

Tecnologías de almacenamiento en Chile

Seminario Explorando Opciones para un Smart Grid:
Tecnologías de Almacenamiento como Grid Booster

Carlos Benavides Farías
Octubre 2023
cabenavi@centroenergia.cl



Introducción

Tipos de sistemas de almacenamiento

Químico	Mecánico	Eléctrico	Electroquímico	Térmico
<ul style="list-style-type: none"> Hidrógeno Biocombustibles Nitrógeno líquido Peróxido de hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> Almacenamiento hidroeléctrico Centrales bombeo Aire comprimido Almacenamiento gravitacional Volante de inercia Resortes en espiral 	<ul style="list-style-type: none"> Condensador Supercondensador Almacenamiento de energía magnética por superconducción 	<ul style="list-style-type: none"> Baterías Baterías de flujo Celdas de combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> Sales fundidas Ladrillos calientes Acumulador de vapor Almacenamiento en hielo Almacenamiento en líquidos criogénicos Estanque solar con gradiente salino Almacenamiento térmico en grafito Almacenamiento en materiales eutécticos Acumulador de vapor sin fuego

Introducción

Tipos de sistemas de almacenamiento

Químico	Mecánico	Eléctrico	Electroquímico	Térmico
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hidrógeno ▪ Biocombustibles ▪ Nitrógeno líquido ▪ Peróxido de hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Almacenamiento hidroeléctrico ▪ Centrales bombeo ▪ Aire comprimido ▪ Almacenamiento gravitacional ▪ Volante de inercia ▪ Resortes en espiral 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Condensador ▪ Supercondensador ▪ Almacenamiento de energía magnética por superconducción 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baterías ▪ Baterías de flujo ▪ Celdas de combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sales fundidas ▪ Ladrillos calientes ▪ Acumulador de vapor ▪ Almacenamiento en hielo ▪ Almacenamiento en líquidos criogénicos ▪ Estanque solar con gradiente salino ▪ Almacenamiento térmico en grafito ▪ Almacenamiento en materiales eutécticos ▪ Acumulador de vapor sin fuego

Potencial sistemas de almacenamiento



Desarrollo de metodología aplicada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar potencial de centrales de bombeo con agua de mar en Chile.

Enero 2020



Identificación y Cuantificación de **Potenciales de Energías Renovables 2021**

Chile Continental

Diciembre 2021

Potencial sistemas de almacenamiento



Identificación y Cuantificación de Potenciales de Energías Renovables 2021

Chile Continental

Diciembre 2021

N°	Región	Potencia por tecnología (MW)							Total regional (MW)	%	Potencial de almacenamiento Hidroeléctrica Bombeo de Agua Mar	
		Eólica	Geotermia	Solar CSP	Solar FV	Hidroeléctrica	Eólica SSMM	Solar FV SSMM				Hidroeléctrico SSMM
1	Arica y Parinacota	0	250	11.430	50.254	0	0	0	0	61.934	2,7%	3.278
2	Tarapacá	0	477	39.617	313.501	0	0	0	0	353.595	15,3%	5.389
3	Antofagasta	14.202	2.049	93.927	961.765	0	0	0	0	1.071.944	46,3%	2.556
4	Atacama	316	0	6.360	232.757	0	0	0	0	239.433	10,3%	1.944
5	Coquimbo	1.191	0	171	31.073	10	0	0	0	32.445	1,4%	1.111
6	Valparaíso	24	0	0	17.036	54	0	0	0	17.113	0,7%	0
7	Metropolitana	33	0	0	32.974	259	0	0	0	33.265	1,4%	0
8	O'Higgins	45	200	0	68.209	483	0	0	0	68.938	3,0%	0
9	Maule	1.167	490	0	163.450	1.813	0	0	0	166.920	7,2%	278
10	Ñuble	1.705	27	0	103.575	375	0	0	0	105.682	4,6%	0
11	Biobío	12.307	100	0	74.259	2.095	0	0	0	88.762	3,8%	278
12	Araucanía	6.632	172	0	19.139	1.550	0	0	0	27.492	1,2%	0
13	Los Ríos	3.092	77	0	0	1.096	0	0	0	4.265	0,2%	278
14	Los Lagos	15.307	0	0	0	332	224	413	1.230	17.505	0,8%	3.333
15	Aysén	0	0	0	0	0	9.916	2.386	833	13.135	0,6%	0
16	Magallanes	0	0	0	0	0	12.658	0	0	12.658	0,5%	0
Total (MW)		56.021	3.842	151.505	2.067.990	8.067	22.797	2.799	2.063	2.315.084	100%	18.444
Total (GW)		56	4	152	2.068	8	23	3	2	2.315		18

Potencial sistemas de almacenamiento



Reconversión de centrales a carbón en plantas de almacenamiento térmico con energía renovable en Chile

Resumen Ejecutivo

25 agosto 2020



UNIVERSIDAD DE CHILE
 FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE AIRE COMPRIMIDO DENTRO DE FORMACIONES GEOLÓGICAS EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

CRISTIAN ALFREDO SILVA RIOS

PROFESOR GUÍA

SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

MARISOL LARA CASTILLO

RODRIGO RAULD PLOTT

SANTIAGO DE CHILE

2016

Tabla 16: Catastro de formaciones

Sitio Geológico	Nivel de Exploración	Antecedentes Favorables	Potenciales Amenazas
Salar Grande	Superficie y subsuperficie, estudios geoquímicos e hidrogeológicos.	Capas de halita profundas. Potencial de energía solar alto. Próximo a línea de transmisión eléctrica y gaseoducto.	Sobre el Sistema de Falla de Atacama.
Salar de Llamará	Superficie y subsuperficie, exploración de pozos profundos, estudios geoquímicos e hidrogeológicos.	Capas de halita profundas, acuífero confinado profundo. Potencial de energía solar alto. Próximo a línea de transmisión eléctrica y gaseoducto.	Presenta zona de fallas.
Salar de Atacama	Superficie y subsuperficie, existen pozos profundos y estudios geofísicos de sísmica de refracción, estudios geoquímicos e hidrogeológicos.	Existencia de domos salinos, capas de halita profundas, acuífero confinado profundo. Cercano a zona con potencial geotérmico. Potencial de energía solar y eólica alto. Próximo a línea de transmisión eléctrica y gaseoducto.	Presenta zona de fallas.
Salar de Punta Negra	Superficie y subsuperficie, existen pozos profundos y estudios geofísicos de sísmica de refracción.	Capas de halita profundas. Potencial de energía solar y eólica alto.	Presenta zona de fallas.
Acuífero Agua Verde	Superficie, estudios hidrogeológicos.	Acuífero confinado profundo. Potencial de energía eólica alto. Próximo a línea de transmisión eléctrica.	Uso de agua potable.

Servicios de red

Tipo	Servicio	LMNC	LFP	NAS	CSP	Bombeo	CAES
Generación	Arbitraje	Sí, Ubicación del BESS (1), (2) o (3)	Sí, Ubicación del BESS (1), (2) o (3)	Sí, Ubicación del BESS (1), (2) o (3)	Sí	Sí	Sí
	Arbitraje estacional	No	No	No	No	Sí	Sí
	Minimización de vertimiento de centrales renovables variables	Sí, Ubicación del BESS (2) o (3)	Sí, Ubicación del BESS (2) o (3)	Sí, Ubicación del BESS (2) o (3)	No	Sí, Ubicación en (2) o (3)	Baja probabilidad
	Reducción de la variabilidad del recurso renovable	Sí, Ubicación del BESS (2) o (3)	Sí, Ubicación del BESS (2) o (3)	Sí, Ubicación del BESS (2) o (3)	Posible, pero con respuesta más lenta	Sí, Ubicación en (2) o (3)	Sí
Potencia de Suficiencia	Aporte a potencia de suficiencia	Sí, Ubicación del BESS (1)	Sí, Ubicación del BESS (1)	Sí, Ubicación del BESS (1)	Sí	Sí	Sí
	Incremento de potencia suficiencia de centrales renovables, plantas híbridas	Sí, Ubicación del BESS (2)	Sí, Ubicación del BESS (2)	Sí, Ubicación del BESS (2)	No	Sí	Sí

Servicios de red

Ubicación del sistema de almacenamiento:

- **Standalone (1)**
- **Integrado con una planta de energías renovables (2)**
- **Standalone cercano (3): Sistema standalone pero cercano a una planta de energías renovables, por ejemplo en una subestación cercana.**

Tecnología del inversor:

- **Grid Following (1)**
- **Grid Following conectados en una red con otras máquinas sincrónicas (2) que fijan la frecuencia y el voltaje en el punto de conexión**
- **Grid Forming (3)**

Servicios de red

Tipo	Servicio	LMNC	LFP	NAS	CSP	Bombeo	CAES
Servicios complementarios	Control rápido de frecuencia	Tecnología Inversor (2) o (3)	Tecnología Inversor (2) o (3)	No*	No	No	No
	Control primario de frecuencia	Tecnología Inversor (2) o (3)	Tecnología Inversor (2) o (3)	No*	Sí	Sí	Sí
	Control secundario de frecuencia	Tecnología Inversor (2) o (3)	Tecnología Inversor (2) o (3)	Tecnología Inversor (2) o (3)	Sí	Sí	Sí
	Respuesta inercial	Tecnología Inversor (3)	Tecnología Inversor (3)	No	Sí	Sí	Sí
	Rampa de generación	Tecnología Inversor (2) o (3)	Tecnología Inversor (2) o (3)	Tecnología Inversor (2) o (3)	Sí	Sí	Sí
	Control de tensión	Tecnología Inversor (2) o (3)	Tecnología Inversor (2) o (3)	Tecnología Inversor (2) o (3)	Sí	Sí	Sí

Fuente: Centro de Energía (en desarrollo), “Análisis del rol del almacenamiento en el proceso de transición energética de Chile y los factores que influyen en su desarrollo”

Análisis costos

■ Costos medios de desarrollo

Tecnología	Costo inversión (US\$/kW)	LCOE (US\$/MWh)
BESS - 4 hr – 7200 ciclos	1436	150
BESS - 4 hr – 3000 ciclos	1436	202
BESS - 4 hr – 7200 ciclos	937	117
BESS - 4 hr – 3000 ciclos	937	146
CSP 13 hr	3974	64
CSP 9 hr	3369	67
CSP 6 hr	2950	70
Bombeo 6 hrs	1427	88
Bombeo 18 hrs	2060	62

Análisis costos

Licitación de suministro eléctrico a clientes regulados alcanzó precio promedio de US\$37,4/MWh

Zapaleri SpA y FRV Development Chile I SpA son las empresas generadoras adjudicatarias de este proceso, en el que se contemplan nuevos proyectos de energía renovable con almacenamiento, para asegurar un abastecimiento limpio a precios competitivos.



NEGOCIOS E INDUSTRIA

Publicado el 1 de agosto del 2022

ELECTRICIDAD

Fuente: Revista EIA



La adjudicación será el 25 de julio.

El proyecto Likana Solar, perteneciente al Grupo Cerro, presentó una oferta de **US\$ 49,99 dólares por MWh/h** en el proceso de licitación eléctrica de Chile 2022/01, en la que se exhibieron 15 propuestas, convirtiéndose así en una de las más bajas en el mundo para la tecnología de Concentración Solar de Potencia.

Fuente: <https://acsp.cl/2022/07/21/csp-nuevamente-sorprende-con-precios-competitivos-en-licitacion-electrica-de-chile/>

Análisis costos

Licitación de suministro eléctrico a clientes regulados alcanzó precio promedio de US\$37,4/MWh

Zapaleri SpA y FRV Development Chile I SpA son las empresas generadoras adjudicatarias de este proceso, en el que se contemplan nuevos proyectos de energía renovable con almacenamiento, para asegurar un abastecimiento limpio a precios competitivos.

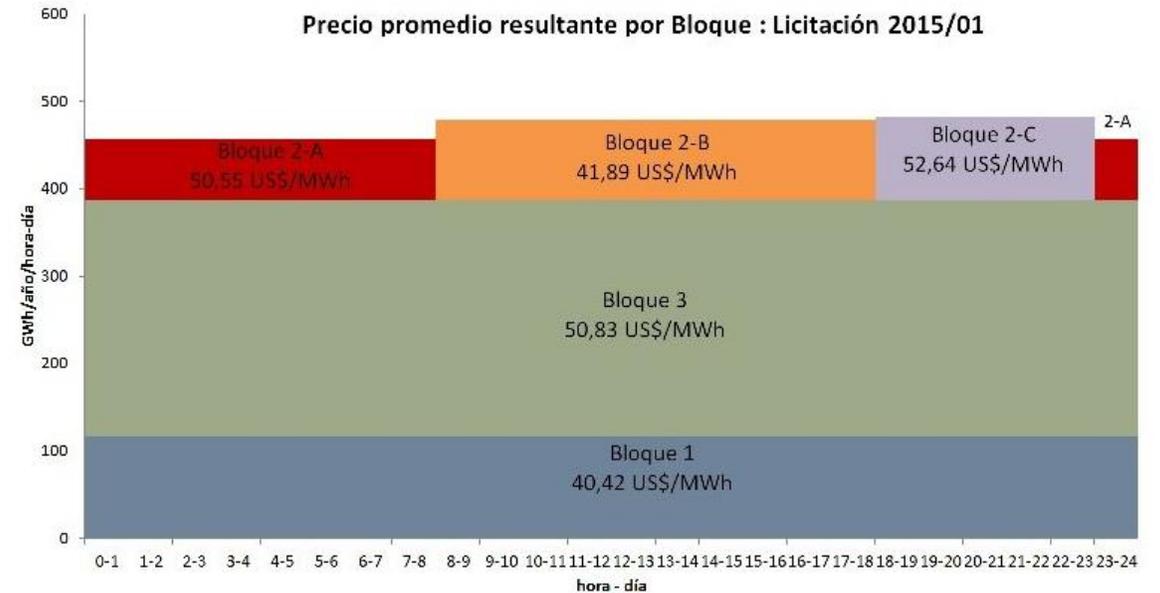


NEGOCIOS E INDUSTRIA

Publicado el 1 de agosto del 2022

 ELECTRICIDAD

Fuente: Revista EIA



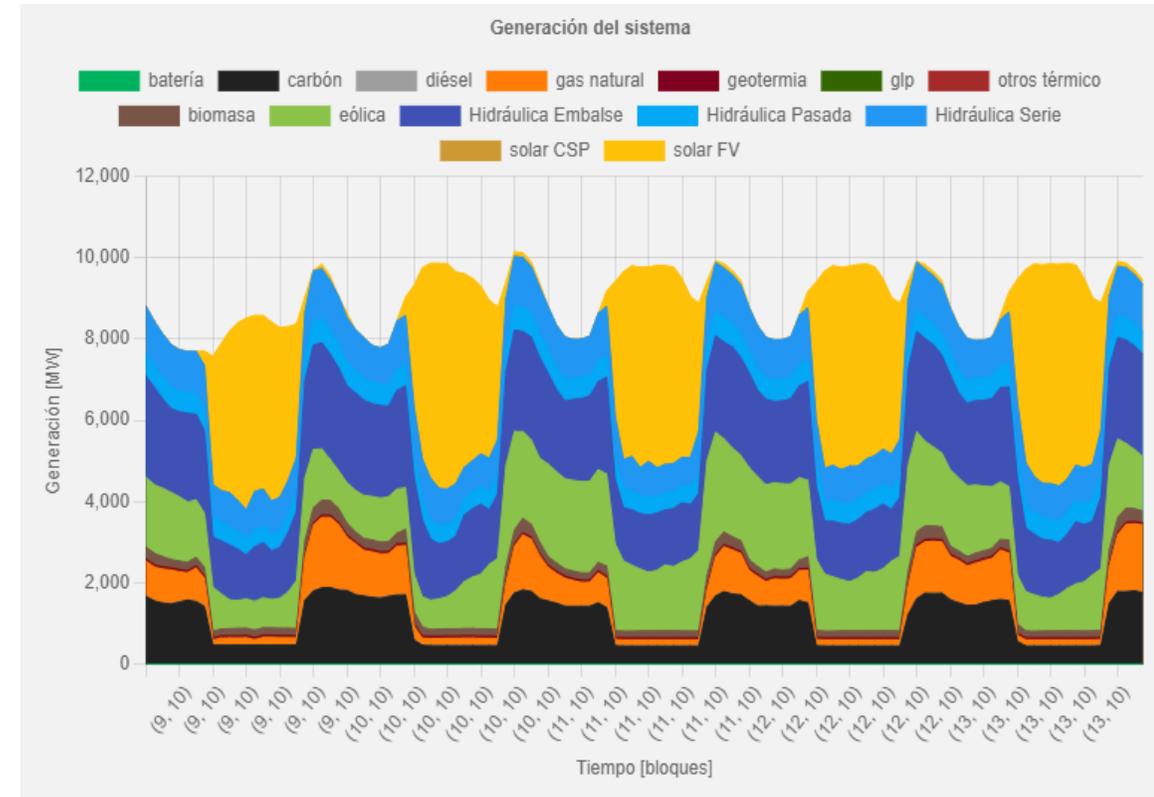
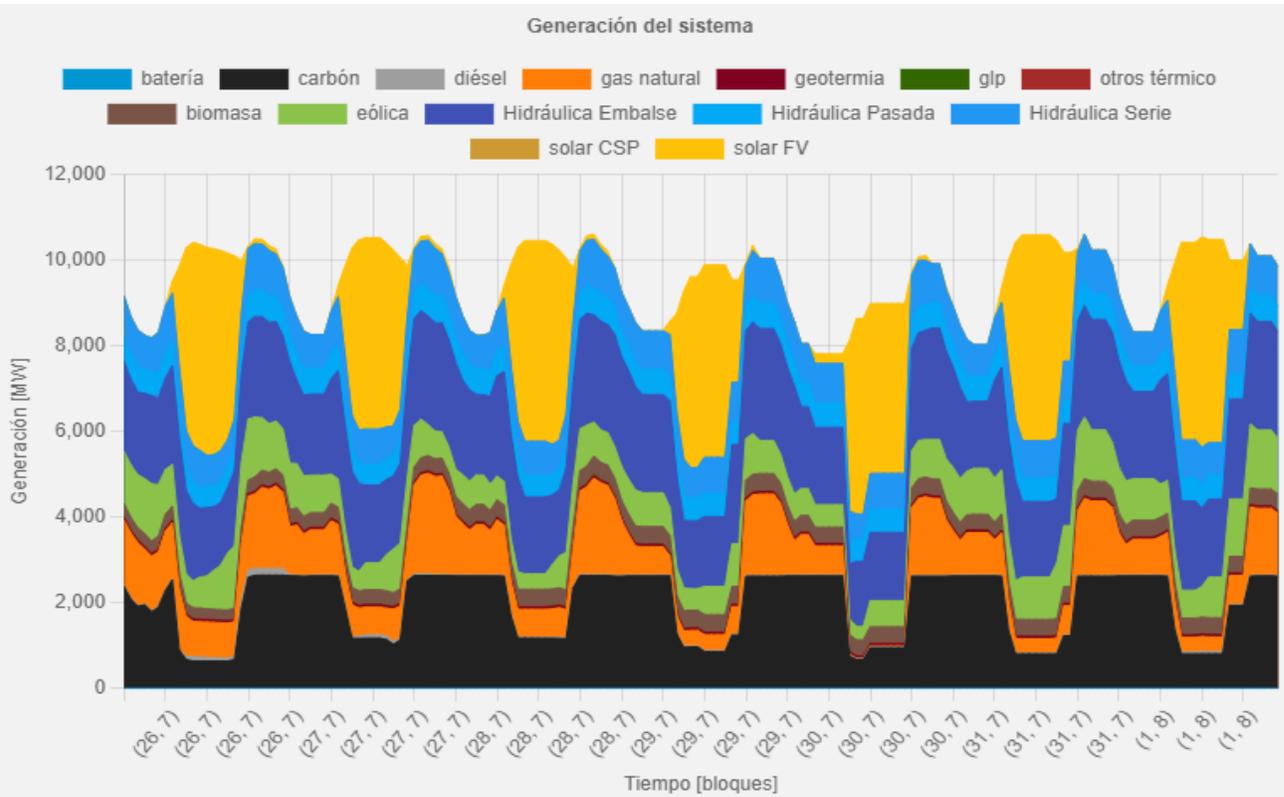
Fundadores de Valhalla Energía: «Le vamos a ganar a todos los desarrollos nuevos de gas natural y carbón»

Valhalla Energía presentó dos proyectos a la licitación eléctrica cuyos resultados se conocen esta semana.

Fuente: Revista EIA

Proyección de matrices energéticas

■ Despacho semanal



Proyección de matrices energéticas

Avanzando hacia la descarbonización

Presentación:

El "Observatorio de Carbono Neutralidad para Chile" es una iniciativa independiente de la Universidad de Chile que tiene como objetivo principal monitorear el nivel de cumplimiento de la meta de carbono neutralidad propuesta por Chile en su NDC (Nationally determined contribution).

Este desarrollo lleva a cabo una estimación actualizada, con no más de un año de desfase, del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector energía, del cumplimiento de los compromisos de reducción en materia de GEI del país y de los sectores productivos involucrados, tanto a nivel de presupuesto de emisiones (Carbon Budget) como de metas en emisiones. También analiza el cumplimiento de las medidas de mitigación y presupuestos sectoriales asignados a las Autoridades Climáticas respectivas.

Las estimaciones de los valores actualizados del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) se basan en fuentes oficiales a nivel nacional. Las estimaciones de reducciones de emisiones de GEI de las medidas de mitigación consideradas y de los escenarios formulados son modeladas usando la plataforma computacional Modelo Energético PMR e información actualizada respecto a los sectores y tecnologías. Las metas se basan en los inputs actualizados del ejercicio de Carbono Neutralidad en Chile al 2050 de los Ministerios de Energía y del Medio Ambiente.

Principales análisis del Observatorio:

Inventario

Revise los datos oficiales del INGEI de Chile y la actualización del Observatorio para el sector energía

[Ver](#)

Análisis por sector del INGEI

Revise los escenarios prospectivos de emisiones e impacto de medidas de mitigación desarrollados por el Observatorio para los sectores del INGEI

[Ver](#)

Análisis por Autoridad Climática

Revise el nivel de cumplimiento de las metas de reducción de las Autoridades Climáticas.

[Ver](#)

Proyección de matrices energéticas

Clúster de simulación de escenarios de mitigación de cambio climático

[Inicio](#) [Modelo de proyección PMR](#) [Diplomado Cambio Climático](#) [Contacto](#)

ESCENARIOS PREDEFINIDOS

Escenario Carbono Neutral

[Más información](#)

INDICADOR

Generación eléctrica

[Más información](#)

INSTRUMENTOS ECONÓMICOS

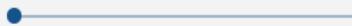
- Impuesto al carbono
- Sistema de permisos transables

Ver multiples escenarios

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

- Hidrógeno en transporte minero

Trayectoria de introducción de hidrógeno en transporte minero



TRAY. 1

TRAY. 2

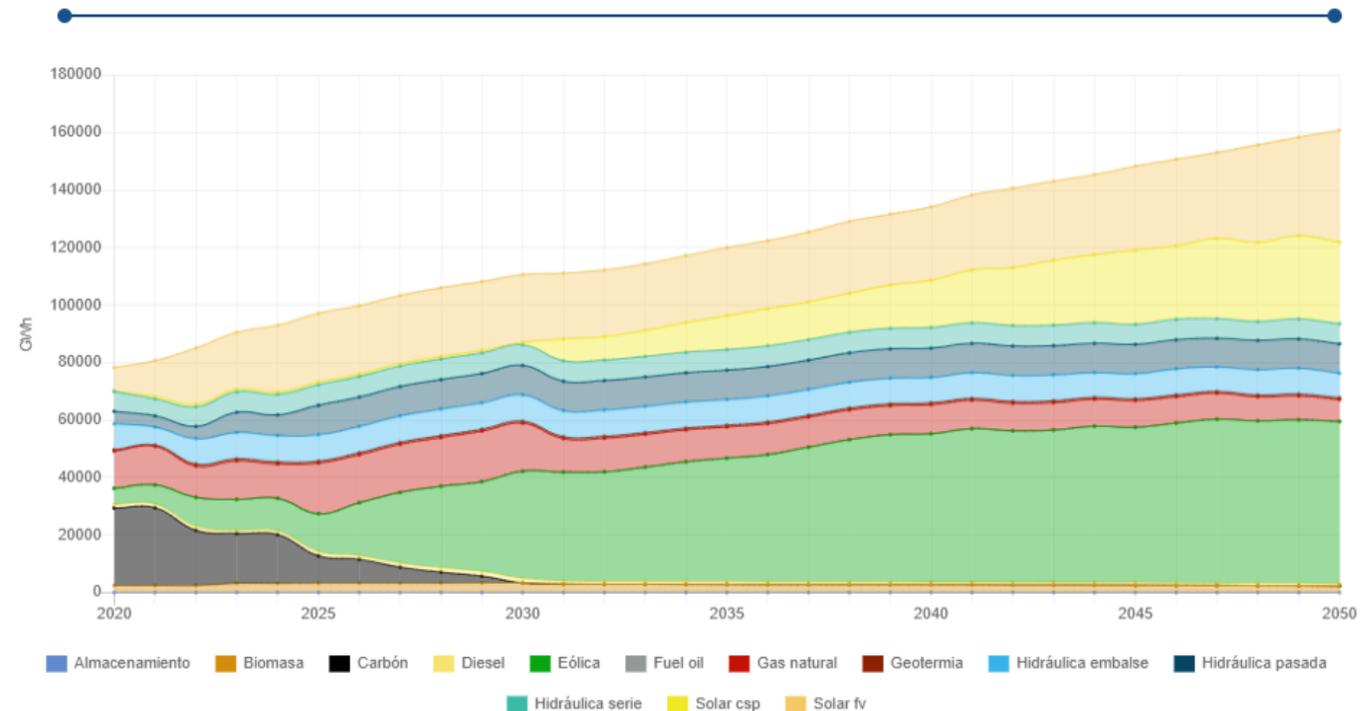
- Hidrógeno en camiones de transporte carga por carreteras

Trayectoria de Hidrógeno en camiones de transporte carga por carreteras



PARÁMETROS GENERALES

[Descargar gráfico](#) [Descargar datos](#) [Descargar PDF](#)



Proyección de matrices energéticas

Clúster de simulación de escenarios de mitigación de cambio climático

Inicio Modelo de proyección PMR Diplomado Cambio Climático Contacto

ESCENARIOS PREDEFINIDOS

Escenario Carbono Neutral

[Más información](#)

INDICADOR

Potencia instalada generación eléctrica

[Más información](#)

INSTRUMENTOS ECONÓMICOS

Impuesto al carbono

Sistema de permisos transables

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Hidrógeno en transporte minero

Trayectoria de introducción de hidrógeno en transporte minero

TRAY. 1

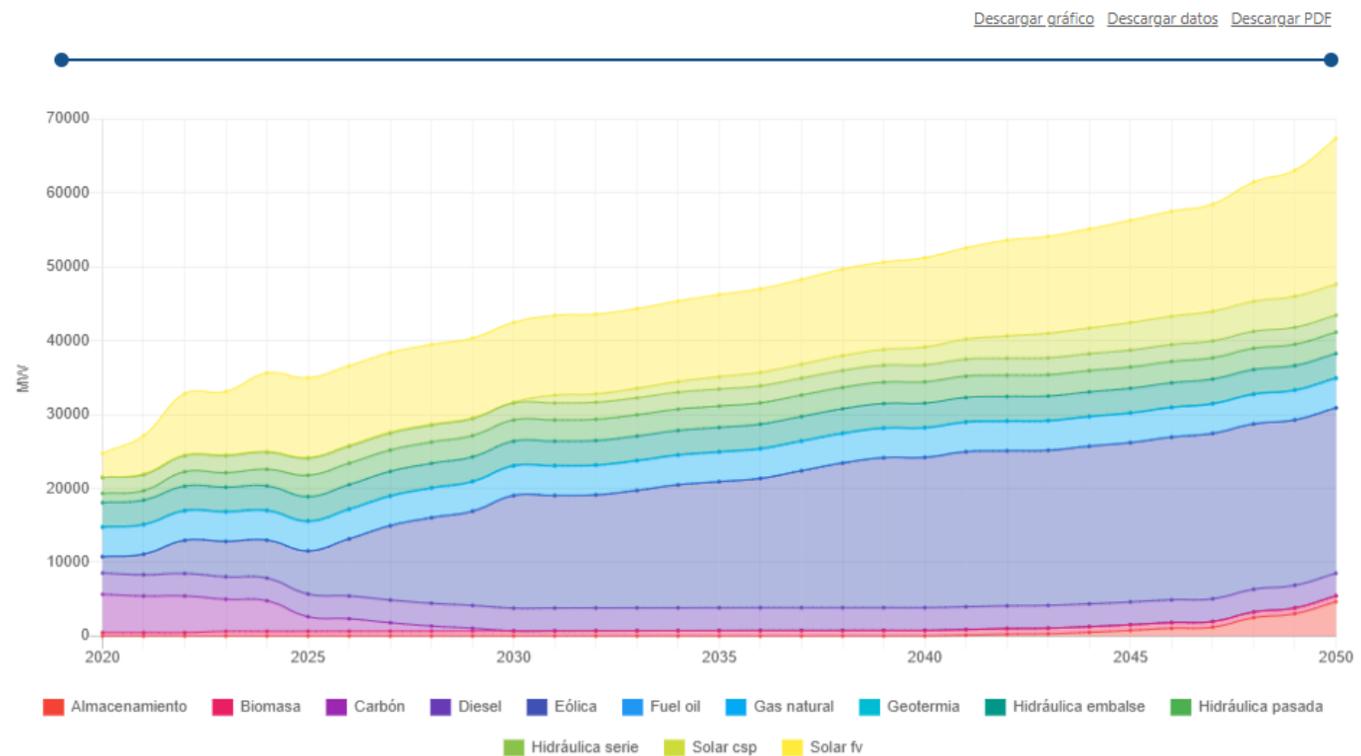
TRAY. 2

Hidrógeno en camiones de transporte carga por carreteras

Trayectoria de Hidrógeno en camiones de transporte carga por carreteras

PARÁMETROS GENERALES

Ver multiples escenarios



Proyección de matrices energéticas

Clúster de simulación de escenarios de mitigación de cambio climático

[Inicio](#) [Modelo de proyección PMR](#) [Diplomado Cambio Climático](#) [Contacto](#)

ESCENARIOS PREDEFINIDOS

Escenario Carbono Neutral

[Más información](#)

INDICADOR

Emisiones netas de GEI

[Más información](#)

INSTRUMENTOS ECONÓMICOS

Impuesto al carbono

Sistema de permisos transables

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Hidrógeno en transporte minero

Trayectoria de introducción de hidrógeno en transporte minero

TRAY. 1

TRAY. 2

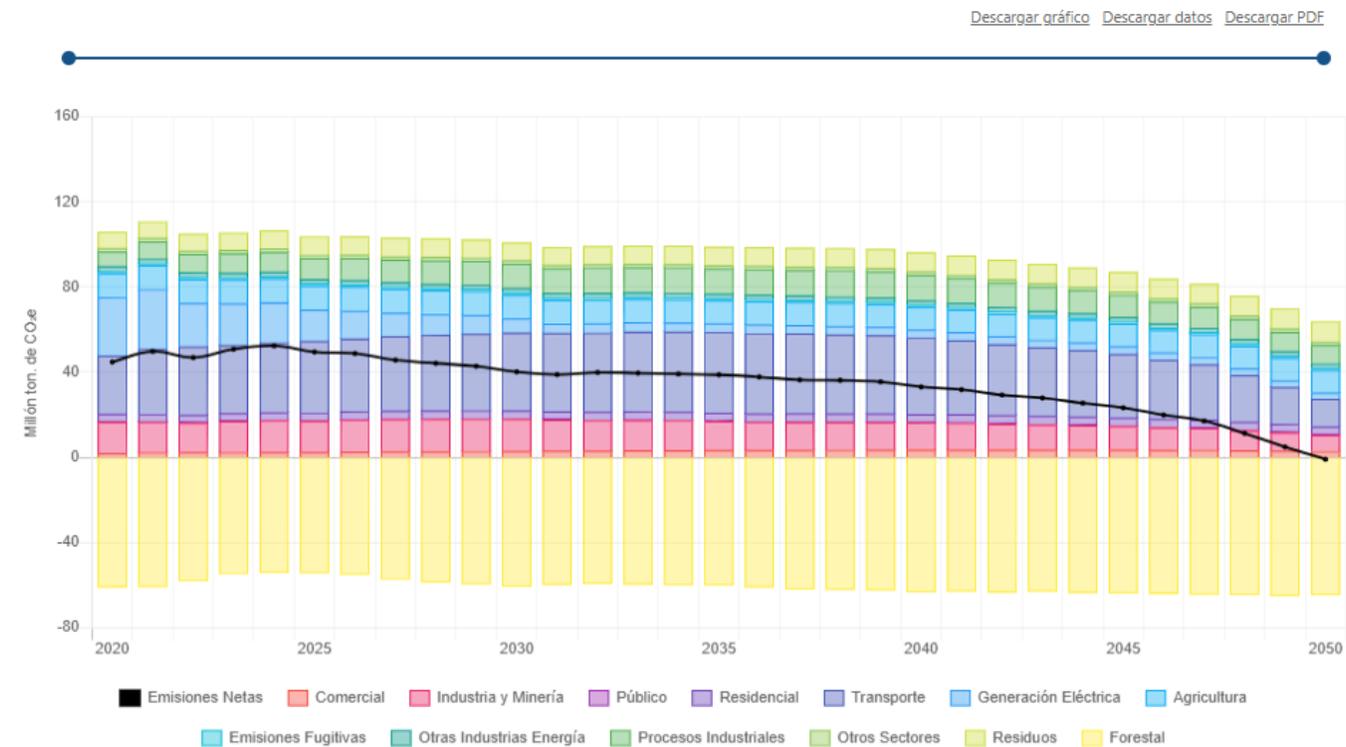
Hidrógeno en camiones de transporte carga por carreteras

Trayectoria de Hidrógeno en camiones de transporte carga por carreteras

PARÁMETROS GENERALES

Tasa PIB

Ver multiples escenarios



Conclusiones

- **Tecnologías más conocidas a nivel nacional: hidroelectricidad, BESS, CSP, bombeo, baterías Carnot**
- **CSP, bombeo tienen menores costos de desarrollo**
- **Proyectos híbridos hacen más competitivos proyectos tipo BESS**
- **Incertidumbre en estimación de costos de inversión**
- **En general, sistemas de almacenamiento tienen costos más alto que tecnologías renovables eólica y solar fotovoltaica**
- **Tamaño de almacenamiento menor a 24 horas**
- **Cantidad de MW de almacenamiento depende de:**
 - **Retiro de centrales termoeléctricas**
 - **Electrificación de usos finales**
 - **Distribución recurso renovable**
 - **Incremento de demanda punta**
 - **Gestión de demanda**
 - **Eficiencia energética**
 - **Entre otros**