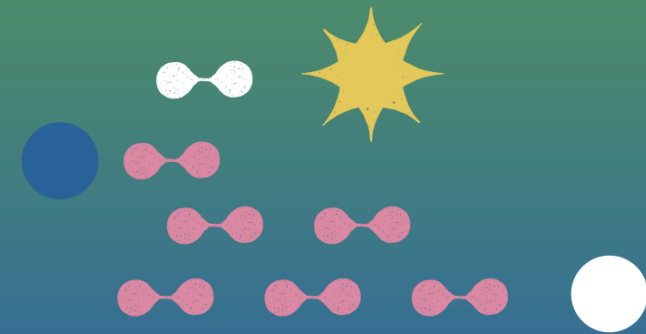
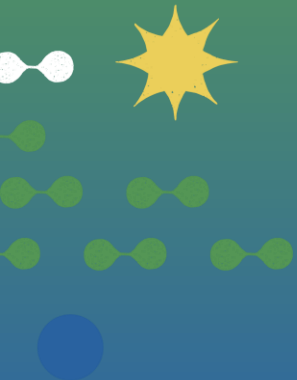




Sesión inicial de trabajo

Plan de Descarbonización

13 de septiembre de 2023



Contenido

1

Contexto y
motivación

2

Objetivos del
Plan de
Descarbonización

3

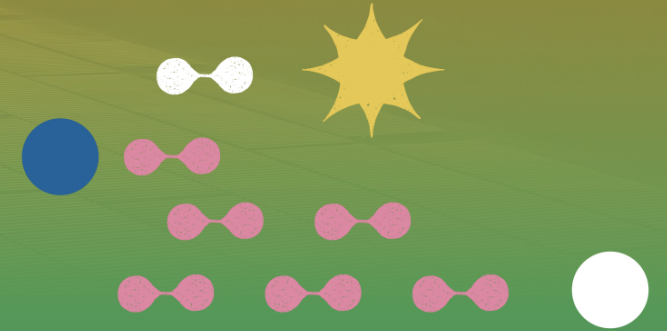
Metodología
de trabajo

4

Presentación y
comparación de
Estudios revisados

5

Jornadas de
trabajo



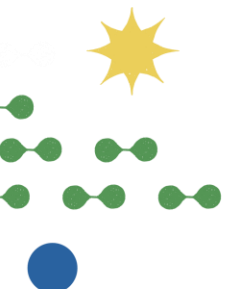


1

Contexto y Motivación

*Para acelerar la descarbonización
y modernizar el sector eléctrico*





Ley Marco de Cambio Climático

Objeto (Art. 1°)

(...) *alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050, adaptarse al cambio climático, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático*, y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado de Chile en la materia.

Meta de Mitigación (Art. 4°)

A *más tardar el año 2050 se deberá alcanzar la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero*. Dicha meta será evaluada cada cinco años por el Ministerio del Medio Ambiente, conforme a los instrumentos establecidos en la presente ley.

2023

Inicio de 2do tiempo en incorporación de energías renovables

Planificación y sustentabilidad | Transición Energética
Infraestructura estratégica cumplir mandato legal
Transmisión eléctrica es clave (**LGSE**)

2050

Carbono Neutralidad y Resiliencia (**LMCC**)
Sistema eléctrico 100% libre de emisiones (**PEN**)

El sector eléctrico es clave y habilitante para alcanzar la carbono neutralidad



Política Energética Nacional

- 1. Energía sin emisiones
- 2. Acceso Universal y Equitativo
- 3. Ciudades energéticamente sustentables
- 4. Transporte sustentable
- 5. Educación ciudadana en energía
- 6. Desarrollo económico inclusivo
- 7. Más capital humano
- 8. Sustentabilidad social y ambiental del desarrollo energético
- 9. Industria eficiente y sustentable
- 10. Desarrollo local y descentralización
- 11. Suministro de energía confiable y de calidad
- 12. Sistema eléctrico para el empoderamiento de las personas
- 13. Políticas públicas participativas
- 14. Inserción equilibrada en los territorios
- 15. Información para la transición energética
- 16. Coordinación, gobernanza y diálogo

100% energías cero emisiones al **2050**

-60% emisiones anuales GEI sector energético al **2050**

+80% energías renovables al **2030**

+2 GW almacenamiento al **2030**
(* **+6 GW** al **2050**)

Más información en: <https://energia.gob.cl/energia2050>



Estado de las Centrales a Carbón

- **8 unidades** se han retirado entre junio 2019 y julio 2023.
- Al 2025, **7 unidades** estarán disponibles para ser retiradas, y otras **5 unidades** estarán disponibles para ser reconvertidas, lo que representa el 71% de las unidades a carbón del país (20 de 28 unidades).
- Las unidades que no tienen fecha señalada (8 en total) se espera sean retiradas o reconvertidas no más allá del 2040
- Capacidad instalada carbón:
Total 2019: 5.525 MW
Total julio 2023: 4.336 MW
Total 2025: 1.925 MW

Mejillones

- Cochrane 1 (AES), 275 MW
- Cochrane 2 (AES), 275 MW

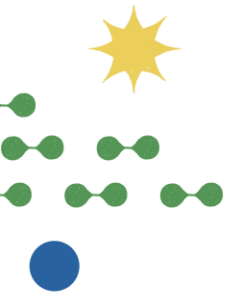
Huasco

- Guacolda 1 (Guacolda), 154 MW
- Guacolda 2 (Guacolda), 145 MW
- Guacolda 3 (Guacolda), 154 MW
- Guacolda 4 (Guacolda), 154 MW
- Guacolda 5 (Guacolda), 156 MW

Coronel

- Santa María (Colbún), 370 MW





Descarbonización

Un proceso con visión de Estado, Hoja de ruta

ene-2018

Acuerdo Gobierno-Empresas
Compromiso de no iniciar nuevos proyectos a carbón

jun-2019

Acuerdo vinculante de origen voluntario
Cierre progresivo voluntario
Término de uso de carbón al 2040
Carbono neutralidad al 2050

jun-2018 a ene-2019

Mesa de Retiro y/o Reconversión de Centrales a Carbón
Trabajo en 5 temáticas:

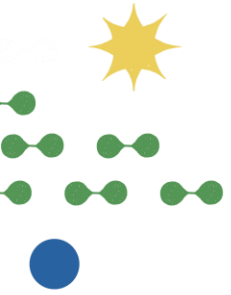
1. *Impacto en salud y calidad del aire*
2. *Experiencia internacional*
3. *Impacto en sistema eléctrico*
4. *Variables ambientales*
5. *Alternativas tecnológicas*
6. *Impactos económicos y sociales*

Hoy

Retiro programado de centrales y definición de hoja de ruta

- *Retiro programado de centrales*
- *Transición energética justa*

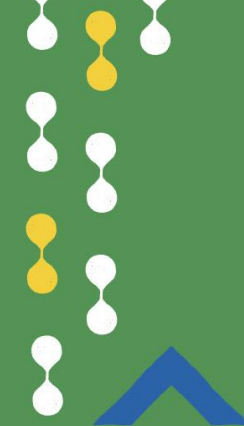
Descarbonización y desarrollo de un sistema cero emisiones



Agenda de 2do tiempo de la transición energética

1. Reglamento de Coordinación y Operación del SEN.
2. Terrenos fiscales para almacenamiento en subestaciones estratégicas.
- ✓ 3. Guía técnica SEA para la evaluación ambiental de proyectos de almacenamiento.
- ✓ 4. Sistema de compensación del impuesto a las emisiones.
- ✓ 5. Modernización de las licitaciones de suministro de clientes regulados.
- ✓ 6. Revisión y ajuste de los mínimos técnicos de centrales térmicas.
7. Modernización de la operación del sistema eléctrico.
- ✓ 8. Ingreso del PdL de Transición Energética: transmisión eléctrica como sector habilitante.
- ✓ 9. Desarrollo de un Plan de Descarbonización de manera participativa.
- ✓ 10. Open Season para el desarrollo de obras urgentes en el sistema de transmisión.





2

Objetivos del Plan de Descarbonización



Ejes Temáticos

Modernización de la red y el mercado eléctrico e infraestructura

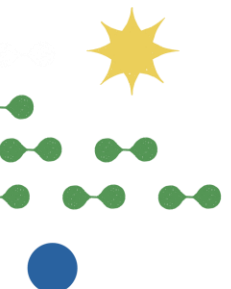
- Transmisión: Acceso abierto y señal de localización
- Transmisión: Planificación de la Tx, instrumentos para gestión de riesgos y tarificación.
- Mercado Mayorista: energía, potencia, SSCC.
- Mercado Mayorista: Transición hacia un nuevo mercado mayorista y modernización de la operación

Reconversión termoeléctrica y combustibles de transición

- Condiciones habilitantes y metas: gestión climática y ambiental.
- Alternativas de reconversión termoeléctricas: renovables y combustibles mixtos.
- Combustibles de transición.
- Seguridad de abastecimiento.

Transición Energética Justa y Comunidades

- Planificación Territorial participativa.
- Estándares ambientales y sociales e involucramiento ciudadano.
- Beneficios compartidos.
- Reconversión productiva en zonas de transición



Plan de Descarbonización

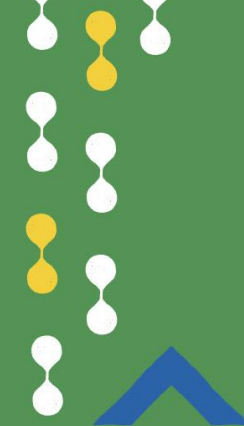


Objetivo:

Construcción de una **hoja de ruta para la descarbonización con foco al 2030**, a través de un trabajo técnico y de diálogo estratégico entre actores claves, abordando las condiciones que habiliten una descarbonización acelerada y la reducción progresiva de las emisiones globales y locales del sector eléctrico

Modalidad de trabajo:

- Espacios de diálogo para alcanzar consensos en torno a **3 bloques temáticos**, con la colaboración del BID en un apoyo clave desde un rol de Secretaría Técnica.
- Desde MEN se invitará a los distintos actores a participar a las sesiones de diálogo según incumbencia y *expertise* en la temática.



3

Metodología de la mesa



Reglas de la mesa

Mesa de trabajo consultiva, donde se busca capturar la diversidad de opiniones y encontrar espacios de consenso.

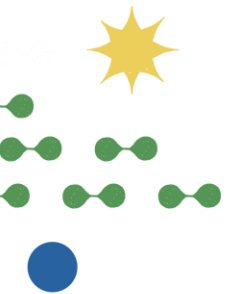


Todas las opiniones e información de la Mesa quedarán registradas en actas de resumen de carácter público.

Cada sesión se dividirá en un bloque expositivo y en un bloque de conversación. No todos los participantes se convocan a todas las sesiones.

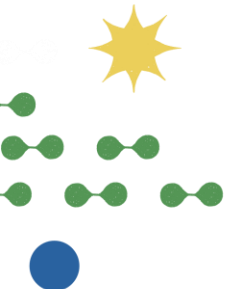


En el bloque de conversación, se debe pedir la palabra y cada participante tendrá un tiempo máximo para realizar su intervención.

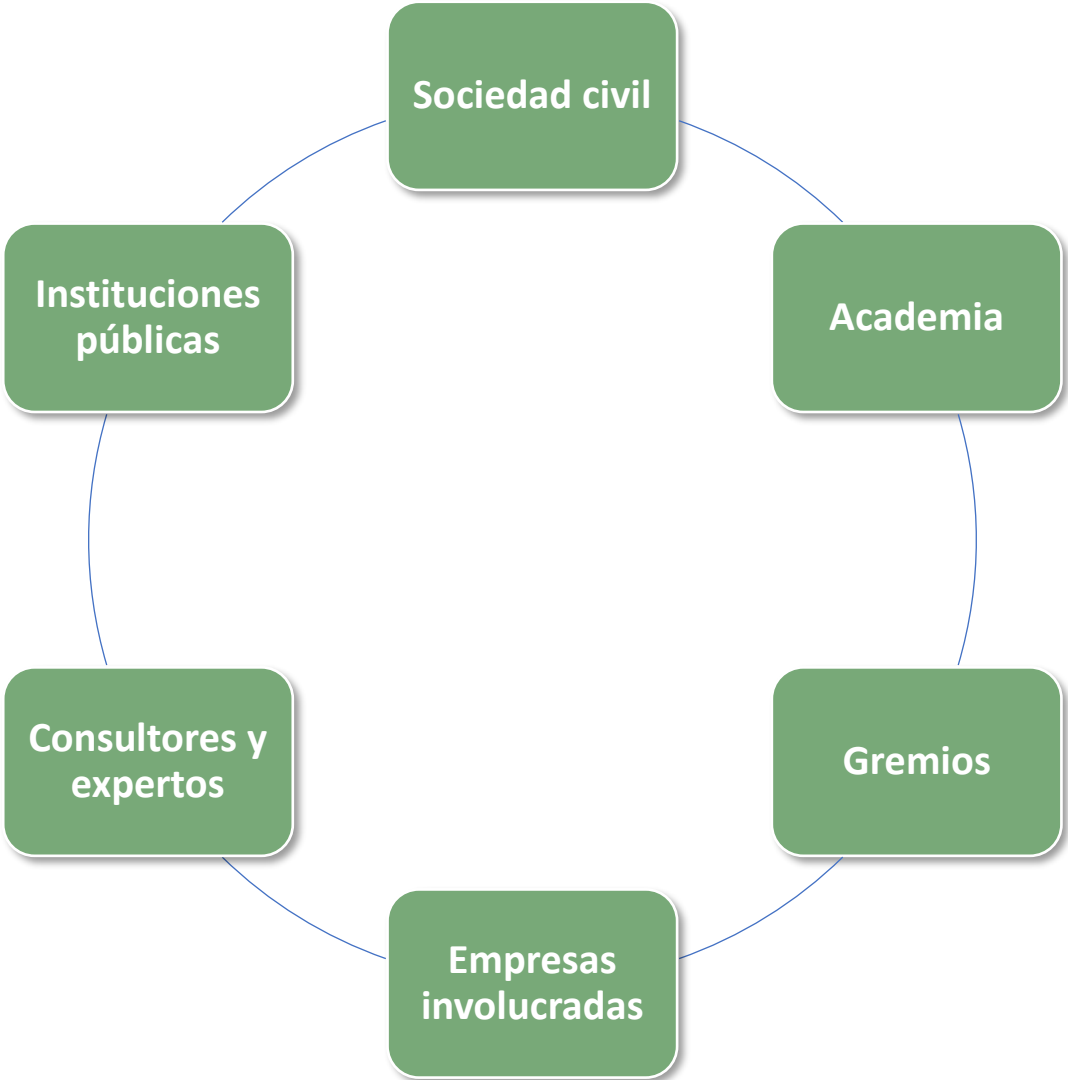


Marco para el diálogo

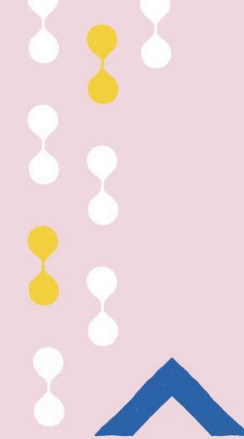
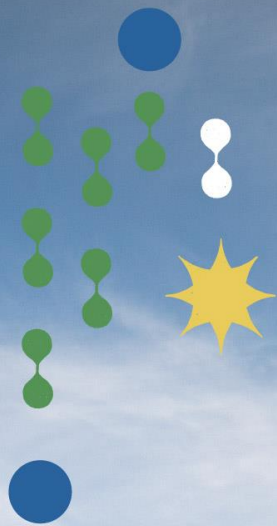
- **Respeto y aprecio por la diversidad**
 - Todos tenemos que poder hablar y ser escuchado (levantar la mano y respetar los tiempos)
 - Reconocer y valorar las diferentes posiciones y opiniones.
 - Debemos decirnos las cosas con respeto para que sea una conversación constructiva
- **Participativo y propositivo**
 - Centrarnos en los temas de discusión y no desviarnos
 - Se busca una conversación ágil y participativa que lleve a resultados
- Dialogar desde la **buena fe**, con la intención de llegar a acuerdos
 - Intentaremos encontrar **propuestas consensuadas** (Mientras mayor sea el nivel de consenso en los resultados, mayor serán su incidencia. “Consenso significa que todos los miembros pueden convivir con las decisiones acordadas”)
 - Si no se logra, intentaremos generar la menor cantidad posible de posiciones
 - En disensos: se identificará quiénes adhieren a cada posición
- **No hay vocerías ni difusión de lo discutido:** Durante el funcionamiento de la mesa, se solicita que nadie hable públicamente en representación de la mesa.
- Los miembros de la Mesa se comprometen a **participar del proceso** durante su duración



Invitados



Trabajo técnico y de diálogo amplio con foco a capturar la diversidad de opiniones y encontrar espacios de consenso.



4

Presentación y comparación de Estudios revisados

Prof. Esteban Gil

Diagnósticos y recomendaciones para el proceso de descarbonización chileno

Esteban Gil | 13 de Septiembre de 2023



Contenido

- Introducción
- Comparación de objetivos y alcances
- Comparación metodológica
 - Comparación de supuestos estudios cuantitativos
- Diagnósticos comunes y condiciones habilitantes
- Conclusiones
- Anexo: Resultados principales de estudios

Introducción

Descarbonización del sector eléctrico chileno

- Chile debe implementar acciones para cumplir con los compromisos adquiridos en la lucha contra el cambio climático
 - El proceso de descarbonización del SEN involucra aspectos operacionales, técnicos, económicos, regulatorios, medioambientales y sociales
 - Es necesario diagnosticar el impacto e identificar las condiciones habilitantes y los aspectos regulatorios a modificar para avanzar en este proceso



Objetivo de esta presentación

- Presentar resultados de un **análisis comparativo de siete estudios** distintos acerca del proceso de descarbonización del SEN
 - Basado en informe “*Diagnósticos comunes y condiciones habilitantes para el proceso de descarbonización chileno*” (versión final Junio 2023)
 - Inferir **diagnósticos comunes** e identificar **condiciones habilitantes** de consenso



Estudios analizados

Nº	Etiqueta	Estudio	Desarrollado por	Encargado por	Año
1	[CEN, 2020]	Análisis de la Operación y Abastecimiento del Sistema Eléctrico Nacional de Chile en un escenario de retiro total de centrales a carbón al año 2025 (estudio en 3 partes)	Coordinador Eléctrico Nacional	Comisión de Minería y Energía, de la H. Cámara de Diputados	2020
2	[KAS, 2019]	Estudio Prospectivo Escenario de Descarbonización Eléctrica al 2030	KAS Ingeniería	Chile Sustentable	2019
3	[KAS, 2022]	Escenarios para el Retiro del Gas de la Matriz Eléctrica en Chile al Año 2035 (Recomendación AIE para Economías Avanzadas) y al Año 2040 (Desfossilización moderada)	KAS Ingeniería	Chile Sustentable	2022
4	[SPEC, 2021]	Análisis y Propuesta de una Ruta de Referencia para Alcanzar Cero Emisiones en el Sector de Generación de Energía Eléctrica en Chile (estudio en 4 partes)	SPEC – ISCI – UTFSM	ACERA	2021
5	[MD, 2022]	Estrategia para Avanzar Hacia un Sistema Eléctrico Nacional Bajo en Carbono (estudio en 2 partes)	- Coordinador Eléctrico Nacional - Ministerio de Energía	Mesa Descarbonización Tripartita 2022	2022
6	[Gil, 2022]	Asesoría plan de acción técnico de descarbonización acelerada para el Sistema Eléctrico Nacional (compendio de 2 informes)	Esteban Gil	GIZ-Ministerio de Energía	2022
7	[CS, 2020]	Transición Justa, Desafíos para el Proceso de Descarbonización, la Justicia Energética y Climática en Chile	Chile Sustentable	Chile Sustentable	2020

Objetivos y alcances de los estudios

Coordinador Eléctrico Nacional para C. Diputados [CEN, 2020]

Objetivo declarado	Breve descripción de alcances
<p>Estudio de Abastecimiento de la demanda</p> <p><u>Objetivo:</u> Determinar si la matriz energética es capaz de abastecer la demanda en el período 2025-2030, identificar cuáles son las tecnologías que participan en el abastecimiento y estimar los costos de operación correspondientes.</p>	<p>Análisis cuantitativo de generación esperada, costos de operación, costos marginales, condiciones de seguridad de abastecimiento, cumplimiento de restricciones y de criterios de seguridad y calidad de servicio, sin hacer inversiones adicionales asociadas directamente al retiro de las centrales a carbón, a completarse el 2025.</p>
<p>Estudio de la Operación con resolución horaria</p> <p><u>Objetivo:</u> Verificar el cumplimiento de restricciones de corto plazo, a partir de una modelación detallada de la operación horaria para una semana representativa de 2026.</p>	
<p>Estudio de Seguridad Operacional</p> <p><u>Objetivo:</u> Analizar escenarios de operación del sistema eléctrico para los años 2021, 2022 y 2026, para verificar el cumplimiento de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, considerando las variables relevantes para la seguridad y estabilidad del sistema, tales como, tensión, frecuencia, niveles de potencia o corriente de cortocircuito e inercia.</p>	

KAS Ingeniería para Chile Sustentable [KAS, 2019] y [KAS, 2022]

Objetivo declarado	Breve descripción de alcances
<p>Estudio retiro centrales a carbón al 2030 [KAS, 2019]</p> <p><u>Objetivo:</u> Evaluar la factibilidad técnico – económica de acelerar el proceso de descarbonización en Chile, con límite el año 2030 para el cierre completo del parque generador en base a carbón, cuya capacidad instalada es de 5540 MW.</p>	<p>Análisis cuantitativo de los costos totales de inversión y operación para reemplazar las centrales termoeléctricas por generación renovable y almacenamiento, suponiendo implícitamente que problemas mayores de congestión en transmisión, flexibilidad operacional, o indisponibilidad de recursos son resueltos.</p>
<p>Estudio retiro centrales a gas al 2035 y 2040 [KAS, 2022]</p> <p><u>Objetivo:</u> Identificar los impactos sobre la operación y desarrollo del SEN en el mediano y largo plazo ante la eventual implementación de 2 escenarios de desarrollo la matriz eléctrica: el retiro o reconversión de las centrales a gas al 2035 (Escenario OECD/AIE) y al 2040 (Escenario Moderado), con énfasis en los costos de inversión y operación.</p>	

SPEC-ISCI-UTFSM para ACERA [SPEC, 2021]

Objetivo declarado	Breve descripción de alcances
<p><u>Objetivo general</u>: Identificar principales elementos habilitantes y condicionantes para que cierre de centrales a carbón se materialice en un plazo que no afecte la seguridad del SEN, junto con la eliminación del uso de combustibles fósiles para generación, como máximo al año 2050.</p> <p>Actividad 1: Desarrollo inicial de rutas</p> <p><u>Objetivo</u>: Realizar análisis de distintos escenarios de expansión de la generación, almacenamiento y transmisión, que permitan transitar hacia un SEN sin generación de fuentes contaminantes en el periodo 2021-2050 mediante modelos de planificación centralizada.</p> <p>Actividad 2: Evaluar factibilidad operacional y confiabilidad del sistema</p> <p><u>Objetivo</u>: Analizar la factibilidad de operación estática horaria y confiabilidad del SEN, ante el alto nivel de generación renovable para reemplazar centrales a carbón, mediante simulación de operación económica y un análisis de suficiencia usando simulación de Monte Carlo.</p> <p>Actividad 3: Verificación de la seguridad y calidad de servicio</p> <p><u>Objetivo</u>: Analizar distintos puntos de operación para tener una visión sobre la vulnerabilidad del sistema eléctrico sin centrales a carbón ante fallas intempestivas.</p> <p>Actividad 4: Definición de ruta definitiva</p> <p><u>Objetivo</u>: Revisar los hallazgos de las actividades anteriores y consolidar una ruta definitiva, en base a las principales habilitantes y condicionantes identificadas.</p>	<p>Análisis cuantitativo de los costos totales de inversión y operación para reemplazar las centrales termoeléctricas, identificando las principales condiciones técnicas habilitantes y condicionantes mediante la evaluación de la factibilidad operacional, confiabilidad del sistema, seguridad y calidad de servicio, para culminar proponiendo una ruta definitiva de retiro de las centrales a carbón del SEN.</p>

Coordinador Eléctrico Nacional y Ministerio de Energía para la Mesa Tripartita de Descarbonización [MD, 2022]

Objetivo declarado	Breve descripción de alcances
<p>Estudio al año 2025</p> <p><u>Objetivo:</u> Simular la operación del SEN para el año 2025, considerando el tren de retiro y reconversión de acuerdo con los últimos anuncios públicos realizados por las empresas involucradas.</p>	<p>Análisis cuantitativo de simulación de la operación del SEN, donde cada estudio tiene alcances similares a los planteados en [CEN, 2020] y [SPEC, 2021], respectivamente. Los resultados se actualizan parcialmente en base a la información disponible hasta ese momento y a un conjunto de supuestos comunes acordados por la Mesa de Descarbonización Tripartita de 2022.</p>
<p>Estudio de retiro de centrales a carbón al año 2030 y 2033</p> <p><u>Objetivo:</u> Llevar a cabo un análisis prospectivo sobre las implicancias técnicas y económicas de descarbonizar la matriz eléctrica durante el periodo 2022-2035, identificando los desafíos del despliegue del parque de generación, los aspectos operacionales del SEN y los potenciales riesgos asociados al proceso de descarbonización futuro.</p>	<p>Mientras el estudio al año 2025 actualiza los resultados de los dos primeros estudios de [CEN, 2020], el estudio al año 2030 y 2033 actualiza parcialmente los resultados de las dos primeras actividades de [SPEC, 2021]</p>

Esteban Gil para GIZ-Ministerio de Energía [Gil, 2022]

Objetivo declarado	Breve descripción de alcances
<p>Estudio variabilidad y seguridad de abastecimiento de la demanda [Gil, 2022a]</p> <p><u>Objetivo:</u> Revisar la experiencia internacional y realizar propuestas conceptuales respecto al desafío de variabilidad y abastecimiento de la demanda (uno de los cinco desafíos definidos por la Mesa de Descarbonización del 2022).</p>	<p>Análisis cualitativo del contexto nacional, informado por la experiencia internacional, para hacer propuestas conceptuales en temas de variabilidad y seguridad de abastecimiento de la demanda, en tres líneas de acción: (L1) Monitoreo de condiciones futuras de suficiencia; (L2) Proveer incentivos para mejorar la disponibilidad de recursos; (L3) Desarrollo de política de seguridad de combustibles.</p>
<p>Estudio modificaciones al mercado de energía eléctrica mayorista [Gil, 2022b]</p> <p><u>Objetivo:</u> Revisar la experiencia internacional y realizar propuestas conceptuales respecto a potenciales modificaciones que se podrían realizar al mercado mayorista de energía basado en costos, y a la creación de un mercado del día anterior.</p>	<p>Análisis cualitativo del contexto nacional, informado por la experiencia internacional, para realizar propuestas de modificaciones al mercado mayorista de energía, desde los puntos de vista de los mecanismos de formación de precios y de gestión de riesgos.</p>

Chile Sustentable [CS, 2020]

Objetivo	Breve descripción de alcances
<p><u>Objetivo</u>: Analizar los desafíos del proceso de descarbonización de la matriz eléctrica, desde las distintas dimensiones de análisis de la Transición Justa: justicia ambiental, justicia energética y justicia climática.</p>	<p>Análisis cualitativo del proceso de descarbonización, identificando desafíos y haciendo propuestas en temas de reconversión laboral, reparación de daños a la salud, remediación ambiental de territorios y restauración de pasivos ambientales de la generación a carbón.</p>

Comparación de metodologías

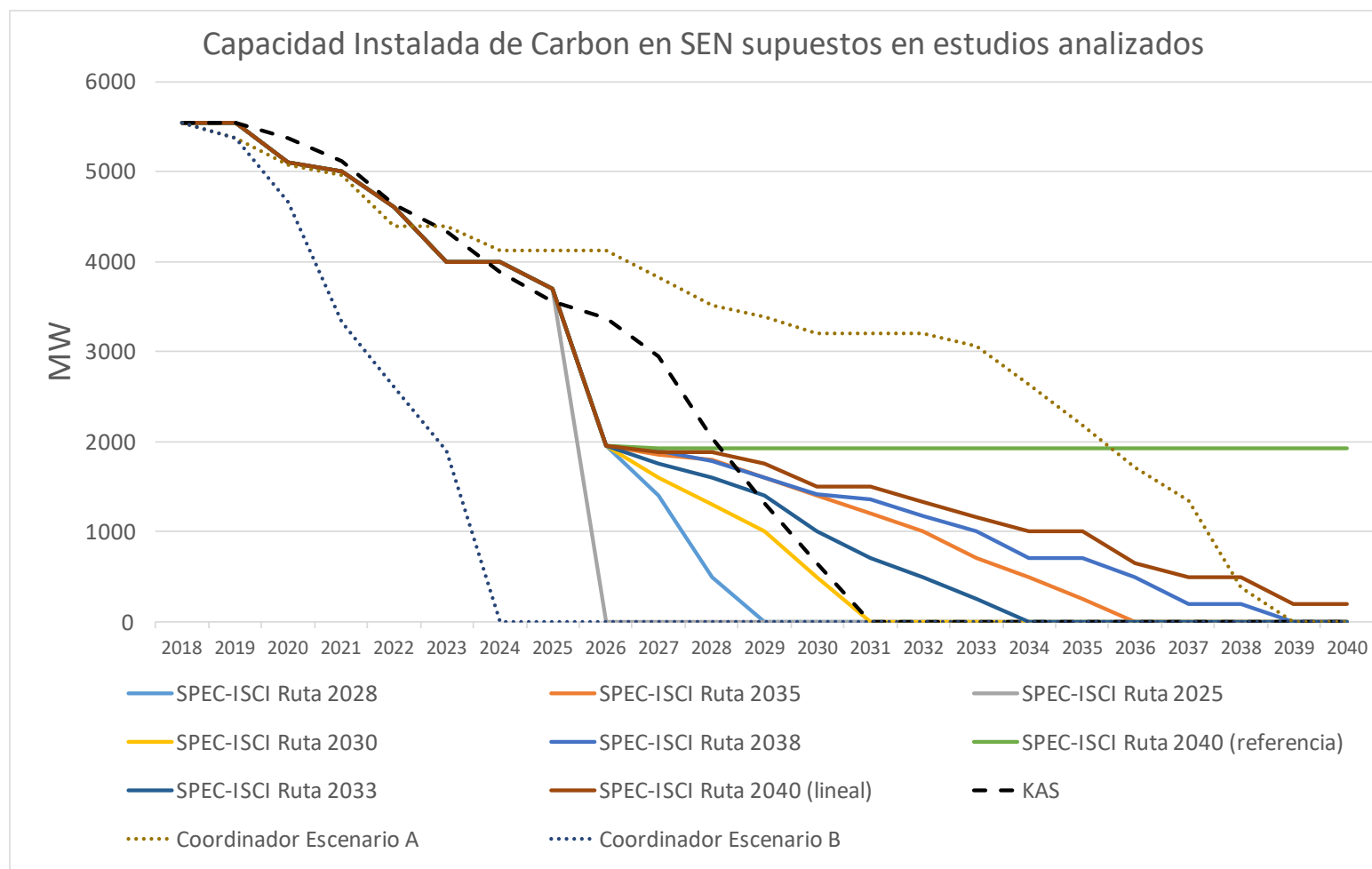
Comparación de metodología

Estudio	Tipo estudio	Metodología	Modelos	Horizonte de análisis
[CEN, 2020]	Cuantitativo	Definición de escenarios de descarbonización y resultados numéricos en software de simulación de sistemas y mercados eléctricos	PLP PLEXOS DIgSILENT PowerFactory	2022-2035
[KAS, 2019]			OSE2000	2022-2039
[KAS, 2022]				2023-2045
[SPEC, 2021]			Ameba DIgSILENT PowerFactory	2021-2050
[MD, 2022]			PLP + PLEXOS	2025
			PLP + Ameba	2022-2035
[Gil, 2022a] [Gil, 2022b]	Cualitativo	Definición de líneas de acción y propuestas conceptuales, informadas por una revisión internacional y del contexto nacional	--	--
[CS, 2020]		Análisis desde las distintas dimensiones de análisis de la Transición Justa	--	--

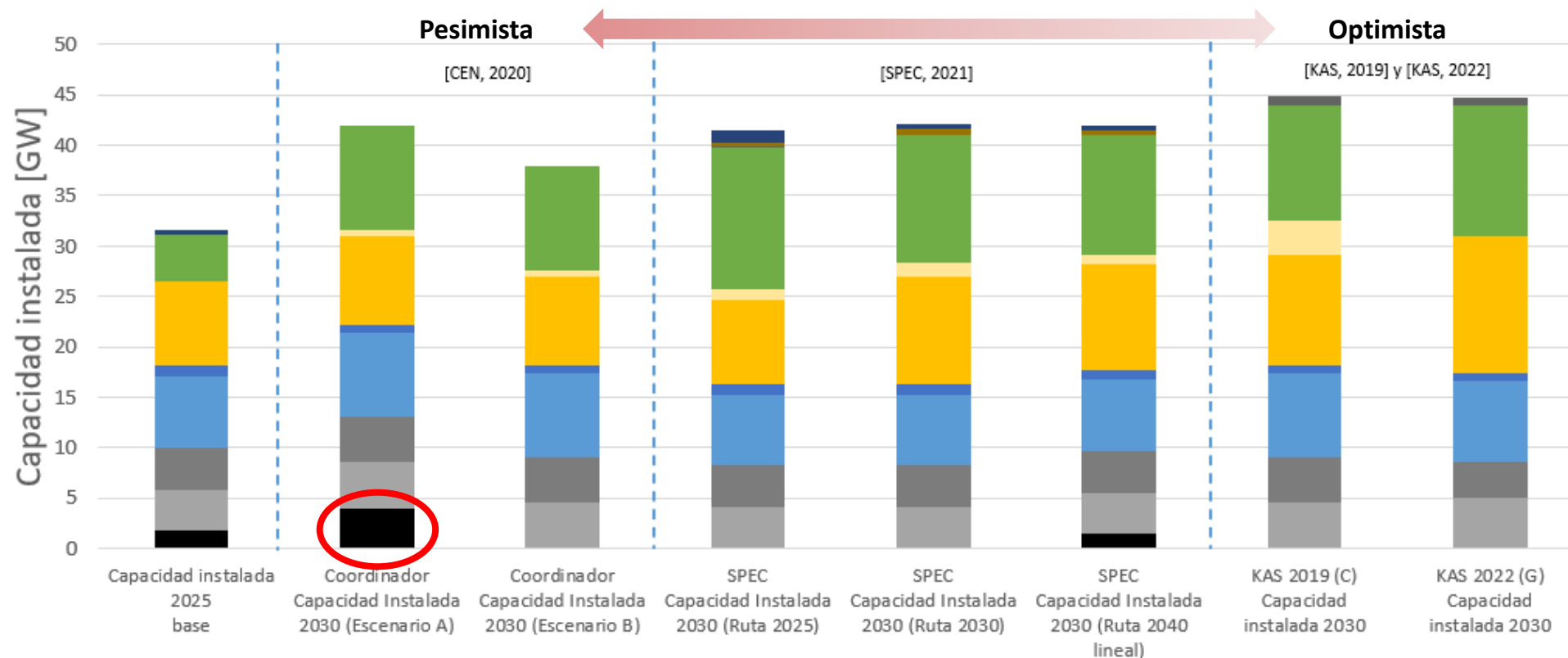
Supuestos estudios cuantitativos

- Dados los **diferentes objetivos y alcances de los estudios**, cada uno de ellos considera un conjunto de supuestos diferente
 - Además, difieren tanto en sus **horizontes de análisis** y como en el **año de realización**, por lo que la **información de base disponible era distinta** para cada uno
 - Informe compara en detalle supuestos para cada estudio y cada escenario, por categorías:
 - Retiro de centrales a carbón
 - Nueva capacidad de generación y Sistemas de Almacenamiento de Energía (SAE)
 - Transmisión
 - Disponibilidad de recursos
 - Costos de tecnologías (inversión y operación)
 - Demanda y perfiles ERV
 - Hidrología
 - Otros

Retiro centrales a carbón



Capacidad instalada al año 2030



No se construye capacidad adicional más allá de la ya proyectada

Modelo de co-optimización de inversión y operación

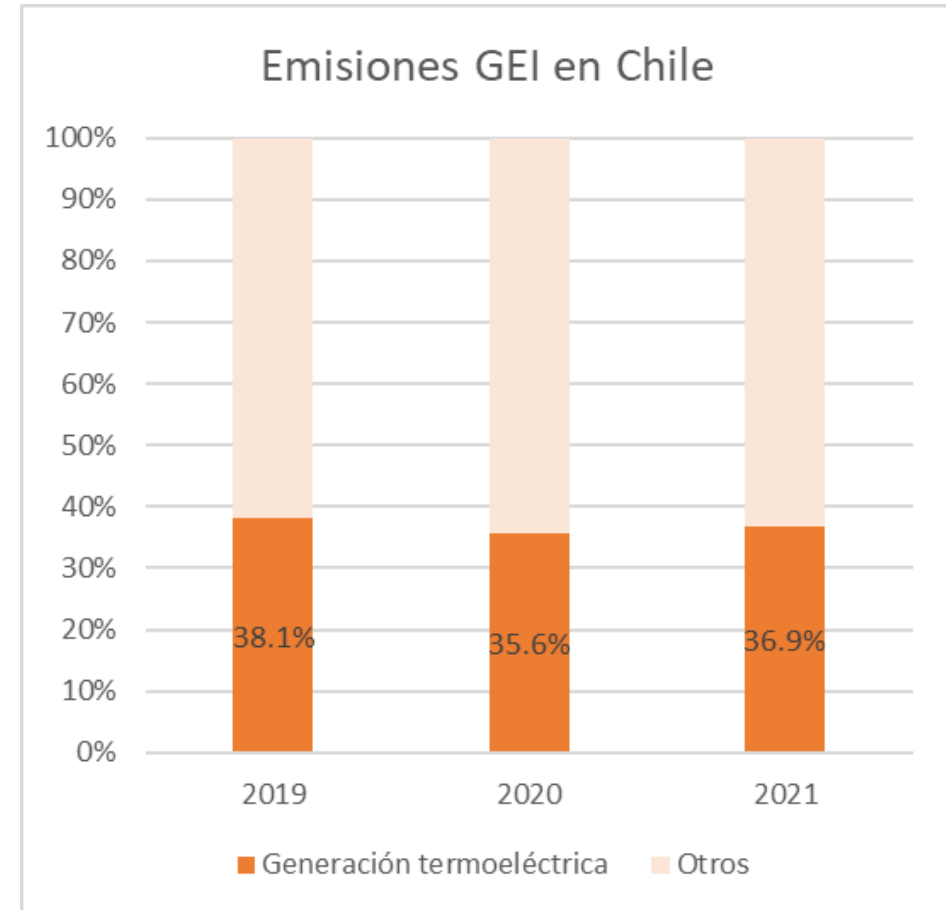
Cada retiro se reemplaza con un conjunto óptimo de inversiones

■ Carbón ■ GNL ■ Diesel ■ Hidráulica ■ Biomasa ■ Solar FV ■ Solar CSP ■ Eólica ■ Geotérmica ■ Bombeo ■ BESS

Estudios cuantitativos: Diagnósticos comunes

Diagnósticos comunes: Emisiones GEI

- Emisiones de GEI del SEN se reducirían varias veces respecto a sus valores actuales con retiro de centrales de carbón [KAS, 2019], [KAS, 2022], [SPEC, 2021]
 - Disminución entre 29 y 30 MTon CO₂ eq. por año (app. un tercio de emisiones GEI del país)
 - Generación termoeléctrica restante emitiría ~5 MTon CO₂ eq. anuales



Diagnósticos comunes: Nueva infraestructura

- Hay coincidencia en que se requiere de **inversiones significativas en nueva infraestructura**
 - Para mantener los costos de operación acotados y los costos marginales
 - Recursos existentes y ya comprometidos son insuficientes
 - No concretar nuevas inversiones crearía importantes riesgos a la seguridad de abastecimiento de la demanda y la seguridad operacional, así como también costos de operación y costos marginales varias veces superiores a los actuales
 - Alta generación termoeléctrica en algunos escenarios pondría en severo riesgo la anticipada reducción de GEI del proceso de descarbonización

Diagnósticos comunes: Sistemas de transmisión

- La **expansión y una mejor gestión de los sistemas de transmisión** existentes son críticos para:
 - Aprovechar todo el potencial de generación ERV
 - Disminuir los desacoples de costos marginales
 - Mejorar las señales de precio para fomentar nuevas inversiones

Diagnósticos comunes: Sistemas de almacenamiento

- **SAE tipo BESS** pueden resolver varios de los desafíos de más corto plazo en el proceso de descarbonización. Entre otros:
 - reducir vertimientos de ERV
 - satisfacer la demanda en horas de punta desplazando la generación diésel
 - optimizar el uso de los sistemas de transmisión
 - provisión de flexibilidad operacional y servicios complementarios
 - prestación de servicios para fortalecer la red
- **SAE de larga duración** serán clave en el mediano y largo plazo para mejorar la seguridad de abastecimiento de la demanda, especialmente en períodos prolongados de baja generación ERV

Diagnósticos comunes: Seguridad

- **Seguridad de abastecimiento**

- Es importante asegurar el suministro de GNL y diésel para mejorar la seguridad de abastecimiento de la demanda

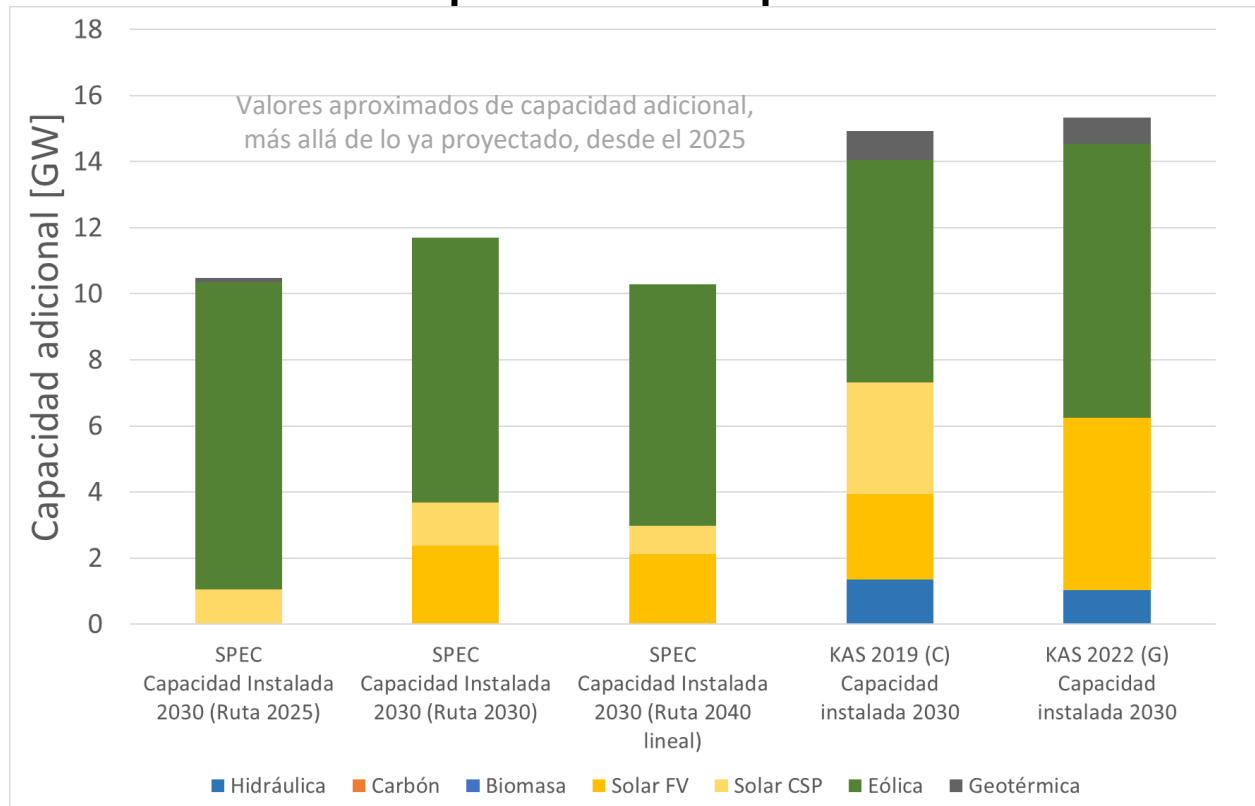
- **Seguridad operacional**

- Necesidad de aumentar la inercia sistémica y fortaleza de la red ante el retiro progresivo de las centrales termoeléctricas

Condiciones habilitantes

Habilitantes de la descarbonización

- Se requiere promover **inversiones adicionales en nueva generación** desde el 2025 para reemplazar carbón al 2030:



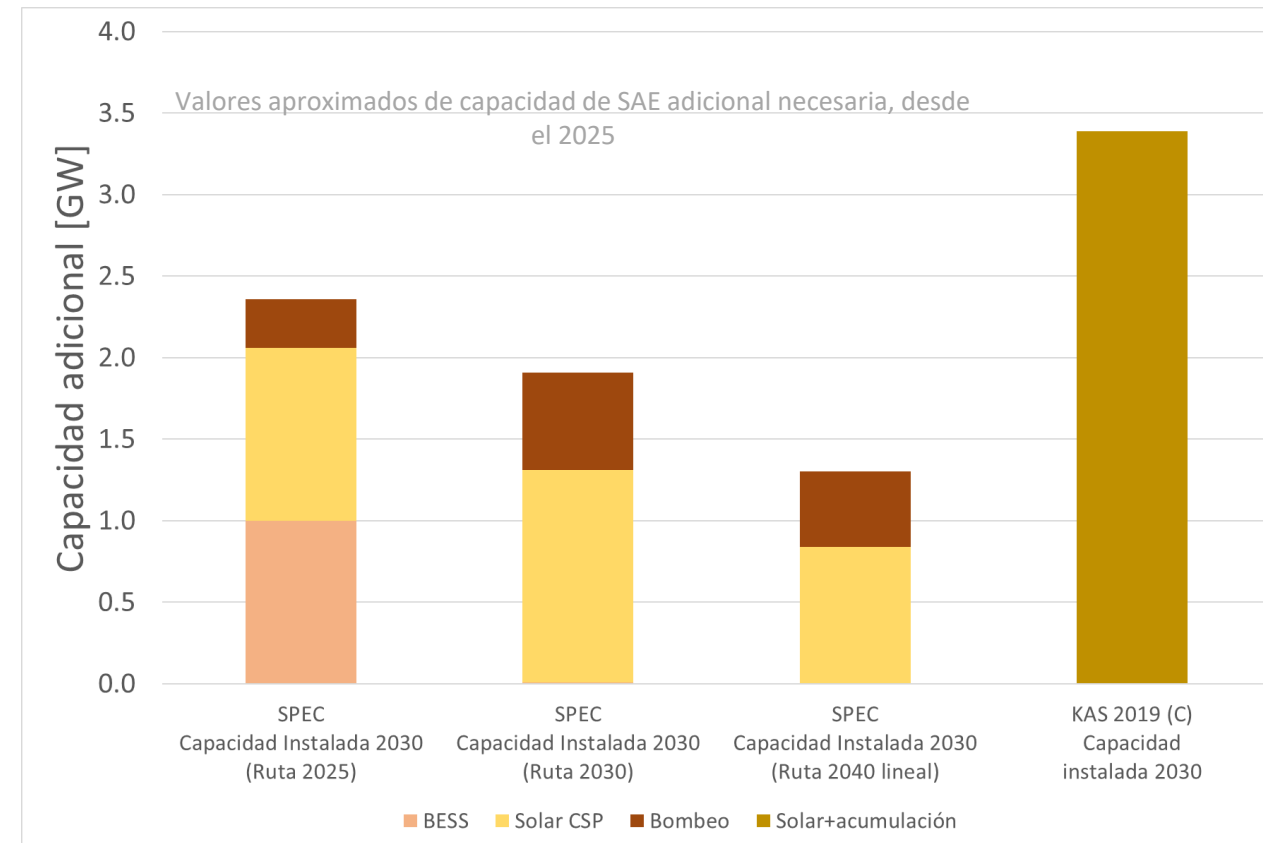
Mientras cantidades específicas varían, hay consenso en necesidad de aumentar nivel de inversiones

Habilitantes de la descarbonización

- Se requiere promover **inversiones adicionales en transmisión**
 - La expansión y una mejor gestión de la transmisión existente son críticos para aprovechar todo el potencial ERV y disminuir desacoples
 - [KAS, 2019]: ~800 MMUSD extra de inversión respecto a escenario BAU
 - [SPEC, 2021]: ~244 MMUSD de inversión en ruta 2030 (se co-optimiza generación y transmisión)
- Mientras se concretan inversiones necesarias para aliviar la congestión en transmisión, nueva capacidad de generación debiera estar ubicada cerca de centros de consumo

Habilitantes de la descarbonización

- Se requiere promover **inversiones en SAE**
 - Antes de 2025, **SAE tipo BESS** contribuyen con diversos desafíos de flexibilidad operacional
 - Desde 2025, **SAE de larga duración** permitirían mejorar seguridad de abastecimiento en períodos prolongados de baja generación ERV
 - Posterior al 2030, se requerirá más de ambos



Habilitantes de la descarbonización

- **Seguridad de abastecimiento de la demanda**

- Se debe monitorear la seguridad de abastecimiento con distintos horizontes de tiempo y ajustándose a las mejores prácticas internacionales para una provisión y gestión oportuna de los recursos [Gil, 2022a]
- Deben buscarse formas de proveer incentivos (de corto, mediano y largo plazo) para mejorar disponibilidad de recursos en el SEN
 - Revisar mecanismo de remuneración de potencia [Gil, 2022a]
 - Asegurar suministro de GNL y diésel mientras se hacen inversiones en SAE de larga duración [Gil, 2022a; SPEC, 2021]
- Puede que se necesiten inversiones para prolongar la operación de generadores GNL cercanos a cumplir su vida útil [SPEC, 2021]

Habilitantes de la descarbonización

- **Inercia sistémica y fortaleza de la red**

- Existe la necesidad de aumentar la inercia sistémica y fortaleza de la red ante el retiro progresivo de las centrales termoeléctricas [CEN, 2020; SPEC, 2021; MD, 2022]
- Soluciones posibles incluyen condensadores síncronos, reconversión de centrales a carbón (e.g. baterías térmicas o batería de Carnot), SAE y equipos de compensación reactiva, un diseño ad-hoc del sistema de control de la línea HVDC, y la participación de ERV en control de frecuencia.

Habilitantes de la descarbonización

- **Rediseño del mercado mayorista**
 - Necesidad de mejorar el diseño de mercado mayorista de energía
 - Perfeccionamiento de los mecanismos de formación de precios, del cálculo de los costos marginales, y de los criterios de programación y operación de los recursos del SEN permitirían proveer mejores señales de precios para fomentar las inversiones necesarias
 - Transición hacia un mercado basado en ofertas, acompañado de un adecuado monitoreo de la competencia en el mercado podría proveer señales de precios más eficientes
 - Implementación de mecanismos como los mercados en adelanto o FTRs permitiría a los agentes gestionar sus propios riesgos, reduciendo la volatilidad de sus ingresos en el mercado spot

Habilitantes de la descarbonización

• Participación de la demanda

- Participación más activa de la demanda permitiría postergar inversiones
 - Eficiencia energética
 - Respuesta de demanda
- Según destacan varios de los estudios, la demanda tiene un gran potencial para proveer flexibilidad a la red, reducir los requerimientos de potencia de punta
- Demanda puede tomar un rol preponderante en la formación de precios en un SEN sin combustibles fósiles
- La respuesta de demanda puede ayudar a equilibrar oferta y demanda en tiempo real, mejorando la eficiencia y confiabilidad del sistema eléctrico

Habilitantes de la descarbonización

- **Transición justa** [CS, 2020]
 - Se sugiere evaluar y potencialmente implementar programas de apoyo directo y/o programas de desarrollo comunal en las comunas que albergan centrales a carbón
 - Se recomienda la ejecución de estudios científicos independientes en las comunas con termoeléctricas a carbón para monitorear la calidad de aire y salud en las poblaciones expuestas
 - Se recomienda la elaboración de Planes de Cierre por parte de las empresas propietarias de las centrales a carbón, incluyendo la remediación y restauración de los sitios contaminados

Resumen y conclusiones

Conclusiones: Disenso

- Estudios cuantitativos tienen objetivos, alcances, horizontes, metodologías y supuestos diferentes
- Resultados y conclusiones difieren
 - En cuanto al monto y tipo de inversiones específicas que se deben realizar
 - En cuanto a los riesgos y potenciales costos asociados al retiro de centrales a carbón
- Pese a los disensos, se pueden inferir ciertos **diagnósticos comunes e identificar condiciones habilitantes de consenso**

Conclusiones: Consenso

- **Reducción de emisiones**

- El retiro de las centrales a carbón, si se acompaña por inversiones que reemplacen sus atributos, puede reducir de manera sustancial las emisiones de GEI del SEN

- **Inversiones tempranas**

- La descarbonización del SEN requiere amplias **inversiones tempranas** en generación, transmisión, almacenamiento y fortalecimiento de la red, entre otros, más allá de lo comprometido actualmente

- **Riesgos asociados**

- No concretar las inversiones necesarias pone en riesgo la eficiencia económica, la seguridad operacional, la seguridad de abastecimiento, y los mismos objetivos de reducción de emisiones

Conclusiones: Consenso

- **Seguridad de operación**
 - Descarbonización debe preservar la seguridad de operación, para lo cual se necesitan inversiones tempranas para fortalecer la red y revisar criterios de operación
- **Seguridad de abastecimiento**
 - Se debe monitorear seguridad de abastecimiento con diversos horizontes de tiempo y herramientas para prevenir eventuales problemas
 - Se debe asegurar el suministro de combustible en la medida que la generación térmica se va reemplazando
- **Se necesita almacenamiento de larga duración**
 - El almacenamiento de energía de larga duración permite mejorar la seguridad de suministro, bajar los costos de operación y reducir las emisiones en períodos prolongados de baja generación renovable variable

Conclusiones: Consenso

- **Revisión del mercado eléctrico mayorista**
 - Se debe repensar el mercado eléctrico para mejorar los incentivos para invertir en los recursos que se necesitan. Entre otros:
 - Mejorar mecanismos de formación de precios e incentivos
 - Proveer herramientas de gestión y riesgos
 - Ofrecer oportunidades para participación de la demanda
 - Fomento de la competencia
 - Perfeccionar mecanismo de remuneración de capacidad

Conclusiones: Consenso

- **Planes de cierre de las centrales**

- Se debe planificar bien el cierre de las centrales, permitiendo su reconversión a otras formas de generación cuando sea posible y el uso de combustibles bajos en carbono

- **Transición justa**

- Se debe cuidar de las comunidades en que están emplazadas las centrales:
 - Empleo
 - Salud de la población
 - Monitoreo y remediación ambiental

Descarbonización del SEN

Reducción de emisiones

- Retiro de centrales a carbón es clave para reducción de emisiones
- Reemplazar generación a carbón por diésel no aporta a este fin

Seguridad de operación

- Inercia
- Fortaleza de red
- Programación y operación del sistema

Seguridad de abastecimiento

- Monitoreo de la seguridad de abastecimiento
- Seguridad de combustibles
- Reconversión de centrales
- Almacenamiento de larga duración

Fomento de inversiones

- Generación
- Transmisión y soporte de red
- Almacenamiento de corta y larga duración

Rediseño del mercado eléctrico

- Mecanismos de formación de precios
- Herramientas de gestión de riesgos
- Participación de la demanda
- Mecanismos de capacidad prospectivos y competitivos

Transición justa

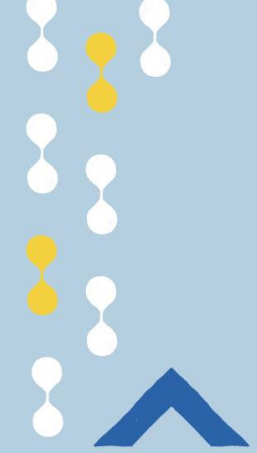
- Participación ciudadana
- Cuidado de las comunidades
- Justicia ambiental, energética y climática

Diagnósticos y recomendaciones para el proceso de descarbonización chileno

Esteban Gil esteban.gil@usm.cl

[Departamento de Ingeniería Eléctrica](#) | [Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica \(AC3E\)](#)
[Universidad Técnica Federico Santa María](#)

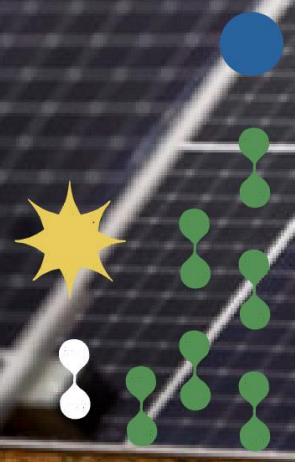




5

Jornadas de trabajo

Planificación, objetivos y temas a tratar



Calendarización de sesiones

Ejes temáticos

Eje 1: Modernización de la Red y el Mercado Eléctrico e Infraestructura

Eje 2: Reconversión Termoeléctrica y Combustibles de Transición

Eje 3: Transición Energética Justa y Comunidades

Septiembre

Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

Octubre

Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Noviembre

Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

Diciembre

Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Enero

Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

- Eje 1
- Eje 2
- Eje 3



Eje 1. Modernización de la red y el mercado eléctrico e infraestructura

Sesión 1 : Acceso abierto y señal de localización
26 de octubre de 2023

Presentación experto/a
Señal de localización

20 min

Presentación experto/a
Acceso abierto

20 min

Espacio opiniones y preguntas
Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿Se considera necesario entregar mayores señales de localización en el desarrollo de la transmisión? ¿De qué tipo? ¿Cómo debieran ser internalizadas por los agentes?
2. ¿Qué cambios regulatorios son necesarios para abordar los desafíos del acceso abierto?
3. ¿Qué otras mejoras al desarrollo de transmisión se consideran relevantes para habilitar el retiro de las centrales a carbón?



Eje 1. Modernización de la red y el mercado eléctrico e infraestructura

Sesión 2 : Planificación de la Transmisión, instrumentos para gestión de riesgos y Tarificación
9 de noviembre de 2023

Presentación experto/a

Metodologías para la Planificación de la Transmisión

20 min

Presentación experto/a

Mecanismo de coberturas de riesgo ante congestiones en Transmisión

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿Se visualizan oportunidades de mejora en la metodología de la planificación de la Transmisión?
¿Cuáles son las principales?
2. ¿Cuáles son las nuevas tendencias metodológicas para realizar la planificación de la Transmisión y que puedan ser implementables en Chile?
3. ¿Cuán necesario es evaluar mecanismo de cobertura de riesgos ante desacoples?
4. ¿Cuán necesario es realizar modificaciones a la tarificación de los sistemas de transmisión?
¿Cómo incentivar la adopción de tecnología que le de flexibilidad a la red?



Eje 1. Modernización de la red y el mercado eléctrico e infraestructura

Sesión 3 : Mercado mayorista (Energía, SSCC y Potencia)

7 de diciembre de 2023

Presentación experto/a

Funcionamiento de mercados avanzados (Experiencia internacional)

20 min

Presentación experto/a

Modificaciones regulatorias necesarias

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿Qué principios u objetivos se debieran perseguir para el desarrollo de un nuevo mercado mayorista que permita la operación sin centrales a carbón?
2. ¿Qué tipo de diseño de mercado se debiera evaluar para incentivar inversiones que permitan el retiro de centrales a carbón?
3. ¿Qué oportunidades y riesgos se visualizan en esta reforma al mercado?
4. ¿Qué elementos son habilitantes para la reforma?
5. ¿Qué elementos son habilitantes para el retiro de las centrales a carbón? ¿Cómo podemos dar las señales que los impulsen?



Eje 1. Modernización de la red y el mercado eléctrico e infraestructura

Sesión 4 : Transición hacia un nuevo mercado mayorista y modernización de la operación
25 de enero de 2024

Presentación experto/a

Competencia en el mercado eléctrico

20 min

Presentación experto/a

Modernización de la operación del sistema

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿Qué elementos del mercado actual se debieran modificar en el corto plazo y cuáles en el mediano y largo plazo?
2. ¿Qué indicadores o antecedentes son relevantes de monitorear para ir avanzando en la implementación de la reforma?
3. ¿Qué cambios regulatorios y no regulatorios contribuyen a la modernización de la operación?



Eje 2. Reconversión termoeléctrica y combustibles de transición

Sesión 1 : Condiciones habilitantes y metas: gestión climática y ambiental.
28 de septiembre de 2023

Presentación Ministerio

Desafíos hacia una matriz eléctrica baja en emisiones

20 min

Presentación Ministerio

Instrumentos de gestión climática y ambiental

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿Qué caminos debemos tomar para alcanzar la meta de 100% de energías cero emisiones al 2050 en generación eléctrica y un 80% de energía renovable al 2030?
2. ¿Cómo logramos cumplir, e idealmente adelantar, la meta de carbono neutralidad en el actual contexto? ¿Qué esfuerzos adicionales se necesitan?
3. ¿Cómo interactúa la relación entre la reducción de contaminantes globales y locales, vinculando desafíos de cambio climático y de contaminación de manera integrada?



Eje 2. Reconversión termoeléctrica y combustibles de transición

Sesión 2 : Alternativas de reconversión termoeléctricas: renovables y combustibles mixtos
12 de octubre de 2023

Presentación internacional

Experiencia en reconversión térmica dual

20 min

Presentación internacional

Experiencia en reconversión renovable

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿Cuáles son las alternativas de reconversión de centrales que se están evaluando en el mundo? Para las centrales carboneras chilenas, ¿cuáles son las reconversiones más factibles?
2. ¿Qué señales regulatorias son necesarias para concretar la reconversión de las centrales? ¿Existe interés en la evaluación de distintas alternativas?
3. ¿Qué alternativas de reconversión aportan más en la reducción de emisiones (en distintas temporalidades) y/o cuáles aportan más en atributos sistémicos relacionados con la resiliencia y la robustez de los sistemas eléctricos?



Eje 2. Reconversión termoeléctrica y combustibles de transición

Sesión 3 : Combustibles de transición
23 de noviembre de 2023

Presentación Organismo

Alternativas del proceso de descarbonización

20 min

Presentación Organismo

El rol del gas natural en la transición energética

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿Cuáles son las condiciones mínimas necesarias que requiere el sistema eléctrico para el retiro anticipado de las centrales a carbón?
2. ¿Qué rol juega el gas natural y los combustibles de menores emisiones en la transición energética?
3. ¿Es el gas natural el combustible habilitante de la transición energética? De ser así ¿Qué señales regulatorias de largo plazo son necesarias para que el gas natural sea el combustible de la transición?, ¿y cómo alcanzamos la meta de la Política de un sistema eléctrico 100% limpio de emisiones?



Eje 2. Reconversión termoeléctrica y combustibles de transición

Sesión 4 : Seguridad de Abastecimiento
11 de enero de 2024

Presentación Organismo

Seguridad de Abastecimiento

20 min

Presentación Ministerio

Infraestructura y logística de los hidrocarburos

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿Cuáles son los riesgos sistémicos del retiro anticipado de las centrales a carbón?
2. ¿Cómo aumentan los requerimientos energéticos de otros combustibles en el mediano y largo plazo con el retiro de las centrales a carbón?
3. ¿Cuáles son los desafíos en la logística de abastecimiento de combustibles? ¿Cuáles son las necesidades en infraestructura para contar con un sistema robusto de abastecimiento?



Eje 3. Transición Energética Justa y Comunidades

Sesión 1 : Planificación Energética y Territorial participativa

16 de noviembre de 2023

Presentación Ministerio

Estado de avance y relación distintos instrumentos de planificación energética y territorial

20 min

Presentación Ministerio / Organismo

Proyectos y emplazamiento territorial

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. Mientras se desarrollan y adaptan los instrumentos de planificación energética ¿cómo definir dónde instalar las zonas que concentren proyectos de energía generando el menor impacto social, territorial y ambiental posible?
2. Y cuando ya existan los distintos instrumentos de planificación ¿cómo incidir para que los proyectos se instalen donde ahí se define? (incentivos, normas)
3. ¿De qué manera podrían requerirse cambios en la planificación energética, licitaciones u otras normativas para facilitar la instalación armónica de los proyectos en los territorios?



Eje 3. Transición Energética Justa y Comunidades

Sesión 2 : Estándares ambientales y sociales e involucramiento ciudadano 30 de noviembre de 2023

Presentación Organismo

Impactos ambientales de la infraestructura energética

20 min

Presentación Ministerio

Impactos sociales de la infraestructura energética

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. Para cumplir la meta de carbono neutralidad se requiere una cantidad muy importante de proyectos de energía, ¿de qué manera los proyectos podrían generar menos impactos sociales y ambientales en las comunidades y territorios vecinos? (en ciertos ámbitos específicos identificados como de mayor afectación)
2. ¿Qué medidas normativas, o de incentivos o compensatorias se podrían implementar para minimizar los impactos sociales y ambientales?
3. ¿Cómo avanzamos hacia proyectos de energía con menor impacto en los ecosistemas y comunidades locales?



Eje 3. Transición Energética Justa y Comunidades

Sesión 3 : Justicia ambiental y beneficios compartidos

14 de diciembre de 2023

Presentación Organismos

- Transición Justa y proyectos de energía
- Pobreza energética

20 min

Presentación Ministerio

Beneficios compartidos en el sistema internacional de DDHH y en experiencia comparada. Insumos generados en Seminario

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

Preguntas a tratar:

1. ¿De qué manera los proyectos de energía pueden ser buenas noticias para las comunidades vecinas y aportar a su desarrollo?
2. ¿Qué modificaciones en la planificación energética, en la normativa eléctrica, en incentivos, en licitaciones o en sistema tributario podrían realizarse para lograr que las comunidades accedan a los beneficios que generan los proyectos de energía?
3. ¿Qué modificaciones en las normativas ya existentes sobre patentes municipales y servidumbres podrían realizarse?
4. ¿Cómo avanzamos entre las distintas opciones posibles?, ¿cuál tomamos?



Eje 3. Transición Energética Justa y Comunidades

Sesión 4 : Reconversión productiva en zonas de transición *18 de enero de 2024*

Presentación Organismo Internacional

-Experiencia de transición energética justa

20 min

Presentación Experto/a

Instrumentos posibles en Chile

20 min

Espacio opiniones y preguntas

Plataforma participativa

80 min

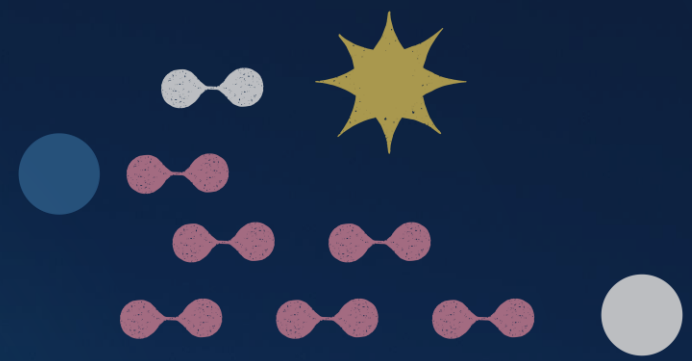
Preguntas a tratar:

1. ¿Qué posibilidades tienen las zonas en transición de reconvertirse productivamente? ¿hacia dónde?
2. ¿Qué cambios normativos o de planificación se requiere para hacer esto posible?
3. ¿Cómo podríamos incentivar una reconversión productiva sostenible en las zonas de transición energética?, ¿con qué instrumentos?



Ministerio de
Energía

Gobierno de Chile



Anexo: Resultados principales de estudios cuantitativos

Resultados principales [CEN, 2020]

- Si no se hacen las inversiones necesarias:
 - Costos marginales del orden de 200 USD/MWh en la noche (4 veces el valor actual) sin carbón y limitaciones de combustible
 - Aumento de costos de operación (entre el doble y el triple) en ciertos escenarios
 - Generación a carbón reemplazada por una combinación de generación GNL y diésel
 - No se observa déficit de abastecimiento, pero si mucha generación diésel y potenciales riesgos de suministro.
 - Escenarios más críticos alcanzan valores del orden de 570 USD/MWh y promedios diarios cercanos a los 390 USD/MWh
 - Costos totales de operación aumentarían del orden de 90% en ciertos escenarios
 - Niveles de inercia sistémica y niveles de potencia de cortocircuito preocupantes en la zona Norte del SEN.
 - Hay vertimiento de ERV debido a inflexibilidad de centrales GNL

Resultados principales [KAS, 2019] y [KAS, 2022]

- Al hacer todas las inversiones necesarias, bajo condición de operación ideal:
 - [KAS, 2019] Se necesitan 2200 MW en plantas FV, 1152 MW de plantas eólicas, 2700 MW de centrales de concentración solar y 890 MW de geotermia, lo que supone una inversión al año 2022 de 15407 MUSD.
 - [KAS, 2022] Al 2030 se necesitan 3300 MW de generación FV, 500 MW en generación eólica y 900 MW de CSP con almacenamiento de 13 horas. Se necesita aún más para desgasificar, y desgasificación no es completa al mantenerse una cantidad no despreciable de generación a gas post 2035.
 - Retiro de las termoeléctricas a carbón supone un aumento en la generación a gas natural.
 - Retiro de centrales a carbón: Disminución de 30 MTON CO₂ por año y del orden de 396 MTON CO₂ en el periodo 2022–2039. Causaría reducción de 90% de emisiones al 2030, hasta 3 MTON/año.
 - Escenario Sin Carbón resulta 2414 Millones de dólares más caro que el escenario BAU.
 - Costo de reducción unitario es 6.1 USD/Ton en el periodo 2022–2039.
 - Costos actualizados de operación serían 70% más bajos en escenario Sin Carbón.
 - Resultados muestran que los ahorros pagarían las inversiones extras en generación renovable.

Resultados principales [SPEC, 2021]

- Al adaptar inversiones usando modelo de planificación:
 - Se requiere alta inversión en ERV para periodo 2022-2030 y tecnología de base como CSP y SAE para horizonte 2030-2040.
 - En escenario futuro, se requieren en torno a 5 GW en obras de generación adicionales en el corto plazo, por sobre los 10 GW de proyectos ya comprometidos, y un desarrollo de capacidad adicional por +7,5 GW para ir reemplazando las centrales a carbón que se retiran, dentro de los cuales se requiere en torno a 1,9 GW en SAE de gran duración.
 - No concretar las inversiones necesarias implicaría despachar más de seis veces los valores actuales de generación diésel, especialmente durante eventos de baja generación ERV
 - Se requiere asegurar la presencia de gas natural para generación de manera relevante durante todo el año para evitar el uso de diésel.
 - Almacenamiento necesario para mitigar el alza de los costos marginales en horas no solares, reducir la congestión en horas solares, y limitar necesidad de despachar generación diésel

Anexo: Conclusiones principales de estudios cualitativos

Conclusiones principales [Gil, 2022a]

- Propuestas sobre **variabilidad y seguridad de suministro** en base a revisión internacional:

Línea de acción 1: Monitoreo de las condiciones futuras de suficiencia del SEN

Realizar estudios de seguridad de abastecimiento de corto, mediano y largo plazo, ajustándose a los estándares internacionales para este tipo de estudios, revisando plazos, horizonte, frecuencia, resolución temporal, métricas entregadas, metodología, características del modelo y de sus entradas y salidas, entre otros.

Línea de acción 2: Proveer incentivos para mejorar disponibilidad de recursos en el SEN

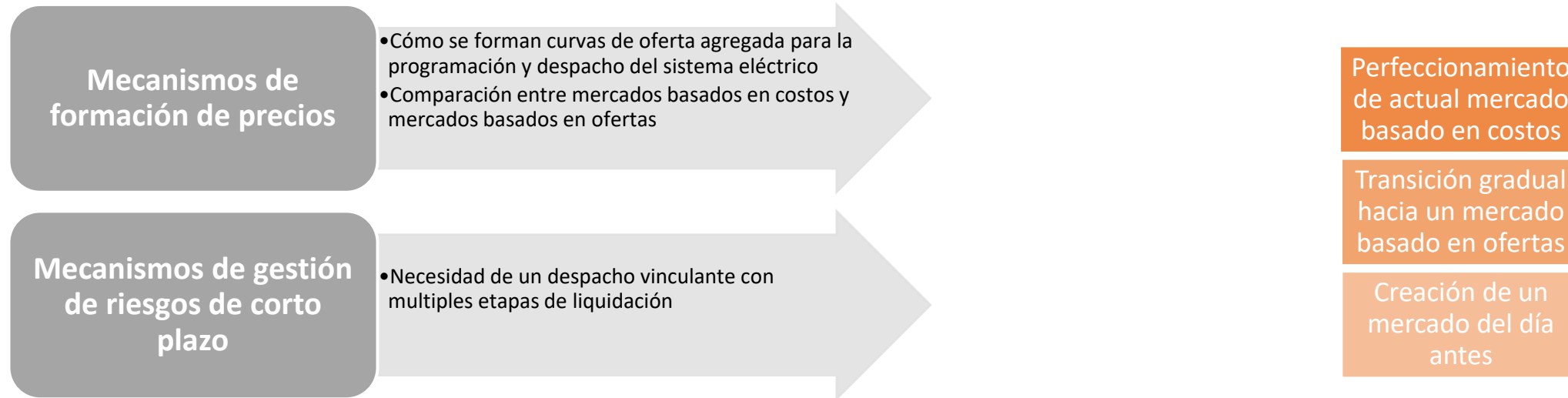
Revisar mecanismo de remuneración de potencia actual y explorar desarrollo de un mecanismo de remuneración de capacidad prospectivo competitivo

Línea de acción 3: Desarrollo de política nacional de seguridad de combustibles

Desarrollo de planes de acción ante contingencias, fomentar la infraestructura de almacenamiento de combustibles y evaluar mecanismo centralizado para la importación de GNL

Conclusiones principales [Gil, 2022b]

- **Análisis crítico** en dos ejes temáticos y propuestas de **modificaciones al mercado energía de eléctrica** en tres líneas de acción



Ejes temáticos

Líneas de acción

Conclusiones principales [CS, 2020]

- **Análisis crítico** desde la perspectiva de la **transición justa**, identificando desafíos y haciendo propuestas conceptuales en distintos ejes:
 - **Reconversión laboral:** Se sugiere evaluar y potencialmente implementar programas de apoyo directo y/o programas de desarrollo comunal en las comunas que albergan centrales a carbón
 - **Reparación de daños a la salud:** Se recomienda la ejecución de estudios científicos independientes en las comunas con termoeléctricas a carbón para monitorear la calidad de aire y salud en las poblaciones expuestas
 - **Remediación ambiental y restauración de pasivos ambientales:** Se recomienda la elaboración de Planes de Cierre por parte de las empresas propietarias de las centrales a carbón, incluyendo la remediación y restauración de los sitios contaminados

Referencias

Referencias (estudios cuantitativos)

- [CEN, 2020] Coordinador Eléctrico Nacional, “Análisis de la Operación y Abastecimiento del Sistema Eléctrico Nacional de Chile en un escenario de retiro total de centrales a carbón al año 2025”, elaborado para Comisión de Minería y Energía, de la Honorable Cámara de Diputados. Santiago, Chile, 2020.
- [KAS, 2019] KAS Ingeniería, “Estudio Prospectivo Escenario de Descarbonización Eléctrica al 2030”, elaborado para Chile Sustentable. Santiago, Chile, 2019.
- [KAS, 2022] KAS Ingeniería, “Escenarios para el Retiro del Gas de la Matriz Eléctrica en Chile al Año 2035 (Recomendación AIE para Economías Avanzadas) y al Año 2040 (Desfossilización moderada)”, elaborado para Chile Sustentable. Santiago, Chile, 2022.
- [SPEC, 2021] SPEC-ISCI-UTFSM, “Análisis y Propuesta de una Ruta de Referencia para Alcanzar Cero Emisiones en el Sector de Generación de Energía Eléctrica en Chile”, elaborado para ACERA. Santiago, Chile, 2021
- [MD, 2022] Estrategia para Avanzar Hacia un Sistema Eléctrico Nacional Bajo en Carbono. Mesa de Descarbonización Tripartita, Ministerio de Energía, Comisión Nacional de Energía y Coordinador Eléctrico Nacional. Santiago, Chile, Octubre 2022.

Referencias (estudios cualitativos)

- [Gil, 2022] Esteban Gil, “Asesoría plan de acción técnico de descarbonización acelerada para el Sistema Eléctrico Nacional”, elaborado para GIZ-Ministerio de Energía. Santiago, Chile, 2022.
 - [Gil, 2022a] Esteban Gil, “Variabilidad y seguridad de abastecimiento de la demanda en el proceso de descarbonización chileno: Contexto nacional, revisión internacional, líneas de acción y propuestas conceptuales”, elaborado para GIZ-Ministerio de Energía. Santiago, Chile, 2022.
 - [Gil, 2022b] Esteban Gil, “Análisis y propuestas de modificaciones al mercado de energía eléctrica mayorista en el marco del proceso de descarbonización chileno: Contexto nacional, revisión internacional, líneas de acción y propuestas conceptuales”, elaborado para GIZ-Ministerio de Energía. Santiago, Chile, 2022.
- [CS, 2020] Chile Sustentable, “Transición Justa, Desafíos para el Proceso de Descarbonización, la Justicia Energética y Climática en Chile”. Santiago, Chile, 2020.