



Generadoras de Chile

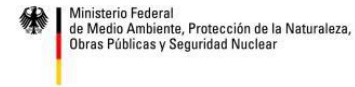
Visión de la industria sobre la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico chileno

INTERCAMBIO DE EXPERIENCIAS EN MATERIA DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN REPÚBLICA DOMINICANA Y CHILE

Rodrigo Solís Moreno
Director de Estudios y Contenidos
Generadoras de Chile
27 de septiembre de 2018



Por encargo de:



de la República Federal de Alemania

Buscamos inspirar y liderar la transición energética

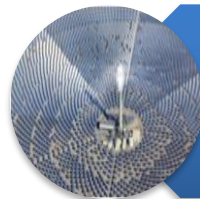
- En Generadoras de Chile promovemos buenas políticas públicas y mejores prácticas en el uso y generación de energía eléctrica para una adecuada transición energética.
- Somos el gremio que representa a un grupo amplio y diverso de empresas de generación eléctrica operando en Chile, con cerca del 80% de la capacidad instalada y de generación eléctrica.
- Nuestros socios desarrollan, construyen y operan proyectos en todas las fuentes de energía, renovables hidráulica, solar, geotermia, biomasa y eólica, como también termoeléctricas.



Tres pilares que definen la transición energética



Electrificar la matriz energética



Aprovechar nuestras fuentes renovables



Sustentabilidad y legitimidad

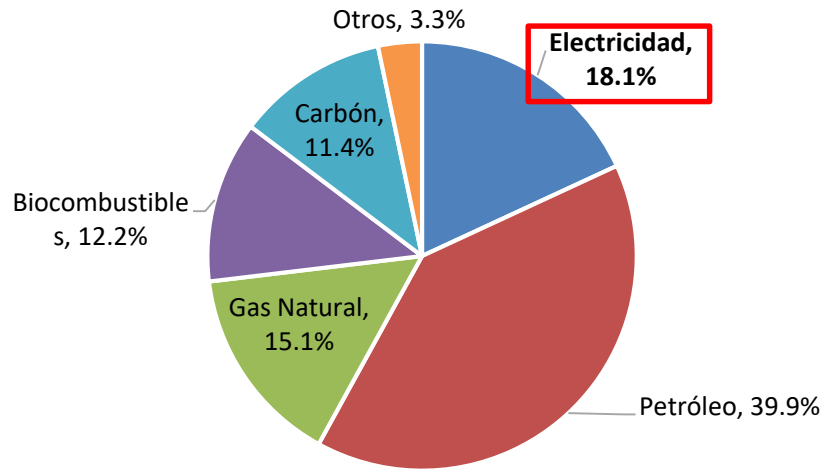
Pilar 1

ELECTRIFICAR LA MATRIZ ENERGÉTICA

Sólo cerca del 20% del consumo final de energía en el mundo y en Chile es electricidad

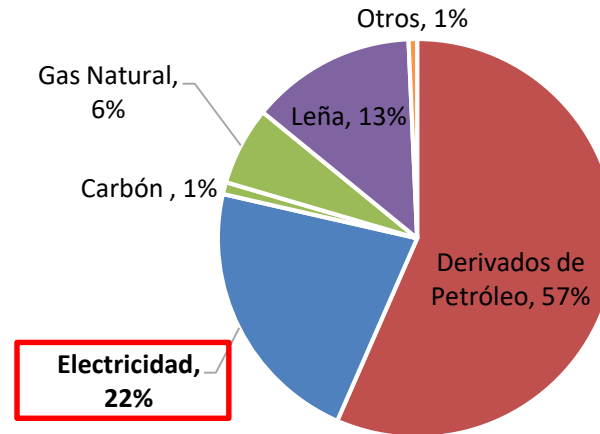
Principal energético corresponde a los derivados del petróleo

Mundo



Nota: Valores para 2014 (IEA 2016)

Chile

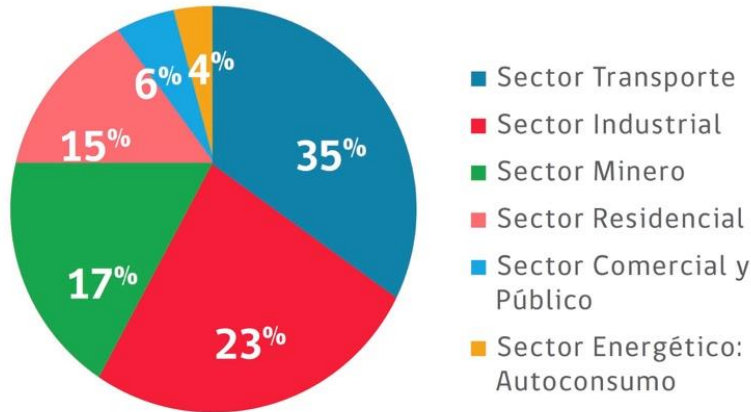


Nota: Valores para 2015 (BNE 2015)

Por ejemplo, en Chile el transporte representa un 35% del consumo energético

Solo un 2% del consumo en transporte proviene de energía eléctrica

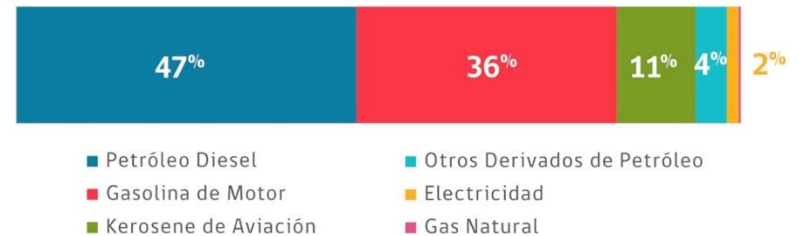
Consumo energético anual según sector



Consumo energético según modo transporte



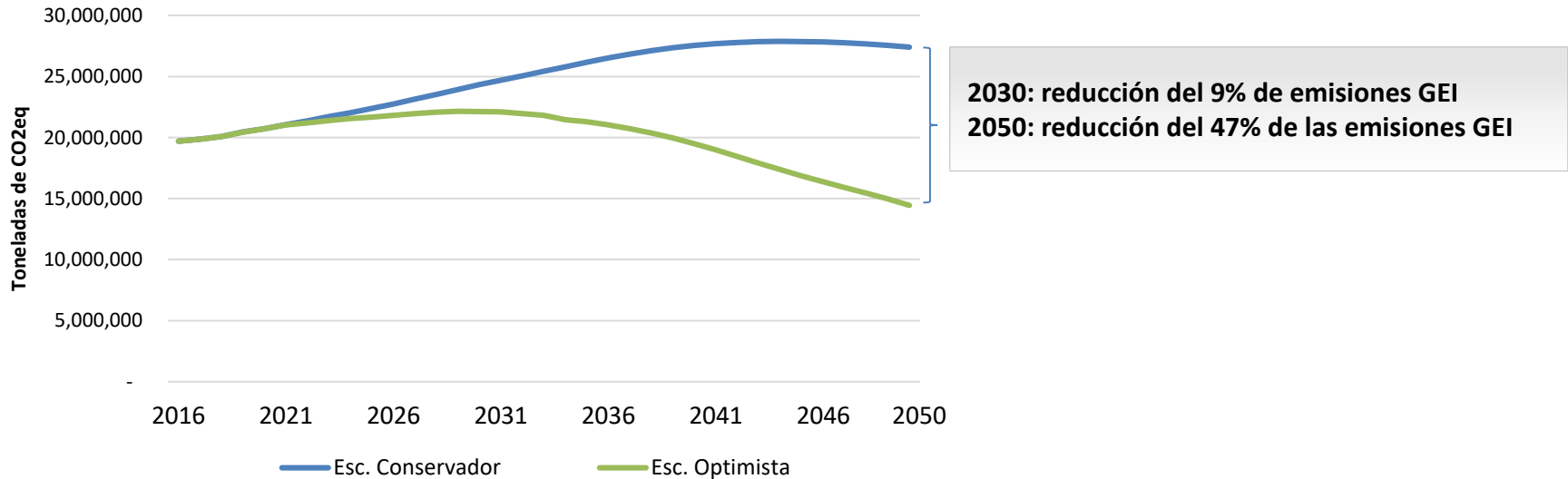
Transporte: fuente de energía



Fuente: Balance Nacional de Energía (2015)

La mayor penetración de vehículos eléctricos permitirá revertir la tendencia al alza de las emisiones de GEI del transporte terrestre

Toneladas de CO2 eq

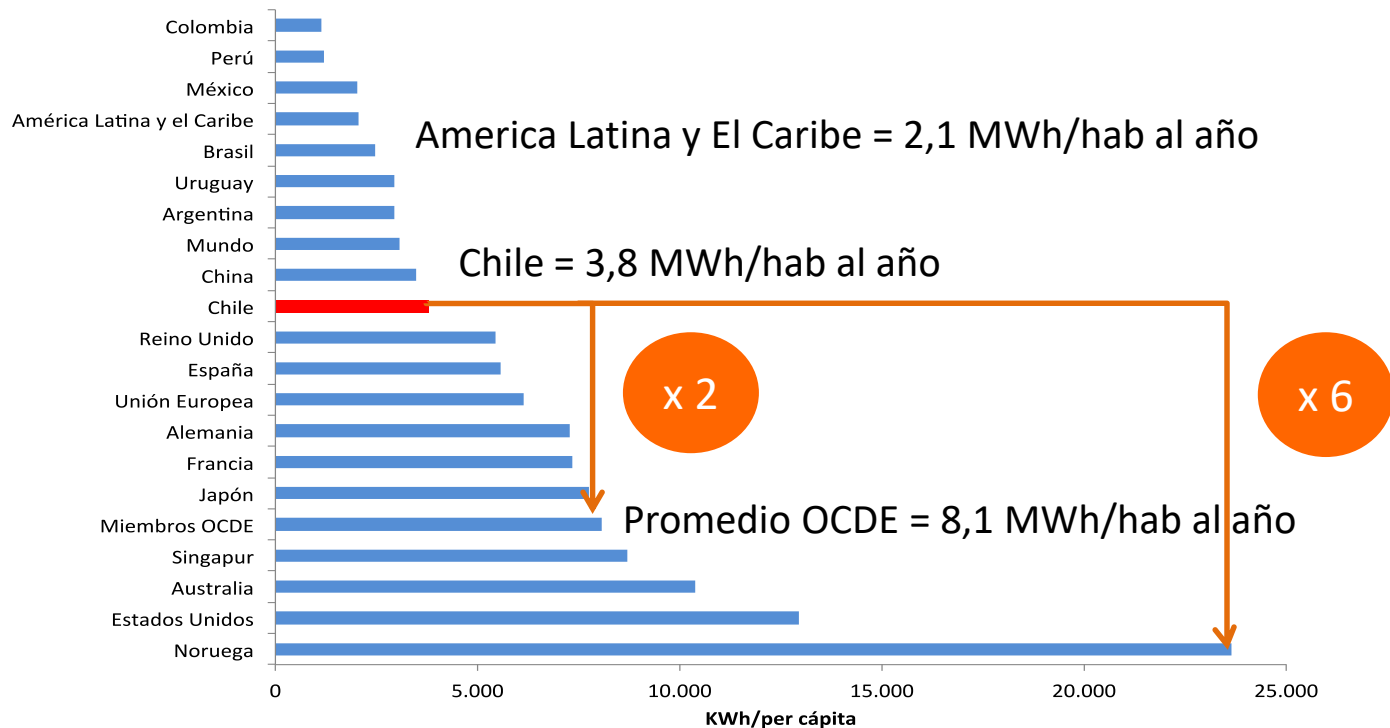


Fuente: Estudio Escenarios Prospectivos de Consumo Eléctrico, 2017

Pilar 2

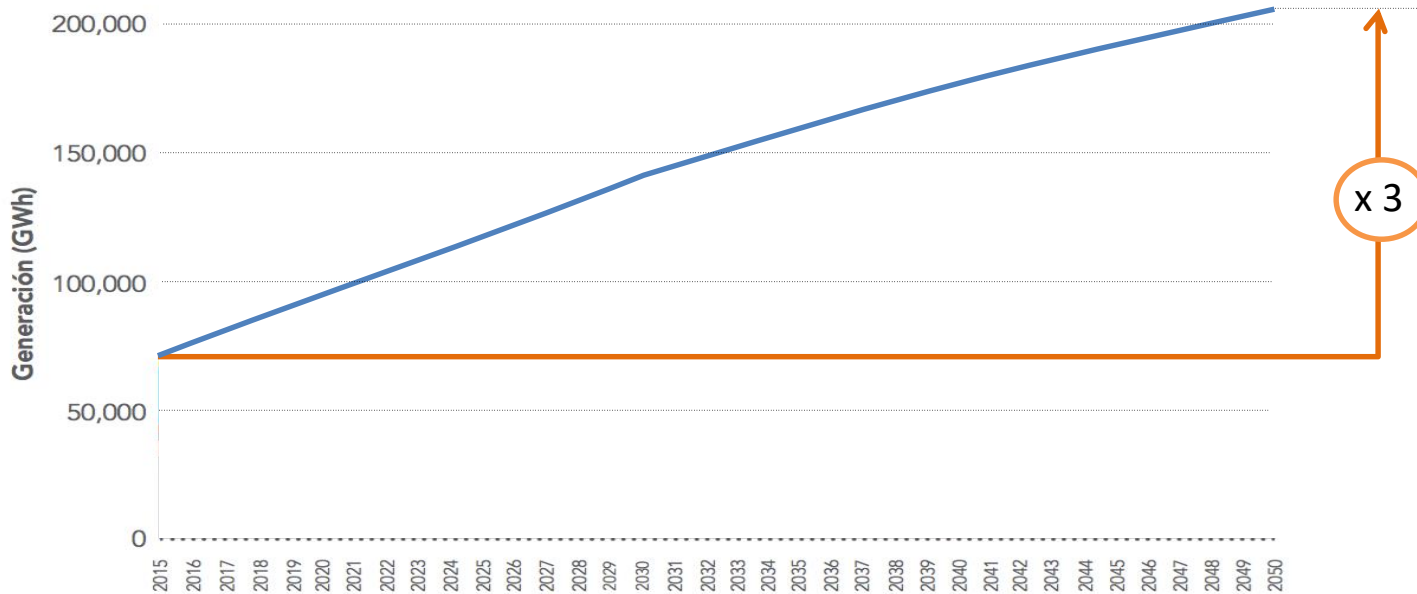
APROVECHAR NUESTRA RIQUEZA Y DIVERSIDAD RENOVABLE

Chile tiene aun una gran brecha de consumo de electricidad respecto de países desarrollados



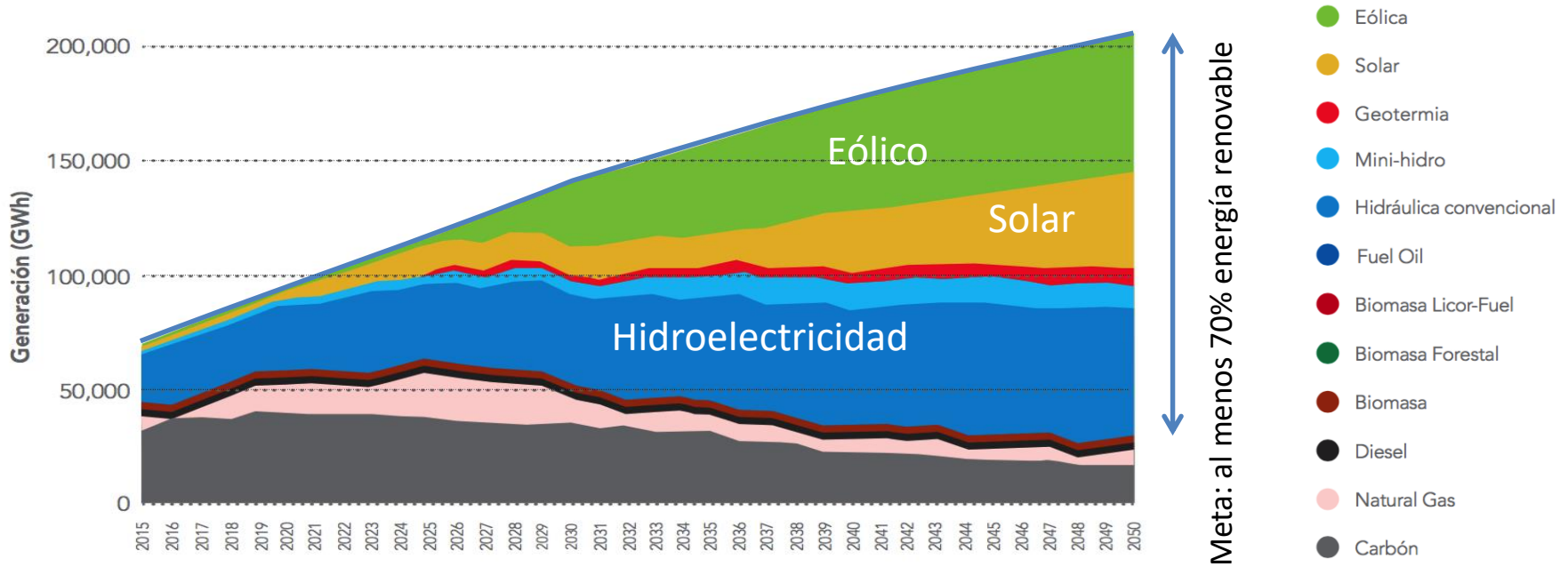
Fuente: Banco Mundial, 2015

La Política Energética proyecta que el consumo de electricidad crecerá entre 2 y 3 veces al 2050 ...



Fuente: Escenarios de demanda, Hoja de Ruta Energía 2050
1 TWh (terawatthora) = 1.000 GWh (Gigawatthora)

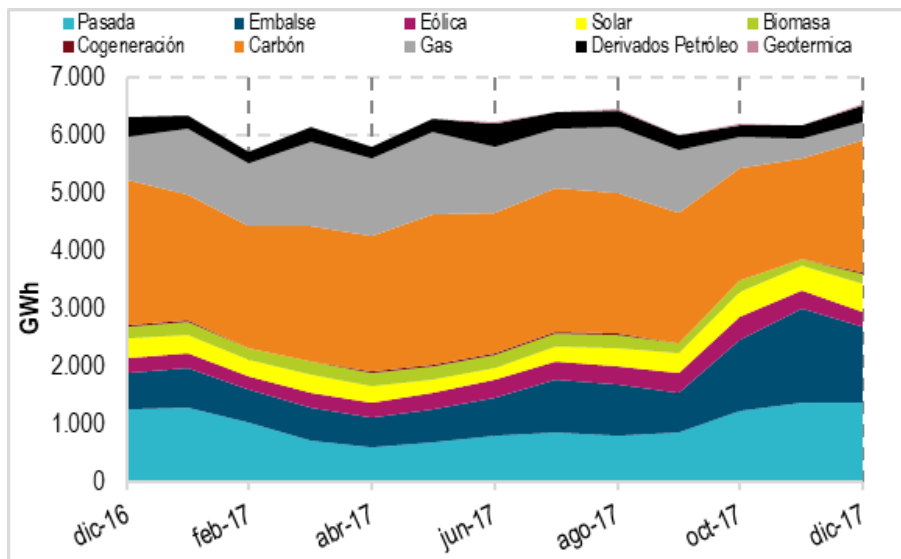
...y propuso una meta (en 2015):
 al menos un 70% de la generación al 2050 será renovable
 hidroeléctrica, solar, eólica, biomasa, geotermia y otras



Fuente: Escenarios de generación, Hoja de Ruta Energía 2050
 1 TWh (terawatthora) = 1.000 GWh (Gigawatthora)
 Banco Itaú

En el 2017 un 57% de la generación de electricidad fue termoelectricidad y un 43% fue renovable, principalmente hidroeléctrica

Generación mensual últimos 13 meses [GWh]

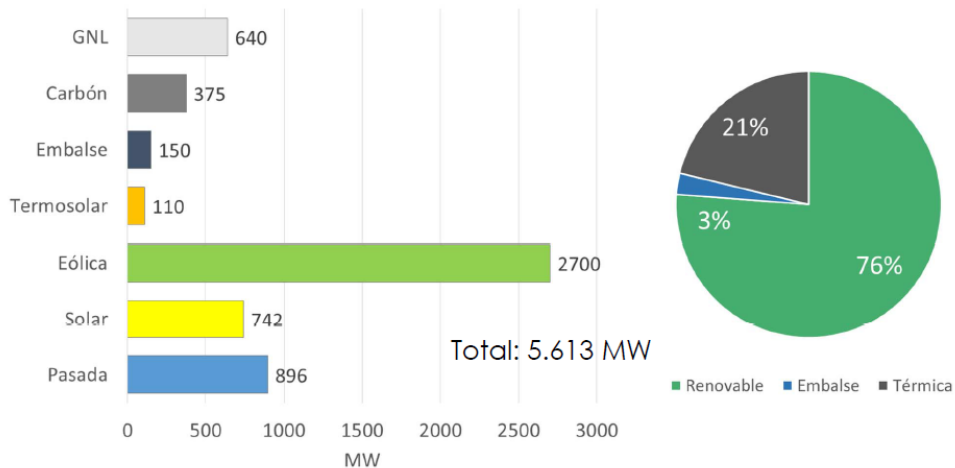


Generación bruta anual 2017

Fuente	GWh	%
Renovable	31.777	43 %
Hídrico	21.792	29 %
Biomasa	2.462	3 %
Eólico	3.546	5 %
Solar	3.913	5 %
Geotermia	64	0,1 %
Térmico	42.447	57 %
Total	74.224	100 %

Se proyecta que 76% de capacidad instalada de nuevas centrales en período 2017 a 2022 será de fuentes renovables

Las ERV (Energías Renovables Variables) suman más de 3.000 MW



Fuente: Systep, 2017.

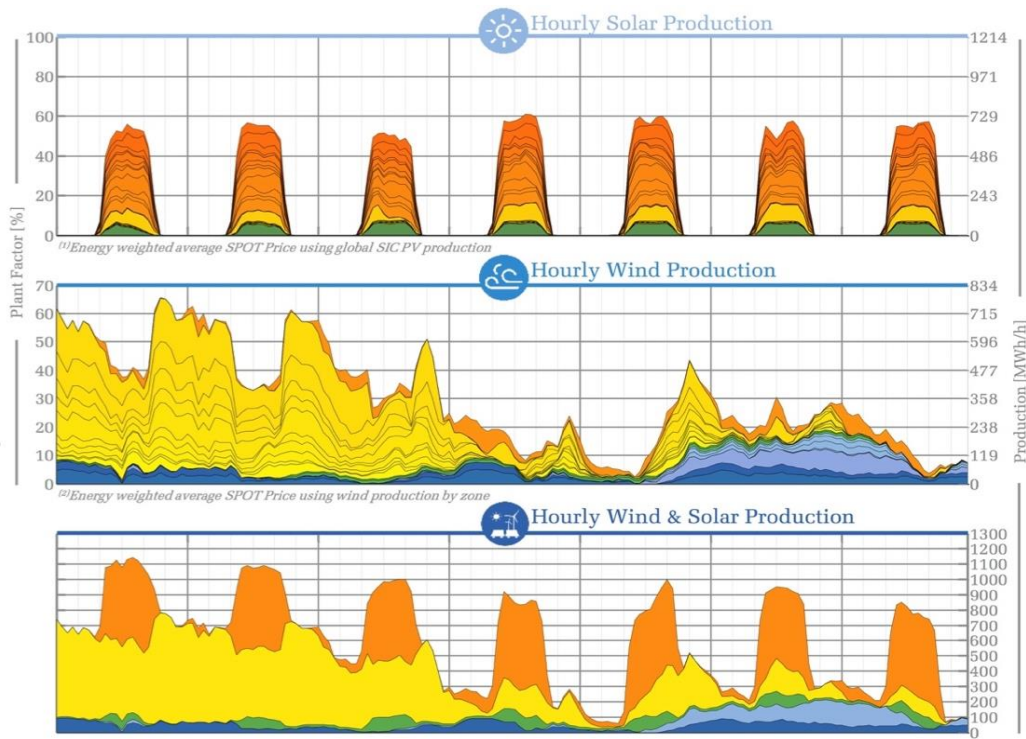
Y a más largo plazo (2026 a 2029), se prospecta que el 100% de capacidad instalada de nuevas centrales serán de fuentes renovables: el 98% provendría de Energías Renovables Variables

Central	Fecha puesta en servicio	Potencia [MVA]	Tecnología	Punto de Conexión
Hidroeléctrica VII Región 03	ene-26	20	Pasada	Ancoa 220
EOLICO SING III	ene-26	200	Eólica	Encuentro 220
Eolica Puerto Montt 01	ene-27	250	Eólica	Puerto Montt 220
Hidroeléctrica VIII Región 03	ene-27	20	Pasada	Nueva Charrua 220
EOLICO SING IV	ene-27	200	Eólica	Encuentro 220
Grupo MH X Región 01	jun-27	60	Pasada	Nueva Puerto Montt 220
Eolica Charrua 01	ene-29	200	Eólica	Nueva Charrua 220
Solar SING I	ene-29	100	Solar	Parinacota 220
Eolica Maitencillo 01	abr-29	200	Eólica	Maitencillo 220

Fuente: CNE, Informe Técnico Definitivo, Segundo Semestre 2018.

Un importante desafío será gestionar la variabilidad de solar y eólica

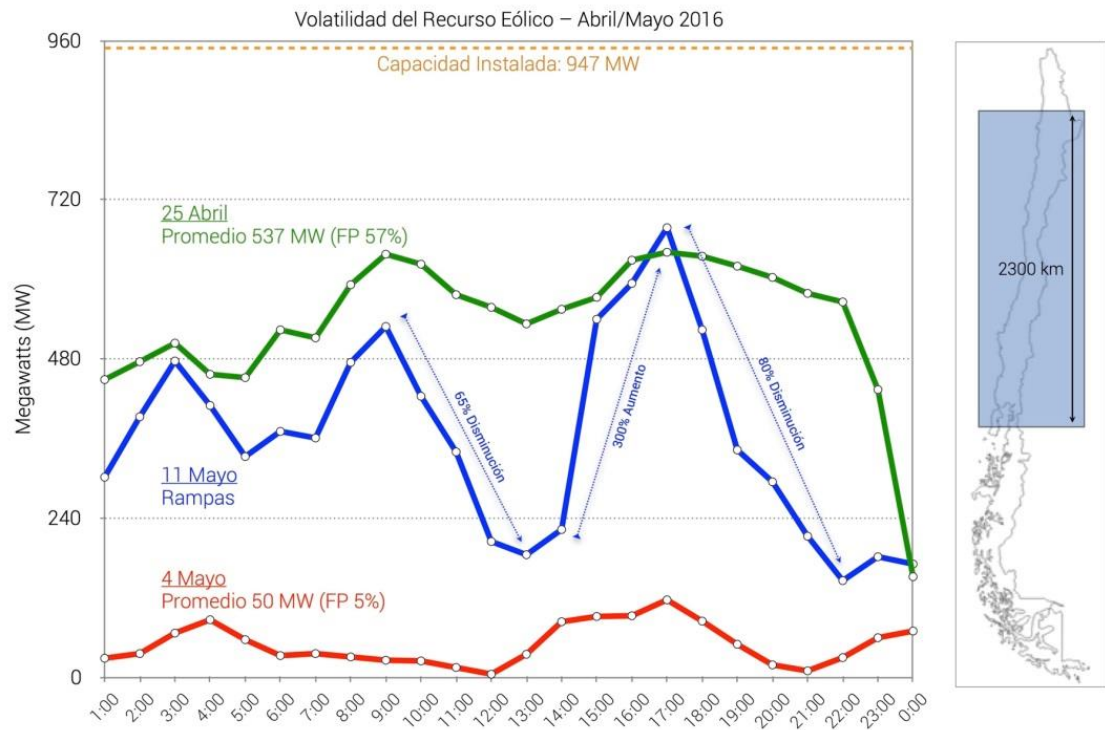
Producción de energía eólica y solar en el SIC entre el 24 al 30 de Abril e 2017



Leyenda



Caso de estudio: generación eólica horaria en Chile en tres días de 2017 muestran que recurso eólico es abundante, pero volátil



Desafío está en dar señales transparentes y suficientes para inversión y operación en mayor flexibilidad



Estudio: Análisis de Largo Plazo para el Sistema Eléctrico Nacional de Chile considerando Fuentes de Energía Variables e Intermitentes



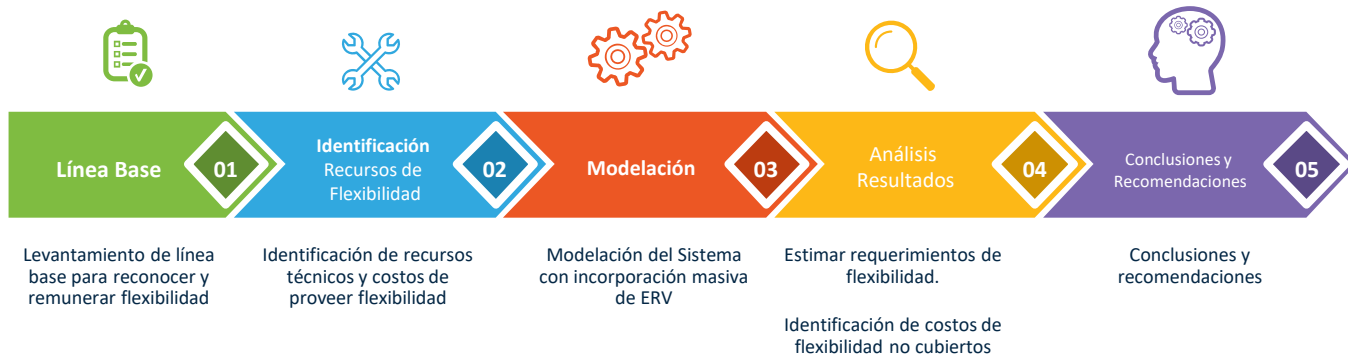
Grupo consultor



- Firma de asesorías fundada en 2013 por ejecutivos del sector eléctrico, con base en Santiago – Chile, para apoyar a inversionistas y *stakeholders* en la toma de decisiones en el sector energía con una perspectiva de vanguardia.
- Cubre un amplio rango de servicios aprovechando la extensa experiencia y alto grado de especialización de su equipo fundador.
 - Análisis de mercado y regulatorio
 - Estrategia y negociación
 - *Due diligence* para transacciones
 - Desarrollo de negocios.
- Proveedora de herramientas analíticas y consultoría (estudios económicos, regulatorios y financieros) en electricidad y gas natural desde 1987, con base en Rio de Janeiro – Brasil.
- Equipo de 54 especialistas (17 PhDs, 31 MSc) en ingeniería, optimización, energía, estadística, finanza, regulación, TI e análisis ambiental.
- Actúa en más de 70 países en todos los continentes.

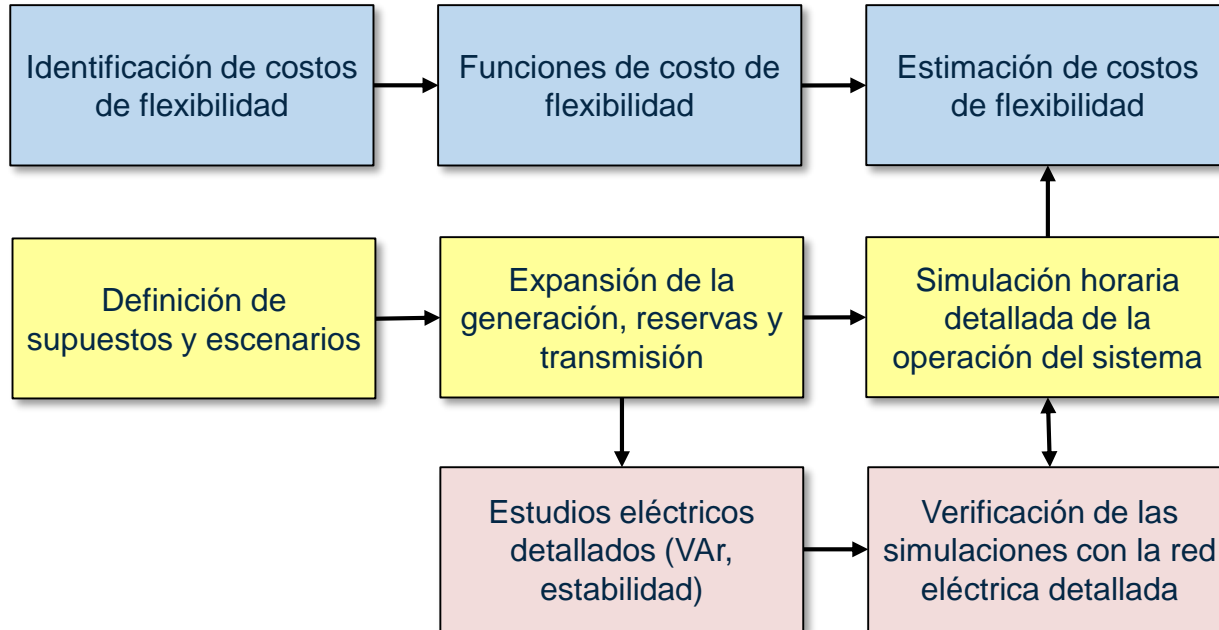
Objetivo general del estudio

- ▶ Cuantificar los efectos de la integración masiva de fuentes de energía variables e intermitentes en la operación del sistema eléctrico en el marco de la discusión pública sobre la regulación de servicios de flexibilidad
- ▶ Estudio dividido en 5 fases:



Metodología del estudio

- Se busca estimar los costos de flexibilidad asociados a distintos escenarios de expansión ERV (solar-eólica)



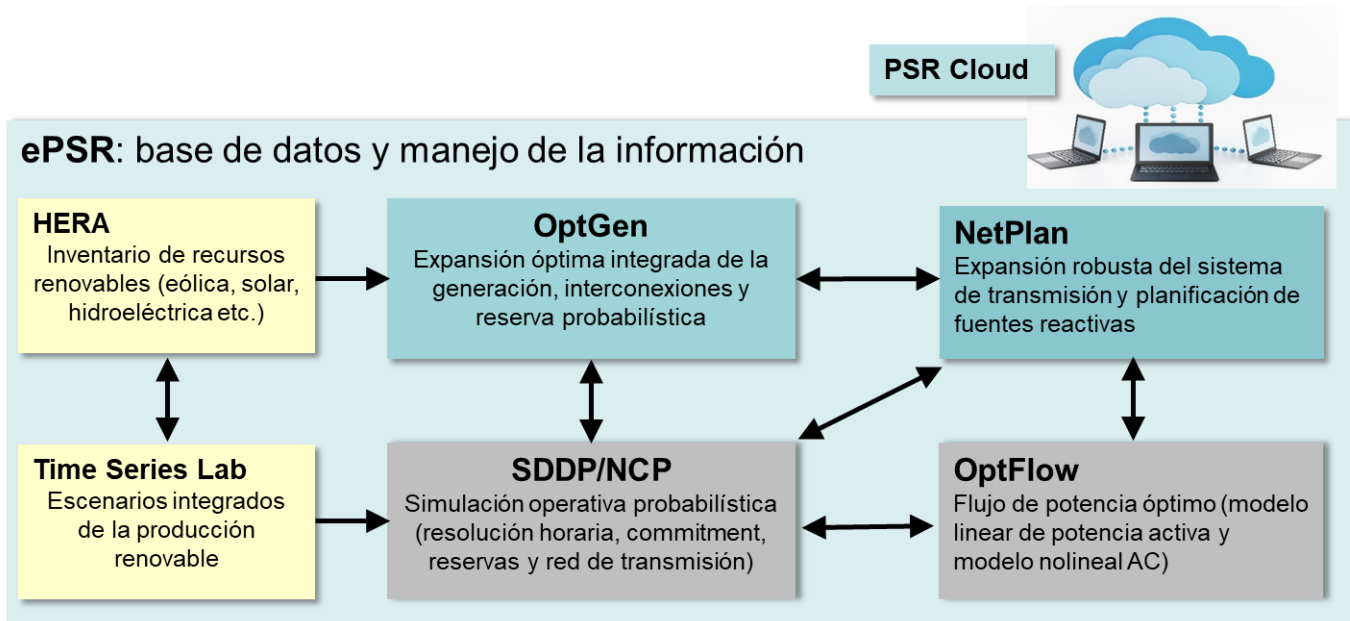
Costos de flexibilidad

Se valoran mediante funciones de costo¹ dependientes de variables operativas obtenidas mediante la simulación.

Tipo de costo	Componentes	Función
Encendido - Directo	Combustible y emisiones	$f(\#partidas)$
Encendido - Indirecto	Capex y mantenimiento	$f(\#partidas)$
Seguimiento	Capex y mantenimiento	$f(\#rampas)$
Eficiencia	Combustible y emisiones	$f(despacho)$
Oportunidad	Margen variable perdido	$f(despacho \text{ y } CMg)$

(1) Las funciones relacionadas con costos de encendido y seguimiento han sido estimados utilizando aproximaciones basadas en el *bechnmark* internacional.

Sistema de planificación PSR Core



Supuestos del estudio

▶ Demanda

- Elasticidad demanda ingreso histórica
- PIB estimado por el FMI, con escenarios +/-1%

▶ Producción renovable

- En base a series históricas de viento y radiación solar, disponibles en el Explorador de Energía Eólica y Explorador Solar, del Ministerio de Energía en conjunto con la Universidad de Chile y la Cooperación Alemana Internacional (GIZ)

▶ Costos combustibles

- Ministerio de Energía, junio 2017, “Proceso de Planificación Energética de Largo Plazo. Informe Preliminar”

▶ Costos de inversión

- Ministerio de Energía, junio 2017, “Proceso de Planificación Energética de Largo Plazo. Informe Preliminar”

▶ Parámetros técnicos de generación y transmisión

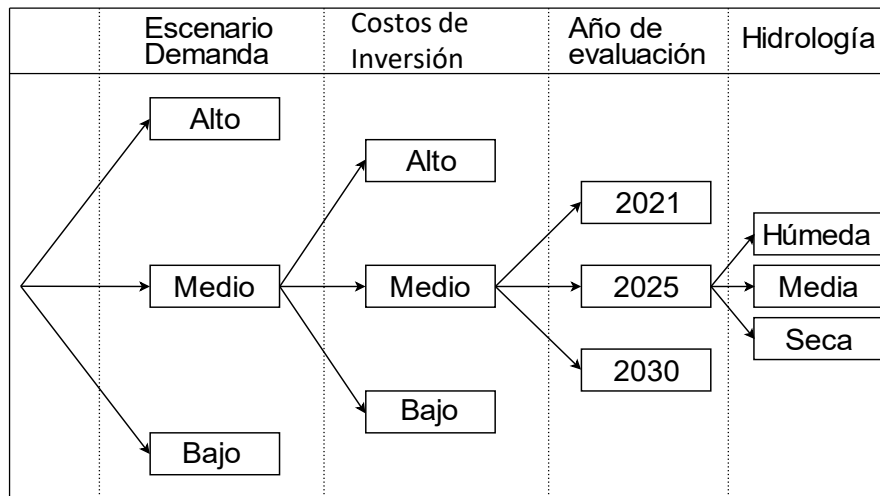
- Coordinador Eléctrico Nacional

▶ Obras en construcción y desarrollo

- Proyectos en desarrollo y declarados en construcción que cuenten con PPA's o energía adjudicada en licitaciones

Árbol de escenarios

- Total: 81 escenarios de modelación

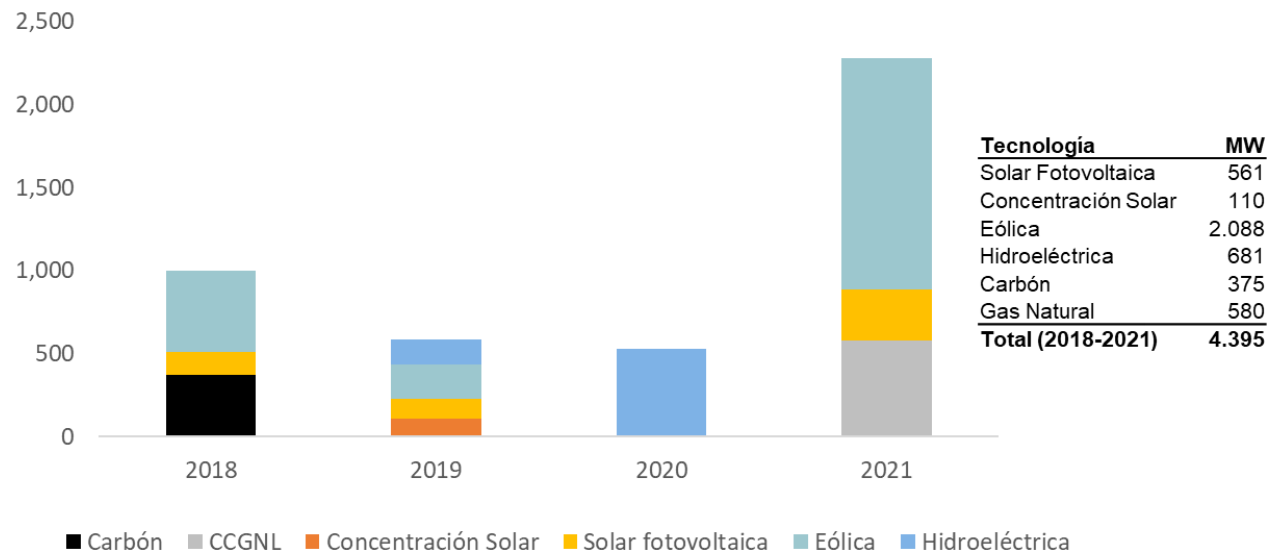


- La hipótesis es que los escenarios de penetración ERV serán resultado de escenarios de demanda y costos de inversión

Línea Base de proyectos (2018-2021)

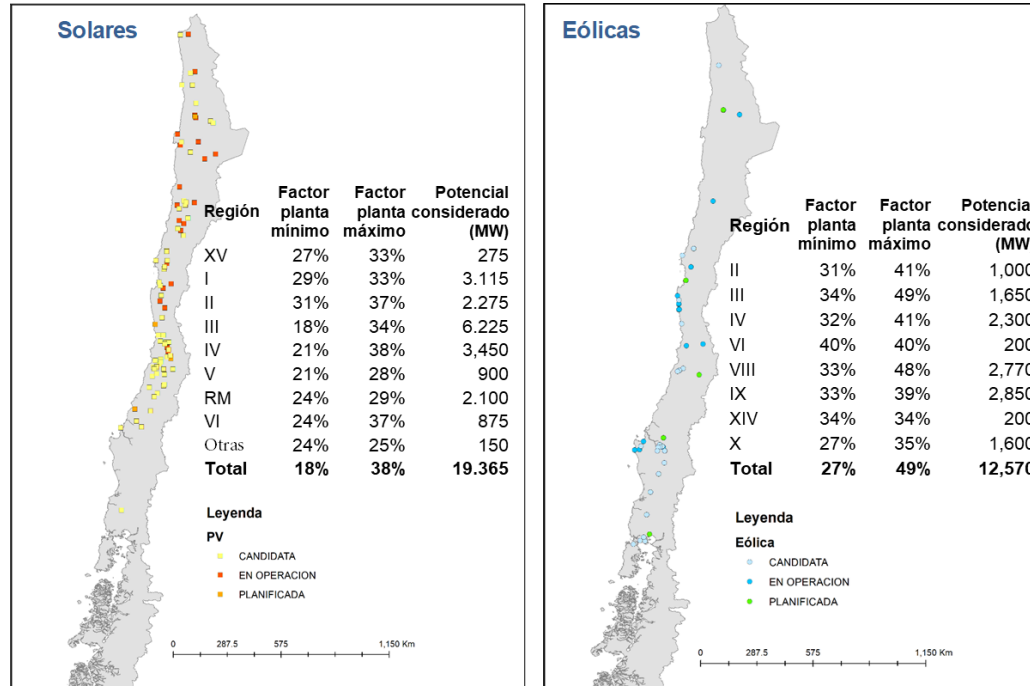
Proyectos en construcción o en etapas avanzadas de desarrollo según la perspectiva al 2Q de 2017 (~4.400 MW).

Línea Base de Proyectos (2018-2021)



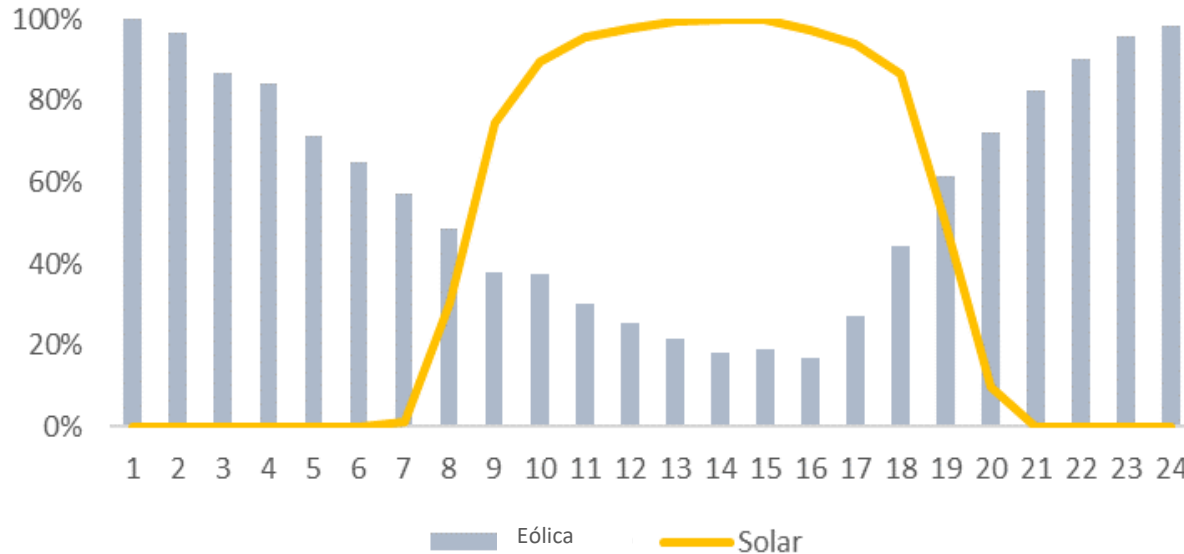
Centrales ERV candidatas

Se utilizó información de proyectos ofertados en procesos de licitación públicos para definir el potencial de candidatos a la expansión

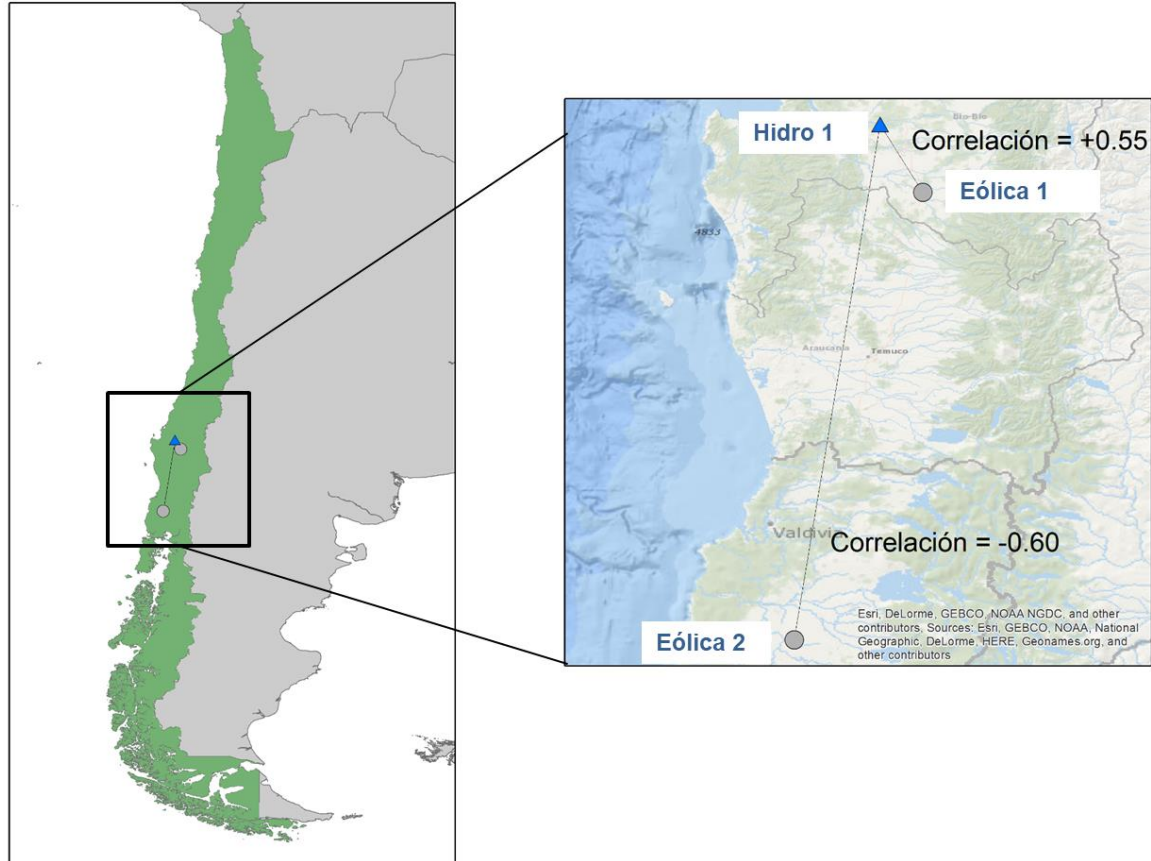


Complementariedad Eólica – Solar

La complementariedad de la generación eólica y solar es capturada pues la expansión se optimiza considerando días típicos con detalle horario



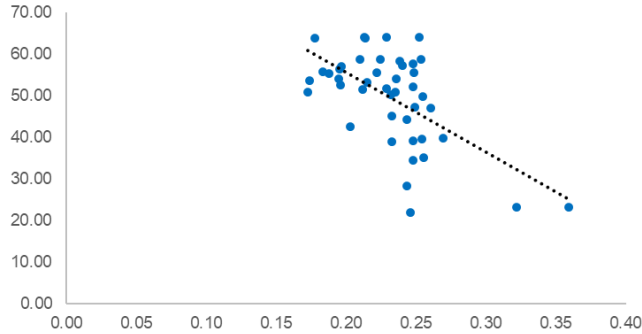
Correlación VRE-Hidrología



Ejemplo Correlación Eólica x Caudal

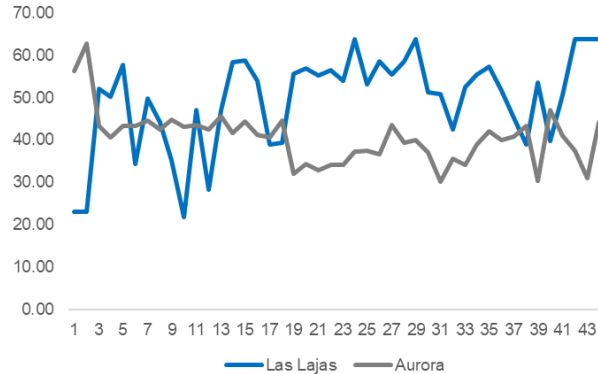
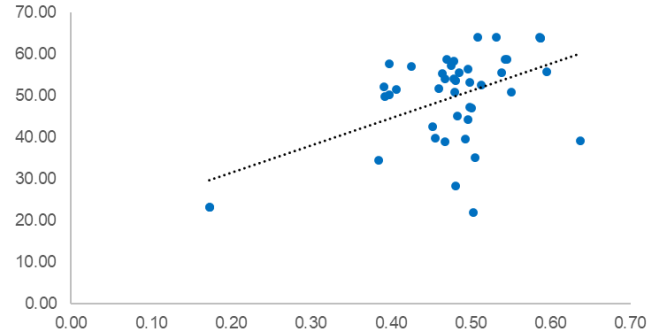
Eólica 2 vs. Hidro 1

Aurora x Las Lajas

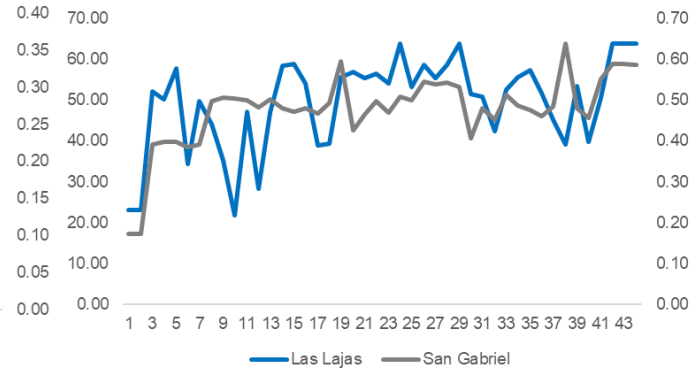


Eólica 1 vs. Hidro 1

San Gabriel x Las Lajas



Hidro 1 Eólica 2

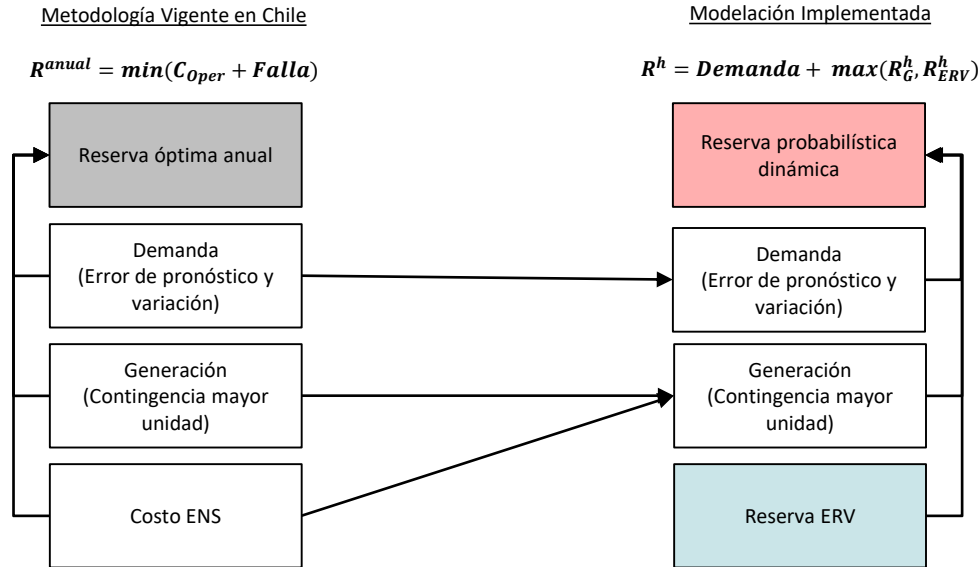


Hidro 1 Eólica 1

Criterios para reserva operativa

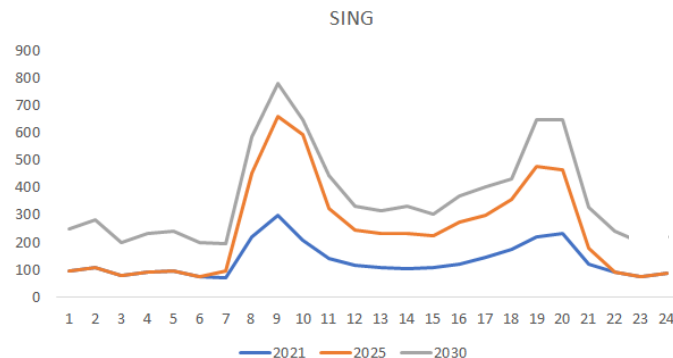
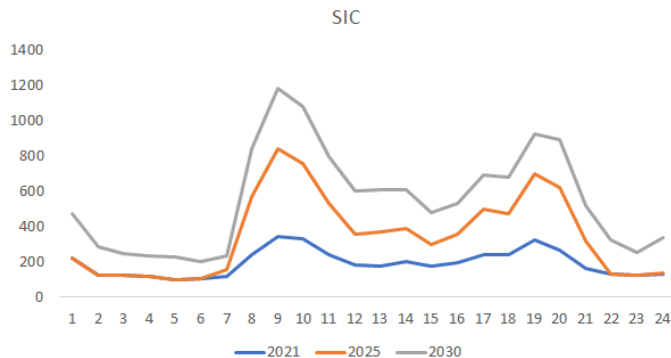
► Criterio de Reserva (R)

- Reservas independientes para zonas SING y SIC
- Incorpora efecto de ERV $\rightarrow R = f(D, G, \underline{ERV})$



Resultados: Reserva operativa

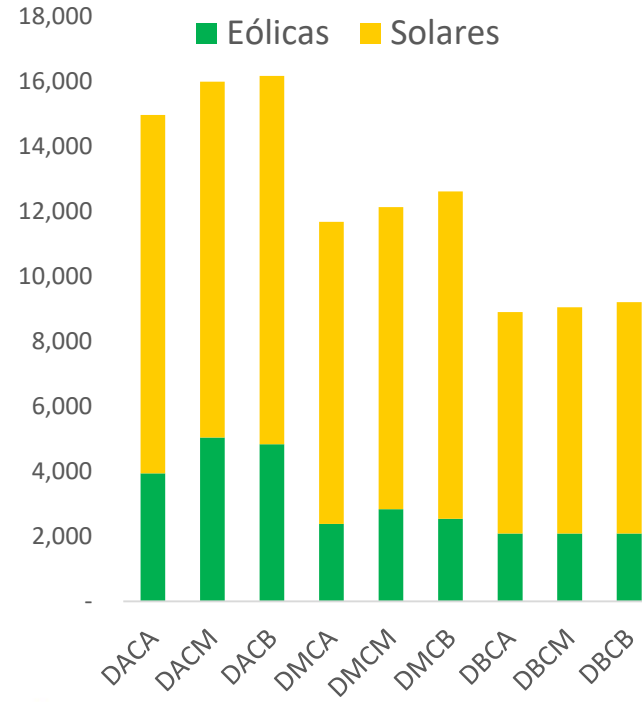
- ▶ Se proyectan aumentos focalizados en momentos de mayor riesgo de variaciones no previsibles (7-9 y 19-21 horas)
 - Criterio de reserva probabilística dinámica es clave para minimizar el requerimiento adicional de reservas
 - Factores relevantes: complementariedad solar-eólica y correlación entre recursos solar/eólico e hidrología



Expansión de Generación

- En los escenarios modelados, las fuentes de generación solar fotovoltaica y eólica dominarían la expansión.
 - Capacidad instalada ERV crece entre 9,000 y 16,000 MW a 2030
 - Potencial de inversión equivalente de US\$ 8,000 a 18,000+ millones
 - Bajo los supuestos de costo considerados la expansión con sistemas de almacenamiento no fue seleccionada¹

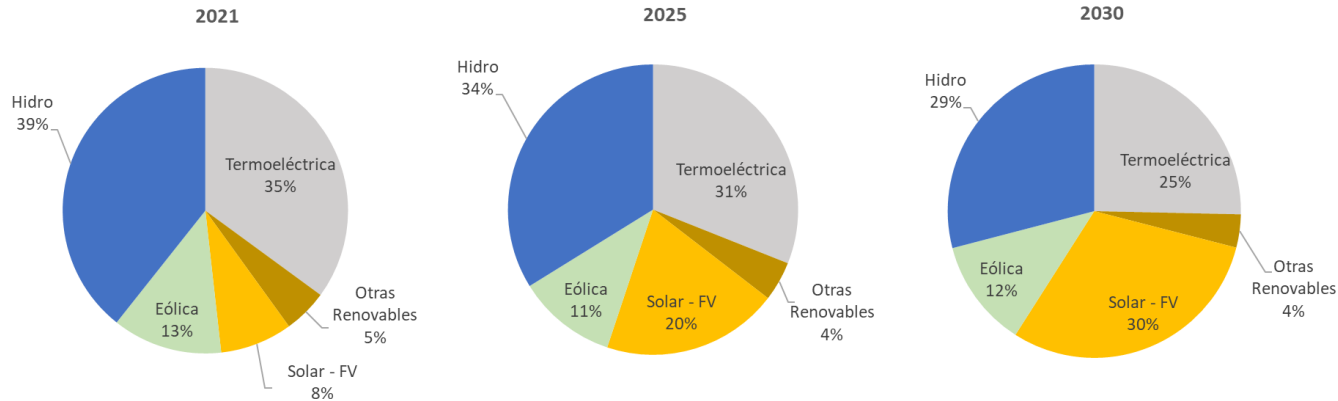
Expansión ERV 2018-2030
(MW)



(1) El almacenamiento con centrales de bombeo resultó más cercano al rango de competitividad hacia el final del horizonte que las baterías. Estas últimas aparecen como candidatas a la prestación de servicios de reserva pero tampoco resultaron seleccionadas.

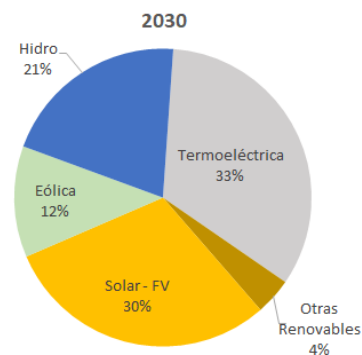
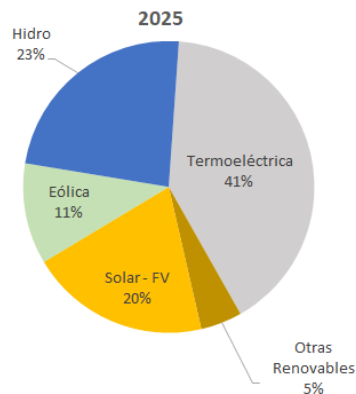
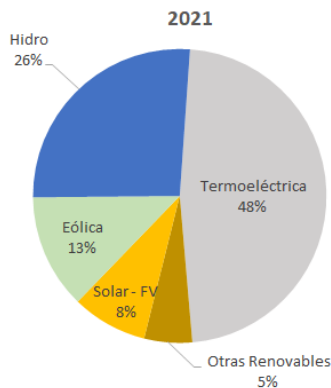
Participación por Tecnologías – Hidrología Media

- El despacho de generación en base a fuentes ERV alcanzaría una penetración de 42% a 2030 (DMCM)
 - Componente renovable cubre 75% incl. hidroelectricidad



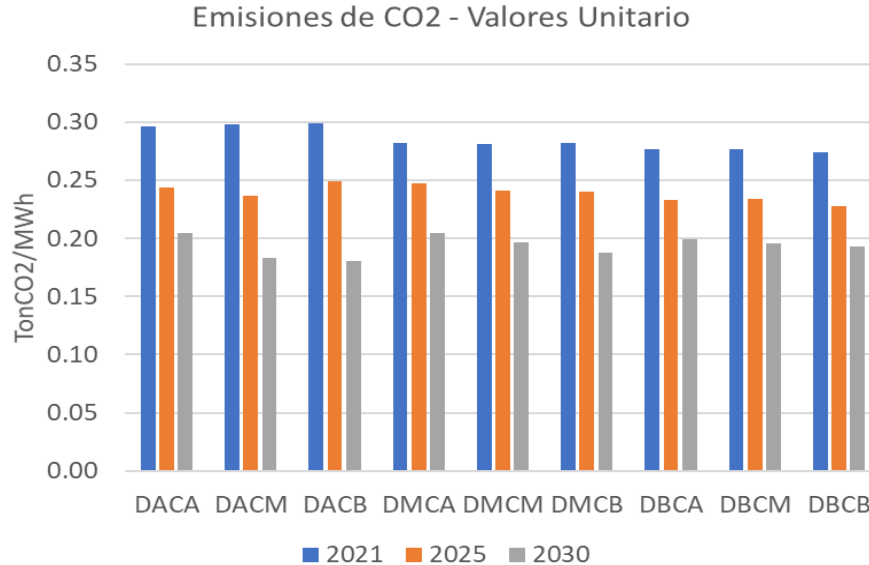
Participación por Tecnologías – Hidrología Seca

- ▶ Aporte de termoelectricidad continúa siendo relevante y representa 33% en 2030 para años secos
 - El análisis no considera planes de ‘retiro’ de unidades a carbón
 - No se ha considerado efectos del cambio climático en los afluentes



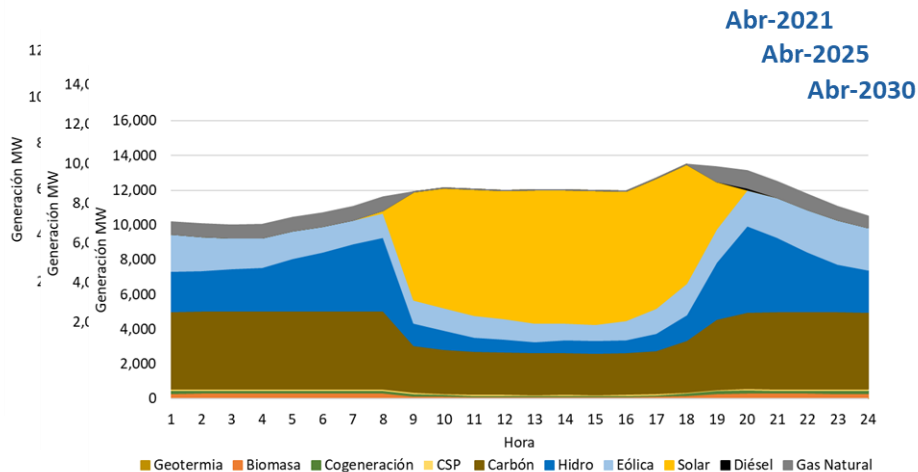
Reducción de emisiones CO2

- ▶ Reducción unitaria entre 27 y 40% entre 2021 y 2030 (hasta un 14% en términos totales).
 - Ahorro de hasta US\$ 16 millones anuales en impuestos de CO2



Modificación del Despacho Diario

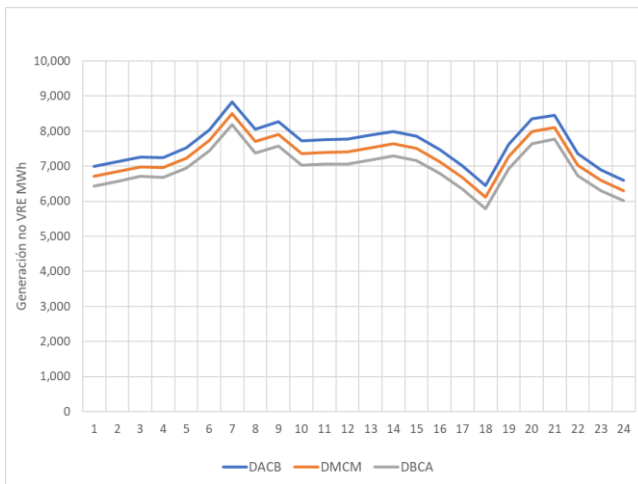
- ▶ El parque generador termoeléctrico e hidroeléctricas de embalse deberán aportar flexibilidad de una forma creciente
 - Embalses: Almacenamiento en horario solar
 - Carbón : Seguimiento/mínimo técnico
 - CC_GNL : Ciclaje



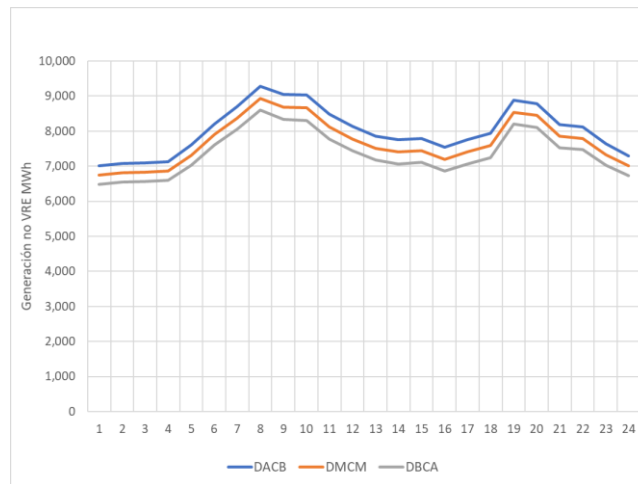
Requerimiento de flexibilidad

► Generación Residual (sin SFV-EOL) - Año 2021

Mes de verano - Enero



Mes de invierno - Julio



Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	19.8	18-19	-18.2	21-22
DMCM	19.3	18-19	-17.8	21-22
DBCA	18.8	18-19	-17.4	21-22

Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	15.7	18-19	-10.1	20-21
DMCM	15.8	18-19	-9.9	20-21
DBCA	15.9	18-19	-9.7	20-21

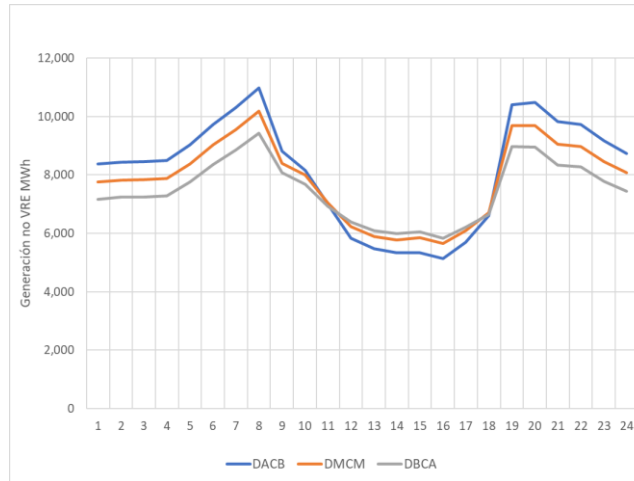
Requerimiento de flexibilidad

► Generación Residual (sin SFV-EOL) - Año 2025

Mes de verano - Enero



Mes de invierno - Julio



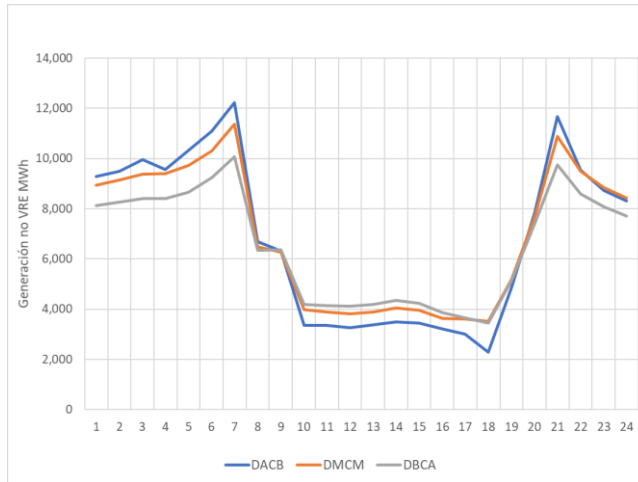
Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	38.7	20-21	-61.2	7-8
DMCM	29.0	19-20	-46.3	7-8
DBCA	23.9	18-19	-35.4	7-8

Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	63.2	18-19	-36.0	8-9
DMCM	49.6	18-19	-29.6	8-9
DBCA	38.7	18-19	-22.4	8-9

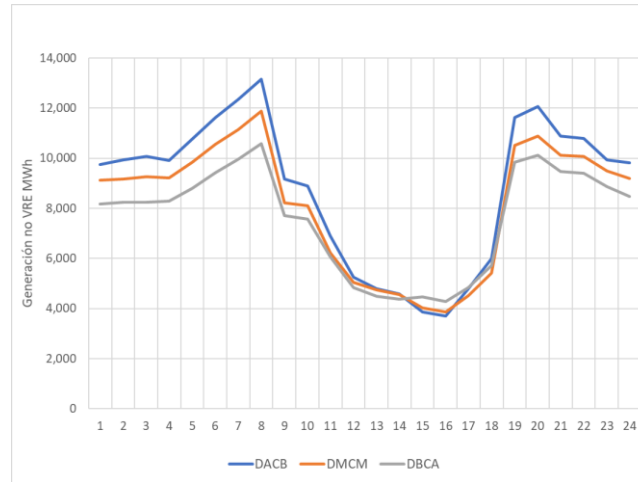
Requerimiento de flexibilidad

► Generación Residual (sin SFV-EOL) - Año 2030

Mes de verano - Enero



Mes de invierno - Julio

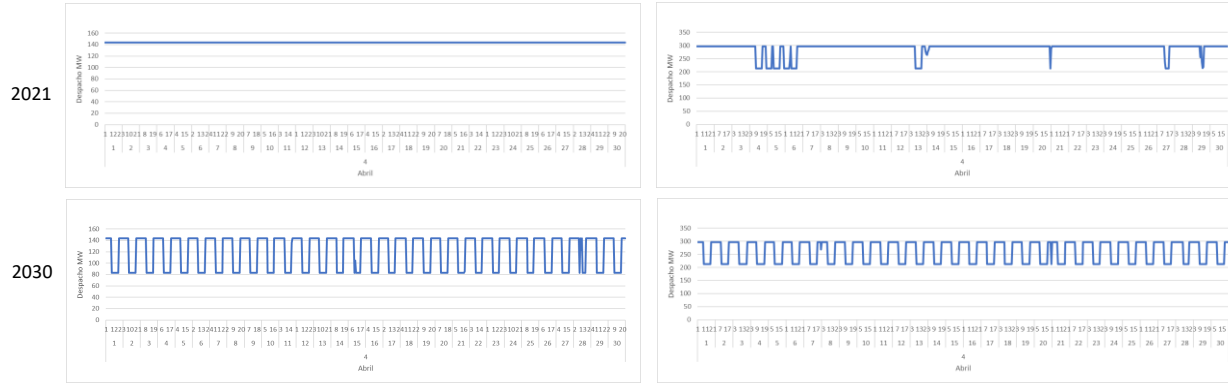


Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	63.7	20-21	-92.6	7-8
DMCM	53.0	20-21	-81.5	7-8
DBCA	39.1	20-21	-62.3	7-8

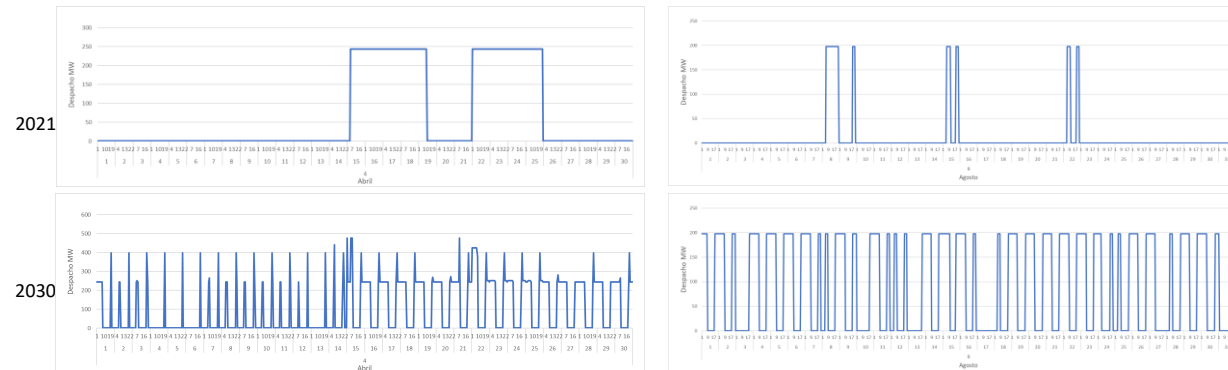
Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	94.0	18-19	-66.3	8-9
DMCM	84.9	18-19	-60.8	8-9
DBCA	68.7	18-19	-47.9	8-9

Despacho térmicas

► Carbón: Aumento operación a mínimo técnico

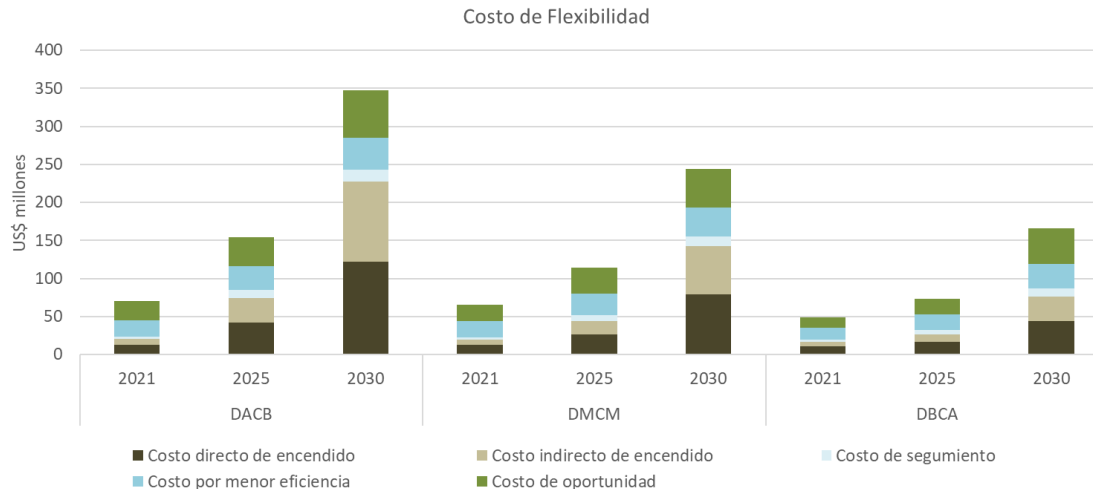


► Gas: aumento de ciclaje



Costos por flexibilidad

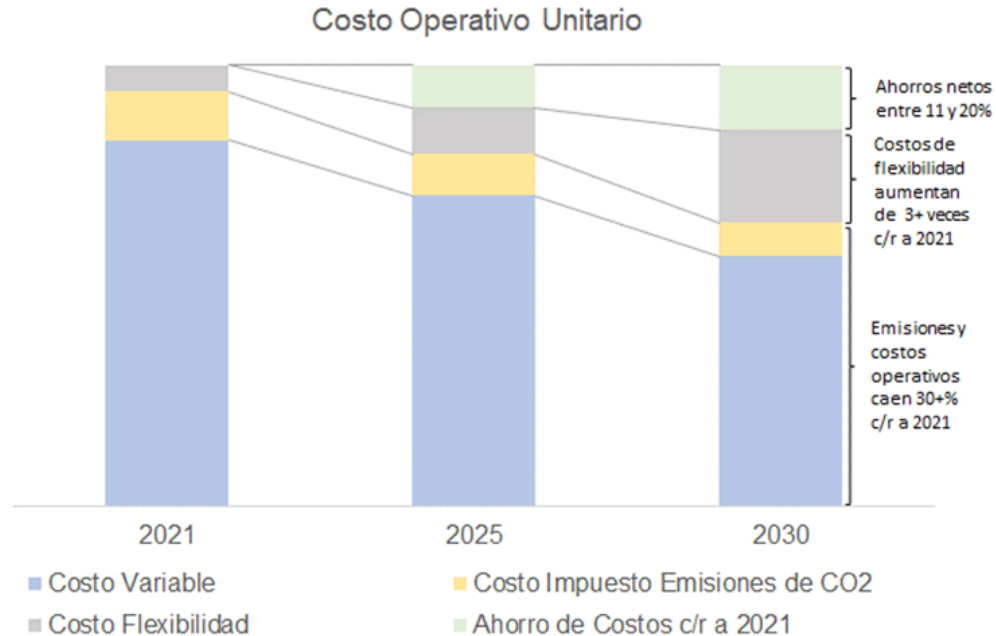
- ▶ La generación termoeléctrica enfrenta costos por flexibilidad entre US\$ 150 y 350 millones anuales en el 2030
 - 70-80% corresponde a costos efectivos (encendido, eficiencia y seguimiento) y restante corresponde a costos de oportunidad¹



Nota 1: Asociables en cierta proporción a prestación de mayores reservas.

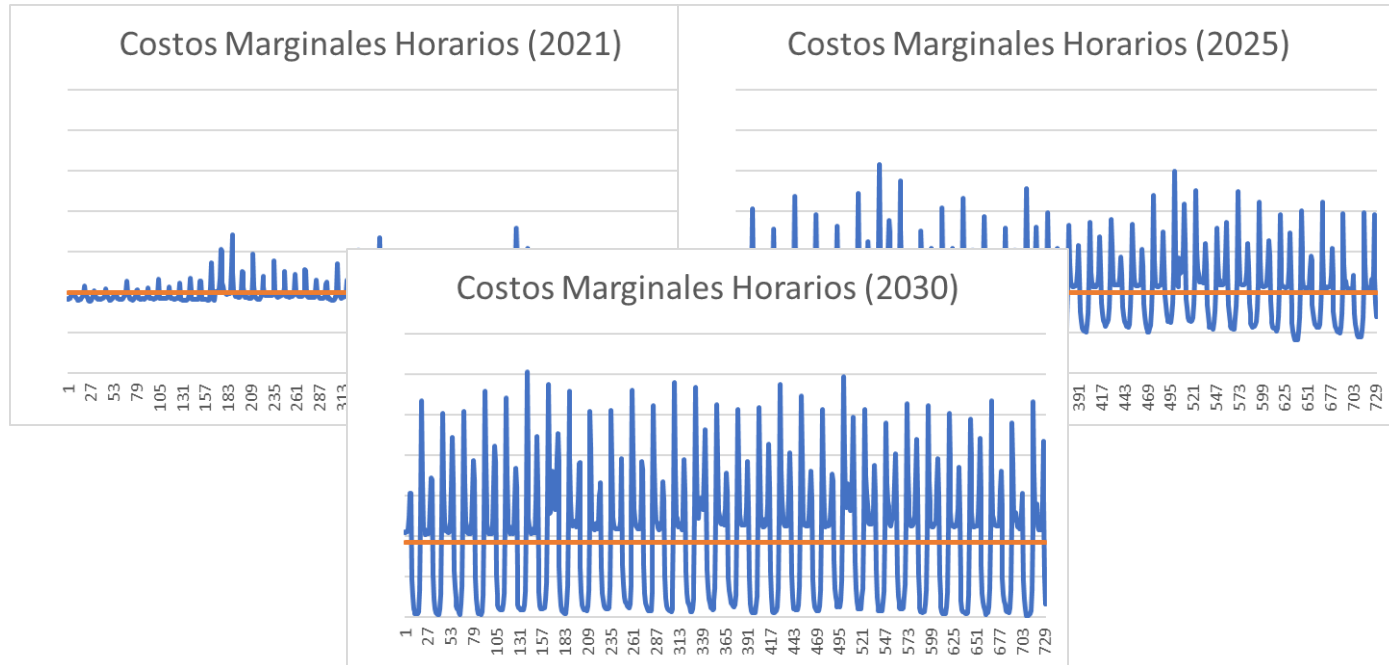
Costos operativos incluyendo costos flexibilidad

- Costos operativos totales se reducen entre 11 y 20% entre 2021 y 2030 por mayor aporte SFV-EOL



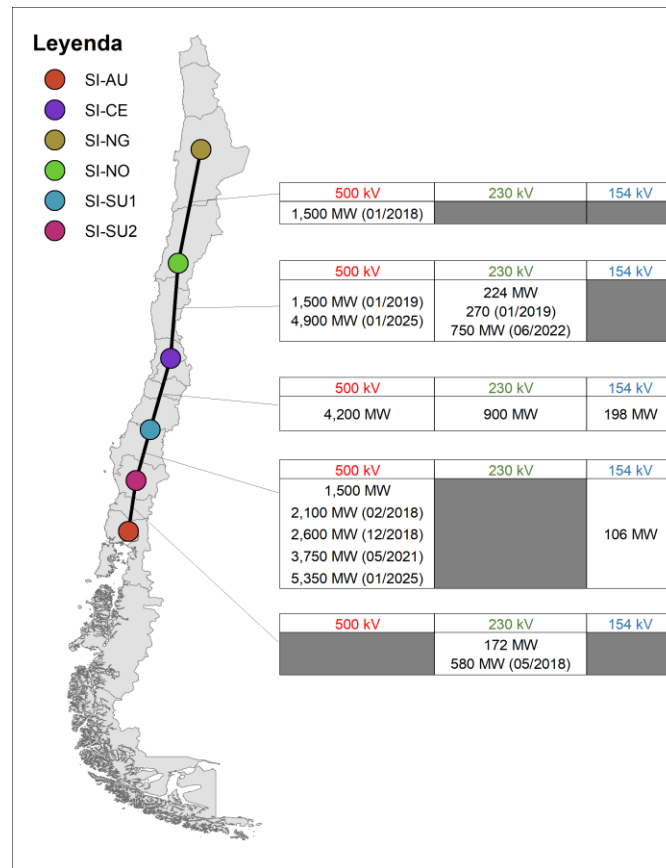
Costo marginal horario

- Amplitud de la fluctuación se incrementa en el tiempo y se observa posible colapso en horario solar a 2030



Expansión de la transmisión

Se detecta necesidad de ampliaciones relevantes (500 kV) desde la zona norte (Cardones) y sur (Charrúa) en torno al año 2025

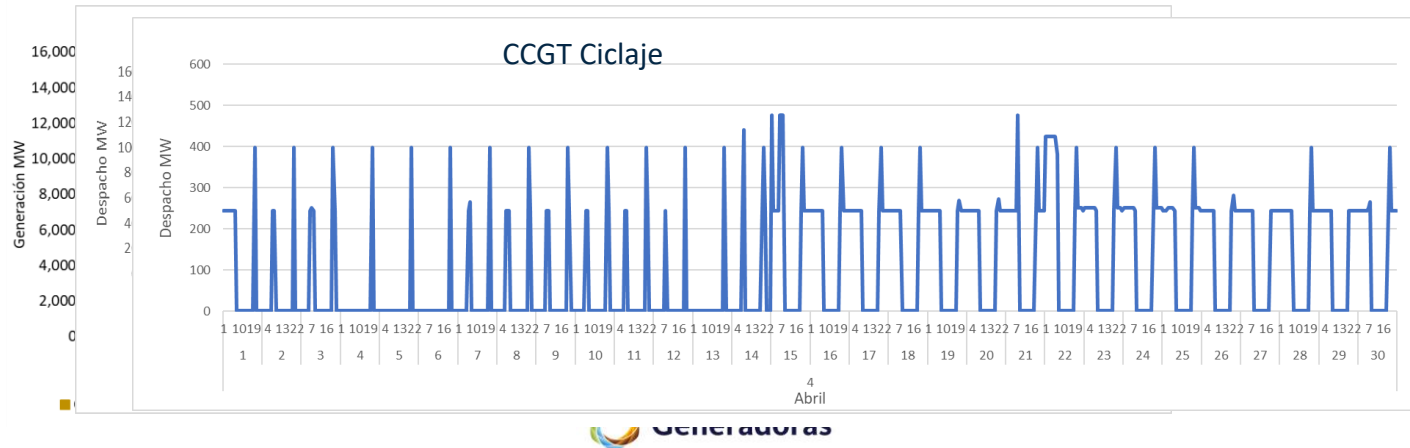


Conclusiones principales

- ▶ Para todos los 9 escenarios estudiados, las fuentes de renovables se transformarían en el vector más importante para la expansión del sistema chileno. Para 2030, por ejemplo:
 - La generación solar y eólica aportan un **41% del suministro** de la demanda prevista
 - Sumando hidroelectricidad, renovables cubrirían el **75% de la demanda anual**

Conclusiones principales

- ▶ Como consecuencia, la generación convencional pasaría a cumplir el rol de generación 'flexible'.
 - Embalses: Almacenamiento intra-diario (horario solar)
 - Carbón : Seguimiento/mínimo técnico
 - CCGN : Ciclaje



Conclusiones principales

- ▶ Se reducirían los costos operativos (entre **11 y 20% entre 2021 y 2030**) y las emisiones (hasta **40% entre 2021 y 2030**, generando ahorros de hasta US\$ 16 millones anuales en impuestos de CO2)
- ▶ Y en función del servicio de flexibilidad, surgen nuevos costos estimados en hasta **US\$350 millones al año 2030** (los principales son costos directos e indirectos de encendido)
 - Estos costos deben ser abordados para que la inserción renovable proyectada sea sustentable y para generar señales a potenciales soluciones más eficientes

Factores disruptivos

- ▶ El análisis presentado está sujeto a los siguientes factores de incertidumbre:
 - Cambios en el tratamiento y nivel de impuestos al CO2
 - Políticas corporativas de des-carbonización
 - Efectos de cambio climático sobre la hidrología
 - Mayor competitividad de sistemas de almacenamiento
 - Desarrollo de interconexiones internacionales (eléctricas y gasíferas)
- ▶ Diferentes evoluciones para estos factores afectarán la inserción renovable que podrá ser más o menos acelerada, sin embargo no se prevé un cambio significativo en las tendencias predominantes identificadas como resultado estudio

Consideraciones adicionales

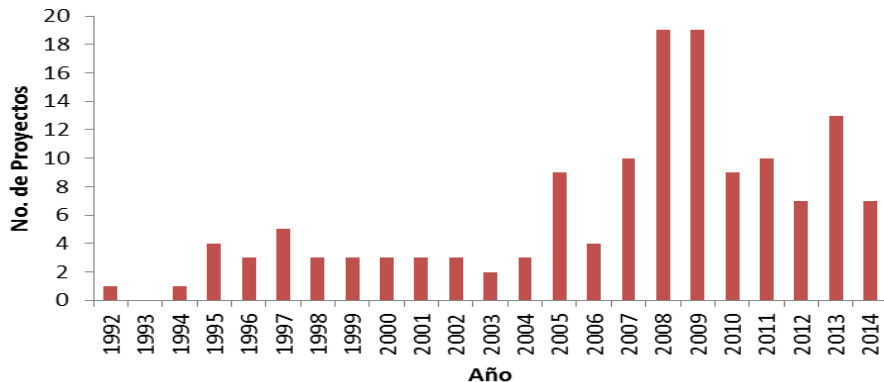
- ▶ La expansión óptima presentada presume que existirán los mecanismos regulatorios para viabilizar su desarrollo
 - Costos de operación eficientes serán compensados
 - Reservas requeridas serán remuneradas apropiadamente
 - Inversiones serán apoyadas por mecanismos de largo plazo

Pilar 3

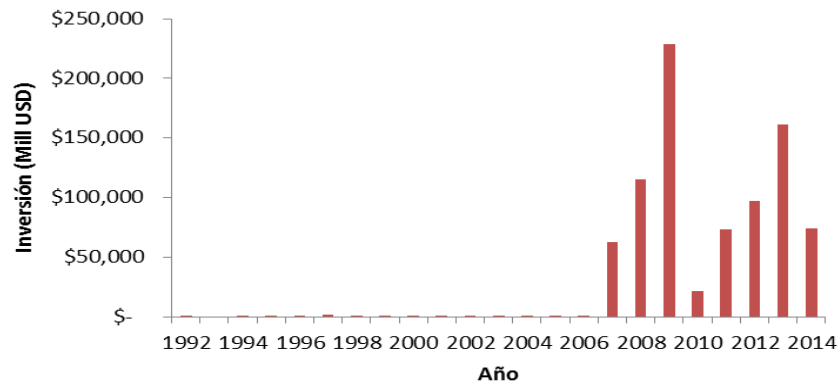
SUSTENTABILIDAD Y LEGITIMIDAD

Abordar los conflictos socioambientales es un desafío central para un desarrollo más sustentable

Nº de proyectos con conflictos en Chile



Inversión (MM USD) con conflictos en Chile



Fuente: Understanding Environmental Conflicts in Large Projects, Sebastian Miller, BID, 2015

Requerimos más confianza, legitimidad y mejor diálogo en todos los niveles y ámbitos del país

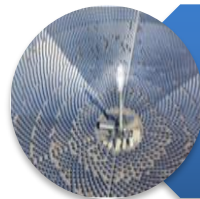
- Políticas públicas compartidas y de largo plazo
- Diálogo público privado reglado (ej. ley de lobby)
- Estado, empresas y ONGs más transparentes
- Diálogo permanente con las comunidades, buscando crear confianza, legitimidad y valor compartido.



Tres pilares para un futuro mejor



Electrificar la matriz energética



Aprovechar nuestras fuentes renovables



Sustentabilidad y legitimidad



Generadoras de Chile

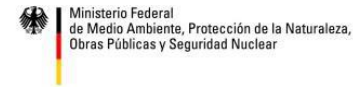
Visión de la industria sobre la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico chileno

INTERCAMBIO DE EXPERIENCIAS EN MATERIA DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN REPÚBLICA DOMINICANA Y CHILE

Muchas gracias



Por encargo de:



de la República Federal de Alemania