Es parte de la Reserva de Biósfera Las Araucarias, (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

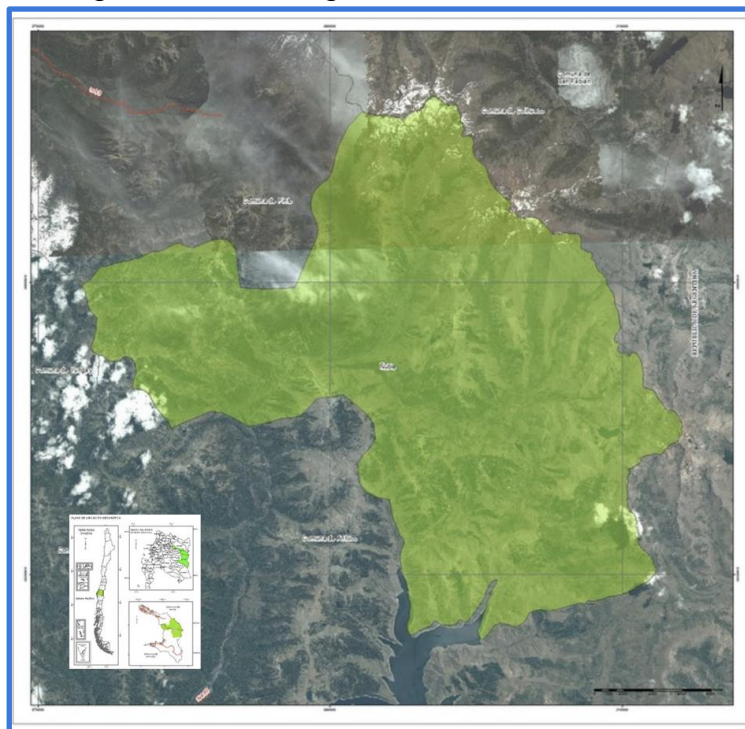
Figura 5.55: Cartografía de Reserva Forestal Nalcas



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

- Reserva Forestal Ñuble (ver figura 5.56): La unidad Ñuble está ubicada en la Región del Biobío, comuna de Pinto, provincia de Ñuble, y en la comuna de Antuco, provincia del Biobío. La unidad destaca por la protección del huemul, ciervo andino en peligro de extinción. En esta área se presentan bosques andinos de lenga (*Nothofagus pumilio*) y roble (*Nothofagus obliqua*); además, existe presencia de raulí (*Nothofagus alpina*), colihue (*Chusquea coleu*), Chaura (*Gaultheria phyllyreaefolia*), coigüe (*Nothofagus dombeyi*), vautre (*Baccharis odovata*), copihue (*Lapageria rosea*), radial (*Lomatia hirsuta*) y ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*). De la fauna presente en la Reserva, existen especies tales como el gato colocolo (*Oncifelis colocolo*), la güiña (*Oncifelis guigna*), el huemul (*Hippocamelus bisulcus*). En aves existen el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), la becacina pintada (*Nycticyphes semicollaris*) y el cuervo del pantano (*Plegadis chihî*), (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.56: Cartografía de Reserva Forestal



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

### **Bienes Nacionales Protegido o Inmueble Fiscal para Fines de Conservación Ambiental:**

Existen dos BNP<sup>8</sup> en la región del Biobío:

- Bien Nacional Protegido Humedales de Isla Raqui : Ecosistema humedal costero tipo estuario. Hábitat de aves en peligro de extinción. Hábitat de aves migratorias 349,95 (hás), (Ministerio de Bienes Nacionales, 2022).
- Bien Nacional Protegido Ranchillo Alto: Bosque adulto de Coihue-Rauli, hábitat del carpintero negro y corredor biológico de los nevados de Chillán 561,00 (hás), (Ministerio de Bienes Nacionales, 2022).
- Bien Nacional Protegido Isla pescadores, río carampangue: Cumple con un objetivo de conservación y protección de los ecosistemas y ambientes del sector Isla Pescadores, Río Carampangue, teniendo como foco principal la conservación de la biodiversidad de la flora y fauna, aves migratorias como, por ejemplo; El rayador (*Rynchops niger*), el Gaviotín Elegante (*Sterna elegans*), así como también el Ecosistema del Humedal de Arauco. El humedal, presenta una concentración alta principalmente de dos especies migratorias el Rayador y el Gaviotín elegante, llegando a poder apreciarse más de 100 aves y crías en

<sup>8</sup> BPN: Bienes Nacionales Protegidos

distintas fases de desarrollo, lo que hace relevante al humedal, debido a la fragilidad de este tipo de ecosistemas. Este Bien Nacional Protegido, cuenta con la característica de encontrarse cercano al centro de Arauco, facilitando de gran manera el que pueda ser visitado. (Ministerio de Bienes Nacionales, 2022).

Área marina costera protegida o Área marina costera protegida de Múltiples Usos cuando la declaración respectiva obedezca a un objetivo de protección ambiental:

- El Ministerio del Medio Ambiente, a la fecha, no ha declarado ningún área marina costera protegida.

### Zonas de Conservación Histórica; Inmuebles de Conservación Histórica:

En la tabla 5.10, se muestra numéricamente, la cantidad de inmuebles de conservación histórica y zonas de conservación histórica por cada comuna de la VIII región del Biobío:

Tabla 5.10: Indicación numérica de ICH<sup>9</sup> y ZCH<sup>10</sup>

CABRERO ( 9 ICH )
CAÑETE ( 2 ICH - 1 ZCH )
CONCEPCIÓN ( 36 ICH - 2 ZCH )
CONTULMO ( 52 ICH - 1 ZCH )
CORONEL ( 26 ICH - 1 ZCH )
FLORIDA ( 3 ICH )
LAJA ( 5 ICH )
LEBU ( 7 ICH )
LOS ANGELES ( 24 ICH - 4 ZCH )
NACIMIENTO ( 7 ICH )
PENCO ( 2 ZCH )
SAN PEDRO DE LA PAZ ( 4 ICH )
SANTA JUANA ( 1 ZCH )
TALCAHUANO ( 10 ICH - 8 ZCH )
TOMÉ ( 6 ICH - 2 ZCH )
YUMBEL ( 11 ICH )

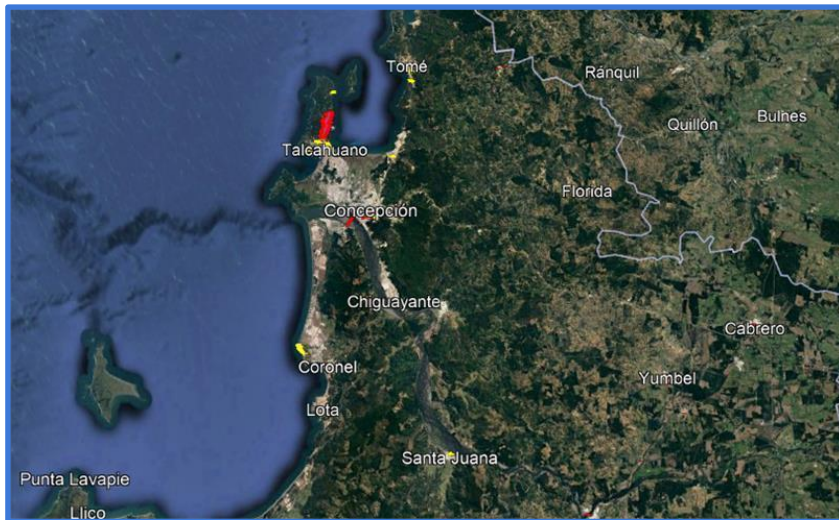
Fuente: Patrimonio Urbano, 2022.

En las figuras 5.57, 5.58, 5.59, se puede observar en los demarcaciones color rojo ( ) y amarillo ( ), las zonas de conservación histórica. y los inmuebles de conservación histórica.

<sup>9</sup> ICH: Inmuebles de conservación histórica

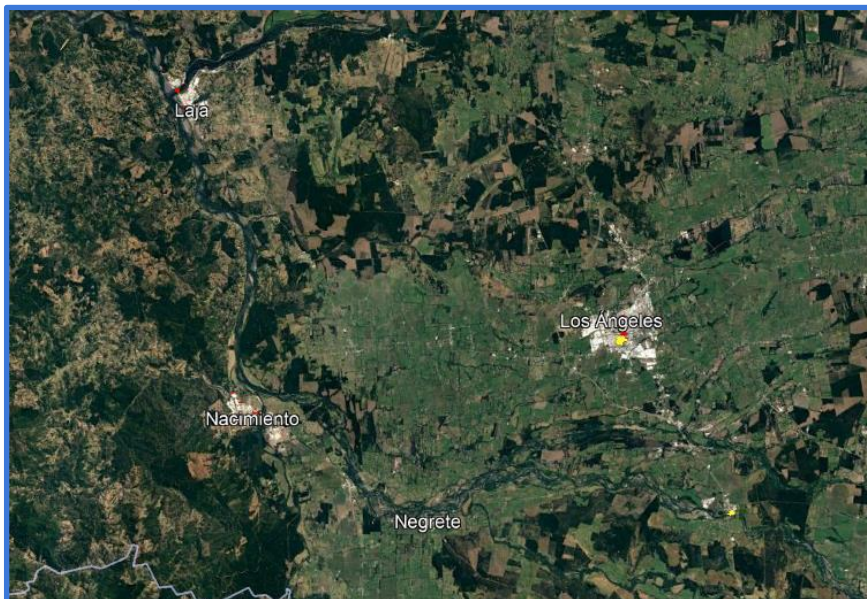
<sup>10</sup> ZCH: Zona de conservación histórica

Figura 5.57: Mapa referencial de las ICH y ZCH



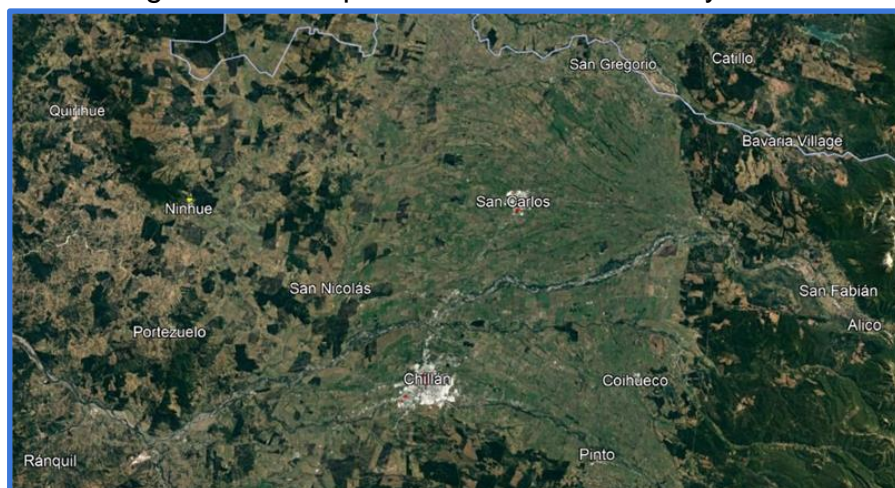
Fuente: Patrimonio Urbano, MinVU, 2022.

Figura 5.58: Mapa referencial de las ICH y ZCH



Fuente: Patrimonio Urbano, MinVU, 2022.

Figura 5.59: Mapa referencial de las ICH y ZCH



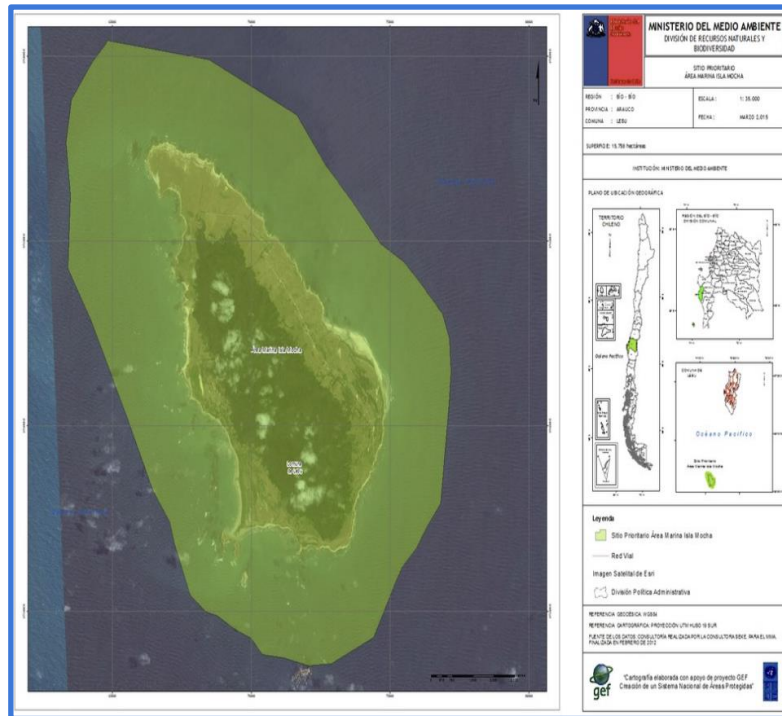
Fuente: Patrimonio Urbano, MinVU, 2022.

### **Humedales declarados sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad:**

No existen humedales declarados sitios prioritarios, no obstante, si hay sitios prioritarios.

- Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, letra d) Área Marina Isla Mocha (ver figura 5.60): Corresponde a un conjunto de islotes y mar con su fondo, donde existe un conjunto de vida marina y sitio de alimentación de aves marinas (CONAMA, 2002). La Isla Mocha posee un clima templado húmedo de carácter oceánico . La temperatura media anual alcanza los 12.5° C con una amplitud térmica de 6'1° C. Se observan temperaturas medias de 15° C a 16° C en enero y entre 10° C y 11° C en julio. La parte baja de la Isla forma parte de la plataforma continental. La costa es en general baja, con arrecifes y roqueríos. En el extremo sur existen pequeños islotes como: El Quechol, Del muerto, Docas, El Saco y otros menores. (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.60: Cartografía Sitio Prioritario Área Marina Isla Mocha

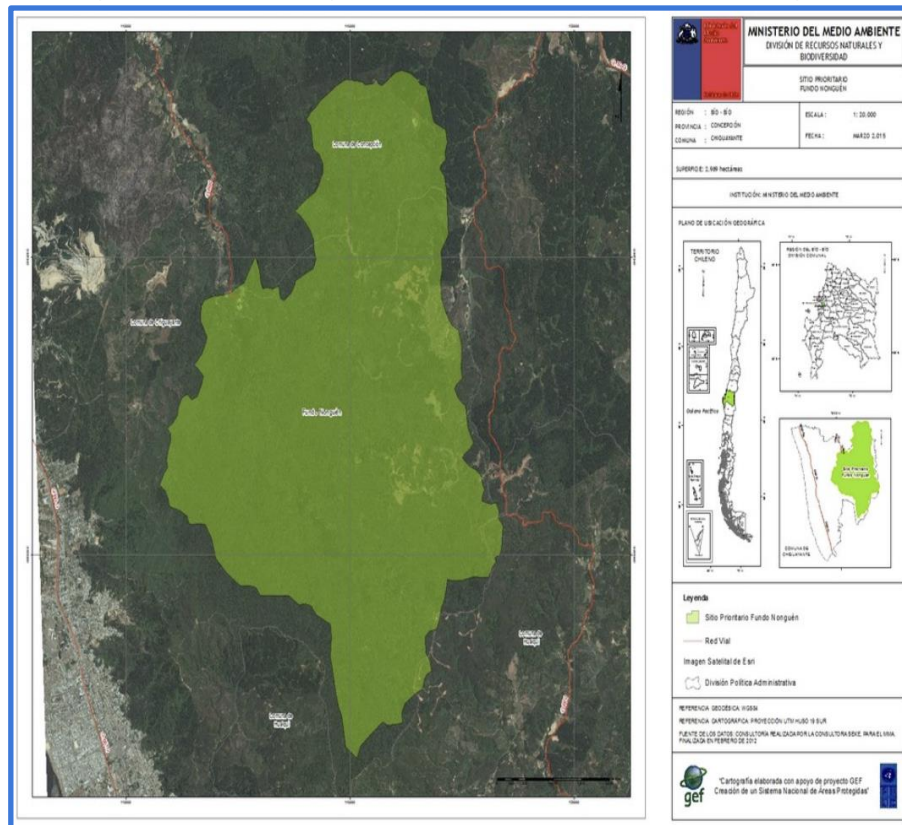


Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

- Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, letra d) Fundo Nonguén (ver figura 5.61): El Fundo Nonguén es el último relicto de mayor extensión (3.000 Has), perteneciente a la comunidad ecológica denominada Bosque Caducifolio de Concepción, y también parte de una cuenca que se inserta en un paisaje de alta fragmentación con predominio de plantaciones exóticas de pino (*Pinus radiata*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Nonguén es un territorio inserto en la Provincia de Concepción, Región del Bio Bio, segunda región más poblada del país (1.861.562 habitantes). Su ubicación más específica es en la zona metropolitana, quedando a 15 minutos de la capital regional, la ciudad de Concepción. Los límites administrativos incluyen al bosque del Fundo Nonguén en las comunas de Chiguayante y Concepción y colindante a la comuna de Hualqui. Respecto a sus características específicas, el terreno presenta fuertes pendientes que caracterizan el relieve del área y una densa red de drenaje con quebradas muy marcadas que causan tendencia a la erosión activa y lineal. Los suelos del área proceden principalmente de la disgregación y alteración de rocas metamórficas e intrusivas, con un importante aporte de nutrientes orgánicos debido al desarrollo de bosque nativo, sin embargo su uso en la actividad forestal está limitado por la alta vulnerabilidad a la erosión. La cuenca del Estero Nonguén corresponde a una subcuenca del río Andalién, una de las cuencas costeras más importantes de la región del Biobío, esta nace de la confluencia de los esteros Compuy y Manquimávida, alcanzando una longitud de 14,7 Km. El sitio presenta un Clima Templado Cálido con Lluvias Invernales, donde la característica principal de este tipo de clima es la existencia de una estación seca y otra lluviosa. La temperatura media anual bordea los 14 °C, mientras que

las precipitaciones varían por sobre los 735 mm como promedio anual, aumentando hacia el sur. (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Figura 5.61: Cartografía Sitio Prioritario Fundo Nonguén



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2022.

- Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, letra d) Quebrada Caramávida: En la actualidad existe un bosque secundario con árboles antiguos y, entre ellos, un bosque antiguo de queules (*Gomortega keule*), quizá el único que existe con árboles provenientes de semilla, ya que lo habitual es encontrar renovación de tocón. Además, es citada para el área el michay rojo (*Berberidopsis corallina*), también en peligro. Por el hecho de constituir una quebrada boscosa nativa en ambas laderas de fuerte pendiente – sur y norte- del río Caramávida, y presentar un conjunto faunístico propio de esta cordillera y, además, hallarse en el área de influencia del Parque Nacional Nahuelbuta, se insiste en la relevancia de este sector en la vertiente marítima de una cordillera utilizada intensivamente en monocultivos forestales de especies exóticas (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

### 5.2.5. Análisis geomorfológico de la VIII región

Desde el punto de vista morfológico, se distinguen las unidades tradicionales del relieve chileno (ver figura 5.62) como lo son la Cordillera de los Andes, depresión intermedia, Cordillera de la Costa y planicies litorales (BCN, 2022).



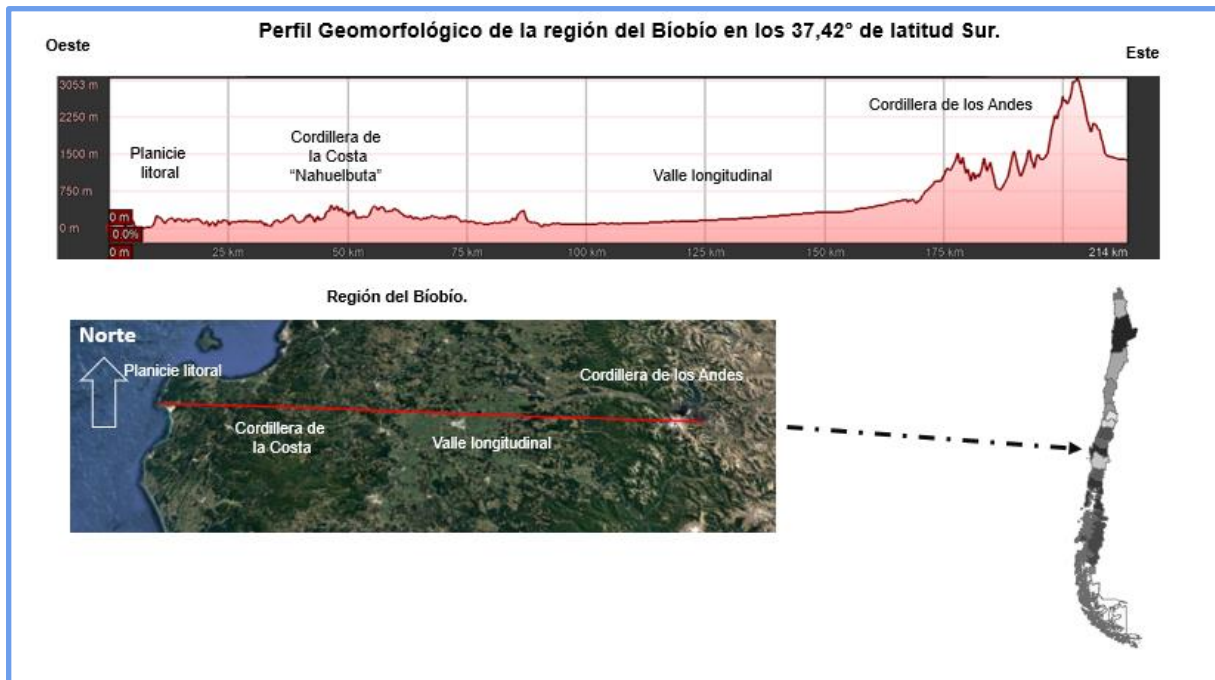
La Cordillera de los Andes se presenta más baja con características de cordones montañosos, con alturas promedio de 2.000 msnm. Destacan algunas cimas que corresponden a conos volcánicos, tales como el Antuco (2.985 m), Copahue (2.965 m) y Callaqué (3.164 m). Otras cimas importantes son la Sierra Velluda de 3.585 m y, de menor altura, la Cordillera de Polcura. La cordillera adquiere gran relevancia como fuente acumuladora de nieve que alimenta a importantes cursos fluviales, como el Biobío, Laja, Polcura, entre otros (BCN, 2022).

A pesar de que en esta zona aún se puede observar la presencia de la llamada Precordillera o "La Montaña", su importancia relativa decae de norte a sur, debido a un sistemático angostamiento de su extensión. Los valles longitudinales se caracterizan por tener una topografía uniforme y se desarrollan desde el pie occidental de la precordillera, hasta hacer contacto con la Cordillera de la Costa. Se presenta como una llanura ondulada, alcanzando su mayor anchura en el eje del río Laja, aproximadamente 60 kilómetros (BCN, 2022).

La Cordillera de la Costa experimenta un nuevo vigor en esta región, particularmente en el desarrollo de la denominada Cordillera de Nahuelbuta, que se levanta como un macizo imponente de más de 1500 m.s.n.m. que se extiende desde el río Biobío por el norte hasta el río Imperial por el sur. Algunas de las principales elevaciones de la región se encuentran en los cerros: Altos de Nahuelbuta (1.533 m.s.n.m.), o el cerro La Piedra del Águila (1.379 m.s.n.m.). Estas características de la cordillera costera generan grandes diferencias climáticas entre el oriente y occidente del macizo costero, además de ser un obstáculo para las comunicaciones entre las localidades regionales (BCN, 2022).

Las planicies costeras se presentan homogéneas, caracterizadas por planos costeros o terrazas. Desde el límite regional norte hasta la desembocadura del río Andalién presentan un escaso desarrollo. En la desembocadura del río Biobío se presentan como una llanura inundable. Al sur de este río ha influido notoriamente en la morfología litoral. En la zona del golfo de Arauco el ancho de las terrazas marinas alcanza los 35 kilómetros. Hay que destacar la existencia de lagos de contacto entre el faldeo occidental de Nahuelbuta y la llanura arenosa. Estos lagos son el Lanalhue y el Lleulleu. A continuación, en la siguiente figura se visualizan las cuatro macro unidades geomorfológicas de la región del Biobío (BCN, 2022).

Figura 5.62: Perfil Geomorfológico de la región del Biobío en los 37,42° de latitud Sur.



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth, 2022.

### 5.1.6. Puertos de Exportación

La Región del Biobío cuenta con una condición privilegiada, posee 440 kilómetros de costa en la cual se insertan puertos industriales que mueven la carga forestal, pesquera e industrial de la macro zona centro-sur del país, así como con actividades de refinación de petróleo, industria siderúrgica, industria química, celulosa y papel, así como polos industriales en Talcahuano y Coronel. (ah2vbiobio, 2022) siete puertos comerciales. Cuatro (Coronel, Lirquén, San Vicente, Talcahuano) son de carga general y tres especializados (Penco, Jureles, Puchococinco) privados.

Las diferencias entre puertos parten por su localización ya que las bahías de Concepción (Talcahuano), San Vicente, Penco /Lirquén y Coronel ofrecen muy disímiles condiciones de mar, viento, costa, profundidad. (Mundo Marítimo, 2022)

Los principales puertos de la región del Biobío, los cuales son:

- Puerto de Lirquén
- Puerto de Penco
- Puerto de Talcahuano
- Puerto de San Vicente
- Puerto de Coronel

De los cuales se puede observar en la figura 5.63 la ubicación en la región y en la figura 5.64, los tipos de carga:

Figura 5.63: Puertos de exportación de la VIII Región del Biobío



Fuente: CAMPORT,2021

Figura 5.64: Participación por localidad portuaria en el comercio exterior diferenciada por tipo de carga

Localidad	Total Nacional	Carga General y Granel Líquido Contenedores	Granel Líquido	Granel Sólido	Reefer
Lirquén	3,2%	11,3%	0,1%	0,5%	2,3%
Penco	0,3%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%
Talcahuano	7,0%	0,4%	33,0%	0,1%	1,1%
San Vicente	4,1%	6,3%	6,0%	1,7%	8,2%
Coronel	6,7%	14,0%	0,7%	5,2%	8,0%

Fuente: CAMPORT,2021

### 5.3.1. Analizar variables óptimas donde poder instalar una planta de hidrógeno verde en la región del Biobío.

Para el presente informe, anteproyecto de viabilidad de instalar una planta de hidrógeno verde, el análisis de los resultados obtenidos es el siguiente:

#### Producción de Hidrógeno

La selección del método de producción de Hidrógeno se recomienda que sea por producción a partir de agua, mediante el método de electrólisis, ya que este método se perfila como una de las más importantes alternativas ya que no produce emisiones contaminantes, si la fuente de energía eléctrica proviene de energías renovables.

Después de analizar las ventajas y desventajas de los tres tipos de electrolizadores, el que utilizaremos para esta investigación será el de tecnología PEM, esto debido a sus ventajas sobre los otros dispositivos, cuenta con un menor tamaño, soportando también mayores densidades de corriente, no se utilizan químicos extras en el electrolito y asegura una alta pureza de los gases que se producen, para lo cual es esencial dentro de esta investigación si después el hidrógeno producido se quiere utilizar para la producción de energía eléctrica.

### Lugar de propuesta de emplazamiento de la planta

Para elegir la recomendación donde emplazar la planta de hidrógeno verde, se tomó en cuenta como primera prioridad, con el fin de evitar calzar con estas, las áreas protegidas y sitios para la conservación de la biodiversidad, de la figura 5.43, las que se encuentran resumidas y demarcadas en la cartografía de la tabla 5.10. Además, se tomó en cuenta el análisis del perfil geomorfológico, el que está graficado en la figura 5.63, evitando principalmente la Cordillera de los Andes, la cordillera de la costa si bien es irregular no afectaría la posible instalación de una planta en el esa zona. Junto con esto se consideró el potencial eólico (ver tabla 5.12) del cual se ordenó según calidad de potencial de viento en el siguiente orden: Zona C, Zona A, Zona D y Zona B, la zona C tiene un promedio de viento mayor, pero mayor variabilidad de sus datos, en cambio la Zona B, tiene menor variabilidad de la velocidad del viento, pero el promedio de viento es menor. El potencial Solar de la zona (ver tabla 5.11), se ordenó de la siguiente forma: Zona B, Zona C, Zona A, Zona D, considerando los promedios de las formas de captación de la radiación, de las zonas estratégicas desarrolladas en el objetivo 2.

Tabla 5.11: Datos de radiación obtenidos en la división estratégica.

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Radiación anual global horizontal (kWh)/m2/día)	4,71	4,94	4,89	4,34
Radiación anual global inclinado 37° (kWh)/m2/día)	5,13	5,38	5,35	4,53
Promedio radiación anual directa (kWh)/m2/día)	6,08	6,65	6,62	4,58
Radiación anual difusa horizontal (kWh)/m2/día)	1,29	1,16	1,14	1,35

Fuente: Elaboración propia.

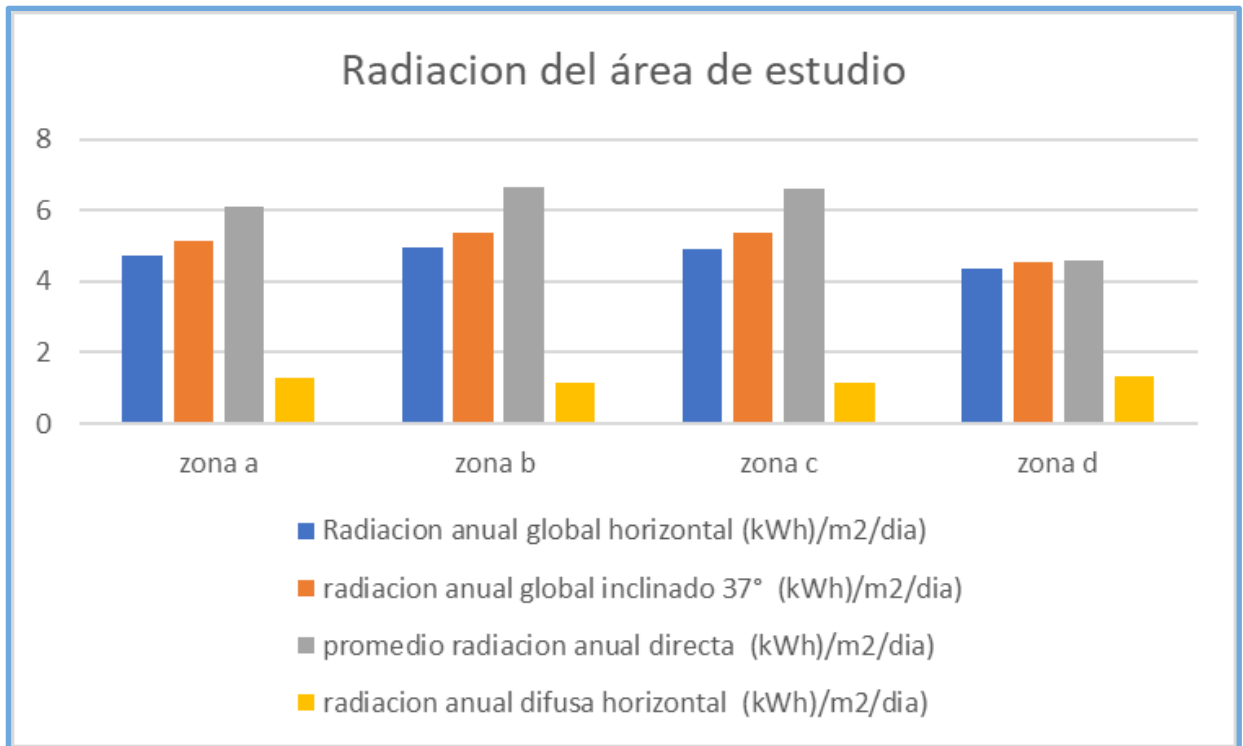
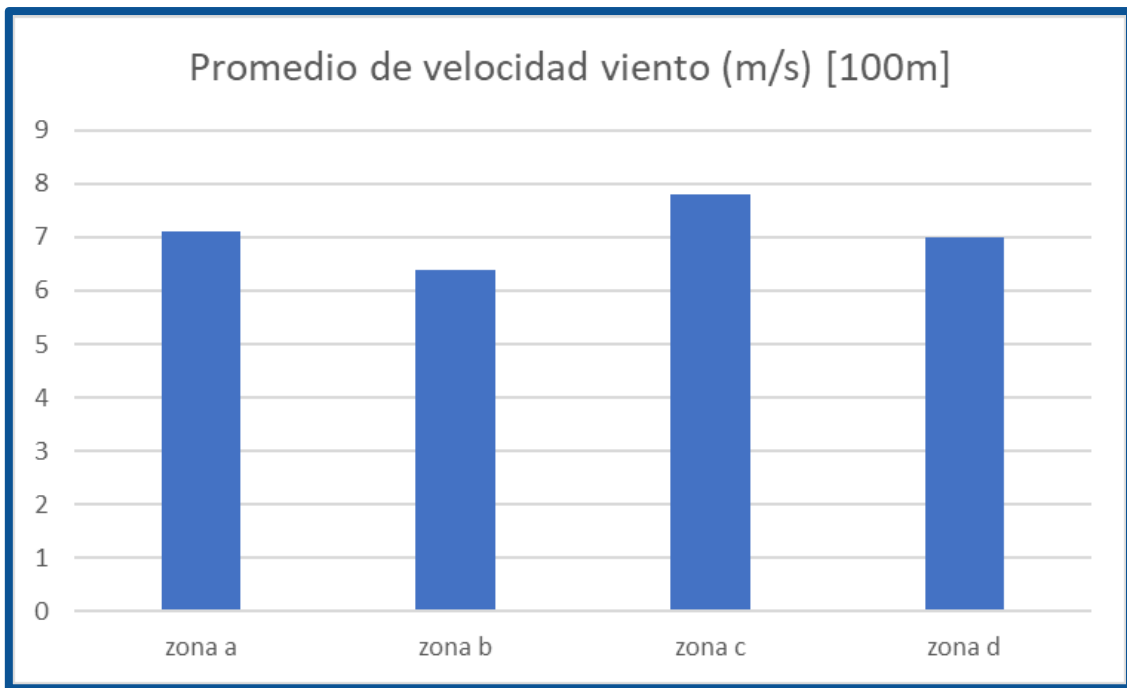


Tabla 5.12: Datos de velocidad de viento obtenidos en la división estratégica de la zona.

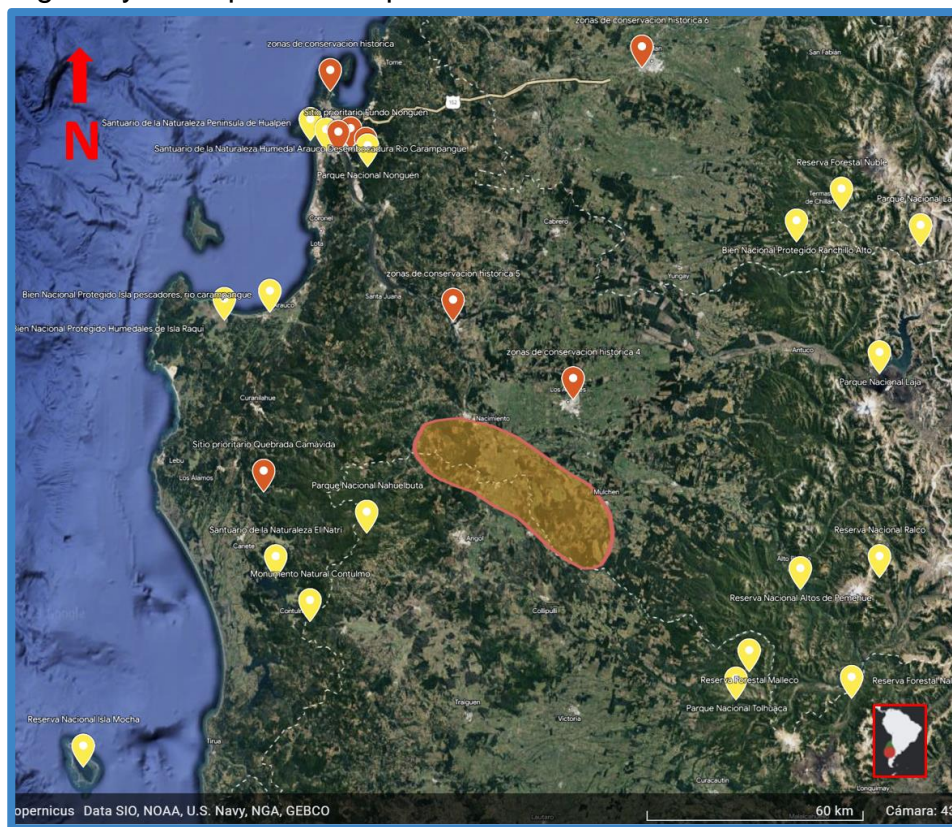
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Promedio de velocidad de viento (m/s) [100 m]	7,1	6,4	7,8	7,0

Fuente: Elaboración propia.



Dado este análisis se eligió como sugerencia el lugar de emplazamiento la Zona C, que es la zona comprendida entre Los Ángeles, San Martín, Angol y Quilquilco (ver figura 5.65).

Figura 5.65: Análisis espacial de la zona de propuesta de emplazamiento, con áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad.



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth Pro.

En síntesis, para poder dar viabilidad a la instalación de planta de hidrógeno verde, se recomienda orientar las instalaciones a la zona sur de la región del Biobío, al límite con la región de la Araucanía, además.

### Elección de sugerencia de electrolizador

Para poder comenzar con el diseño de sugerencia de la planta de hidrógeno verde se escogió Silyzer 300, de la empresa Siemens Energy, como el electrolizador de la planta de hidrógeno verde, para así poder tomar parámetros de potencia y diseñar una estimación de planta eólica y planta fotovoltaica, junto con poder calcular el consumo del recurso hídrico.

Se escogió Silyzer 300 como electrolizador de la planta de hidrógeno, ya que utilizaba tecnología PEM y también con el fin de que fuese lo más genérico posible y tomando como referencia el proyecto Haru Oni de Hif Fuels<sup>11</sup>, proyecto de Hidrógeno en la Patagonia Chilena, en este proyecto se utilizó Silyzer 200, no obstante, para efectos de este informe se escogió su versión más avanzada debido a la cantidad de información disponible.

A continuación, en la tabla 5.13, se pueden observar los principales datos de la ficha técnica del electrolizador Silyzer 300. Este está compuesto por módulos. Un arreglo completo está compuesto de 24 módulos, del cual para fines de este estudio se escogerá el arreglo completo de 24 módulos<sup>12</sup>. Con respecto al rango de potencias operativas de 8,7 y de 17,5 MW, y para garantizar el correcto y eficiente funcionamiento del proyecto se escogerá una potencia indicada por el electrolizador para un módulo completo de 24 arreglos de 17,5 MW, como potencia de requerimiento *input* del electrolizador.

Tabla 5.13: Datos obtenidos del electrolizador escogido.

	Potencia (MW)	Producción de Hidrógeno (kg/h)	Consumo de Agua	Eficiencia de planta (%)
Electrolizador Silyzer 300 de la marca Siemens.	8,7/17,5	165/330	10 L por kg de H2	75,5

<sup>11</sup> Proyecto Haru Oni de Hif Fuels, se puede encontrar información al respecto en la página oficial de la empresa productora del electrolizador operante <https://www.siemens-energy.com/mx/es/soluciones/energia-renovable/soluciones-de-hidrogeno/haru-oni.html> y en <https://www.hifglobal.com/es/haru-oni>

<sup>12</sup> Electrólisis PEM Silyzer 300: Large Scale PEM Electrolysis and Sector Coupling 8th of March, 2021; Ilona Dickschas [https://www.heattofuel.eu/wp-content/uploads/2021/03/6\\_Ilona-Dickschas.pdf](https://www.heattofuel.eu/wp-content/uploads/2021/03/6_Ilona-Dickschas.pdf) (ver anexo)

Fuente: Siemens Energy, 2020.

En la tabla 5.14, se especifica la producción de Hidrógeno al día y la energía requerida por el electrolizador:

Tabla 5.14: Producción del electrolizador y requerimientos.

<b>Producción de Hidrógeno al día</b>	<b>8,2 ton H</b>
<b>Energía requerida por el electrolizador al día</b>	<b>420 MWh</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Sugerencia planta eólica

Para el diseño de planta eólica, se tomó en consideración la potencia de seis aerogeneradores, esto ya que por lo general los parques eólicos de pequeña escala son de son cinco-seis aerogeneradores, debido a que hace factible la recuperación del capital de los inversionistas, la potencia sobrante de los aerogeneradores se le puede dar la utilidad de venderla como energía a la red. Para proceder a esto, primero se estimó en base a un aerogenerador que es lo que permite el Explorador Eólico (ver figura 5.66.), seguidamente con esos datos se calculó el potencial dimensionado para una planta eólica con seis aerogeneradores (ver tabla 5.15).

Figura 5.66: Datos de diseño de planta eólica.

FORMULARIO	RESULTADOS Y GRÁFICOS			DESCARGAR RESULTADOS
Resumen del sitio				
<b>Latitud</b>	-37,6851°	<b>Longitud</b>	-72,6765°	<b>Altura</b> 428 msnm
<b>Turbina:</b>	Vestas V164 - 8.0 MW	<b>Potencia:</b>	8000 kW	<b>Diámetro:</b> 164 m
Resultados de generación eólica				
<b>Total Diario</b>	<b>Total Anual</b>	<b>Factor de Planta</b>		
75700,1 kWh	27.630.535 kWh	39,4 %		

Fuente: Elaboración propia a través del Explorador Eólico.

Tabla 5.15: Proyección de diseño de generación eólica para seis aerogeneradores.



Total Diario	Total Anual	Factor de Planta
454.200,6 kWh	165.783.210 kWh	39,4 %

Fuente: Elaboración propia.

### Sugerencia planta fotovoltaica

Para el caso de la planta fotovoltaica, se sugiere una planta de potencia equivalente a la potencia indicada en la figura 5.67 para un módulo completo de 12 arreglos, ya que debido a la intermitencia del recurso solar por causa del ciclo día-noche, la producción de hidrógeno verde no sería continua. Por lo que se debe maximizar la producción durante las horas con disponibilidad de recurso, por lo que se sugiere una planta FV<sup>13</sup> de 17.5 MW

Figura 5.67: Datos de diseño de planta fotovoltaica.

FORMULARIO	RESULTADOS Y GRÁFICOS			DESCARGAR RESULTADOS
Mi Sitio				
<b>Latitud</b>	-37,6856	<b>Longitud</b>	-72,6785	<b>Altura</b> 448 msnm
<b>Tipo de Panel:</b>	Fijo Inclinado	<b>Inclinación:</b>	38	<b>Azimet:</b> 0
Resultados de generación fotovoltaica				
<b>Total Diario</b>	<b>Total Anual</b>	<b>Factor de Planta</b>		
64604,87 kWh	23.580.778 kWh	15,0 %		

Fuente: Elaboración propia a través del Explorador Solar.

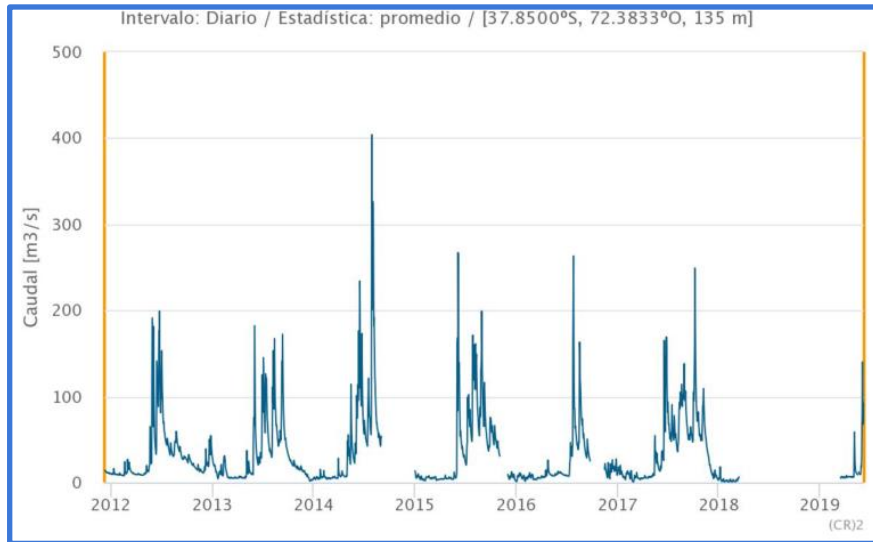
### Obtención del recurso hídrico

Para la obtención del recurso hídrico se utilizó la herramienta del explorador climático, basada en la DGA, analizando el caudal del Río Renaico (ver figura 5.71) (ubicado en

<sup>13</sup> Planta Fotovoltaica.

las coordenadas [37.8500°S, 72.3833°O]) de la cual se pudo obtener una recopilación de datos (ver figura 5.68), la que arroja caudal promedio diario de 32,4 m<sup>3</sup>/s (ver figura 5.72), por otra parte del sitio de aprovechamiento de aguas de la DGA, se obtuvo la extracción de aguas del río, de las regiones del Biobío (ver figura 5.69) y la Araucanía (ver figura 5.70), ya que el Río Renaico está entre el límite de ambas regiones:

Figura 5.68: Caudal en Río Renaico en longitudinal [DGA]



Fuente: Explorador Climático (CR)<sup>2</sup>

Figura 5.69: Uso de Agua del Río Renaico en la Región del Biobío.

Fuente	Caudal Anual Prom	Unidad de Caudal
Río Renaico	12,2500	Lt/s
Río Renaico	20,4167	Lt/s
Río Renaico	35	Lt/s
Río Renaico	308	Lt/s
Río Renaico	999	Lt/s
Río Renaico	652	Lt/s
Río Renaico	999	Lt/s
Río Renaico	150	Lt/s
Caudal al año	3025,6667	
Caudal al mes	252,13889	
Caudal al día	8,4046297	

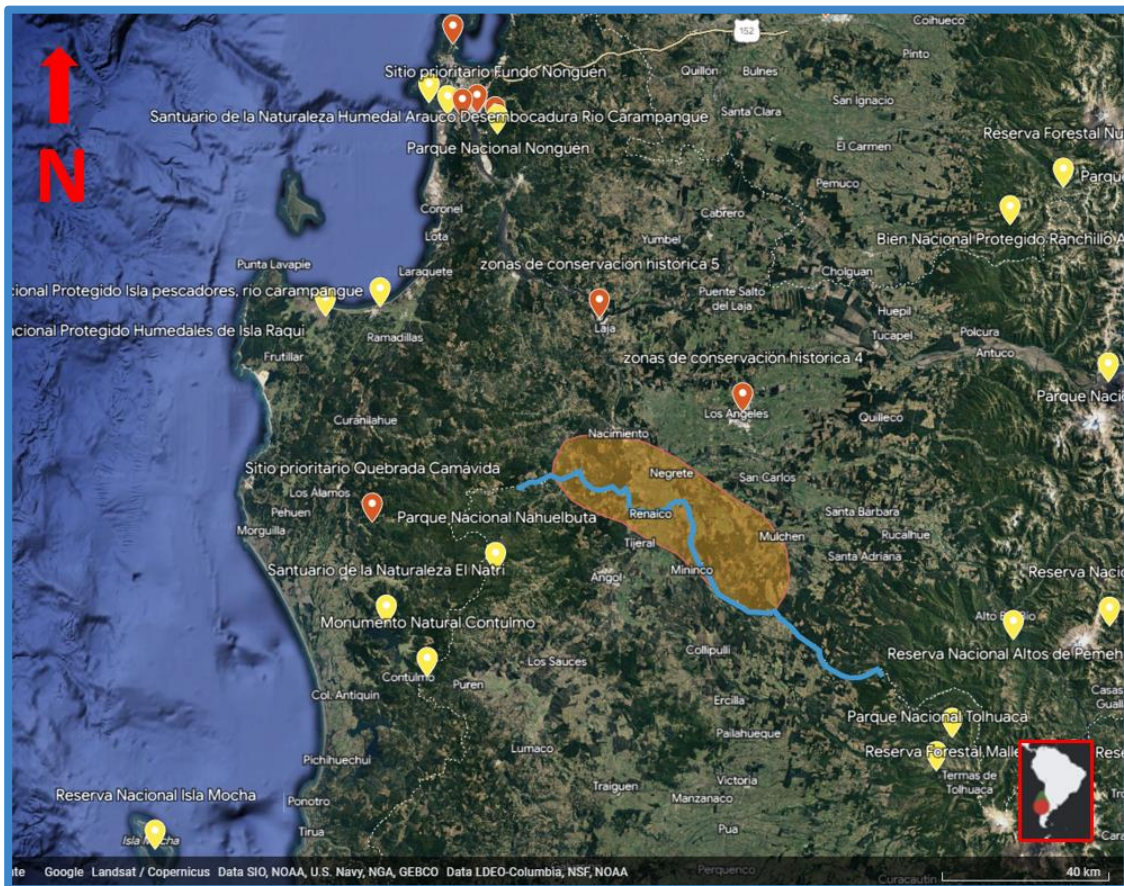
Fuente: DGA VIII Región

Figura 5.70: Uso de Agua del Río Renaico en la Región de la Araucanía.

Fuente	Caudal Anual Prom	Unidad de Caudal
Rio Renaico	40	Lt/s
Rio Renaico	1500	Lt/s
Rio Renaico	90	Lt/s
Rio Renaico	12,5000	Lt/s
Rio Renaico	150	Lt/s
Rio Renaico	666,6667	Lt/s
Rio Renaico	1000	Lt/s
Rio Renaico	200	Lt/s
Rio Renaico	666,6667	Lt/s
Rio Renaico	1000	Lt/s
Rio Renaico	40	Lt/s
Total Anual	5365,8334	
Caudal Mensual	447,1527833	
Caudal Diario	14,90509278	

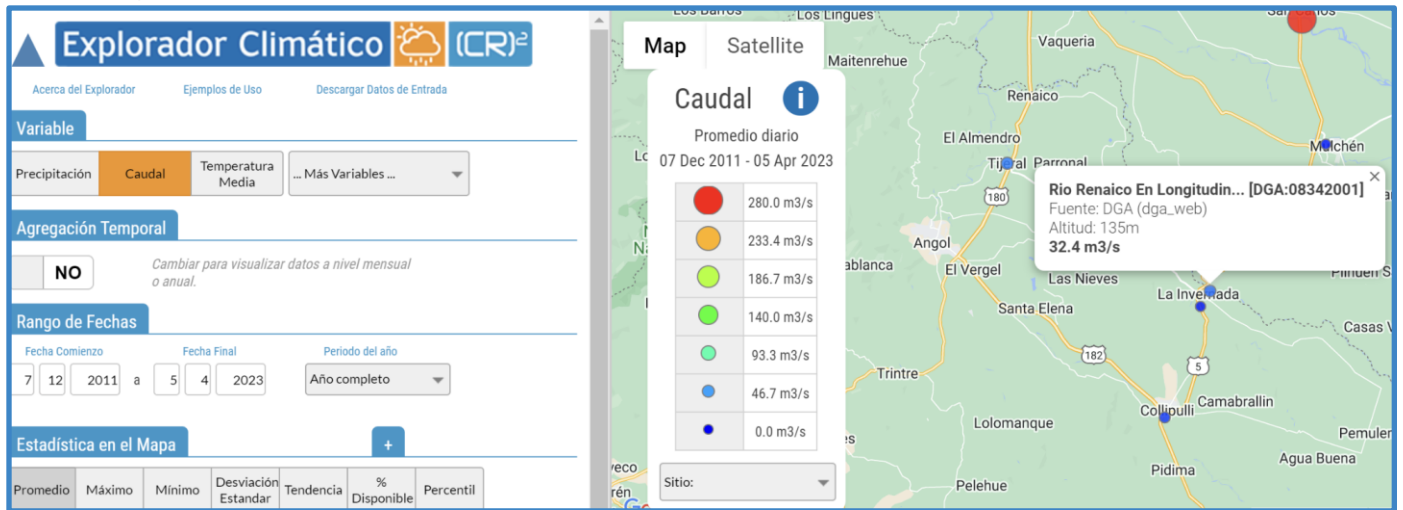
Fuente: DGA IX Región

Figura 5.71: Análisis espacial de la zona de propuesta de emplazamiento, áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad y la fuente de obtención del recurso hídrico, Río Renaico.



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth.

Figura 5.72: Obtención del Caudal del Río Renaico, del explorador climático.



Fuente: Explorador Climático (CR)<sup>2</sup>

### Cálculos de caudal necesario

Según los requerimientos de agua en función de la demanda del electrolizador se realizaron los siguientes cálculos:

Teniendo en cuenta que la producción de Hidrógeno para 17,5 MW son 330 kg/h; 1 hora = 3.600 segundos se calcula que la demanda hídrica de la planta de hidrógeno será:

$$\frac{330 \text{ kg H}_2}{1 \text{ h}} \times \frac{10 \text{ L}}{1 \text{ kg H}_2} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,92 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Además, teniendo en cuenta que 1 m<sup>3</sup>. = 1000 Litros, tenemos que el caudal del Río Renaico, en unidades comparables al cálculo anterior es:

$$\frac{32,4 \text{ m}^3}{1 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 32.400 \frac{\text{L}}{\text{S}}$$

Existen múltiples usos del agua del río Renaico en la región del Biobío de Chile, entre ellos:

Riego para la agricultura: El agua del río Renaico se utiliza con fines de riego para apoyar la producción de cultivos en la región del Biobío.

Generación de energía hidroeléctrica: El río Renaico es uno de los principales ríos de la cuenca del Bo Bo y se utiliza para la generación de energía hidroeléctrica.

Abastecimiento de agua doméstico e industrial: El agua del río Renaico también se utiliza para el abastecimiento de agua doméstico e industrial de la región.

Además, el flujo de agua del río Renaico apoya la salud ecológica del área y proporciona un hábitat para plantas y animales acuáticos.<sup>14</sup>

De la tabla XX “Uso de Agua del Río Renaico en la Región del Biobío” y la tabla XX “Uso de Agua del Río Renaico en la Región de la Araucanía”, de las cuales se pudieron obtener los caudales de extracción no consuntivos de aguas del Río Renaico

El total de las extracciones consuntivas, detalladas en la figura XX y en la figura XX, son 8,404 L/s + 14,905 L/s= 23,309 L/s.

$$32.400 \frac{L}{s} \Rightarrow 100\%$$
$$23,309 \frac{L}{s} \Rightarrow x\%$$
$$x\% = 0,072 \frac{L}{s} \approx 0,1 \frac{L}{s}$$

---

<sup>14</sup> Usos del agua del río Renaico: [https://www.researchgate.net/figure/Biobio-basin-in-central-Chile-showing-sampling-sites-and-hydropower-plants-Yellow\\_fig1\\_337512231](https://www.researchgate.net/figure/Biobio-basin-in-central-Chile-showing-sampling-sites-and-hydropower-plants-Yellow_fig1_337512231).

# Capítulo VI

## 6. Conclusión

Para concluir, el hidrógeno verde se presenta como una solución viable para la mitigación de la crisis climática, ayudando a reducir las emisiones de gases contaminantes y aportando a la descarbonización de la matriz energética.

Se investigaron los procesos de producción de Hidrógeno y se concluyó que la electrolización, es más óptimo método para la producción de Hidrógeno Verde, ya que no produce emisiones de CO<sub>2</sub> por sí misma, además de que no se desperdicia tanta energía a diferencia del proceso que compite por la vanguardia en Hidrógeno Verde; por lo que se concluye que es el método que tiene una esperanzadora proyección en un mundo que se deteriora por el calentamiento global, causado en gran parte por la contaminación ambiental. Se indagó acerca de las formas de almacenar y transportar hidrógeno, no obstante, no se escogió un método para el diseño de la planta de hidrógeno, debido a que no existe una tecnología que predomina en esta materia, otorgando la decisión en quien decida tomar este estudio preliminar y continuarlo, en virtud de que existan políticas públicas o una tecnología madura que ponga énfasis y que induzca a la elección de métodos de almacenamiento y transporte. Para el uso del recurso hídrico se concluye que antes de ingresar al proceso en el electrolizador, es necesario el tratamiento del agua de ósmosis inversa y desionización, para que el agua utilizada en el proceso sea apta y pueda utilizarse para la seguida electrólisis de ésta misma. Con respecto al abastecimiento del agua, se llegó a la conclusión de que en la VIII región del Biobío, hay disponibilidad de agua como para abastecer las operaciones de la planta de hidrógeno, ya que solo se requiere un 0,003 % del caudal total del río y otras extracciones de agua de la fuente de obtención del recurso hídrico no afectarían en este requerimiento. También, la posibilidad de exportar el combustible se presenta viable, debido a que la VIII región del Biobío presenta una gran cantidad de puertos existentes en la zona, no obstante se concluye que para poder lograr la exportación de hidrógeno a través de los puertos es necesario adaptar los puertos, en instalaciones, barcos y con centros de Hidrógeno para hacer factibles las descargas de hidrógeno en los puertos, ésto se podrá visualizar cuando exista una mayor profundidad y desarrollo de políticas públicas en la materia y también mayor maduración y desarrollo de las tecnologías sobre exportación de hidrógeno.

Por otra parte se identificó el potencial energético, ambiental y físico de la región del Biobío, llegando a la conclusión de que la macro zona sur, posee un gran potencial de energía eólica y un suficiente potencial de energía solar, como para llevar a cabo una planta de hidrógeno verde de pequeña-mediana escala. Para el diseño de la planta eólica se estimó un campo eólico, que consiste en 6 turbinas eólicas de 8 MW cada una, que generarán una energía anual de 165,8 GWh, por lo que se concluye que la zona de estudio es capaz de poder brindar la energía eólica para una planta de hidrógeno verde de pequeña-mediana escala, lo que se traduce en una generación

total diaria de 454,2 MWh de energía, para abastecer el requerimiento INPUT de energía del electrolizador de 420 MWh al día por el electrolizador. Por otra parte la generación de energía de la proyección de la planta fotovoltaica generará un total anual de 23,6 GWh de energía, lo que se traduce en un total diario de 64,6 MWh de lo que se determinó que no es suficiente para poder abastecer de energía al electrolizador, de esto se concluye que solo la planta con alimentación por energía eólica es factible, o en su defecto, existe la posibilidad de complementar la energía fotovoltaica con la energía de la planta eólica, de manera de que cuando se necesite reparar o hacer mantenimiento a algún aerogenerador poder suplir la energía del aerogenerador en mantenimiento y en el caso del excedente de energía venderla a la red.

Para dar cumplimiento al objetivo de analizar variables óptimas donde poder instalar la planta de hidrógeno verde en la región del Biobío, se analizaron las áreas protegidas y sitios de conservación de la biodiversidad, se realizó también un análisis geomorfológico y un análisis espacial de los resultados previos, para obtener las variables óptimas del lugar de emplazamiento de la planta de hidrógeno verde, de lo que se puede concluir que es de gran importancia considerar las zonas reservadas para el cuidado de la biodiversidad, ya que se hace incompatibles a la hora de ubicar un proyecto, si bien existe una cantidad considerable de zonas de protección en el área de estudio, se puede ubicar planta de hidrógeno verde sin abarcar una zona de protección. Del análisis geomorfológico se obtuvo que se distinguían las unidades tradicionales del relieve chileno como lo son la Cordillera de los Andes, depresión intermedia, Cordillera de la Costa y planicies litorales, de esto se concluyó que la unidad escogida como referencia para el lugar de emplazamiento debía estar en el valle longitudinal de la depresión intermedia, debido a baja inclinación y planicies que nos ofrece esta unidad de relieve. Se obtuvieron importantes resultados que permitieron cumplir con el objetivo de desarrollar un análisis para la obtención de condiciones óptimas sobre la instalación de una planta de hidrógeno verde en la VIII región del Biobío, Chile. Para lograr esto se propuso un diseño tres sub plantas: la primera, planta de electrólisis, con veinticuatro módulos del electrolizador Silyzer 300 de la compañía Siemens Energy, la segunda, la planta de eólica de generación, que consiste en seis turbinas eólicas de 8 MW cada una y la tercera planta, la planta fotovoltaica de generación. Cada sub-planta se plantea de modo que se lograra la meta de producción de hidrógeno verde, concluyendo que la macrozona sur posee un potencial apto para instalar una planta de hidrógeno verde, desde el punto de vista energético, ambiental y físico de la región derivando en que el proyecto es viable. Con esto se logra realizar la selección de un lugar adecuado para la instalación de una planta de generación de hidrógeno, ubicando la planta al sur de la región del Biobío.

# Capítulo VII

## 7. Referencias:

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2021). "Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector". *Parlamento Europeo*. Fecha de consulta: 03/12/2022. Disponible en línea:

<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>

Ah2vbiobio. (2022). Hidrógeno Verde en la región del Biobío. Fecha de consulta: 14/7/2022 Disponible en línea: <https://www.ah2vbiobio.cl/region-del-biobio/>

Araneda Orellana, R. 2022. *Estudio técnico y económico de una planta de producción de hidrógeno verde para exportación a países industrializados*. Disponible en línea: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/186625/Estudio-tecnico-y-economico-de-una-planta-de-produccion-de-pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CAMPORT. (2021). Emplazamiento de puertos que transfieren carga de comercio exterior. Fecha de consulta: 17/11/2022. Disponible en línea: [https://www.camport.cl/mapa-portuario\\_new/home.html](https://www.camport.cl/mapa-portuario_new/home.html)

Cancino Silva, R. (2021). Producción y almacenamiento hidrógeno verde para aplicaciones energéticas en Chile. Disponible en línea: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181631>

Castells, X. E., & de Gracia, L. J. (2012). *El hidrógeno y las pilas de combustible: Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos.

Cepal. 2017. Indicadores de Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Fecha de consulta: 10/11/2022. Disponible en línea: [https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/s5\\_rquirola\\_estadisticas-indicadores-cambio-climatico\\_0.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/s5_rquirola_estadisticas-indicadores-cambio-climatico_0.pdf)

Chi, Jun; Yu, Hongmei (2018). Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production. *Chinese Journal of Catalysis*, 39(3), 390–394. doi:10.1016/S1872-2067(17)62949-8 [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(17\)62949-8](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(17)62949-8)

CicEnergigune. *Métodos de producción de hidrógeno y sus colores*. 2022. Fecha de consulta: 13/08/2022. Disponible en línea: <https://cicenergigune.com/es/blog/metodos-produccion-hidrogeno-colores#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20verde%20se%20obtiene,procede%20de%20la%20energ%C3%ADa%20nuclear.>



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de J. Gütschow et al, “The PRIMAP-hist national historical emission time series”, Earth System Data, vol. 8, N°2, Göttingen, Copernicus Publications, 2016; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Base de Datos Estadísticos Sustantivos de la Organización (FAOSTAT). Fecha de consulta: 06/01/2023. [Disponible en línea] <http://www.fao.org/faostat/en/>.

Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile sobre el Cambio Climático. (2020). Ministerio del Medio Ambiente. Fecha de consulta: 06/01/2023. Disponible en línea: [https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/574160\\_Chile-BUR4-1-Chile\\_4th%20BUR\\_2020.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/574160_Chile-BUR4-1-Chile_4th%20BUR_2020.pdf)

DGA. (2022). Servicios climáticos del centro de ciencia del clima y la resiliencia (CR)2. Fecha de consulta: 09/01/2023. Disponible en línea: <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/cr2.aspx>

El-Shafie, M. , Kambara, S. and Hayakawa, Y. (2019) Hydrogen Production Technologies Overview. *Journal of Power and Energy Engineering*, 7, 107-154. doi: 10.4236/jpee.2019.71007.

Energía estratégica (2020). *El listado completo de los proyectos de energías renovables en construcción en Chile*. 2020. Fecha de consulta: 20/12/2023. Disponible en línea: <https://www.energiaestrategica.com/el-listado-completo-de-los-proyectos-de-energias-renovables-en-construccion-en-chile/>

FAO. (2022). EL CAMBIO CLIMÁTICO PRINCIPALES CAUSANTES, CONSECUENCIAS Y COMPROMISOS DE LOS PAÍSES INVOLUCRADOS. Fecha de consulta: 22/12/2022. Disponible en línea: <https://www.fao.org/3/xii/0523-b2.htm#:~:text=El%20clima%20mundial%20se%20ver%C3%A1,metano%2C%20C3%B3xidos%20nitrosos%20y%20clorofluorocarbonos>

Gavilanez, A. , Caiza, G., Tapia, M. J., & Mora-Aguilar, J. (2020). Energías Renovables y Diseño Industrial: Influencia en Sudamérica. *INGENIO*, 3(2), 55–67. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v3i2.2722>

Generadoras de Chile. *Desafíos y oportunidades de la energía hacia una sociedad más eficiente, eléctrica y sustentable*. 2017. Fecha de consulta: 20/03/2023. Disponible en línea: <http://generadoras.cl/media/page-files/231/170117-Ppt-Generadoras-de-Chile-Taller-Prensa-Bio-Bio-2x-hoja.pdf>

IPCC (2018) *Global Warming of 1.5 °C - SR15*. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15\\_SPM\\_version\\_stand\\_alone\\_LR.pdf%0Ahttp://www.ipcc.ch/report/sr15/](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf%0Ahttp://www.ipcc.ch/report/sr15/). Fecha de consulta: 22/09/2022.

IPCC. *Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change, 2022*. Fecha de consulta: 23/08/2022. [https://report.ipcc.ch/ar6/wg3/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Full\\_Report.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg3/IPCC_AR6_WGIII_Full_Report.pdf). En el dominio público.

Mejía Arango, J. G., & Acevedo Alvarez, C. A. (2013). *Proyección al año 2025 para el uso del hidrógeno en el sector transporte del Valle de Aburrá*. Scientia Et Technica. <https://doi.org/10.22517/23447214.8743>

Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde*. Fecha de consulta: 09/04/2022. [https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia\\_nacional\\_de\\_hidrogeno\\_verde\\_-\\_chile.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf) En el dominio público.

Ministerio de Energía. (2020). *Informe Balance Nacional de Energía 2020, 2022*. Fecha de consulta: 09/04/2022 [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/2022\\_informe\\_anual\\_bne\\_2020.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/2022_informe_anual_bne_2020.pdf) En el dominio público.

Ministerio de Energía. (2018) *Tecnologías del Hidrógeno y perspectivas para Chile*. Fecha de consulta: 09/04/2022 <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/07/LIBRO-TECNOLOGIAS-H2-Y-PERSPECTIVAS-CHILE.pdf> En el dominio público.

Ministerio de Energía. 2022. *¿Qué son las Energías Renovables?*. Fecha de consulta: 09/04/2022. Disponible en línea. <https://www.energia.gob.cl/educacion/que-son-las-energia-renovables> .

Ministerio del Medio Ambiente. 2022. *Registro Nacional de Áreas Protegidas*. Fecha de consulta: 14/05/2022. Disponible en línea: <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/>

Molina, A., Falvey, M. & Rondanelli, R. A solar radiation database for Chile. *Sci Rep* 7, 14823 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13761-x>

Mundo Marítimo. 2022. *Puertos de la octava región: motor del comercio internacional*. Fecha de consulta: 19/11/2022. Disponible en línea: <https://mundomaritimo.cl/noticias/puertos-de-la-octava-region-motor-del-comercio-internacional>

OMM, *Organización Meteorológica Mundial*. 2019. *Boletín sobre los gases de efecto invernadero – N°15 : Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2018 (2019)*. Fecha de consulta: 09/04/2022 <https://nuestrofuturocomun.com/que-cause-el-cambio-climatico/>. En el dominio público.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM), (2020). Fecha de consulta: 09/04/2022. *En el dominio público.*

<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-organizaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica-mundial-confirma-que-2019-fue-el-segundo>).

Patrimonio Urbano. 2022. *Inmuebles y Zonas Patrimoniales*. Fecha de consulta: 09/06/2022. Disponible en línea: <https://www.patrimoniourbano.cl/inmuebles-y-zonas-patrimoniales/region-del-biobio/>

Paillao Moreno, J. (2022). Evaluación técnico-económica de una planta solar híbrida PV+CSP para producción de hidrógeno verde. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/186879>

Perez Pozuelo, Isabel. 2020. *Producción de hidrógeno a alta temperatura*. Disponible en línea: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93255/fichero/TFG-3255+PÉREZ+POZUELO%2C+ISABEL+MARÍA.pdf>

Plan de Acción de cambio climático. (2017 - 2022) . Ministerio del Medio Ambiente. Fecha de consulta: 21/07/2022 Disponible en línea : [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan\\_nacional\\_climatico\\_2017\\_2.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf)

Rodriguez Machuca, P. 2017. *ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO*. Disponible en línea: <https://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/11534/64293/Tesis%20Pablo%20Andr%C3%A9s%20Rodríguez%20Machuca.pdf?sequence=1>

SEA. (2022). Criterio de evaluación en el SEIA: Introducción a proyectos de hidrógeno verde. Fecha de consulta: 28/05/2022. Disponible en línea en: [https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2022/01/31/criterio\\_de\\_evaluacion\\_en\\_el\\_seia.pdf](https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2022/01/31/criterio_de_evaluacion_en_el_seia.pdf)

SolarPlak. *¿Cuáles son las energías limpias o renovables?*. (2022). Fecha de consulta: 09/04/2022. Disponible en línea. <https://solarplak.es/energia/cuales-son-las-energias-limpias-o-renovables>

Soto, O. (2020). Análisis conceptual, constructivo y experimental de un electrolizador con diferentes electrodos, para la obtención de hidrógeno desde agua pura y salada. Disponible en línea: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/176192/Análisis-conceptual-constructivo-y-experimental-de-un-electrolizador-con-diferentes-electrodos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. (2018). Statement on the State of the Global Climate in 2018. Fecha de consulta: 13/12/2022. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=5789](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789)

# Capítulo VIII

## Anexos

- Cálculo de producción de Hidrógeno al día
- Cálculo de energía requerida por el electrolizador
- Datos técnicos del electrolizador Silyzer 300

Producción de Hidrógeno al día:

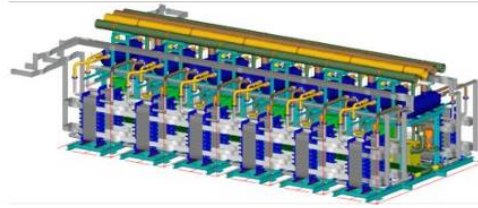
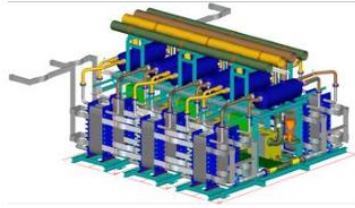
$$\frac{330 \text{ kg } H_2}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 8,2 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

Energía requerida por el electrolizador:

$$17,5 \text{ MW} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 420 \text{ MWh al día}$$

Datos técnicos del electrolizador Silyzer 300

**Cost-optimized and pre-engineered solutions for Silyzer 300 – can be multiplied up to Gigawatt-scale solutions**



**Half Array – 12 Modules**

**Full Array – 24 Modules**

Rated H <sub>2</sub> production	165 kg/h at rated power	330 kg/h at rated power
Rated Silyzer 300 plant power <sup>1</sup>	8.7 MW	17.5 MW
Plant efficiency Silyzer 300 <sup>1</sup>	>75.5%	>75.5%
Dimension array	8.0 x 7.5 x 3.7 m	15.0 x 7.5 x 3.7 m
Output pressure	Array: 100 mbar(g); Plant: project specific	
Hazard concept	Standard industrial building, only water no additional chemicals	

<sup>1</sup> Power demand and efficiency calculated for the air-cooled plant, new and clean, T<sub>amb</sub> = 15°C, HHV = 39.45 kWh/kg