

# Resumen ejecutivo

## Integración Energías Renovables

El estudio analiza la reconversión de las centrales termoeléctricas a tecnologías de generación eléctrica con H<sub>2</sub> verde y condensadores síncronos.

28 de septiembre de 2021



### Estudio de análisis de dos opciones tecnológicas de reconversión de las termoeléctricas y su integración al Sistema Eléctrico Nacional

28 de septiembre de 2021



Por encargo de:



Ministerio Federal  
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza  
y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania



Por encargo de:



Ministerio Federal  
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza  
y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania



# Resumen ejecutivo

En el año 2019 el Estado de Chile, a través del Ministerio de Energía, estableció un acuerdo para cerrar todas las centrales a carbón a más tardar el año 2040; también definió la aspiración de lograr la carbono neutralidad al año 2050.

A pesar de la creciente penetración de generación renovable variable en el sistema chileno, no se ha logrado reducir las emisiones en el sistema de manera significativa debido a la sequía. Por ejemplo, durante el primer semestre de 2018 la integración de energía renovable variable representó un 10,9% de la demanda y las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sistema fueron 18,3 millones de toneladas. No obstante, el nivel de emisiones durante el primer semestre del año 2019, 2020 y 2021 se han mantenido en 17,2 millones de toneladas aproximadamente, a pesar de que el primer semestre de 2021 la integración de energía renovable variable representó un 18,5% de la demanda.

Durante los próximos años un número creciente de centrales termoeléctricas a carbón iniciará un proceso de cese de operaciones y cierre. Si las condiciones del sistema eléctrico lo permiten, a finales del 2025, 15 unidades (2828 MW) del parque térmico a carbón habrán sido retiradas y 3 serán reconvertidas (dos a biomasa y una a gas natural). Manteniendo todos los otros factores constantes, si se ejecutan los compromisos de retiro de centrales, la potencia de suficiencia del sistema disminuirá en 1582 MW y se retirarán unos 1538 MW de flexibilidad; en otras palabras, al término del horario solar, el sistema potencialmente dejará de contar con 1538 MW de capacidad de toma de carga en 3 horas. Las unidades que se retiran han contribuido, en promedio, con 17% de la inercia en línea disponible durante los últimos 12 meses.

Ante el escenario de cierre de centrales termoeléctricas y desarrollo de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (H<sub>2</sub>), se analizaron alternativas de reconversión de centrales térmicas a tecnologías con H<sub>2</sub> verde y condensadores síncronos. No han sido parte del alcance de este estudio los aspectos sistémicos y de mercado asociados a las transformaciones indicadas.

## **Conversión de centrales térmicas a carbón a condensadores síncronos**

En Chile, el crecimiento acelerado de generación renovable variable y el retiro de centrales a carbón genera la oportunidad de analizar opciones asociadas a la conversión de centrales a un condensador síncrono para aportar reactivos al sistema eléctrico. Además, existe la posibilidad de que el condensador síncrono se acople a un volante de inercia (*flywheel*), en cuyo caso también aportaría inercia al sistema.

La reconversión de un generador accionado por turbina a un condensador síncrono requiere un estudio de ingeniería en detalle ya que implica cambios en los sistemas de control, protección y funcionamiento, además de cambios mecánicos.

La efectividad de un condensador síncrono para los objetivos de control de tensión depende de su localización. Por lo tanto, se debe considerar que la transformación de una central termoeléctrica a un condensador síncrono no necesariamente corresponderá a la mejor ubicación para instalar capacidad de regulación de tensión. Lo anterior es particularmente importante en la medida que la estructura de los sistemas eléctricos cambia debido a la integración de más generación renovable.

### **Reconversión de centrales termoeléctricas a tecnologías de generación con H<sub>2</sub> verde**

La reconversión de centrales termoeléctricas a tecnologías de H<sub>2</sub> verde puede ser una de las alternativas para disminuir las emisiones en el sector de generación eléctrica, a partir de su mezcla con gas natural en turbinas o motores, su uso en celdas de combustible o bien su eventual inyección en calderas.

En caso de privilegiar el uso de gases verdes en generación eléctrica en Chile, se sugiere considerar el H<sub>2</sub> por sobre el amoníaco (NH<sub>3</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) o el metanol (CH<sub>3</sub>OH). Lo anterior dado que los tres últimos requieren de una etapa de síntesis que disminuirá la eficiencia del ciclo de transformación. Además, el CH<sub>4</sub> y CH<sub>3</sub>OH emiten CO<sub>2</sub> y el NH<sub>3</sub> posee propiedades de quemado menos favorables que el H<sub>2</sub>.

En el reacondicionamiento de calderas a carbón para combustionar gases verdes, no obstante, es de interés evaluar la síntesis de NH<sub>3</sub> verde a partir de H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, dado que no se identifican experiencias con H<sub>2</sub> en calderas a nivel de generación eléctrica. Para las turbinas y los motores se cuenta con las metas establecidas por los principales proveedores de quema 100% de H<sub>2</sub> al 2030. Las celdas de combustible, a su vez, operan con 100% H<sub>2</sub> en la actualidad.

La reconversión de sistemas de combustión para operar con H<sub>2</sub> implica adaptar la alimentación de combustible, quemadores y cámara de combustión, diseñados para optimizar la seguridad, la flexibilidad operativa, las emisiones y la durabilidad según su combustible primario. Por lo tanto, se requerirá pruebas en equipos y demostraciones en terreno de cada diseño específico de sistema de combustión.

### **Reconversión de centrales termoeléctricas a carbón y a gas**

Se han identificado dos grupos de opciones de reconversión de las centrales a carbón mediante combustibles verdes, dependiendo del potencial de uso de la caldera. El **primer grupo** considera la co-combustión de H<sub>2</sub> o NH<sub>3</sub> en la caldera<sup>1</sup>.

De acuerdo con entrevistas realizadas a proveedores, al evaluar la conversión de centrales de carbón pulverizado hay dos factores relevantes a considerar: el tipo de quemador de la caldera (tangencial o frontal), y el aporte energético objetivo de H<sub>2</sub>.

---

<sup>1</sup> Inicialmente, se considera la posibilidad de quemar porcentajes incrementales de gases verdes en caldera. La posibilidad de quemar 100% H<sub>2</sub> o NH<sub>3</sub> estará sujeta a los resultados obtenidos.

Actualmente no se identifican experiencias prácticas de este tipo de co-combustión en generación eléctrica, pero sí existen casos aislados de calderas en la industria química diseñadas originalmente para operar con gas natural (80% aporte energético de  $H_2$ ) y con carbón pulverizado que han operado con un 30% (aporte energético) de  $H_2$ , asociado al reemplazo de un nivel de quemadores.

En el **segundo grupo** existen alternativas de generación eléctrica a partir de  $H_2$  verde que no utilizan la caldera como parte del proceso de reconversión de la central. Se destaca la opción de instalar turbinas de gas, motores o celdas de combustibles.

Las alternativas de reconversión de las centrales termoeléctricas a gas que se profundizaron en el estudio están asociadas a la mezcla de  $H_2$  con gas natural para reducir las emisiones de  $CO_2$ , en transición hacia un quemado de 100%  $H_2$ . Las limitaciones de mezcla de  $H_2$  en equipos originales estarán asociadas a la clase de la turbina, el modelo y el sistema de quemadores. Además, se identifica a la disponibilidad de  $H_2$  a escala como uno de los principales desafíos de reconversión.

### **Selección de centrales a reconvertir**

A partir del análisis realizado como parte del estudio, se identifica a Mejillones como una de las mejores opciones para la reconversión de centrales termoeléctricas en tecnologías de generación eléctrica con  $H_2$  verde. Se observan condiciones favorables para un *cluster* de  $H_2$ , con posibilidad de abastecer la demanda local y tener perspectivas de exportación<sup>2</sup>.

Se definió evaluar la transformación de las unidades Cochrane 1 – Cochrane 2 de AES Gener y CTM1 – CTM2 de Engie a tecnologías de generación eléctrica a partir de  $H_2$  verde (turbinas, motores o celdas de combustible). Dado que el potencial de reutilización de la infraestructura original de la central es bajo, se privilegia la instalación de equipos de generación eléctrica mediante  $H_2$  en superficies actualmente disponibles. De esta forma, se mantiene abierta la alternativa de reutilización o desmantelado de las instalaciones.

Tanto en el complejo de las unidades Cochrane como en el complejo de las unidades CTM se identifica disponibilidad de espacio para instalar turbinas, motores o celdas de combustible, sin necesidad de desmantelar la infraestructura original.

Además, se evaluó la transformación de la unidad a gas CTM3 de Engie a co-combustión de GN –  $H_2$ , en transición hacia la utilización de 100%  $H_2$ . De acuerdo a Siemens, la turbina Ansaldo Siemens modelo V94.2 instalada en CTM3 puede combustionar un 30% de  $H_2$  (vol.). No obstante, no se tiene información si el porcentaje de mezcla está relacionado al modelo o la clase de la turbina, ni el tipo de quemadores instalado. Para efectos de este estudio, se diferencian las inversiones

---

<sup>2</sup> No obstante, existe un proyecto de modificación del plan regulador del borde costero que podría dificultar dicho objetivo (más información en: <https://pribca.cl>).

asociadas a porcentajes de mezcla entre un 0 – 5 % vol. de aquellas superiores a un 5% vol.

Por otro lado, dados los requerimientos de reactivos, corriente de corto circuito e inercia en la zona norte, se definió la evaluación de la reconversión de las unidades de Tocopilla, NTO1 y NTO2 en condensadores síncronos. Al respecto, se sugiere realizar un análisis sistémico para evaluar los potenciales beneficios de la instalación de condensadores síncronos en el sistema, destacando la relación entre el potencial ahorro en las inversiones asociado a la reconversión de centrales termoeléctricas y la estimación de los beneficios asociados al punto de conexión al sistema.

Los aspectos sistémicos asociados a las transformaciones indicadas no han sido parte del alcance de este estudio.

**Edición:**

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Friedrich-Ebert-Allee 40  
53113 Bonn • Alemania  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn • Alemania

**Nombre del proyecto:**

Descarbonización del Sector Energía en Chile

Marchant Pereira 150  
7500654 Providencia  
Santiago • Chile  
T +56 22 30 68 600  
I [www.giz.de](http://www.giz.de)

**Responsable:**

Rainer Schröer

**En coordinación:**

Ministerio de Energía de Chile  
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II  
Santiago de Chile  
T +56 22 367 3000  
I [www.energia.gob.cl](http://www.energia.gob.cl)

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción: ISBN: 978-956-8066-38-3. Primera edición digital: septiembre 2021

**Cita:**

Título: Estudio de análisis de dos opciones tecnológicas de reconversión de las termoeléctricas y su integración al Sistema Eléctrico Nacional  
Autor(es): GIZ, Ministerio de Energía, Inodú  
Revisión y modificación: GIZ, Inodú  
Edición: GIZ  
Santiago de Chile, 2021  
117 páginas  
Energía – Termoeléctricas – Descarbonización – Condensadores Síncronos – Hidrógeno verde

**inodú**  
energy & sustainability

**Aclaración:**

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Descarbonización del Sector Energía en Chile" implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

**Santiago de Chile, 28 de septiembre de 2021**

Por encargo de:



Ministerio Federal  
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza  
y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania