



Visión desde Chile, Latinoamérica

Prof. Rodrigo Palma Behnke
Centro de Energía, DIE, Universidad de Chile

25 de noviembre, 2021



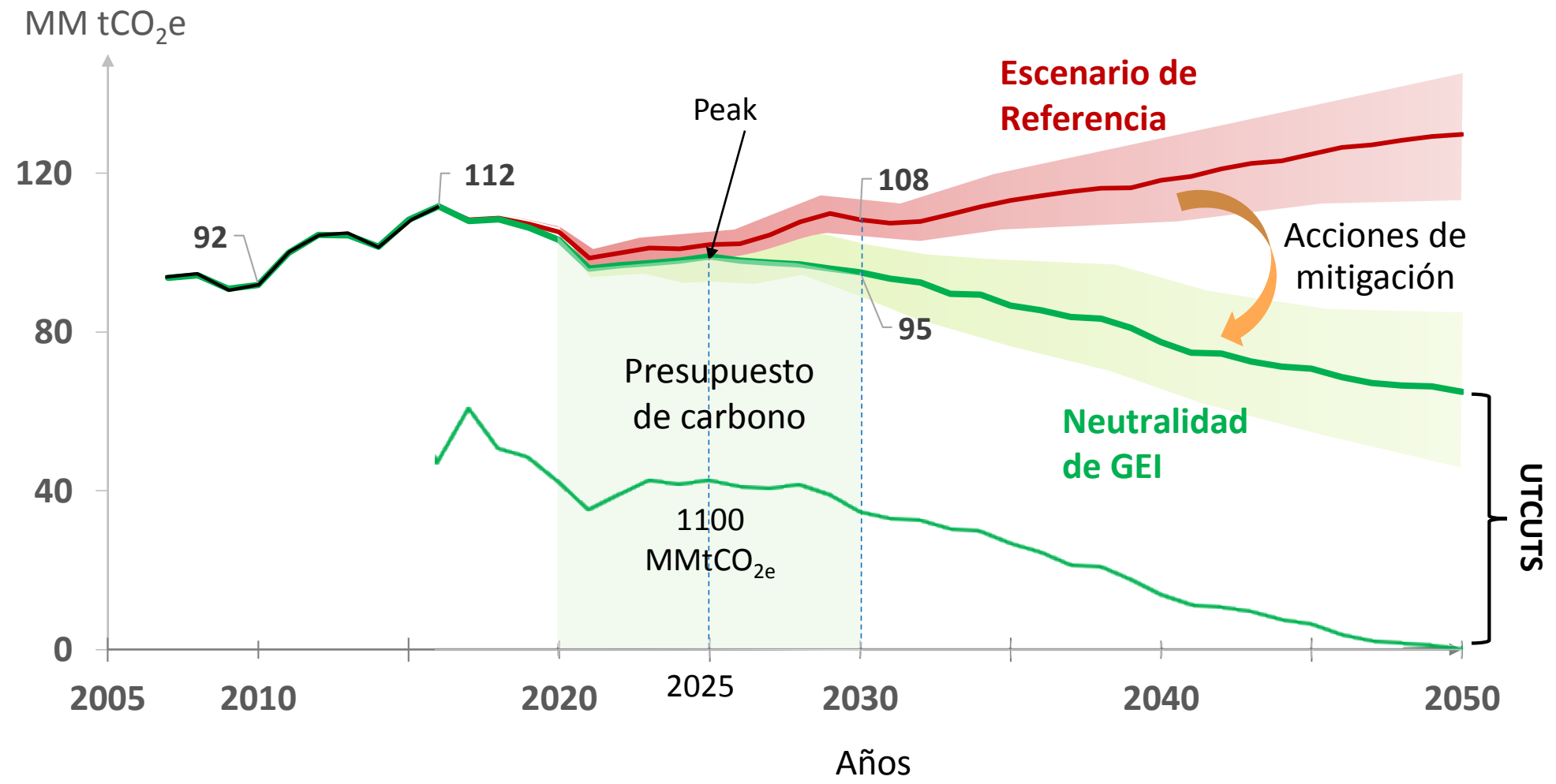


Desde el año 2009 comprometido



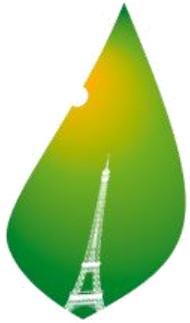
Introducción

Compromiso de Chile en mitigación, actualización NDC

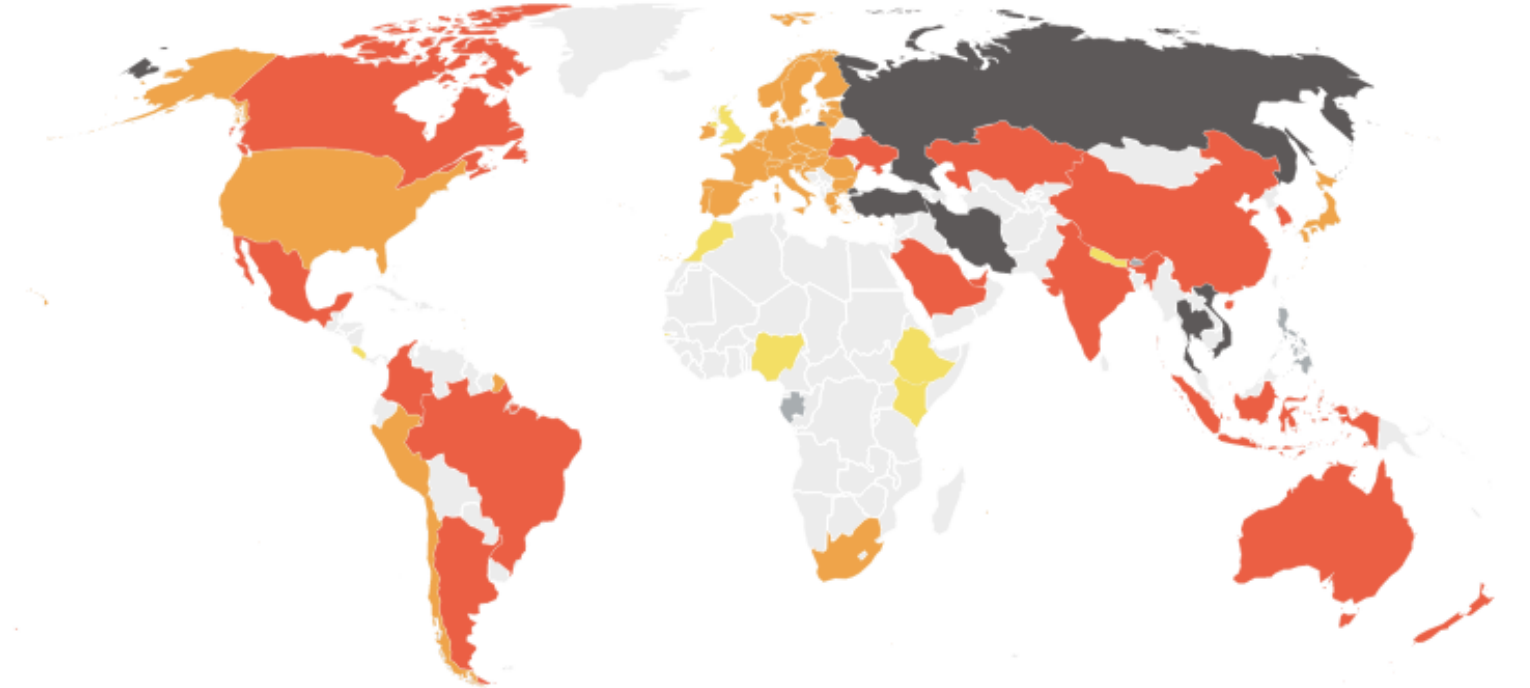


Introducción: Contexto cambio climático

Contexto Acuerdo de París



PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21·CMP11



Assessments of:



AVIATION
[Find out more](#)



SHIPPING
[Find out more](#)

The maps displayed are for reference only.

LAST UPDATE: November 2021

CRITICALLY INSUFFICIENT

HIGHLY INSUFFICIENT

INSUFFICIENT

ALMOST SUFFICIENT

1.5°C PARIS AGREEMENT
COMPATIBLE

The Chilean Potential for Exporting Renewable Energy



COMITÉ CIENTÍFICO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación
Gobierno de Chile

Euroclima+

Financiado por la Unión Europea

NACIONES UNIDAS
CEPAL

The Chilean Potential for Exporting Renewable Energy

2

Contents

1. Introduction. 7

2. Methodological approach 11

3. Export options. 12

4. Cross-cutting issues 39

5. Synthesis and recommendations 50

References. 55

Co-authors

Rodrigo Abarca del Río¹³, Claudio Agostini^{18,29,21}, Carlos Alvear^{12,27}, Jorge Amaya^{12,27,20}, Paz Araya⁴⁵, Nelson Arellano¹, Pedro Arriagada¹³, Camilo Avilés¹, Carlos Barría¹, Alex Berg¹³, Daniela Buchuk², José Miguel Cardemil^{19,29}, Francisco Dall'Orso¹, María Paz Domínguez¹⁶, Cristian Escariz^{19,18}, Felipe Feijoo²⁰, Alejandra Figueroa⁴⁶, Cristian Flores^{44,45}, Cristóbal Gamboni², María José García¹, Alex Godoy Faúndez^{14,21}, Luis Gonzales^{19,32}, Karen González¹², Francisco Gracia^{12,29}, Luis Gutiérrez^{29,21}, Jannik Haas^{41,27,29}, Johanna Höhl¹⁴, Cecilia Ibarra^{25,12,28}, Anita Inguerzon⁴⁷, Alejandro Karelovic¹³, Thomas Lindsay²², Álvaro Lorca¹⁸, Jenny Mager¹, Roy Mackenzie¹⁵, Marcia Montedónico^{12,27}, Pilar Moraga^{12,25,29}, Rodrigo Moreno^{12,27}, Raúl O'Ryan^{4,25,21}, Juan Carlos Osorio-Aravena^{9,25}, Mauricio Osses^{18,25}, Rodrigo Palma-Behnke^{12,27,29,4}, Cristián Parker^{16,26}, Joel Pérez Osses¹³, Carlos Portillo^{11,39}, Ana Lucía Prieto^{12,21}, Verónica Puga¹, Soledad Quiroz⁴, Magdalena Radrigán¹, Luis Ramírez-Camargo^{42,41}, Carlos Ramírez-Pascual^{41,17}, Lorenzo Reyes-Chamorro^{9,16}, Lorenzo Reyes-Bozo¹⁶, Rodrigo Riquelme⁴⁷, Maísa Rojas^{12,25,4}, Hugo Romero-Toledo⁹, Ana María Ruiz¹, Alex Santander¹, Rodrigo Sion¹⁶, Juan Pedro Searle¹, Hernán Sepúlveda¹, Carlos Silva Montes^{8,39,21}, Cristiane Silva de Carvalho³⁸, Carolina Urmeneta¹, Anahí Urquiza^{12,25}, Javier Vargas⁶, Sebastián Vicuña^{19,24,4}

Collaborators

Pablo Isla Madariaga¹⁸, Leonardo Muñoz¹, Matías Negrete¹⁸, Diego Valdivia¹, Camila Vásquez¹

Cite as:

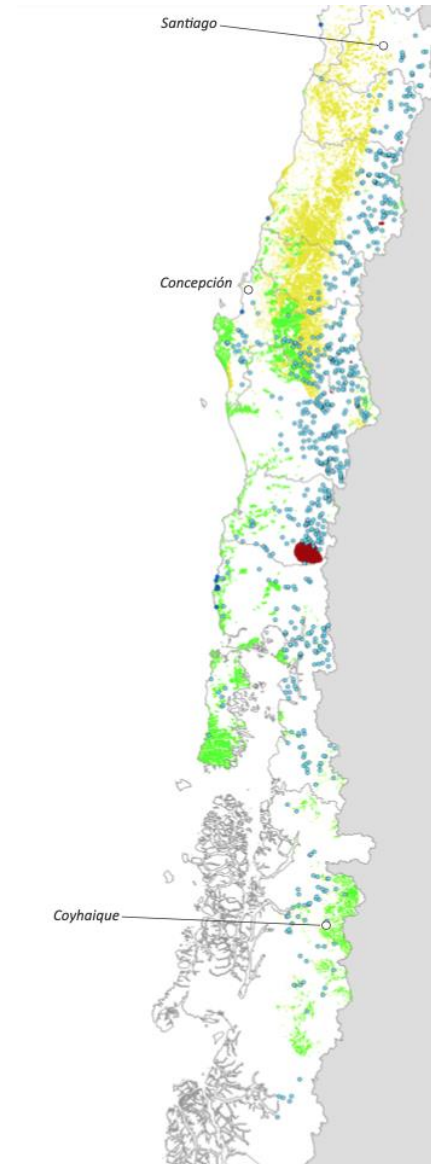
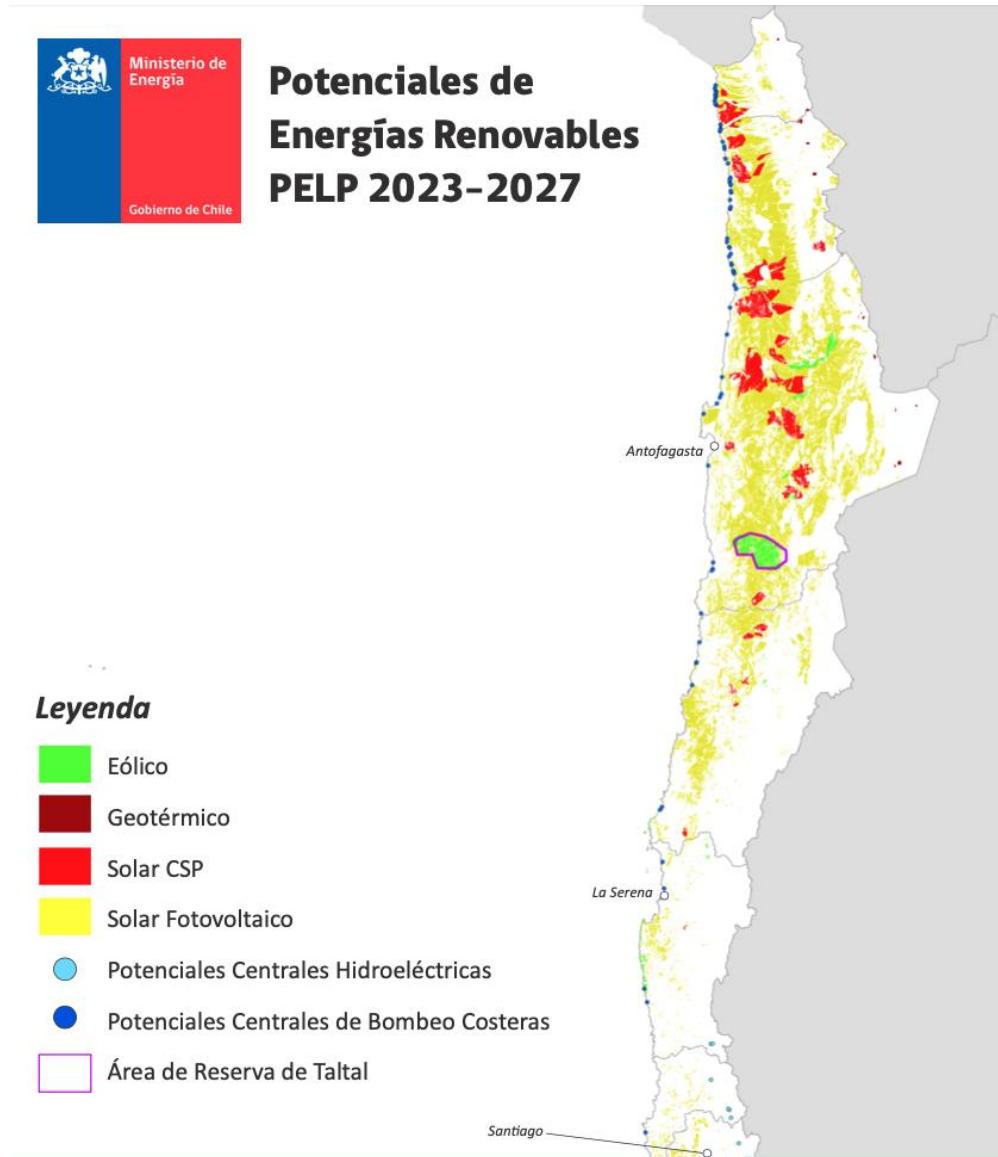
Palma-Behnke, R., Abarca del Río, R., Agostini, C., Alvear, C., Amaya, J., Araya, P., Arellano, N., Arriagada, P., Avilés, C., Barría, C., Berg, A., Buchuk, D., Cardemil, J. M., Dall'Orso, F., Domínguez, M. P., Escariz, C., Feijoo, F., Figueroa, A., Flores, C. ... Vicuña, S. (2021). The Chilean Potential for Exporting Renewable Energy (Mitigation and Energy Working Group Report). Santiago: Comité Científico de Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

—

Edition: Miguel Ángel Sánchez
Design: www.negro.cl
Front cover image: Cristina Dorador

COMITÉ CIENTÍFICO DE CAMBIO CLIMÁTICO

El potencial de energía renovable

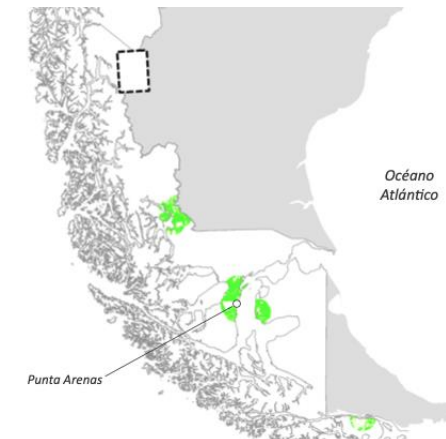


Potencial
> 2.350.000 MW

Potencia total
instalada 2020
28.000 MW

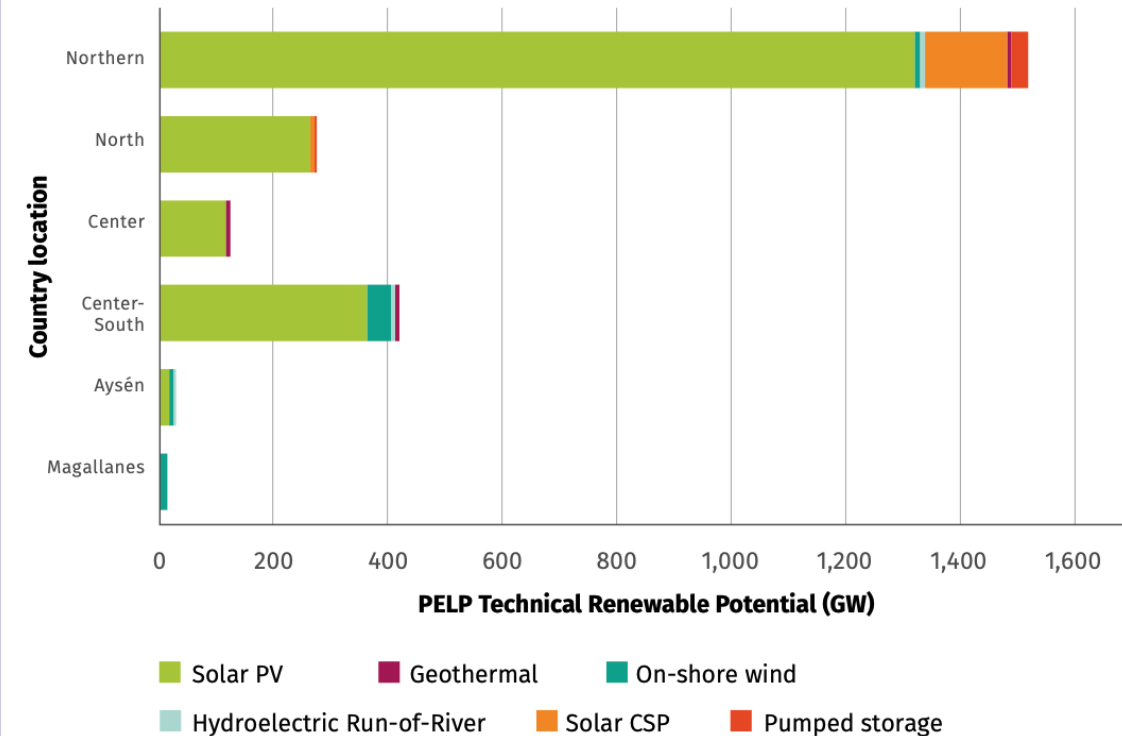
E. Renewable
14.000 MW

Demanda punta
11.000 MW

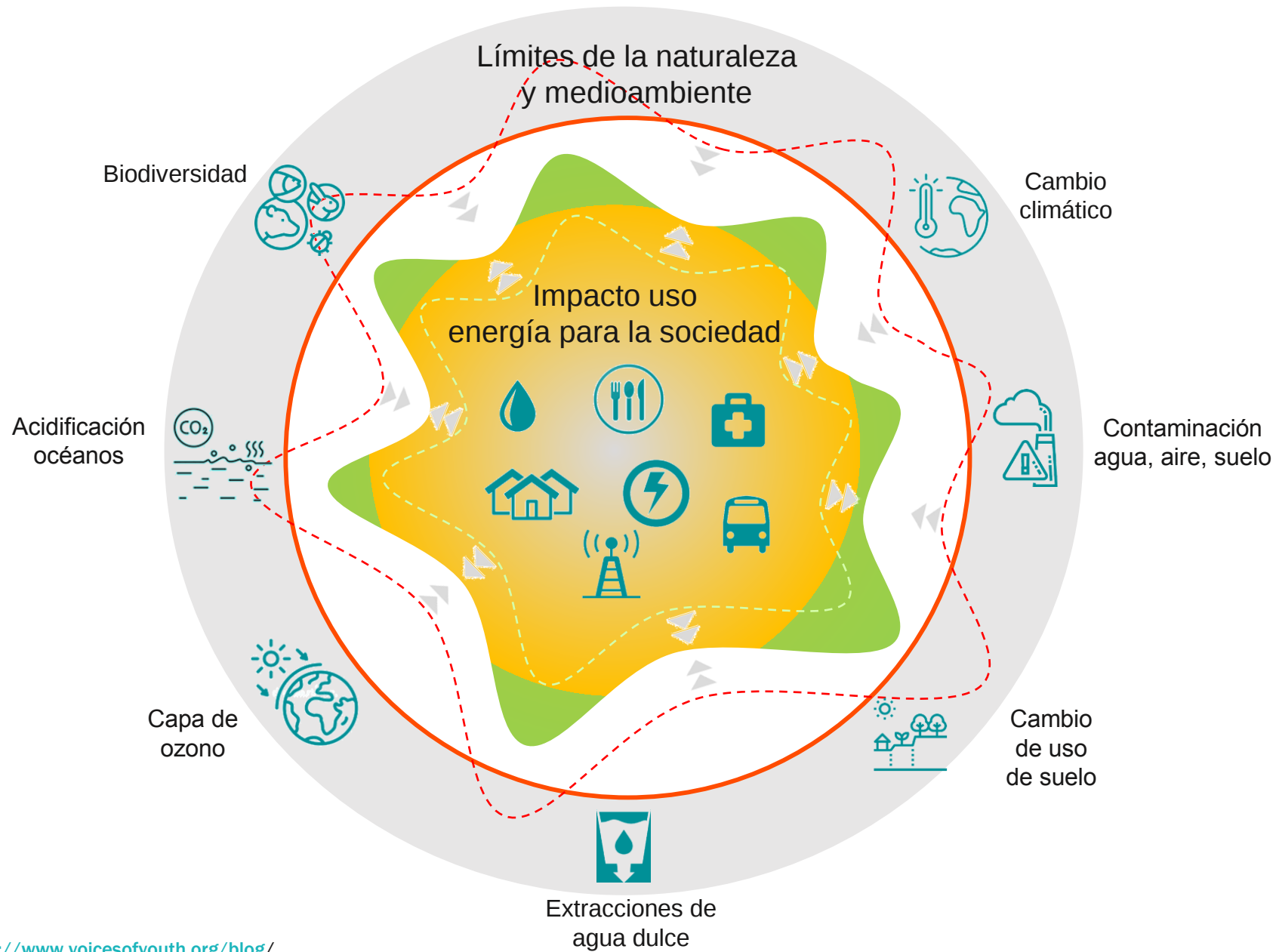


El potencial de energía renovable (GW)

	Northern	North	Central	Central-South	Aysén	Magallanes	Total
On-shore wind	14	2	0	42	11	12	81
Geothermal	3	0	0	1	0	0	4
Solar CSP	145	7	0	0	0	0	152
Solar PV	1,326	264	118	363	13	2	2,086
Hydroelectric Run-of-River	0	0	1	8	1	0	10
Pumping storage	34	4	0	4	0	0	42
Total	1,521	276	120	419	25	14	2,375

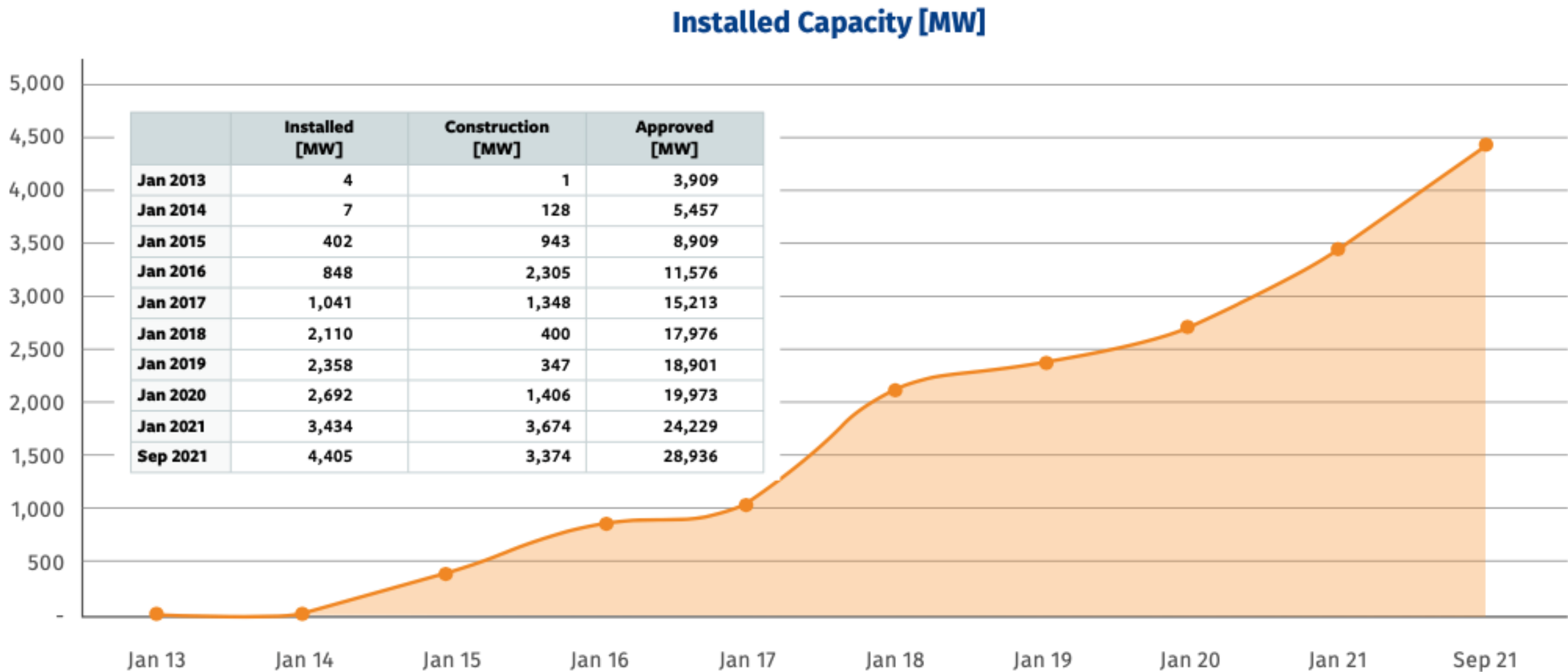


Límites que impone la naturaleza y medioambiente



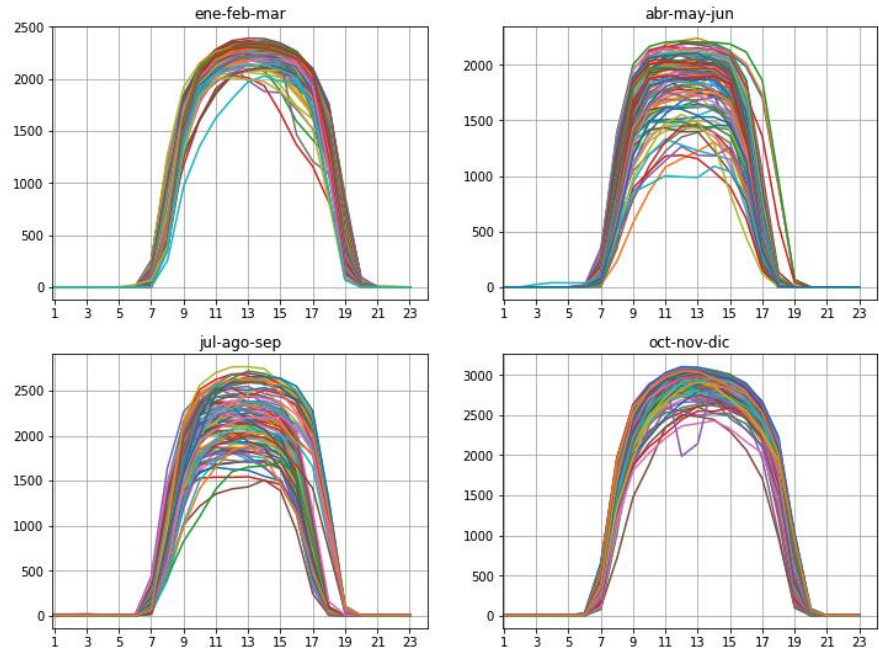
Fuente: Naciones Unidas

Fuente: elaboración propia Inspirada en: <https://www.voicesofyouth.org/blog/doughnut-economics-lets-not-fry-economy-post-covid-19>

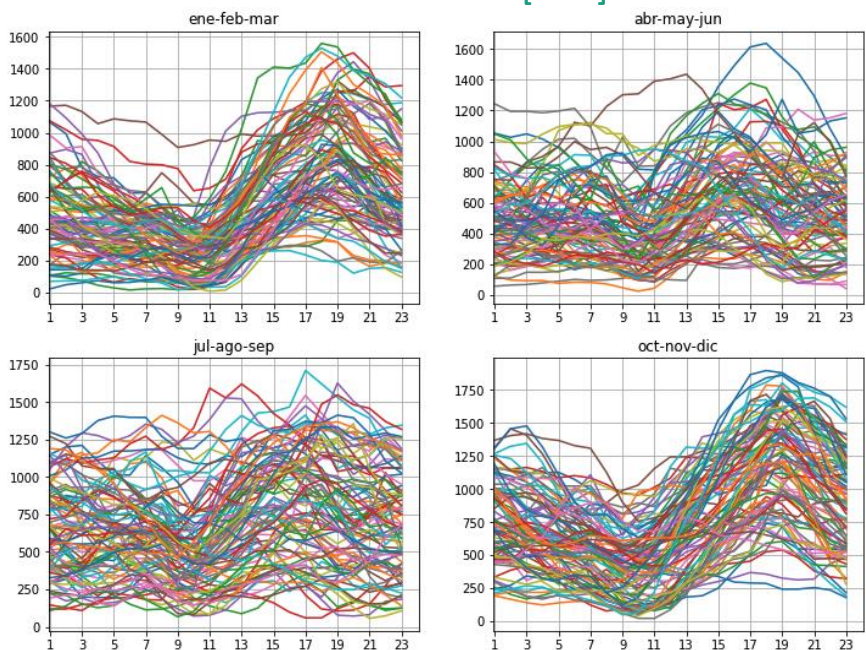


Desempeño de nuestras energías renovables (año 2020)

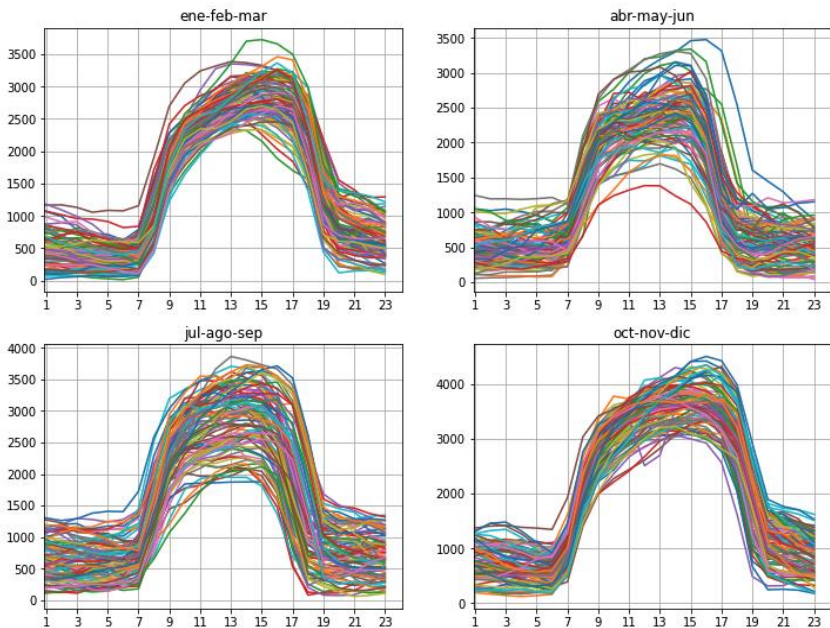
Generación solar diaria [MW]



Generación eólica diaria [MW]



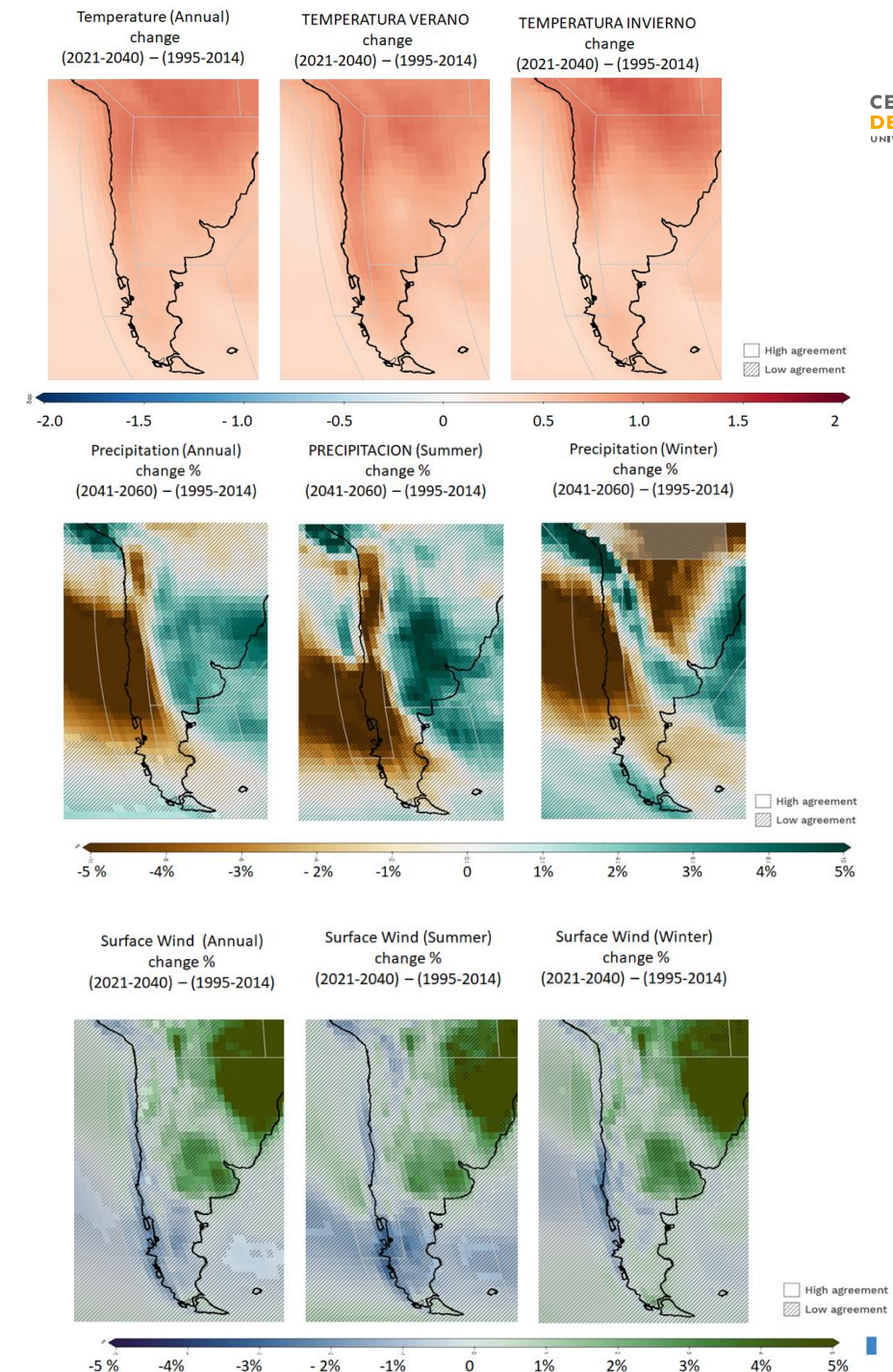
Energía solar y eólicas diarias [MW]



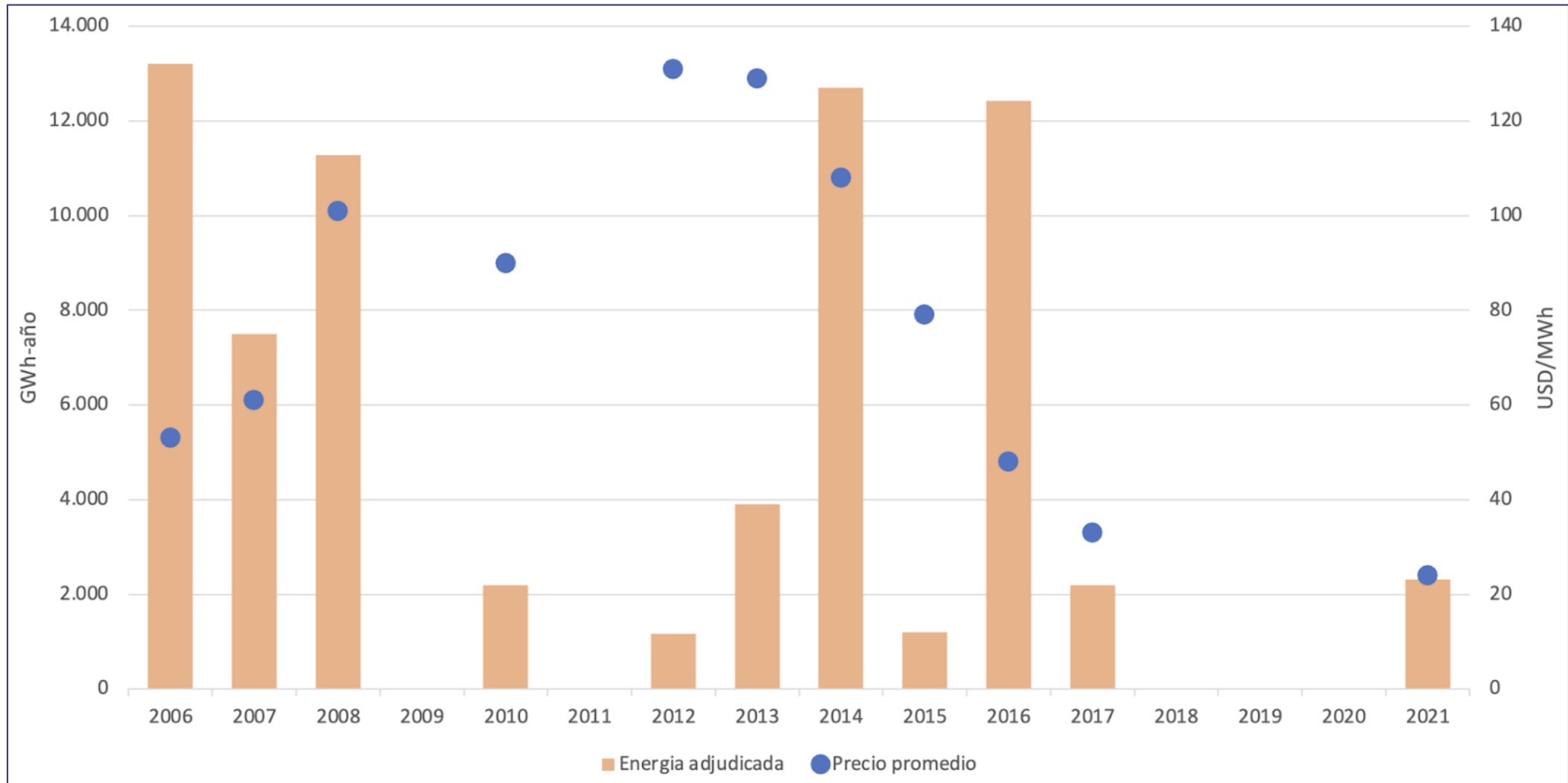
Fuente: Elaboración propia a partir de información CEN.

Efecto del cambio climático

- Tendencias **positivas de la temperatura** del orden de 0,1-0,2°C por década, que es estadísticamente significativa solo en algunas partes de la región.
- En los últimos años, se ha producido una importante **disminución** de la cobertura de **nieve**.
- Tendencia histórica de **aumento de la precipitación** (10 a 20 mm por década), de nuevo, la mayoría de las cuales no son estadísticamente significativas.
- **Aumento de las precipitaciones** en un escenario de baja y alta concentración de GEI. Para el futuro próximo, hay una pequeña disminución de las precipitaciones (estadísticamente no significativa).
- **Pérdida** generalizada de masa **glaciar** asociada al calentamiento y a la disminución de la nieve a lo largo de los Andes, incluyendo el sur de la Patagonia.
- **Disminución de los vientos** sobre la mayor parte del centro y sur de Chile, incluyendo Magallanes.



Resultados históricos de licitaciones → economía.



Fuente: Ministerio de Energía.

¿Cuál es nuestra verdadera ventaja?

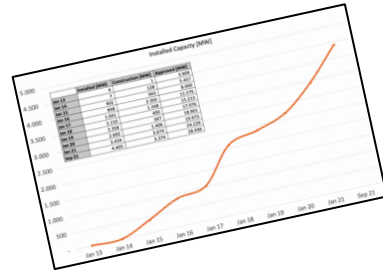
2008



2013



2017

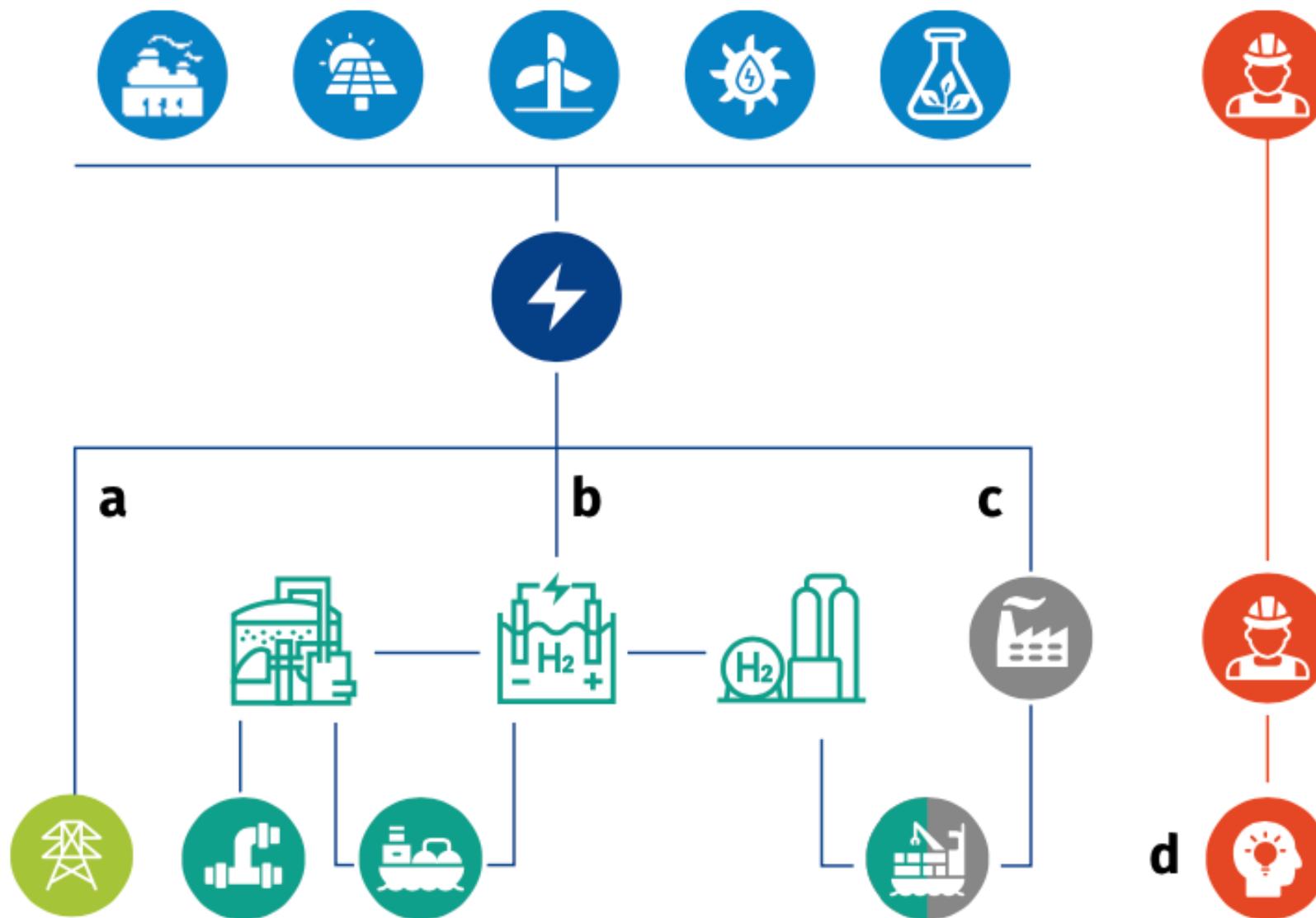


2020

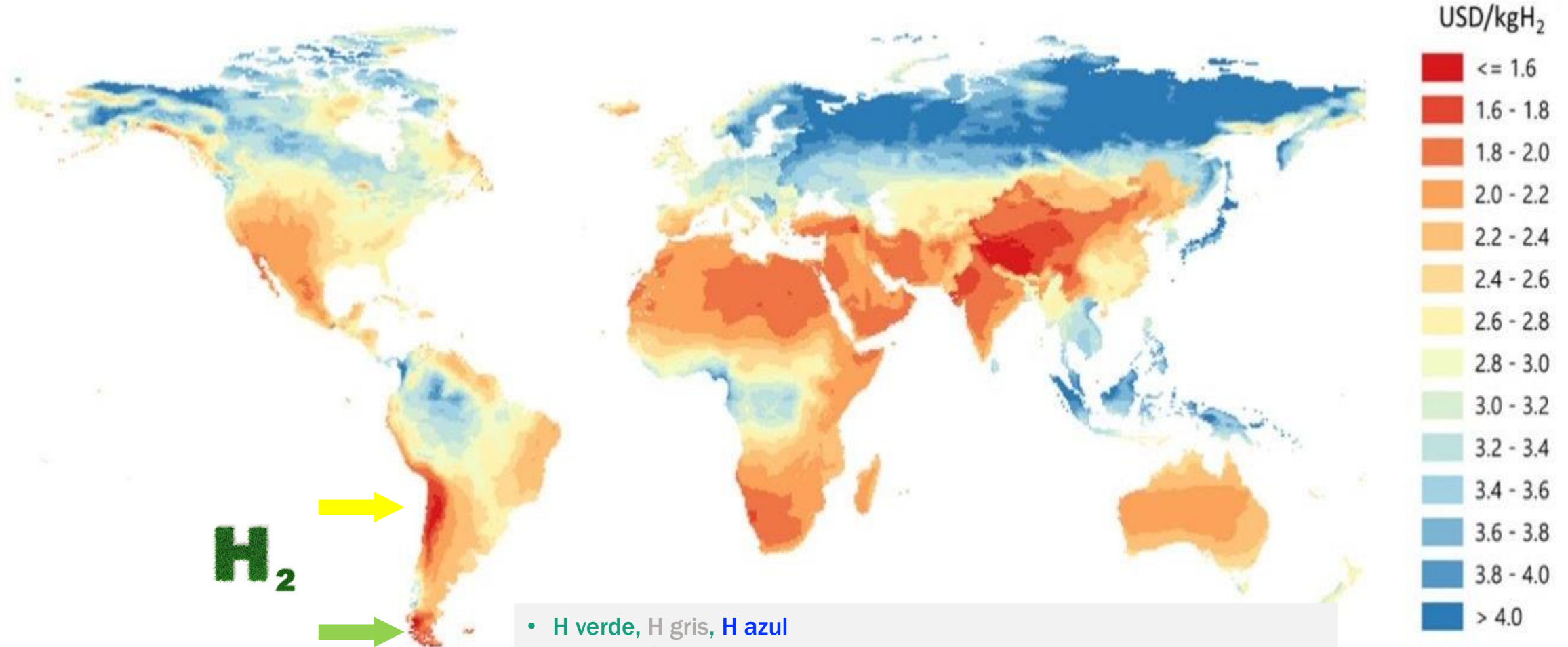


Fuente: elaboración propia.

Opciones de exportación de Energía Renovable de Chile



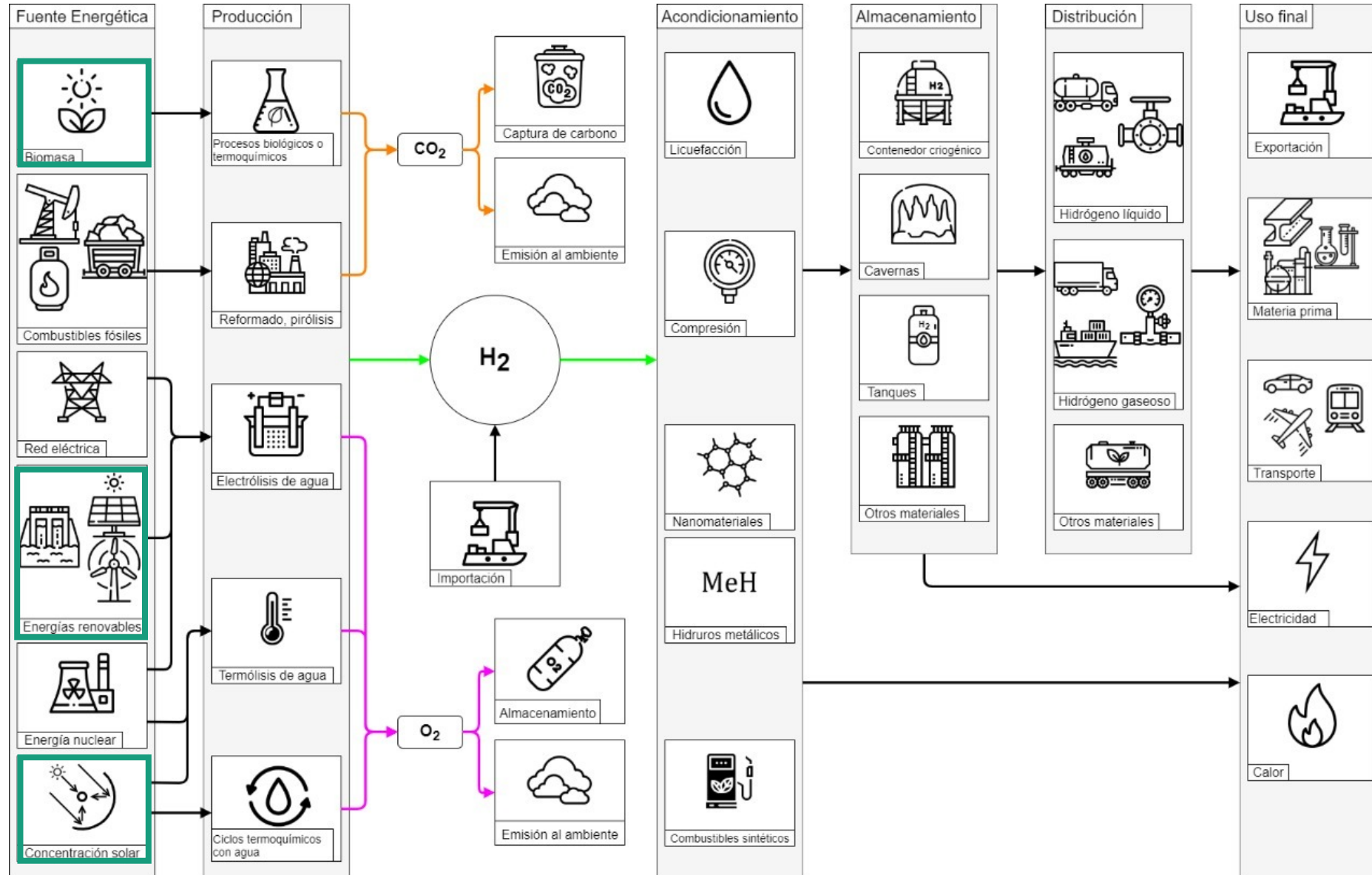
Una consecuencia de nuestra ventaja



H₂

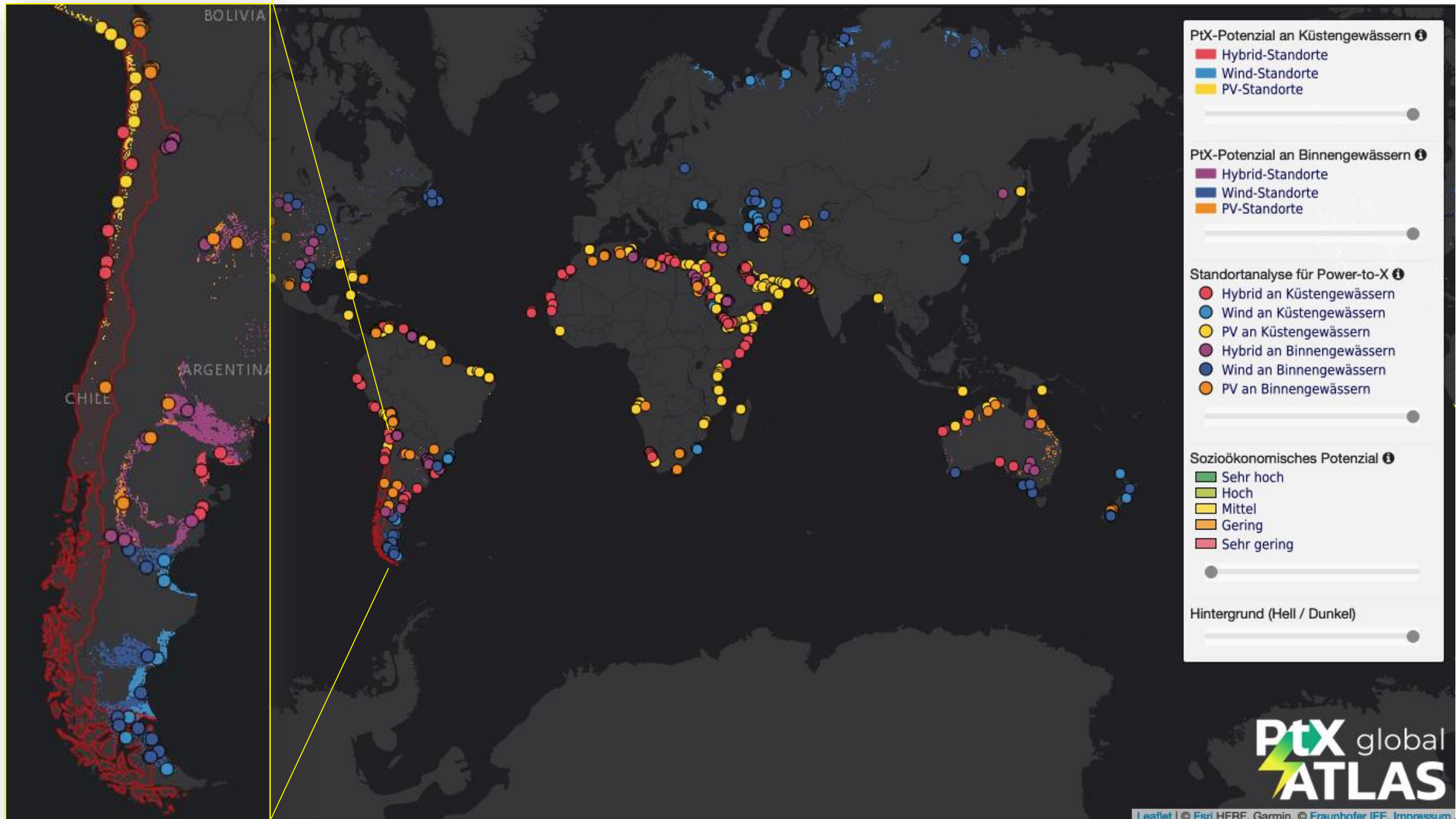
- H verde, H gris, H azul
- Tecnologías de electrolizadores: AEL, PEM, SOEC
- Consumo de agua aprox. 10 l/kgH₂
- Energía requerida: 40-60 kWh/kgH₂ con eficiencias en torno al 70%
- Factores de planta EL > 60%
- Costos de transporte a centros de consumo pueden ser críticos
- 1 kgH₂ equivale a cerca de 2,8 l de gasolina

La cadena de valor del hidrógeno verde

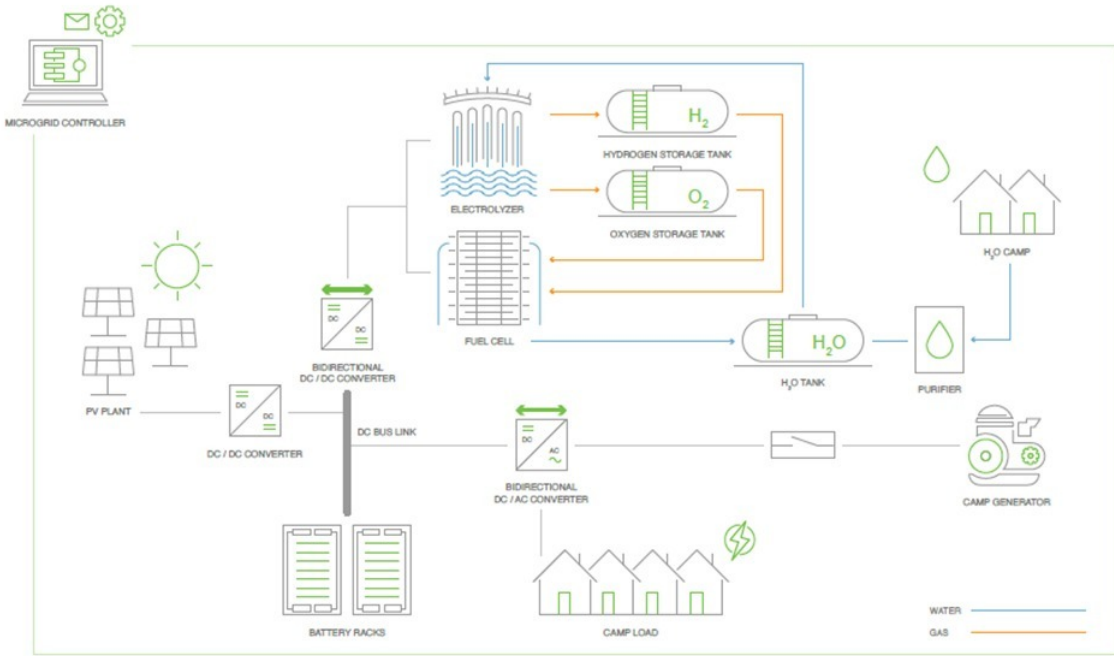
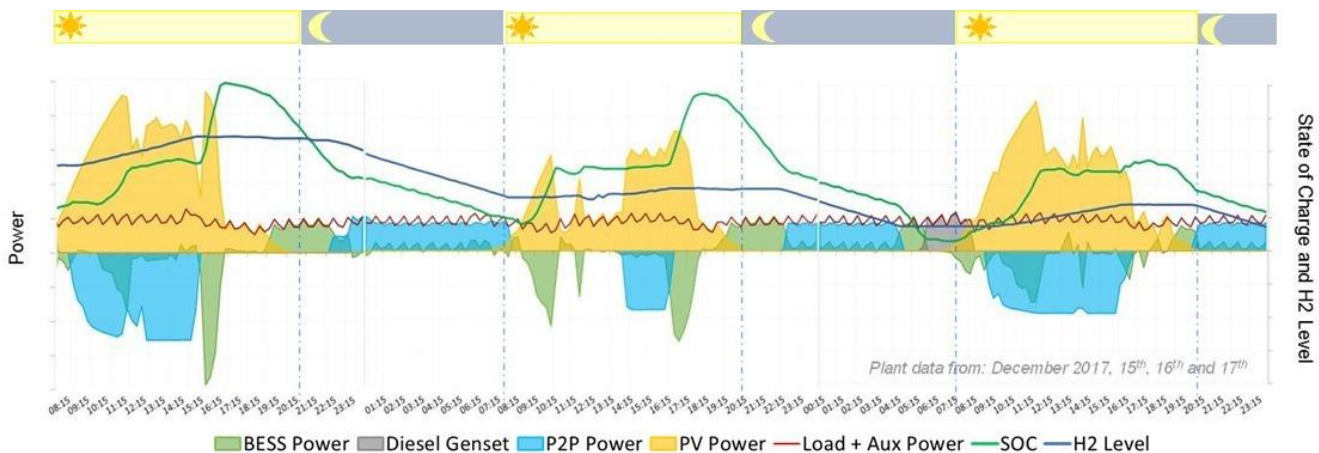


¡Precios bajos para la electricidad de energía solar Eólica hidráulica permiten producir Hidrógeno Verde y combustibles sintéticos!

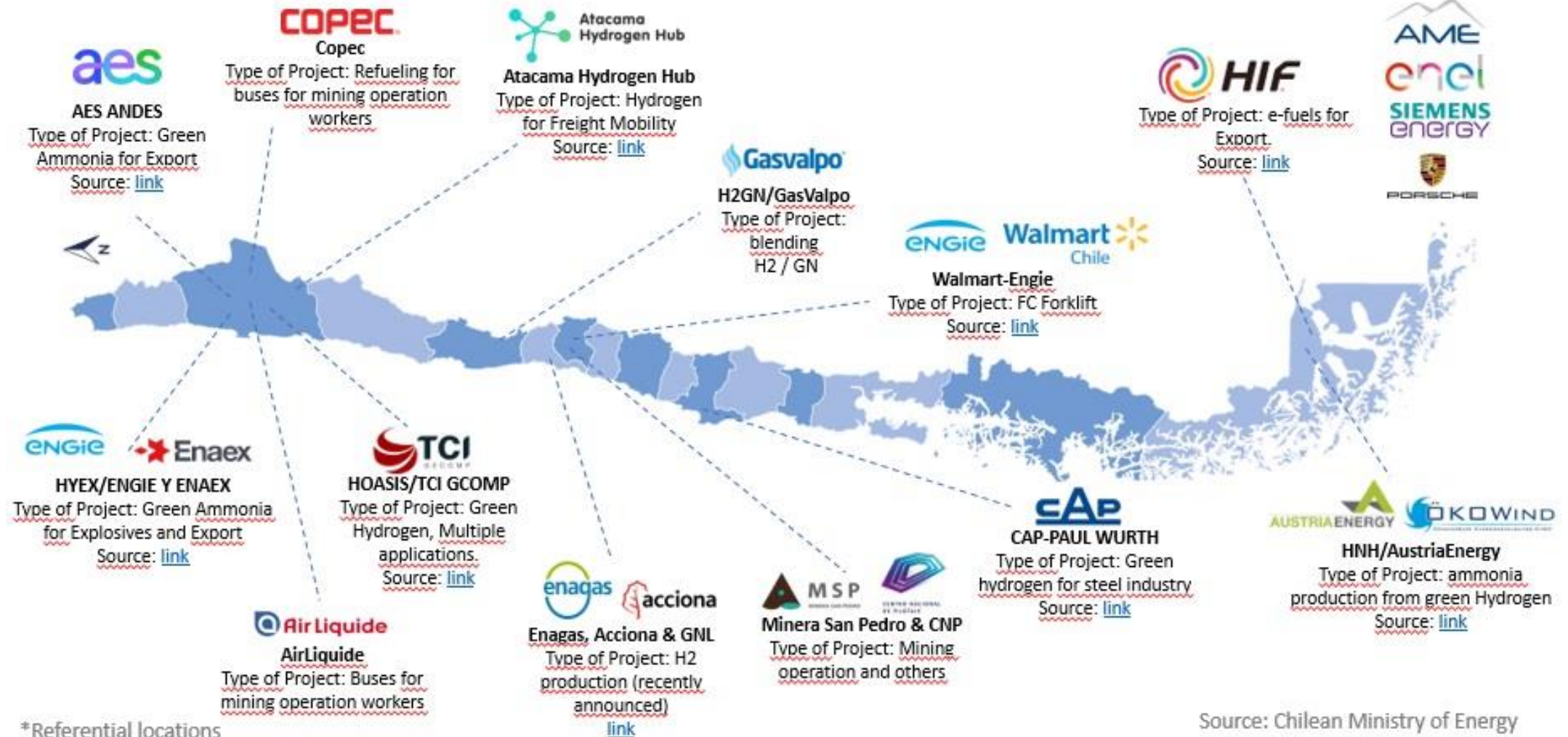
El potencial de energía renovable



Proyectos en operación (Campamento Cerro Pabellón)



Algunos proyectos en desarrollo en Chile

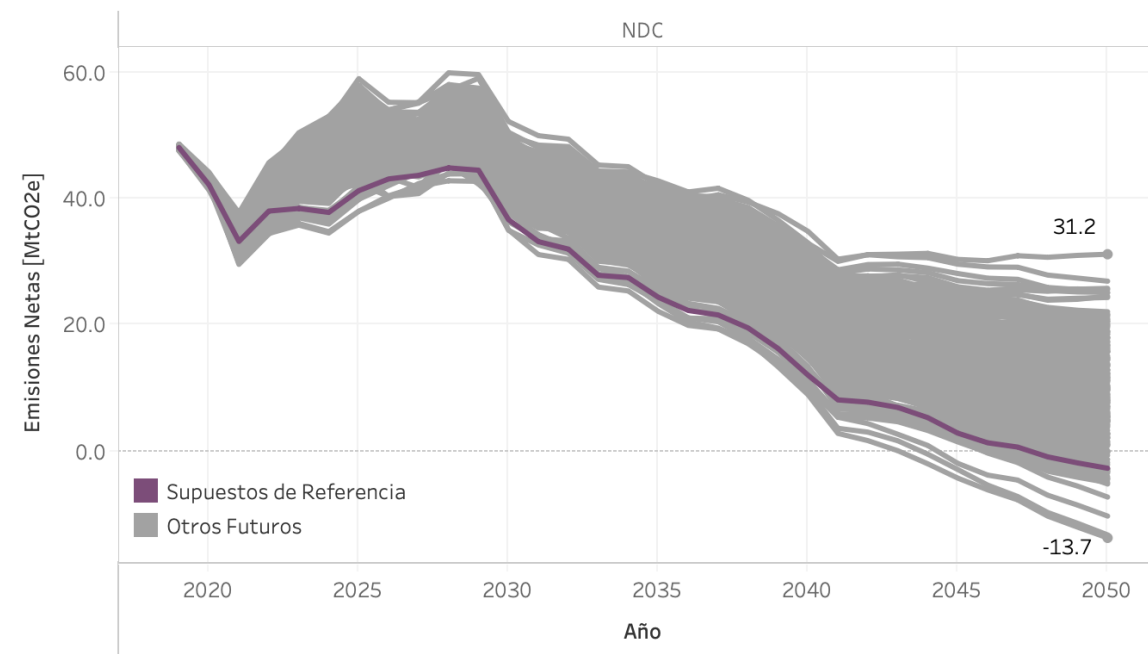
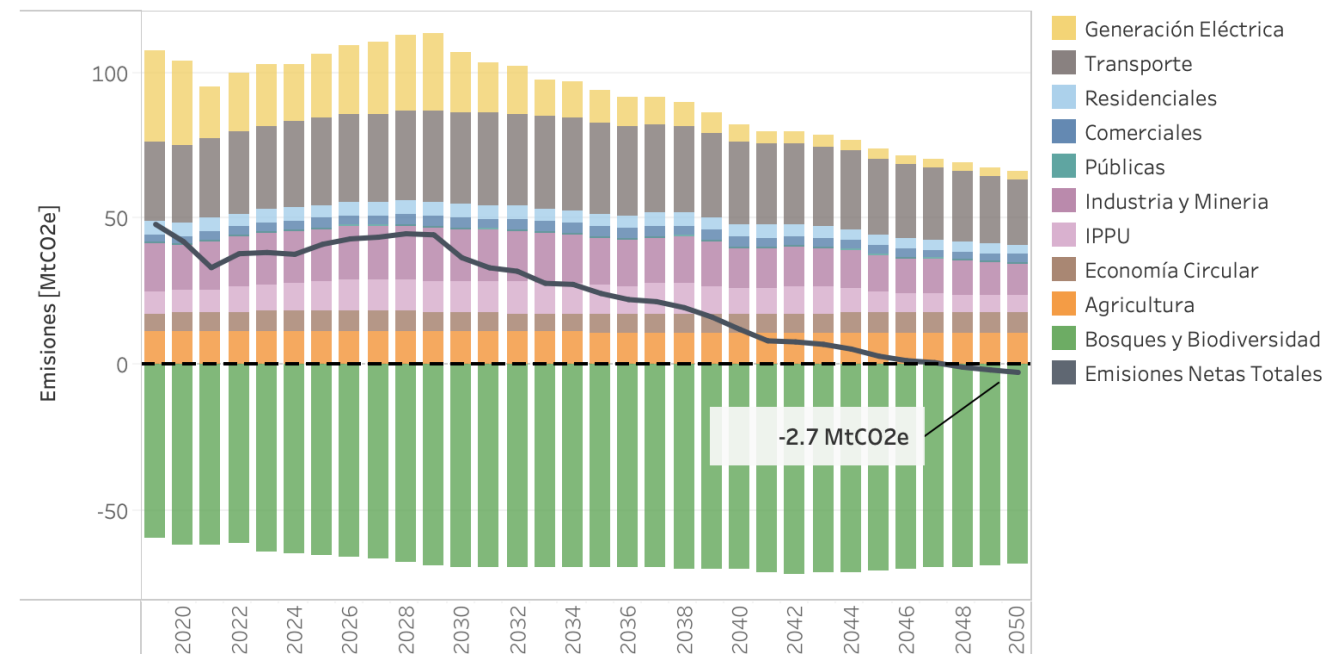


Transformaciones sectoriales en la NDC

Sector	Transformación Sectorial en NDC	
Generación eléctrica	Retiro de centrales de carbón al 2040	
Transporte	Electromovilidad: vehículos particulares, taxis y transporte público	←
	Hidrógeno en transporte de carga	←
Comercial	Electrificación de usos finales	
Industria y Minería	Sistemas solares térmicos	←
	Hidrógeno - usos en procesos térmicos	←
	Hidrógeno – usos motrices	←
	Electrificación de usos motrices	←
	Electrificación de usos cobre	
Residencial	Calefacción eléctrica residencial	←
	Electrificación cocción	
	Sistemas solares térmicos (SST)	
	Reacondicionamiento térmico	
IPPU	Control del consumo de HFC	
Economía circular	Captura y combustión de biogás en rellenos sanitarios	
	Tratamiento de aguas servidas	←
Agricultura	Cambio dieta bovina	
	Biodigestores	
	Uso eficiente de fertilizantes	←
Bosques y biodiversidad	Planes de manejo forestal	
	Forestación	
	Disminución de la sustitución y degradación	

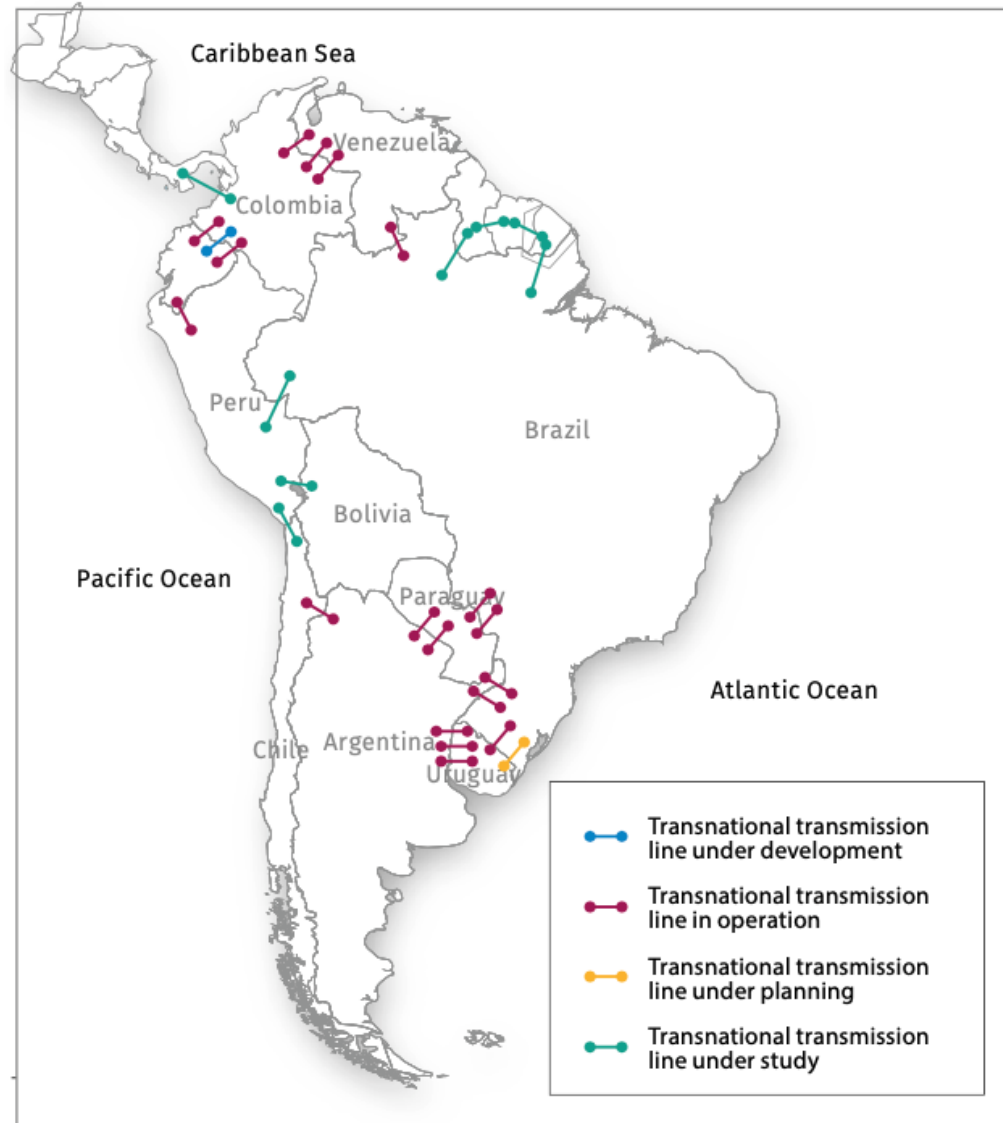
Oportunidades y barreras

Proyecciones NDC



Oportunidades y barreras

Exportación de electricidad y combustibles sintéticos desde Latinoamérica



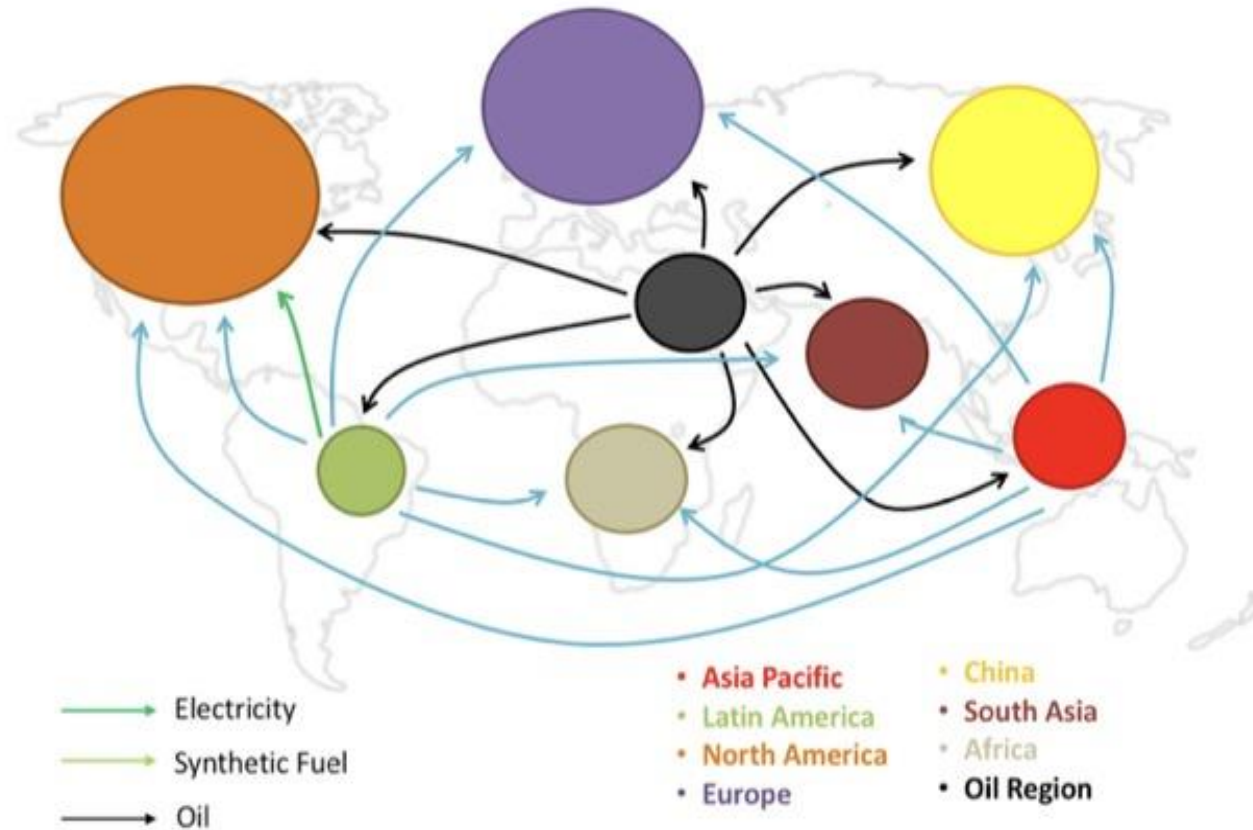
Fuente: Liu (2015), CIER.

- Múltiples estudios evalúan potencial exportador de países de LATAM o la capacidad de interconexión de la región.
- No se entiende el potencial de exportación de energía renovable de la región como un todo.
- Posiciones antagónicas entre países por un posicionamiento en exportación de energía.
- Se requiere evidencia para desarrollar estrategias cooperativas a nivel regional
- Estudiar oportunidades de exportación del potencial renovable de Latinoamérica a partir de un trabajo participativo.

Oportunidades y barreras

Exportación de electricidad y combustibles sintéticos desde Latinoamérica

Exportación de Electricidad y Combustibles Sintéticos

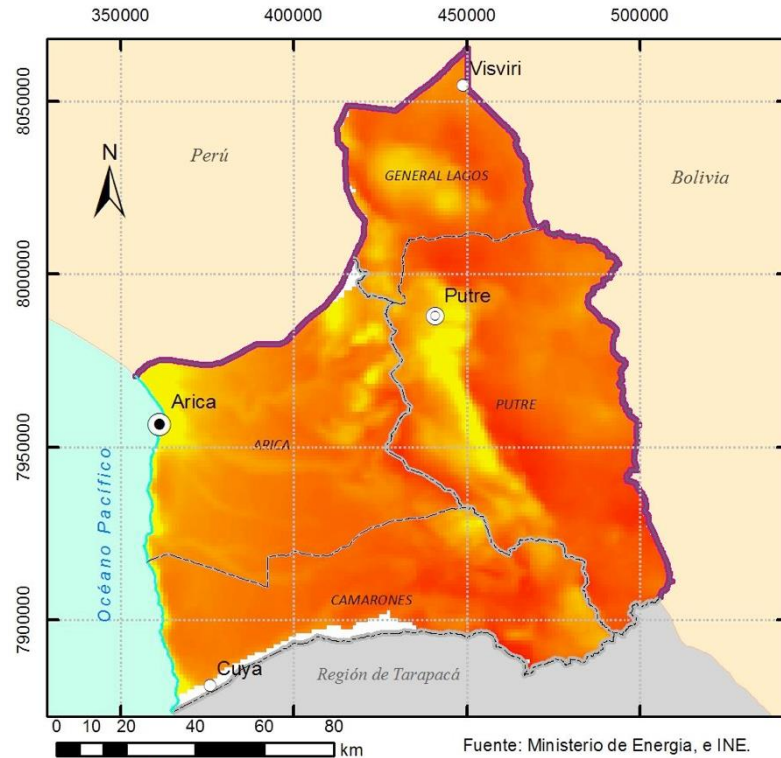


- Múltiples estudios evalúan potencial exportador de países de LATAM o la capacidad de interconexión de la región.
- No se entiende el potencial de exportación de energía renovable de la región como un todo.
- Posiciones antagónicas entre países por un posicionamiento en exportación de energía.
- Se requiere evidencia para desarrollar estrategias cooperativas a nivel regional
- Estudiar oportunidades de exportación del potencial renovable de Latinoamérica a partir de un trabajo participativo.

Oportunidades y barreras

El desafío de las redes de suministro

Concebir red de suministro de hidrógeno/energía para la región.



Legenda

Capitales

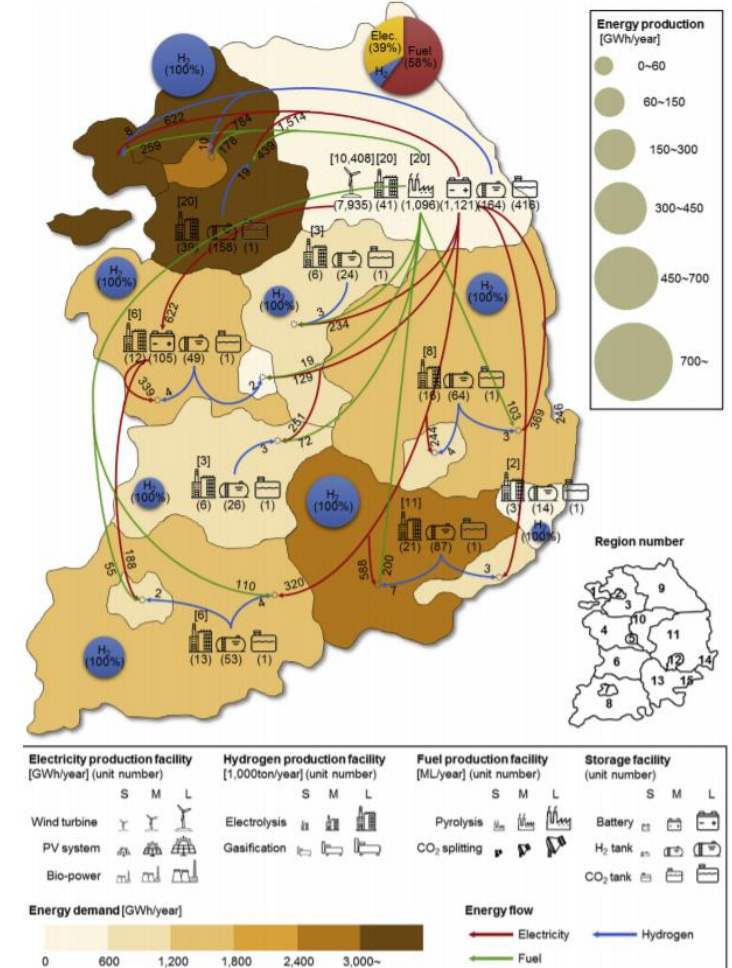
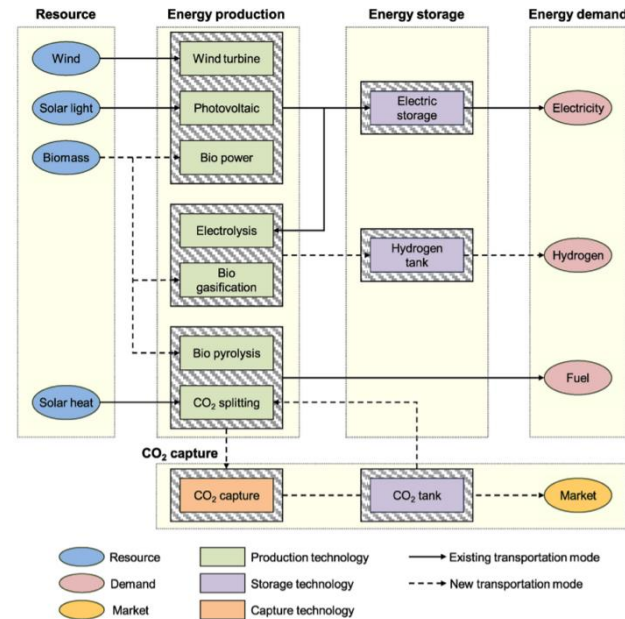
- Capital Regional
- Capital Provincial
- Capital Comunal

Radiación Solar (kWh/m²)



Limites Administrativos

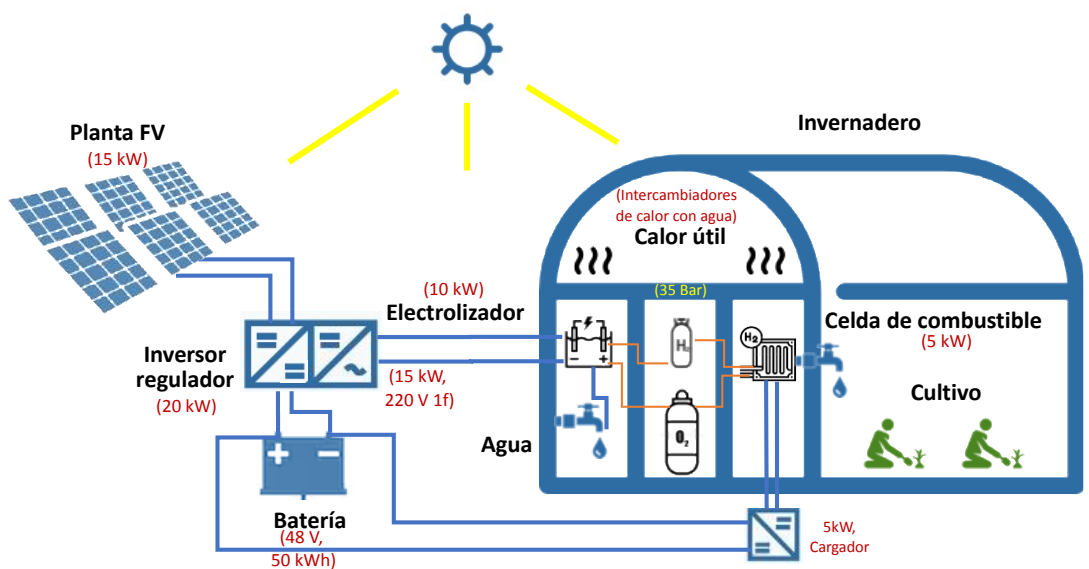
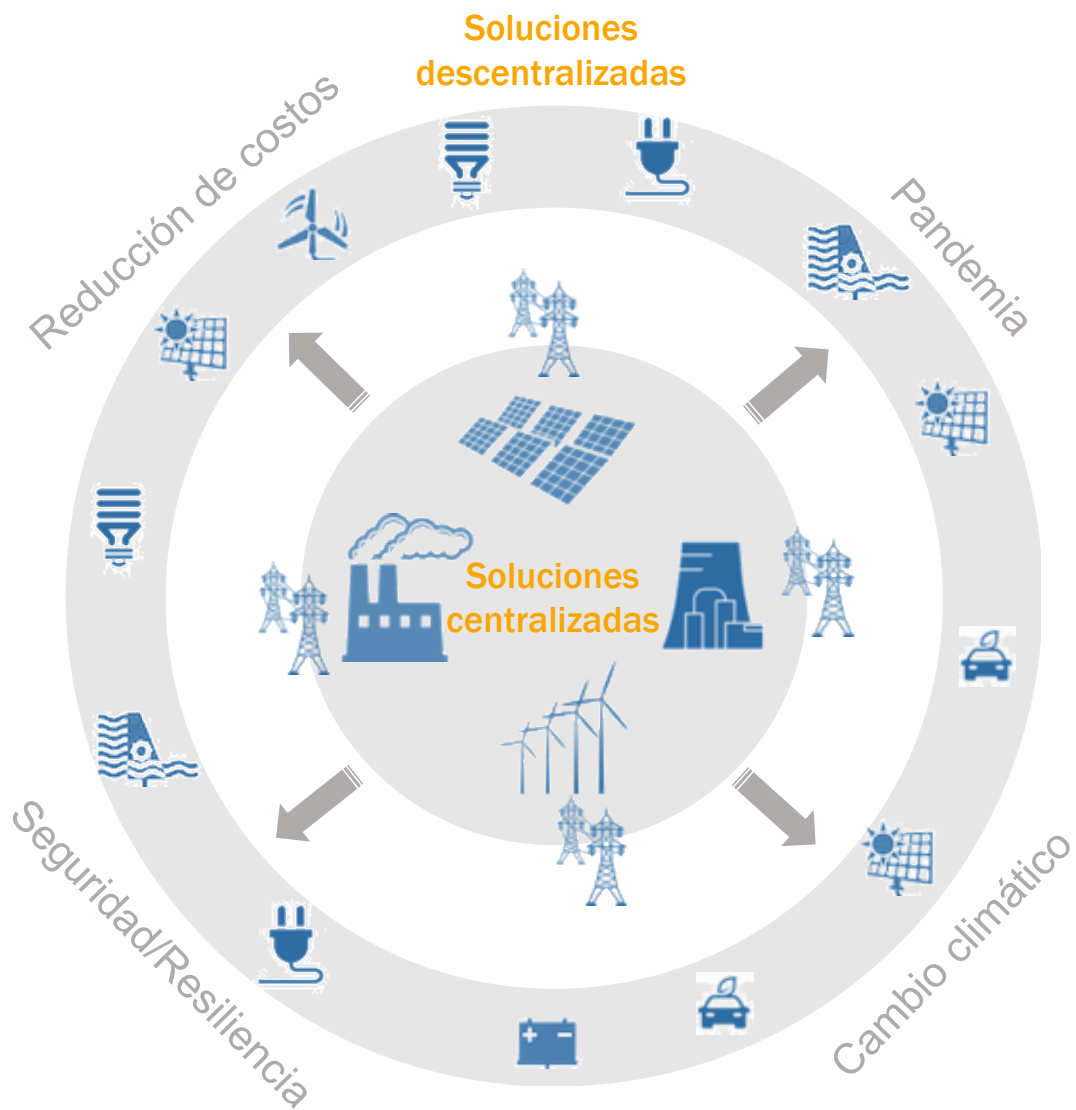
- Limite Internacional
- Limite Regional
- Limite Provincial
- Limite Comunal
- Línea de Costa



Fuente: 2019 - A multi-period MILP model for the investment and design planning of a national-level complex renewable energy supply system.

Oportunidades y barreras

Agua, energía, hidrógeno



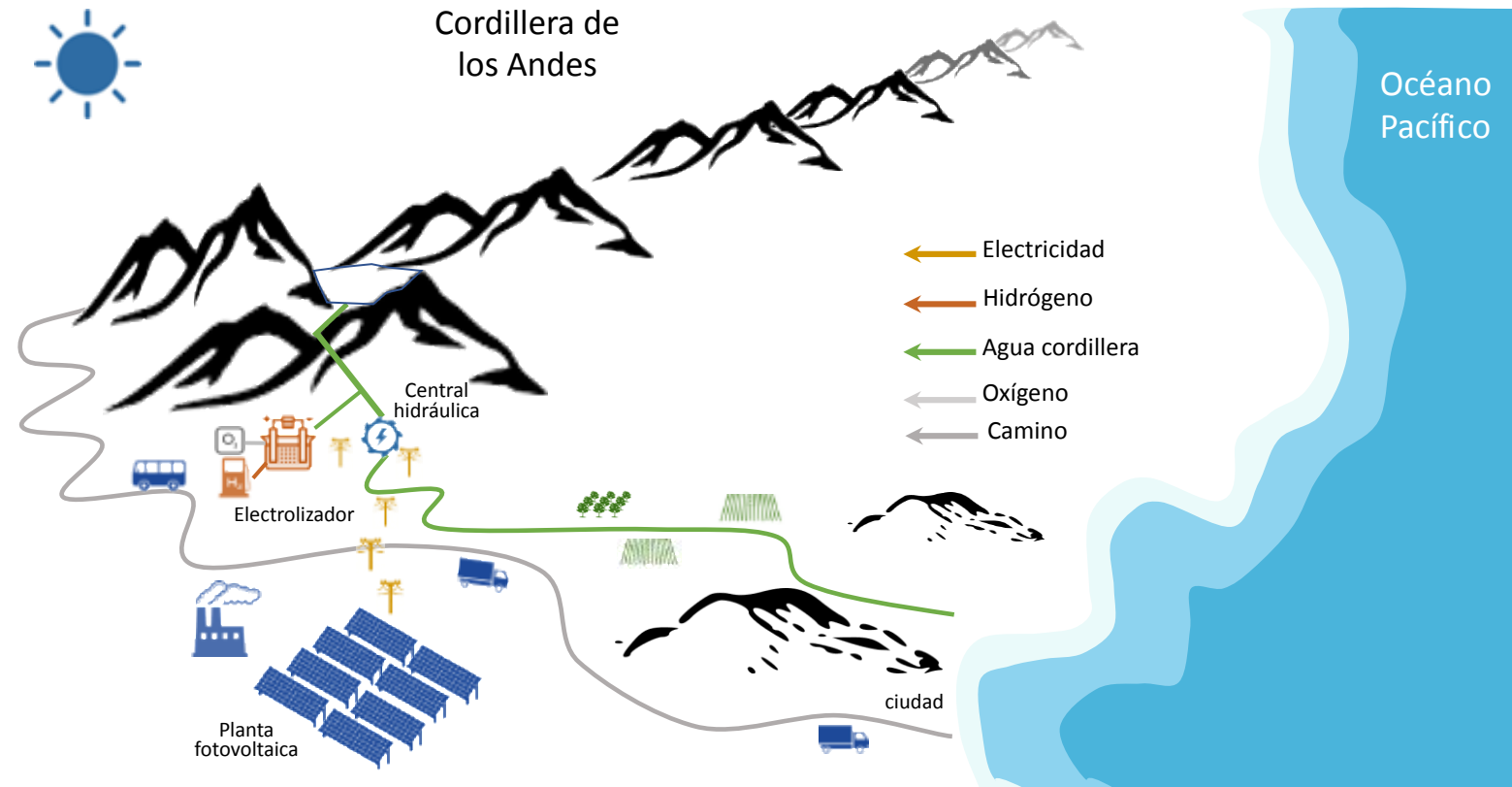
Oportunidades y barreras

Agua, energía, hidrógeno

Oportunidades para identificar la sinergia existente entre la actividad de desalinización/agua, energía solar y producción de hidrógeno.

Incluye la posibilidad de abastecer de agua a demandas intermedias (poblados, agricultura) y finales (minería).

Producción y transporte de combustibles sintéticos a consumos intermedios y finales.



Oportunidades y barreras

Proyectos demostrativos, soluciones de nicho

Prueba de concepto

Prototipo

Proyecto piloto

Proyecto demostrativo

Experimentación

Validación de principios

Verificación de factibilidad

Prueba de producción

Contexto industrial

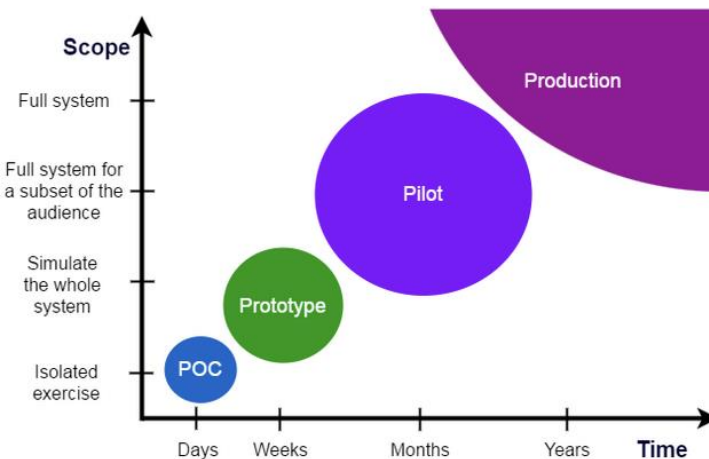
Procesos de negocios

Viabilidad comercial

Contexto real

Socios

Proyecto comercial



Visión y conclusiones



Conclusiones

- **Chile se encuentra en una fase de transformaciones relevantes en distintas dimensiones.**
- Las energías renovables ofrecen una oportunidad única (volumen, calidad, precio) para lograr un desarrollo sostenible, pero al mismo tiempo plantean desafíos ambientales y sociales.
- **Se han logrado compromisos y establecido metas de mediano y largo plazo.**
- La exportación de energías renovables posee distintas opciones claves a analizar en detalle, abriendo asimismo oportunidades únicas de cooperación a nivel Latinoamericano.
- **Las soluciones de hidrógeno/ERNC de gran escala son sinérgicas con la pequeña escala.**
- Integración a través de proyectos demostrativos que derriben las barreras actuales.
- **Los centros de investigación y universidades cumplen un rol clave y articulador en este desafío.**





Visión desde Chile, Latinoamérica

Prof. Rodrigo Palma Behnke
Centro de Energía, DIE, Universidad de Chile

25 de noviembre, 2021

