



**Generadoras de Chile**

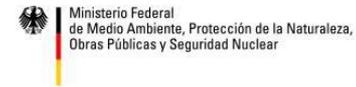
## **Visión de la industria sobre la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico chileno**

**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

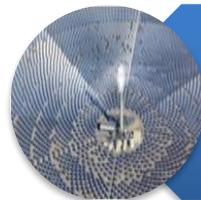
- En Generadoras de Chile promovemos buenas políticas públicas y mejores prácticas en el uso y generación de energía eléctrica para una adecuada transición energética.
- Somos el gremio que representa a un grupo amplio y diverso de empresas de generación eléctrica operando en Chile, con cerca del 80% 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

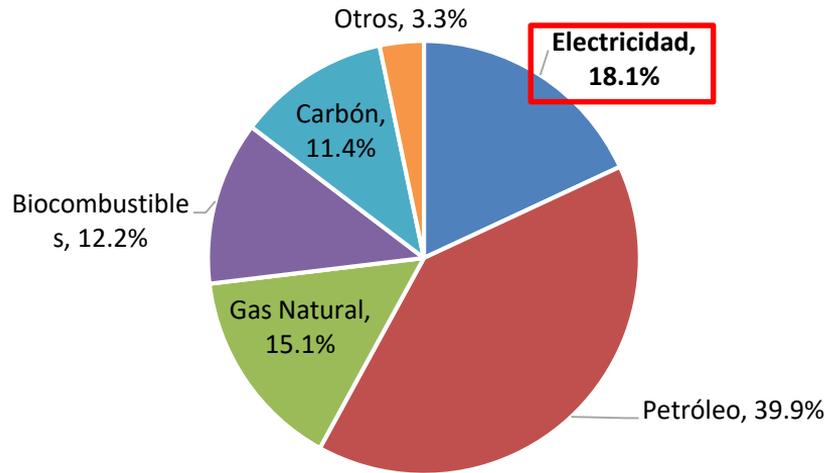
Pilar 1

# ELECTRIFICAR LA MATRIZ ENERGÉTICA

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

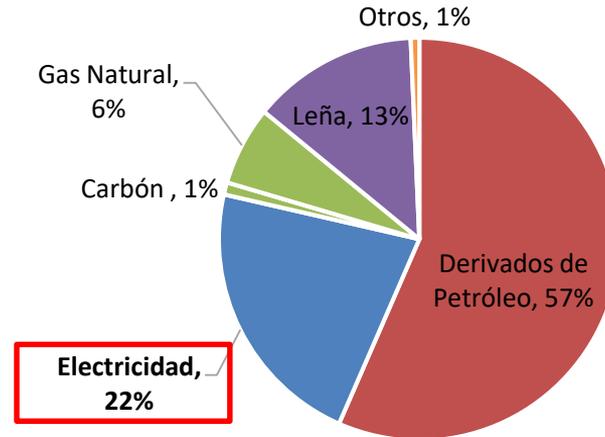
Principal energético corresponde a los derivados del petróleo

## Mundo



Nota: Valores para 2014 (IEA 2016)

## Chile

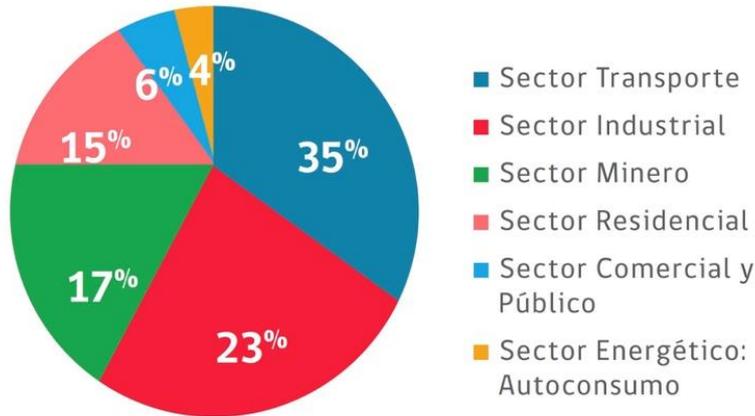


Nota: Valores para 2015 (BNE 2015)

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

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

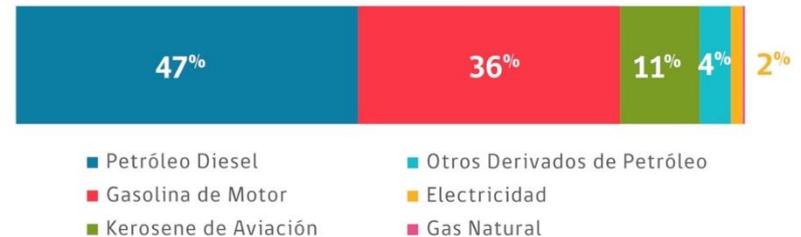
## Consumo energético anual según sector



## Consumo energético según modo transporte



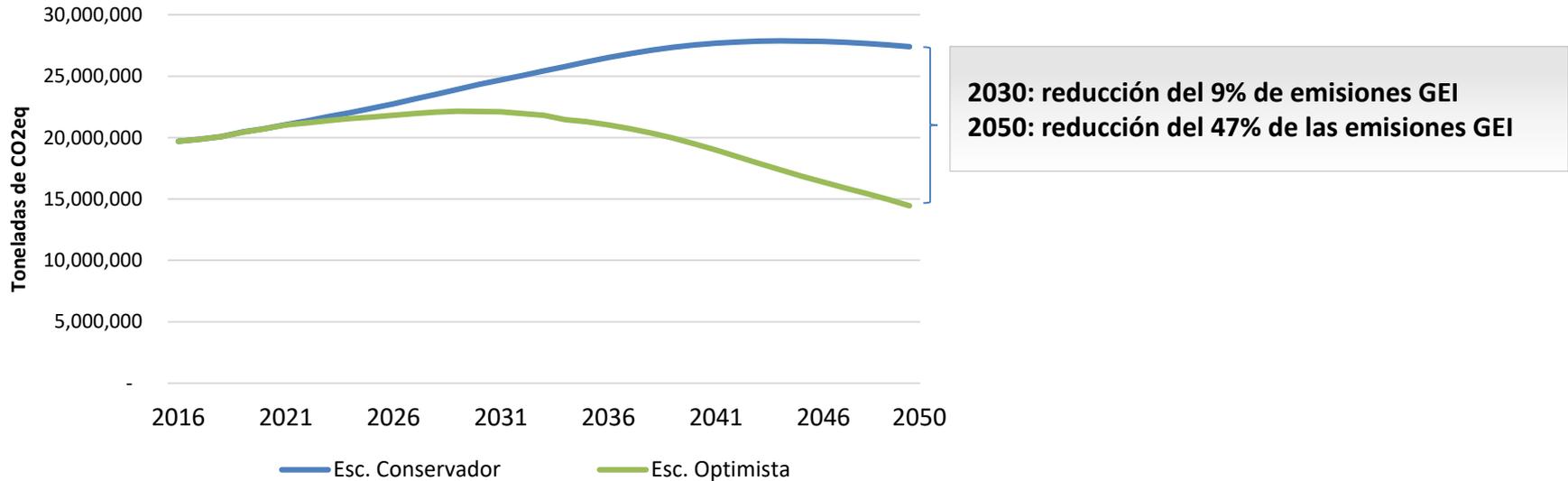
## Transporte: fuente de energía



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

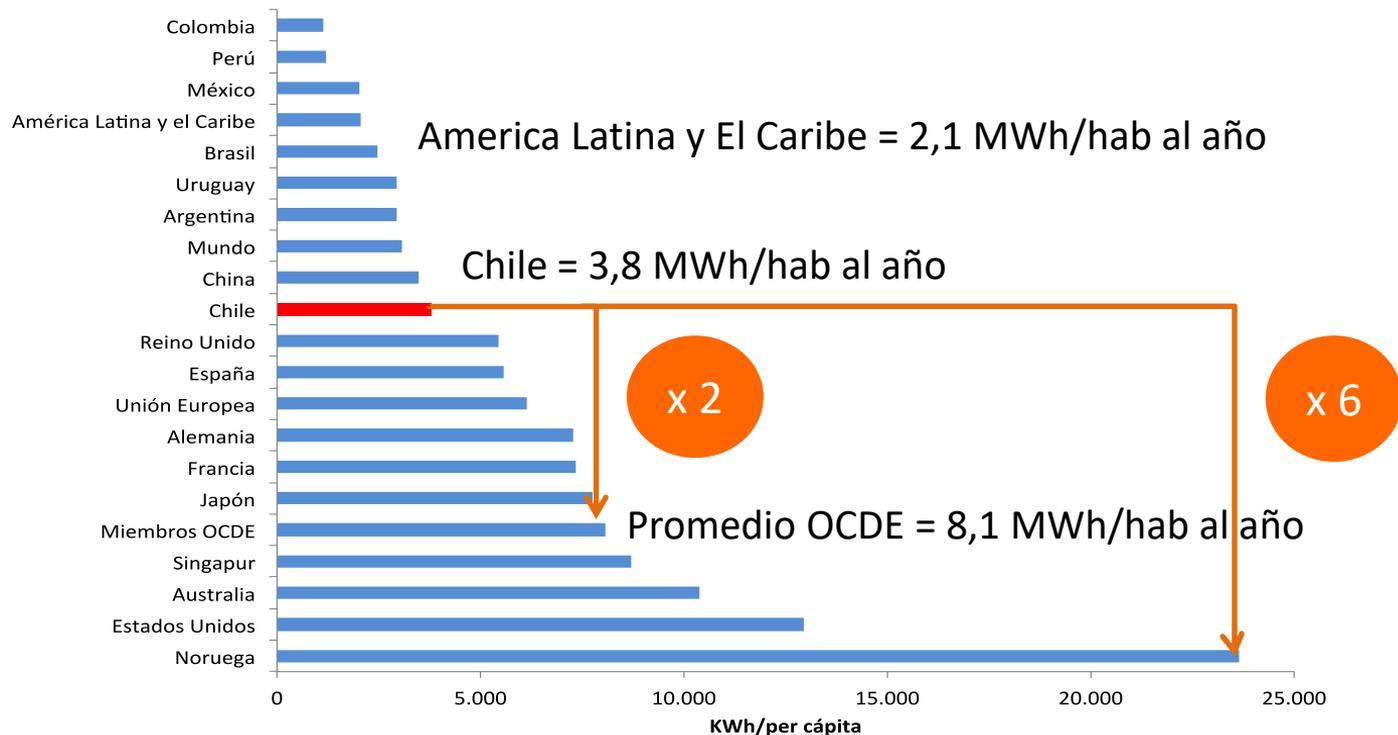


Fuente: Estudio Escenarios Prospectivos de Consumo Eléctrico, 2017

Pilar 2

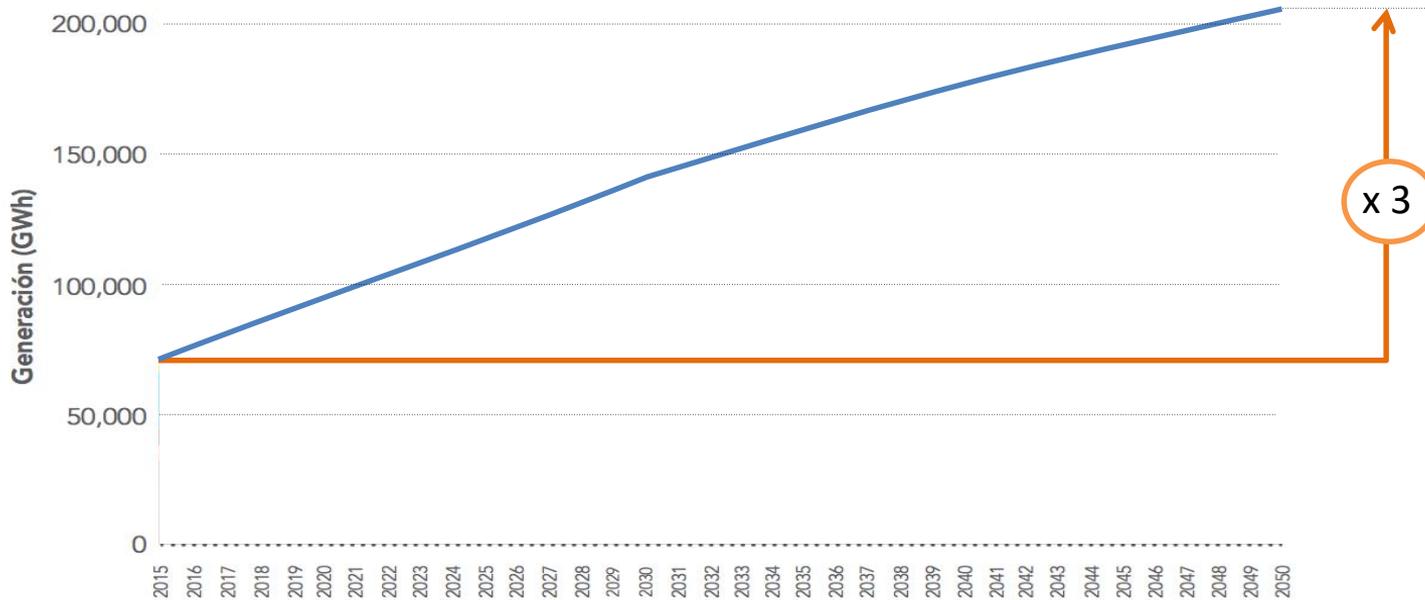
# **APROVECHAR NUESTRA RIQUEZA Y DIVERSIDAD RENOVABLE**

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



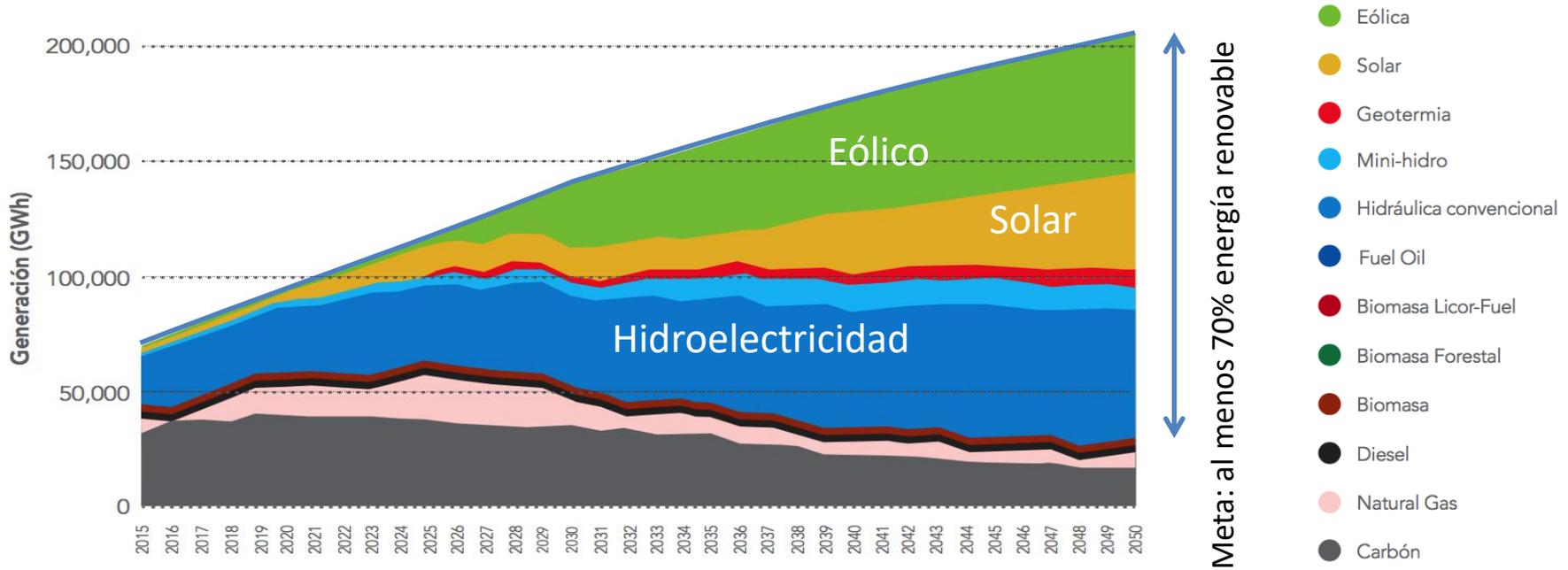
Fuente: Banco Mundial, 2015

# 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)

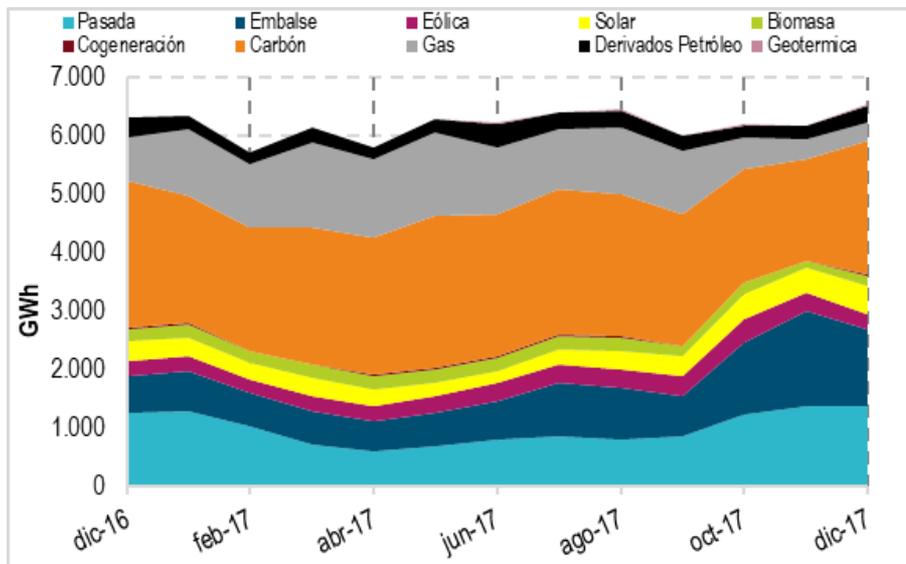
...y propuso una meta (en 2015):  
 al menos un 70% de la generación al 2050 será renovable  
 hidroeléctrica, solar, eólica, biomasa, geotermia y otras



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]

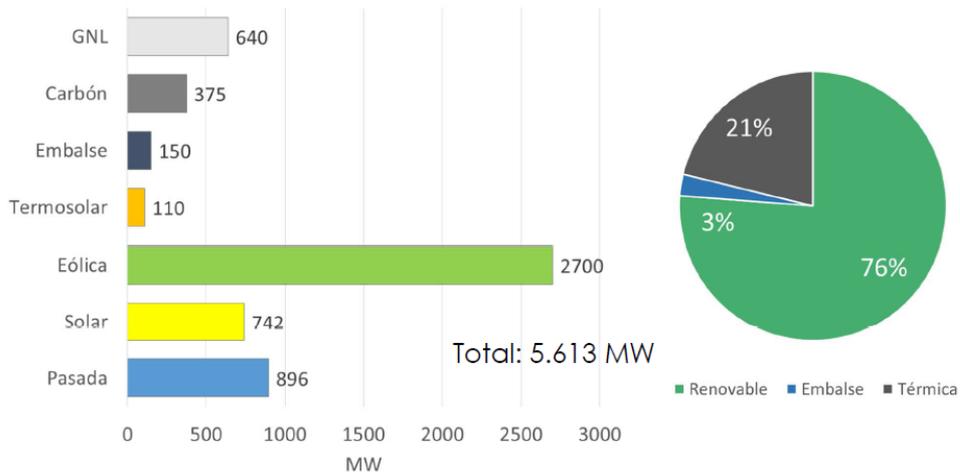


### Generación bruta anual 2017

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

# 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: Systepl, 2017.

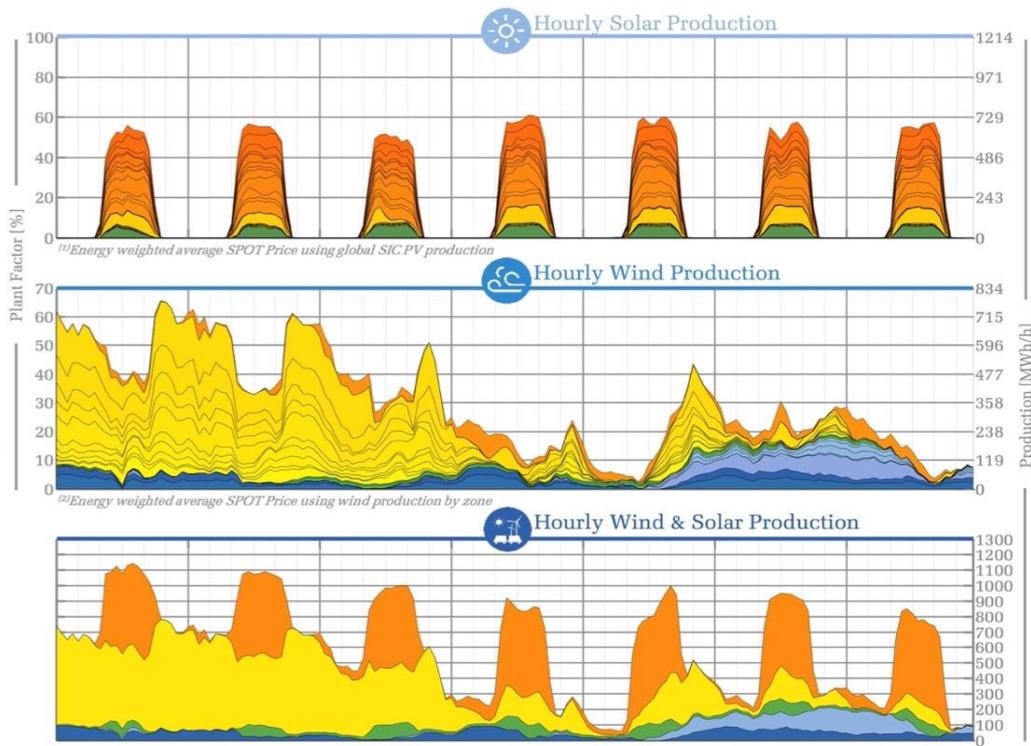
Y a más largo plazo (2026 a 2029), se prospecta que el 100% de capacidad instalada de nuevas centrales serán de fuentes renovables: el 98% provendría de Energías Renovables Variables

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

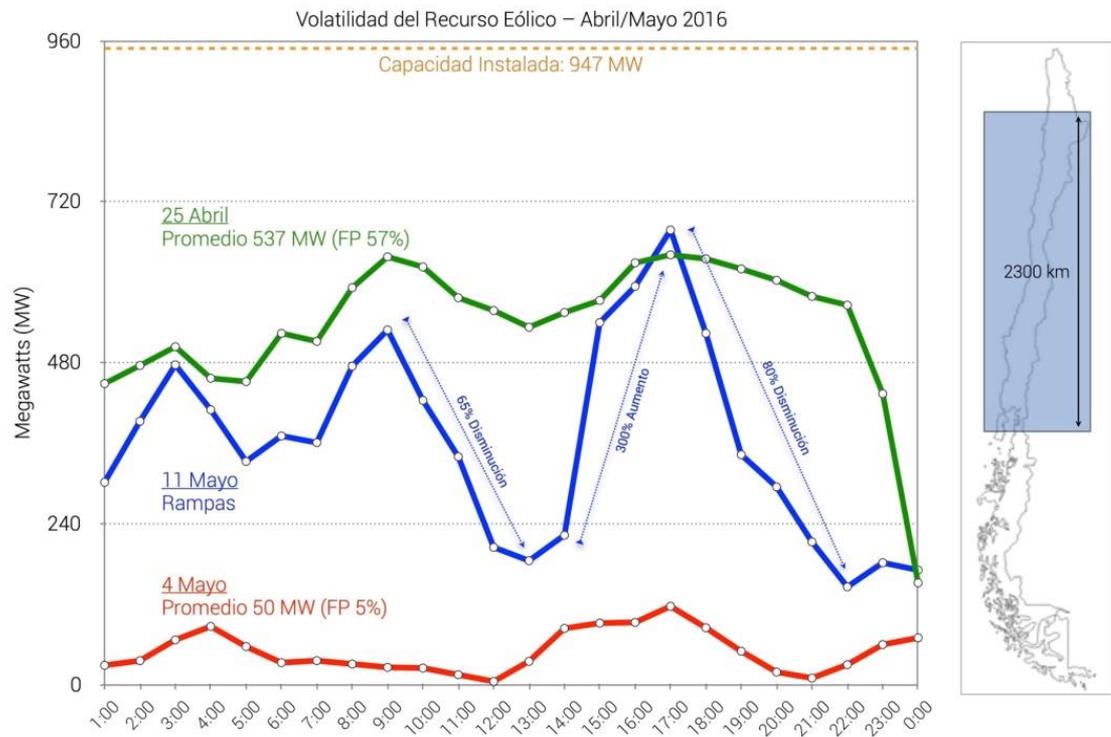
Producción de energía eólica y solar en el SIC entre el 24 al 30 de Abril e 2017



## 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.

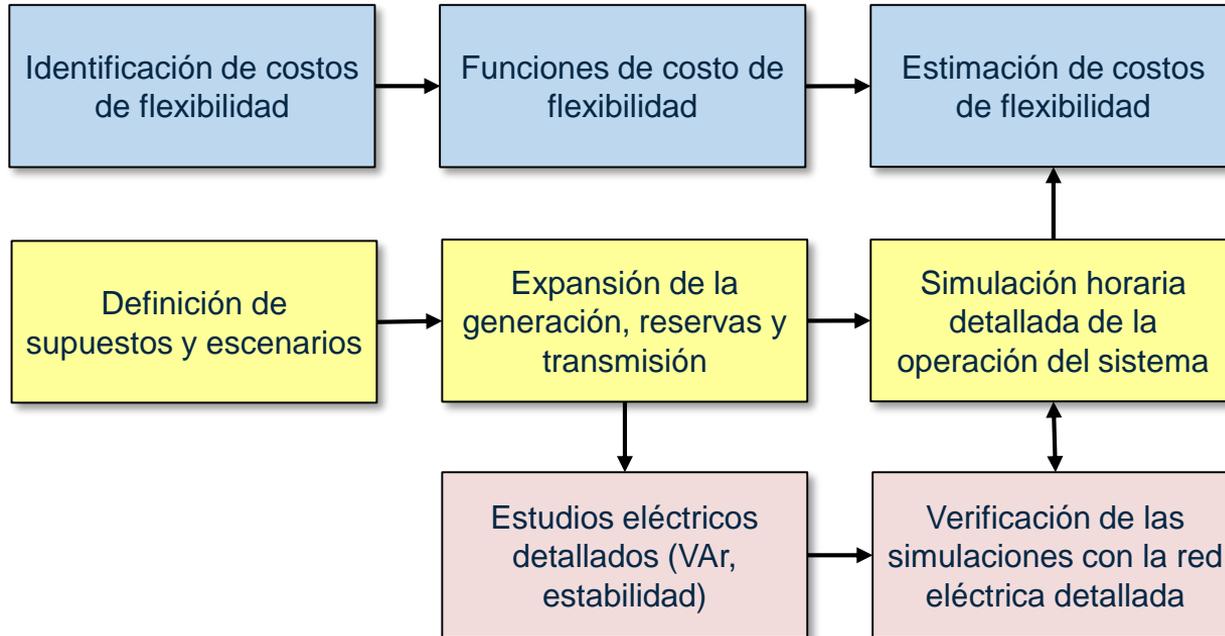
# Objetivo general del estudio

- ▶ 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)



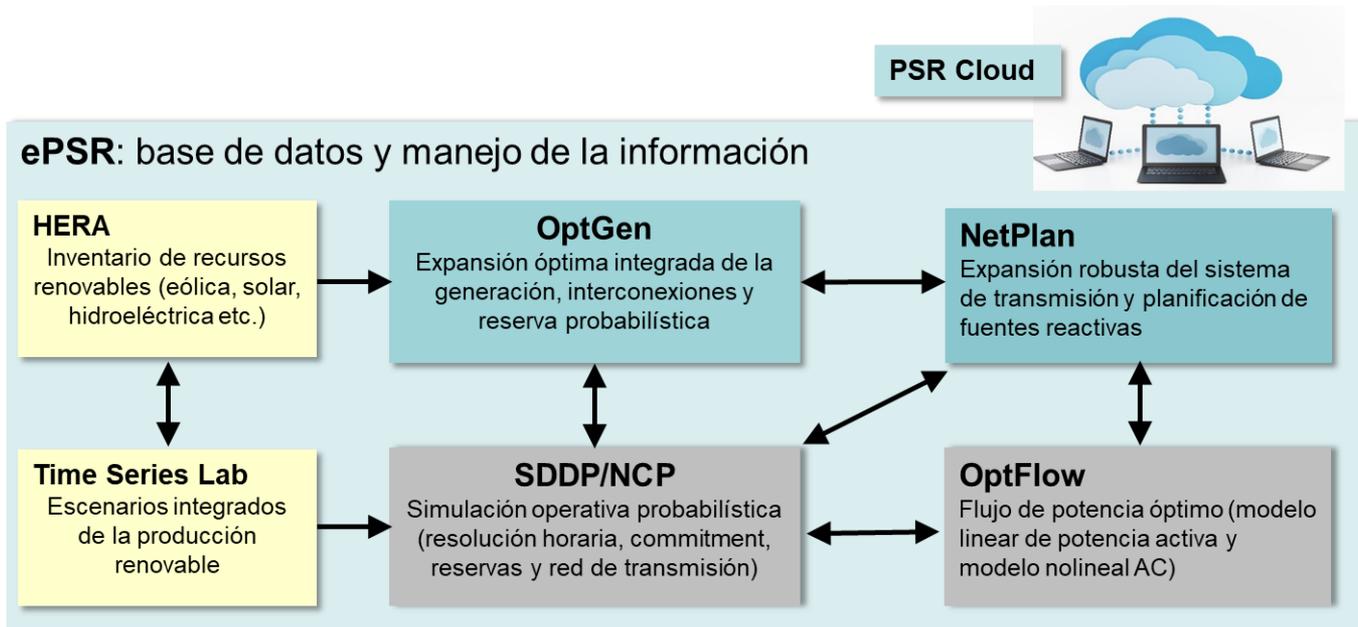
# Costos de flexibilidad

Se valoran mediante funciones de costo<sup>1</sup> 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 *benchmark* 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

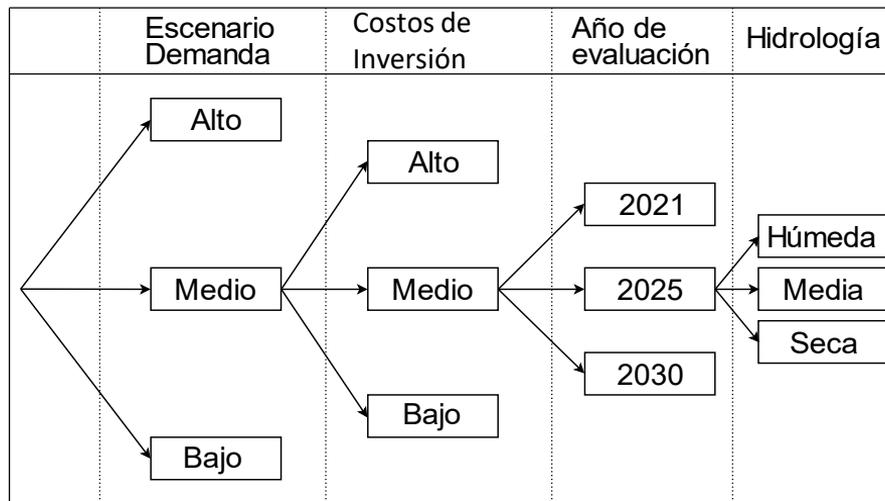
- Coordinador Eléctrico Nacional

## ▶ 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

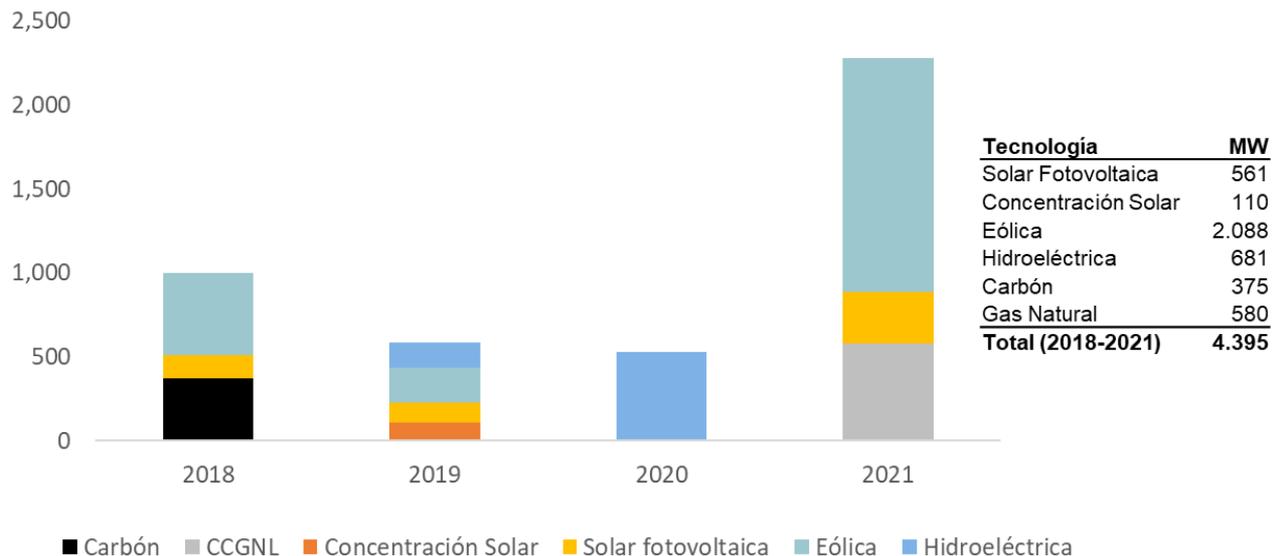


- La hipótesis es que los escenarios de penetración ERV serán resultado de escenarios de demanda y costos de inversión

## Línea Base de proyectos (2018-2021)

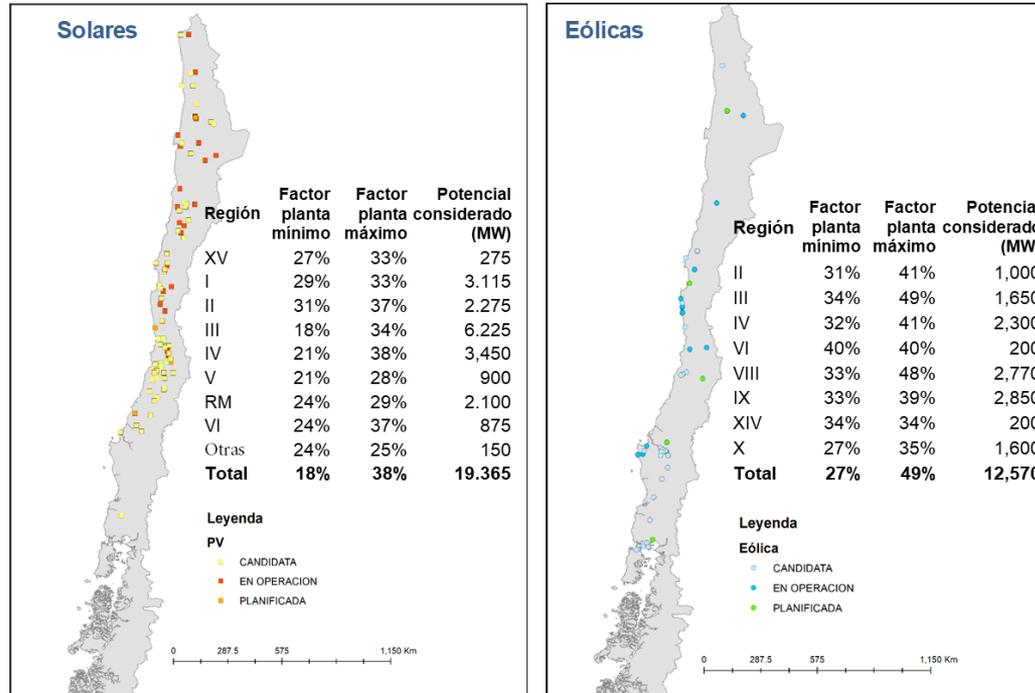
Proyectos en construcción o en etapas avanzadas de desarrollo según la perspectiva al 2Q de 2017 (~4.400 MW).

Línea Base de Proyectos (2018-2021)



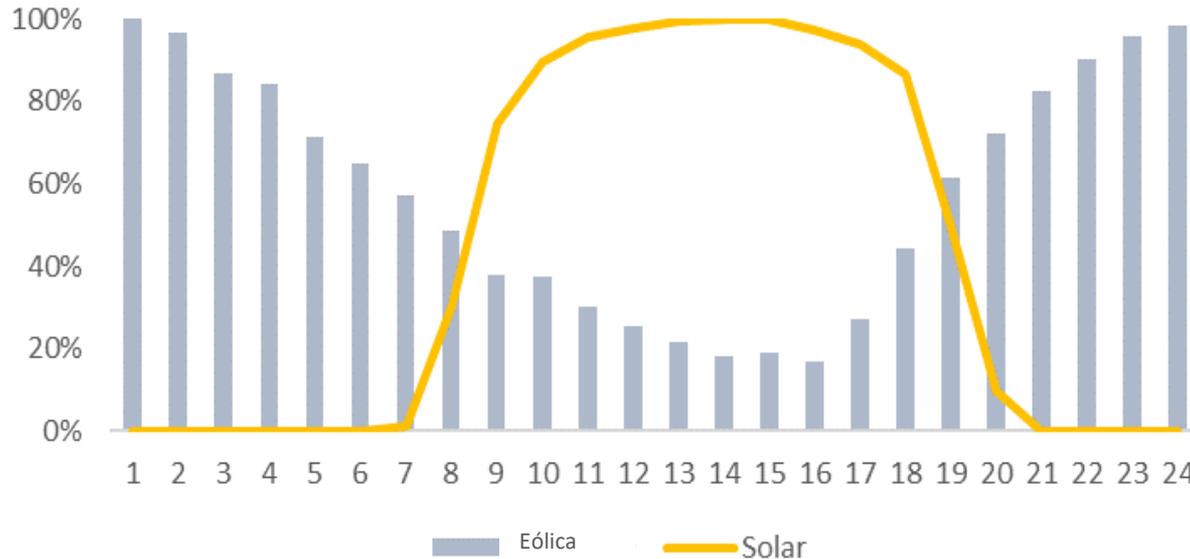
# Centrales ERV candidatas

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

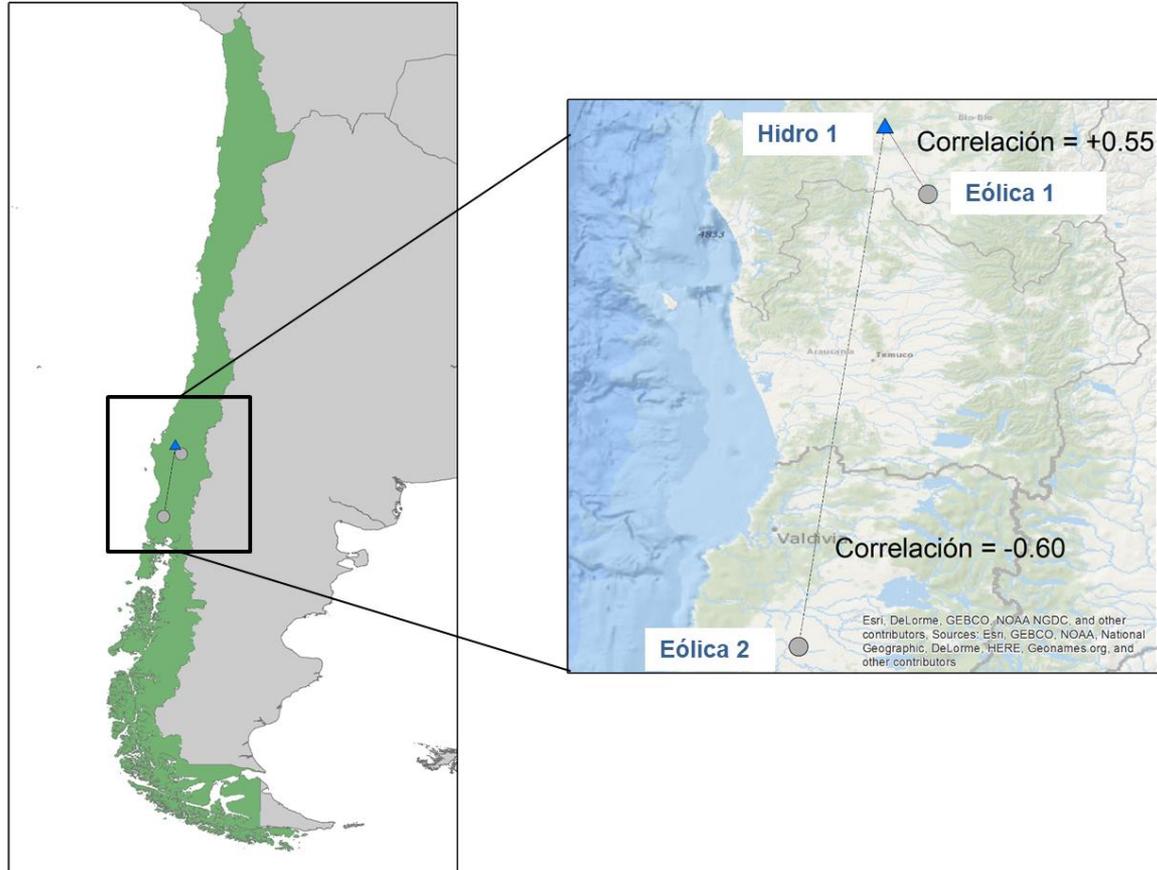


# Complementariedad Eólica – Solar

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



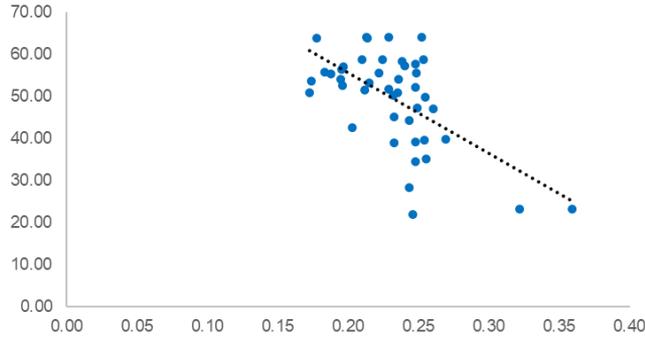
# Correlación VRE-Hidrología



# Ejemplo Correlación Eólica x Caudal

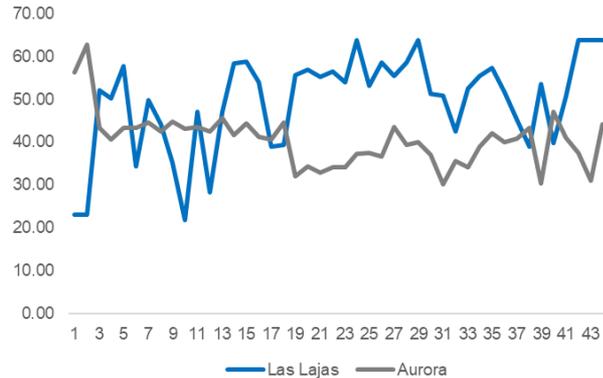
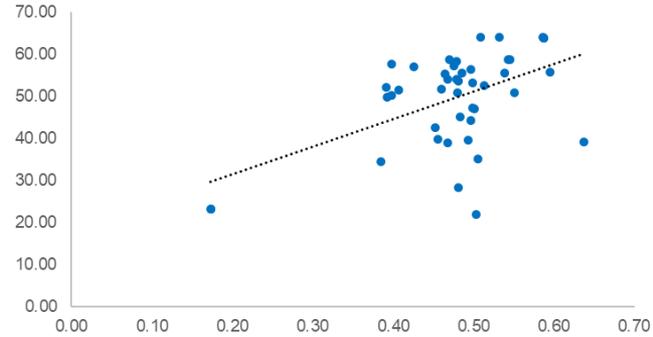
## Eólica 2 vs. Hidro 1

Aurora x Las Lajas

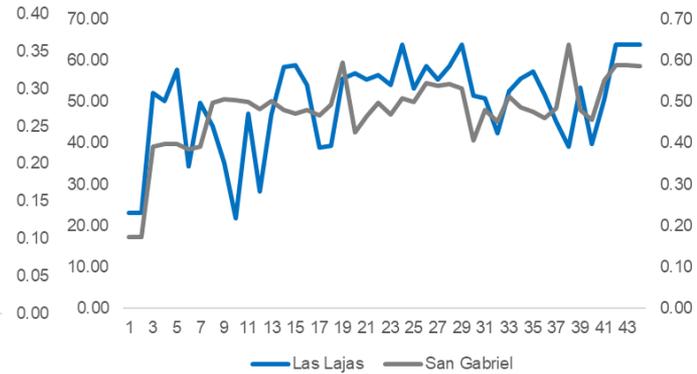


## Eólica 1 vs. Hidro 1

San Gabriel x Las Lajas



Hidro 1 Eólica 2

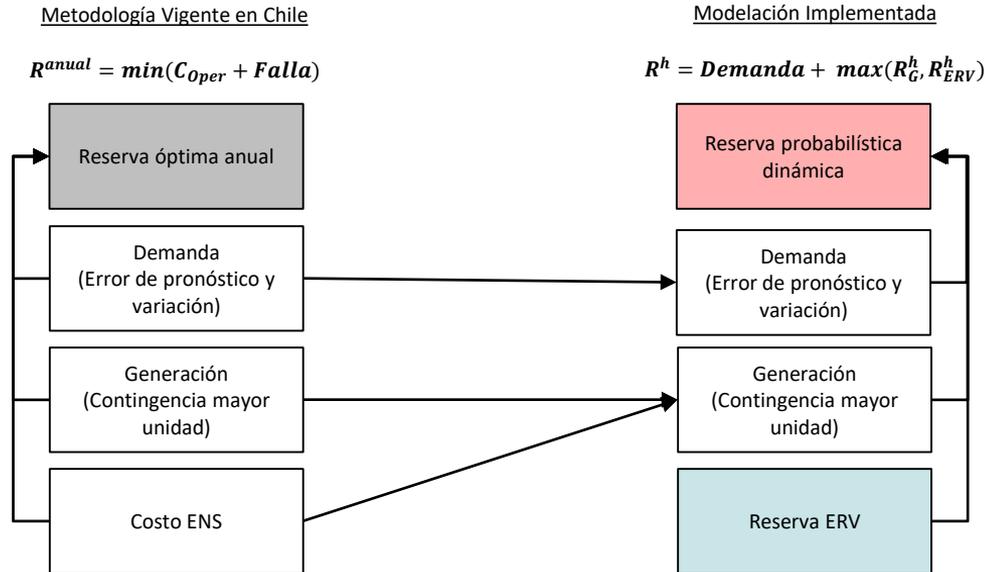


Hidro 1 Eólica 1

# Criterios para reserva operativa

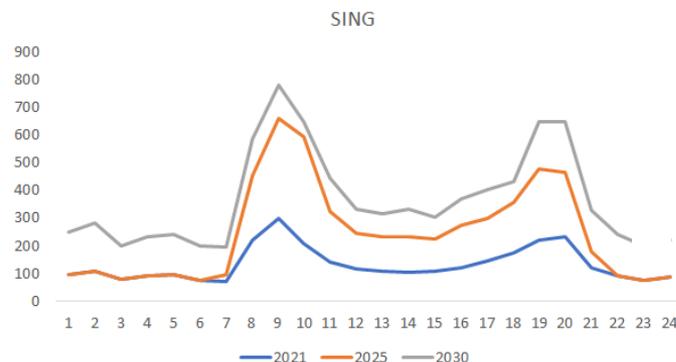
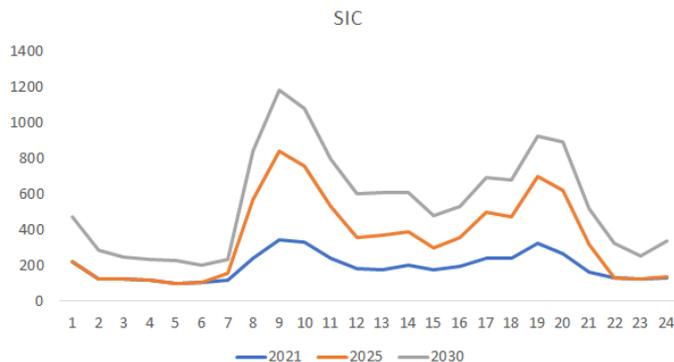
## ► Criterio de Reserva (R)

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



# Resultados: Reserva operativa

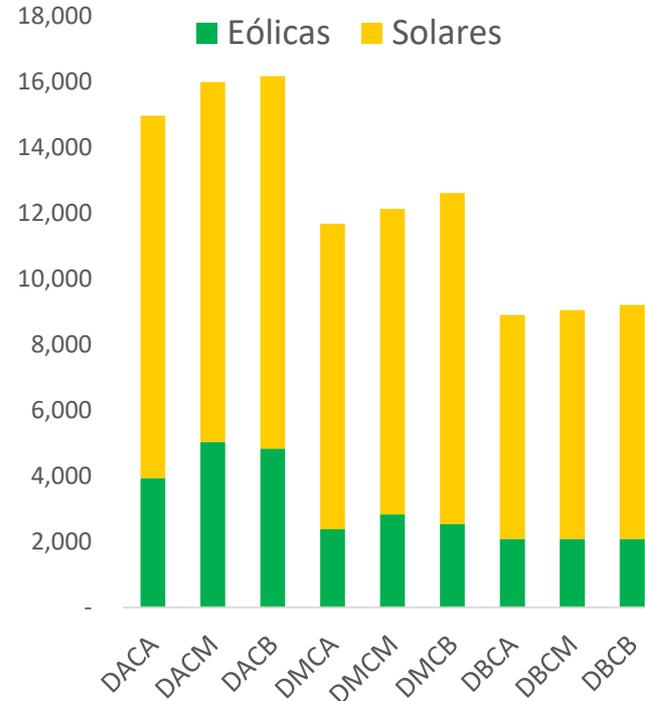
- ▶ Se proyectan aumentos focalizados en momentos de mayor riesgo de variaciones no previsibles (7-9 y 19-21 horas)
  - Criterio de reserva probabilística dinámica es clave para minimizar el requerimiento adicional de reservas
  - Factores relevantes: complementariedad solar-eólica y correlación entre 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 seleccionada<sup>1</sup>

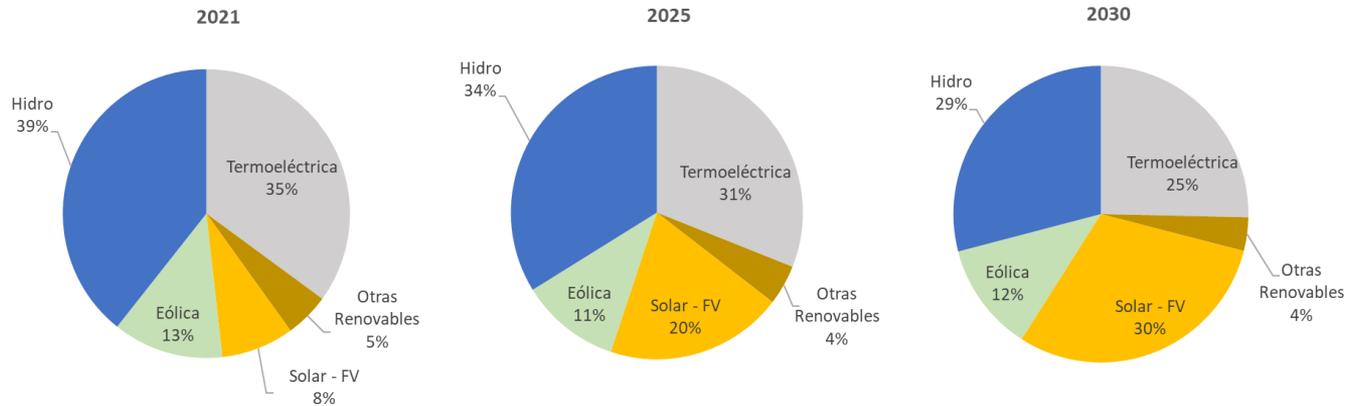
Expansión ERV 2018-2030  
(MW)



(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.

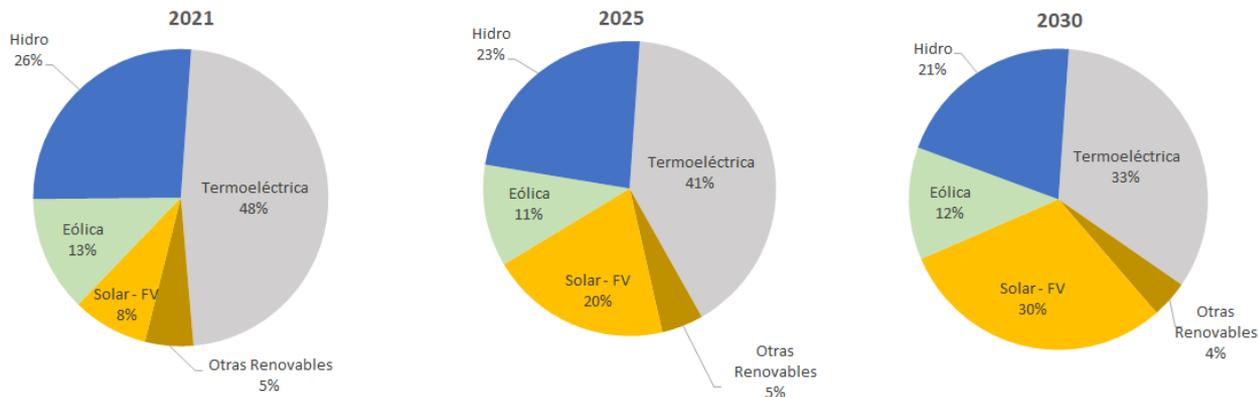
# Participación por Tecnologías – Hidrología Media

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



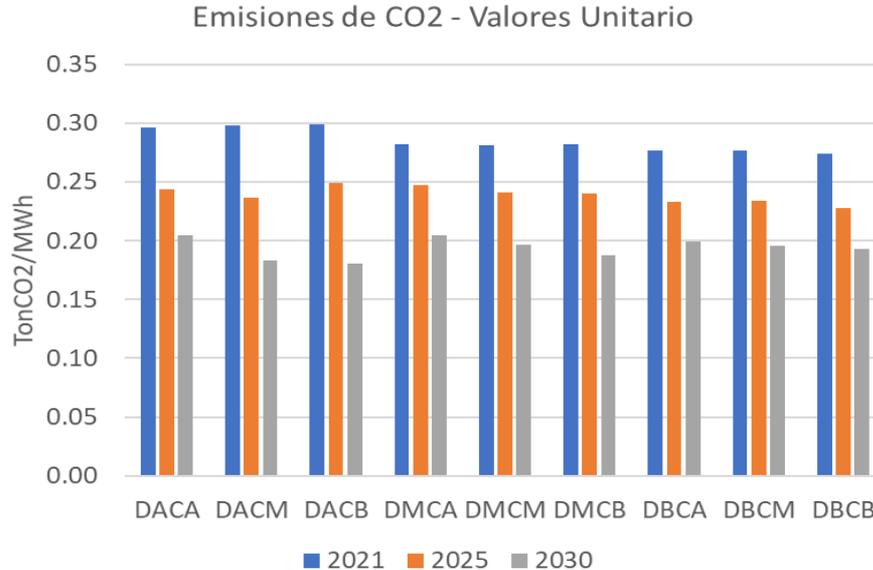
# Participación por Tecnologías – Hidrología Seca

- ▶ 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

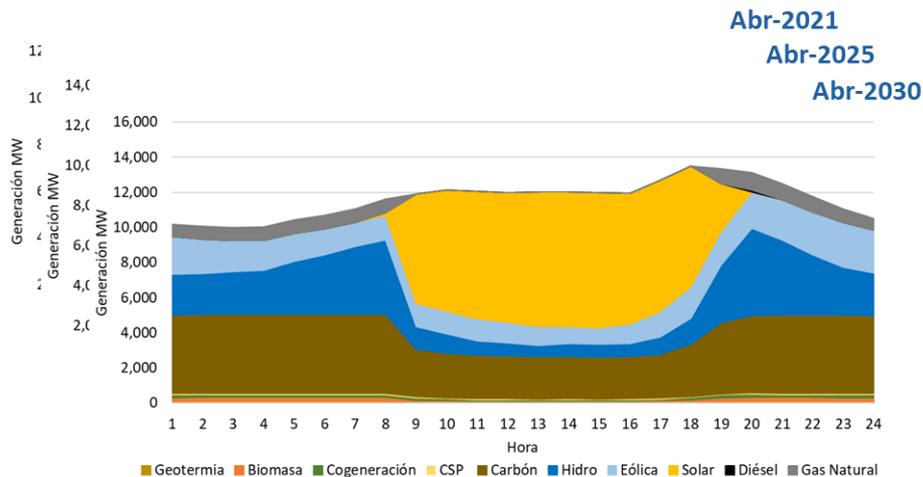
- ▶ Reducción unitaria entre 27 y 40% entre 2021 y 2030 (hasta un 14% en términos totales).
  - Ahorro de hasta US\$ 16 millones anuales en impuestos de CO2



# Modificación del Despacho Diario

- El parque generador termoeléctrico e hidroeléctricas de embalse deberán aportar flexibilidad de una forma creciente

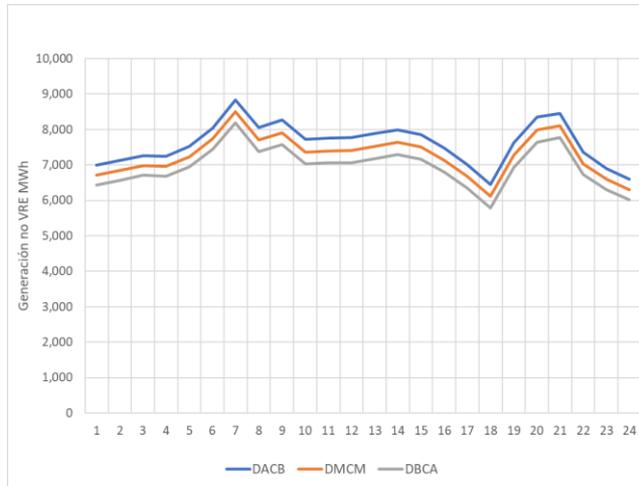
- Embalses: Almacenamiento en horario solar
- Carbón : Seguimiento/mínimo técnico
- CC\_GNL : Ciclaje



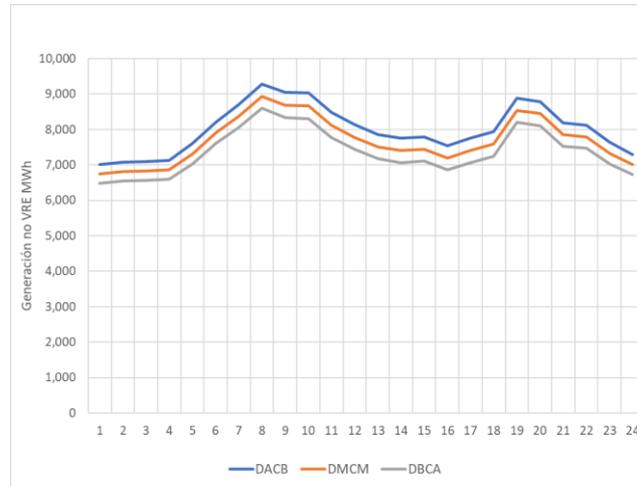
# Requerimiento de flexibilidad

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

Mes de verano - Enero



Mes de invierno - Julio



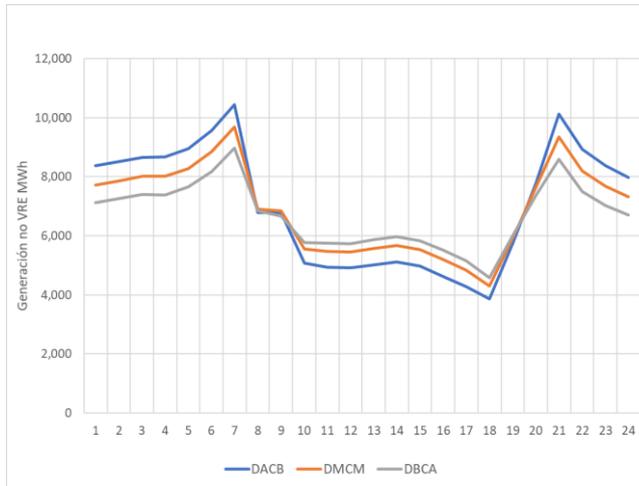
Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	19.8	18-19	-18.2	21-22
DMCM	19.3	18-19	-17.8	21-22
DBCA	18.8	18-19	-17.4	21-22

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

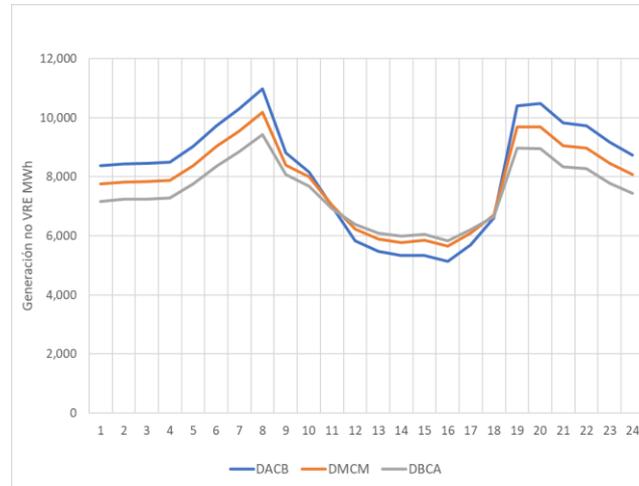
# Requerimiento de flexibilidad

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

Mes de verano - Enero



Mes de invierno - Julio



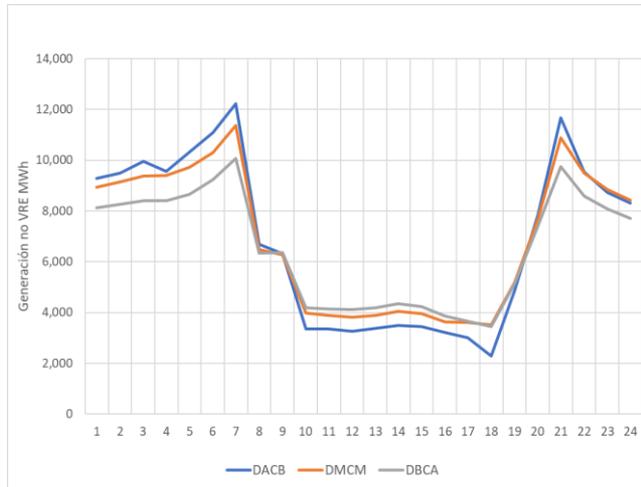
Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	38.7	20-21	-61.2	7-8
DMCM	29.0	19-20	-46.3	7-8
DBCA	23.9	18-19	-35.4	7-8

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

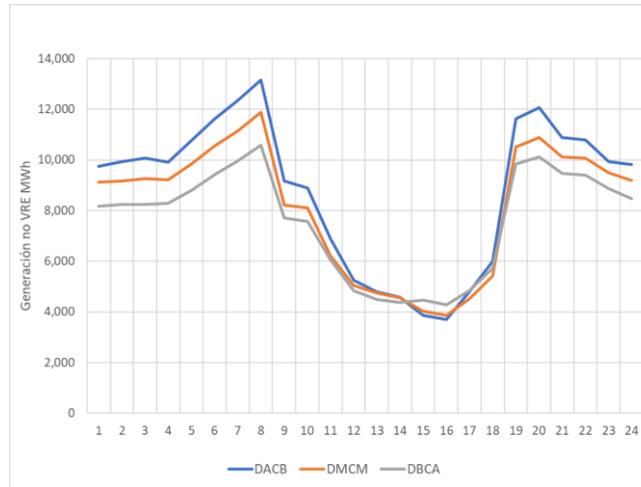
# Requerimiento de flexibilidad

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

Mes de verano - Enero



Mes de invierno - Julio

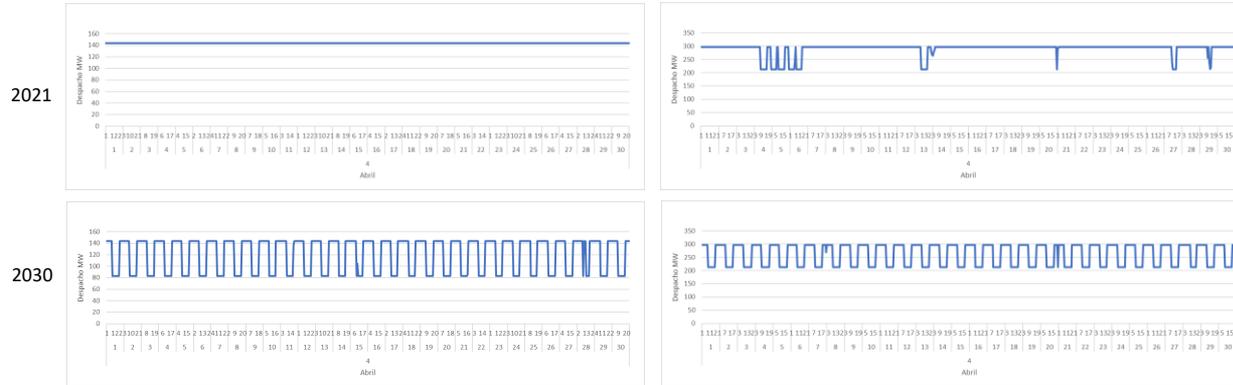


Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	63.7	20-21	-92.6	7-8
DMCM	53.0	20-21	-81.5	7-8
DBCA	39.1	20-21	-62.3	7-8

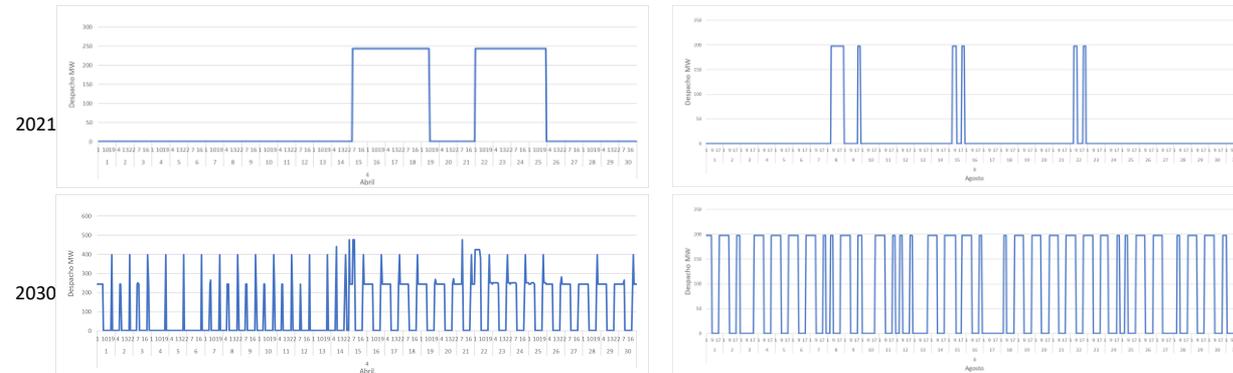
Caso	Máx Aumento		Máx Disminución	
	MW/min	Entre las Horas	MW/min	Entre las Horas
DACB	94.0	18-19	-66.3	8-9
DMCM	84.9	18-19	-60.8	8-9
DBCA	68.7	18-19	-47.9	8-9

# Despacho térmicas

## ► Carbón: Aumento operación a mínimo técnico

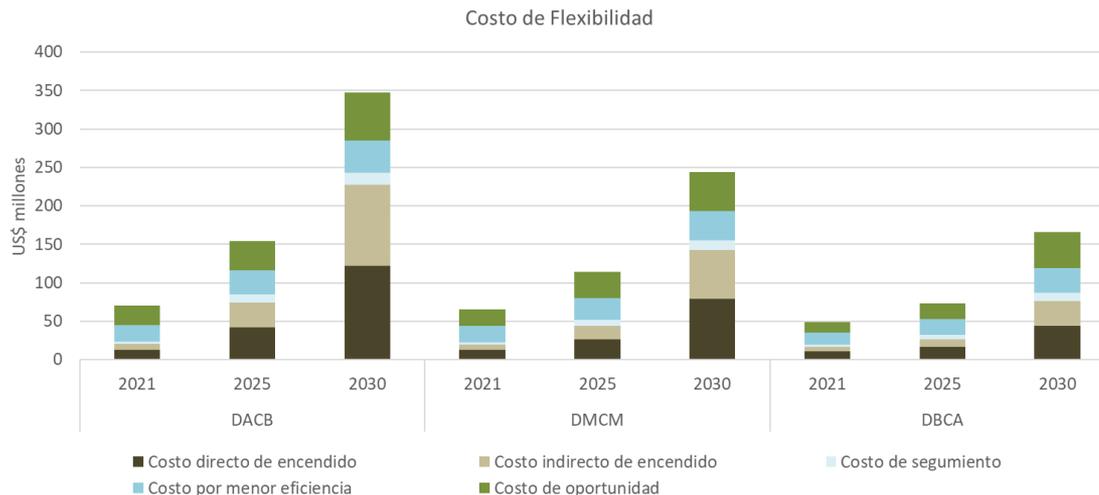


## ► Gas: aumento de ciclaje



# Costos por flexibilidad

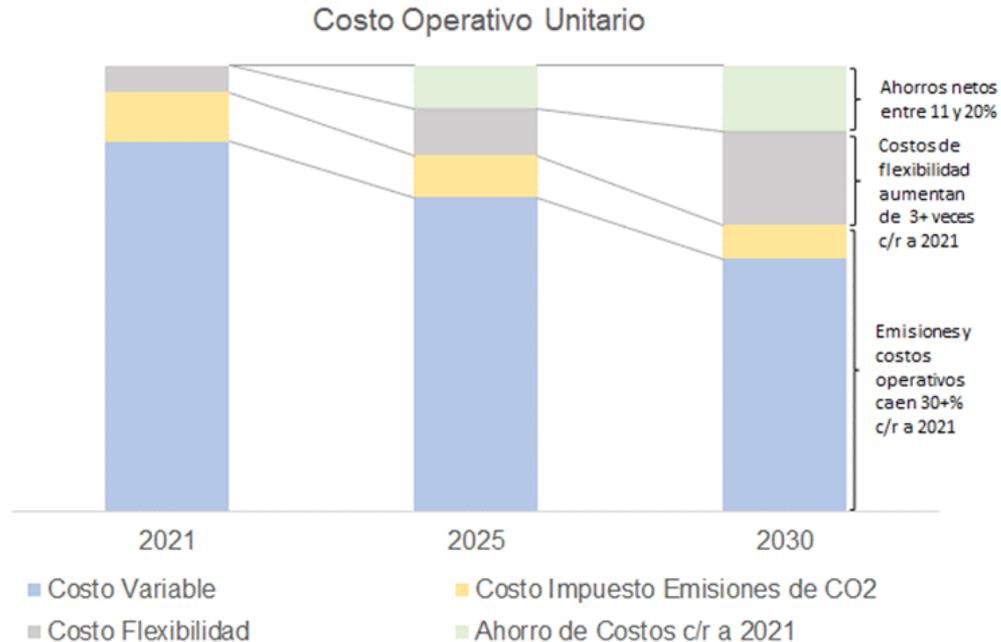
- ▶ La generación termoeléctrica enfrenta costos por flexibilidad entre US\$ 150 y 350 millones anuales en el 2030
  - 70-80% corresponde a costos efectivos (encendido, eficiencia y seguimiento) y restante corresponde a costos de oportunidad<sup>1</sup>



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

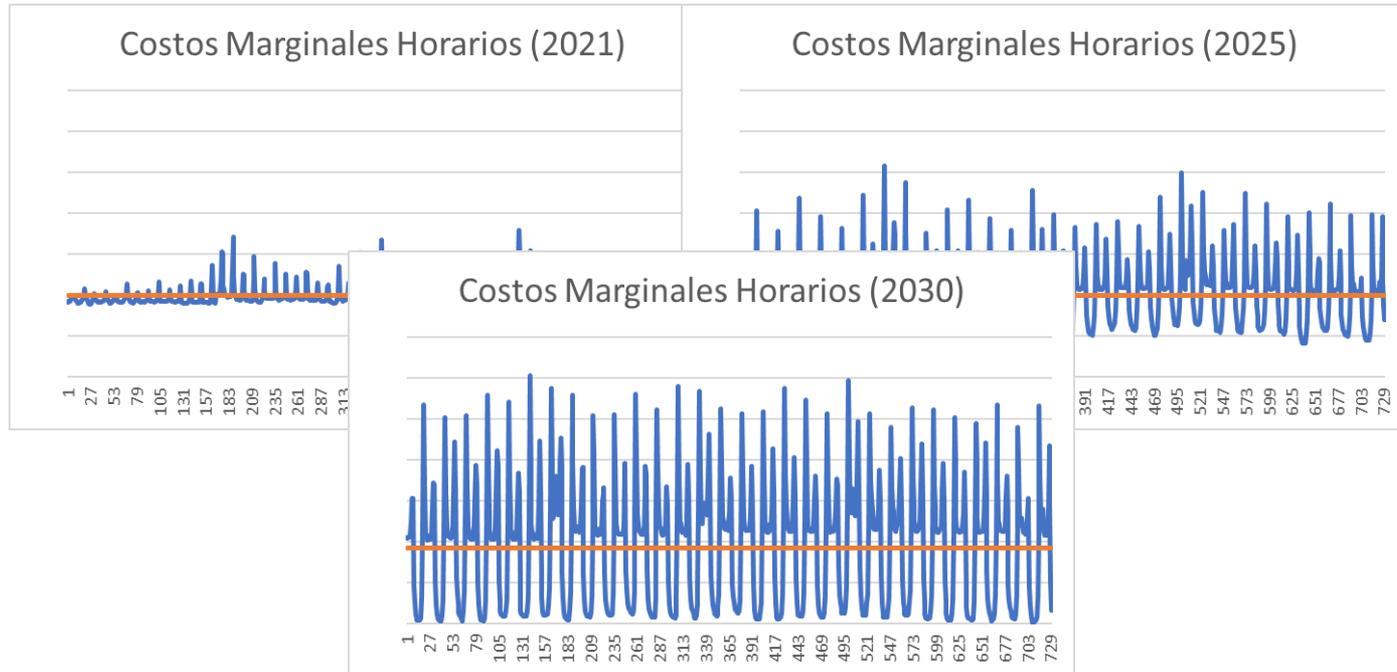
# Costos operativos incluyendo costos flexibilidad

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



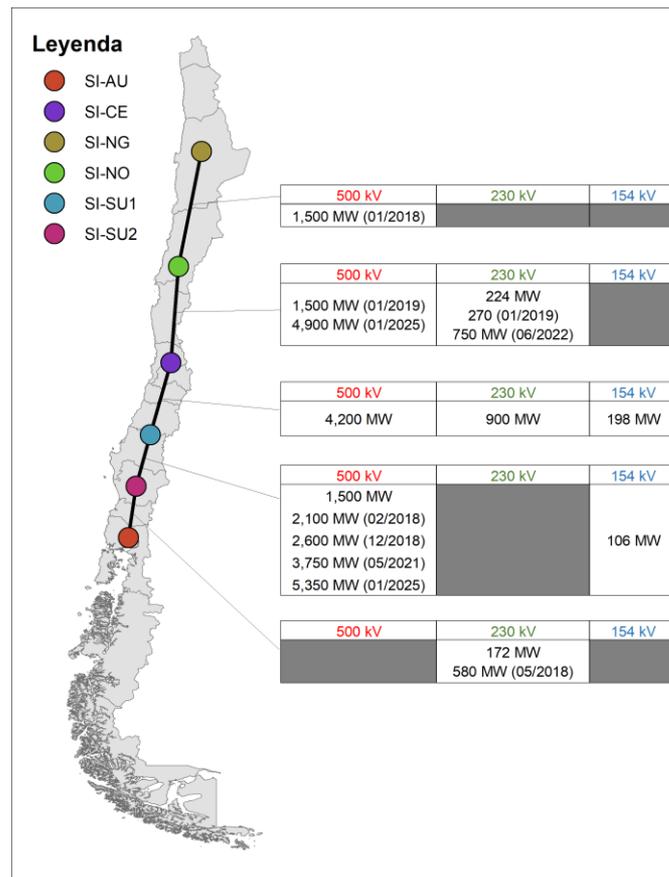
# Costo marginal horario

- 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

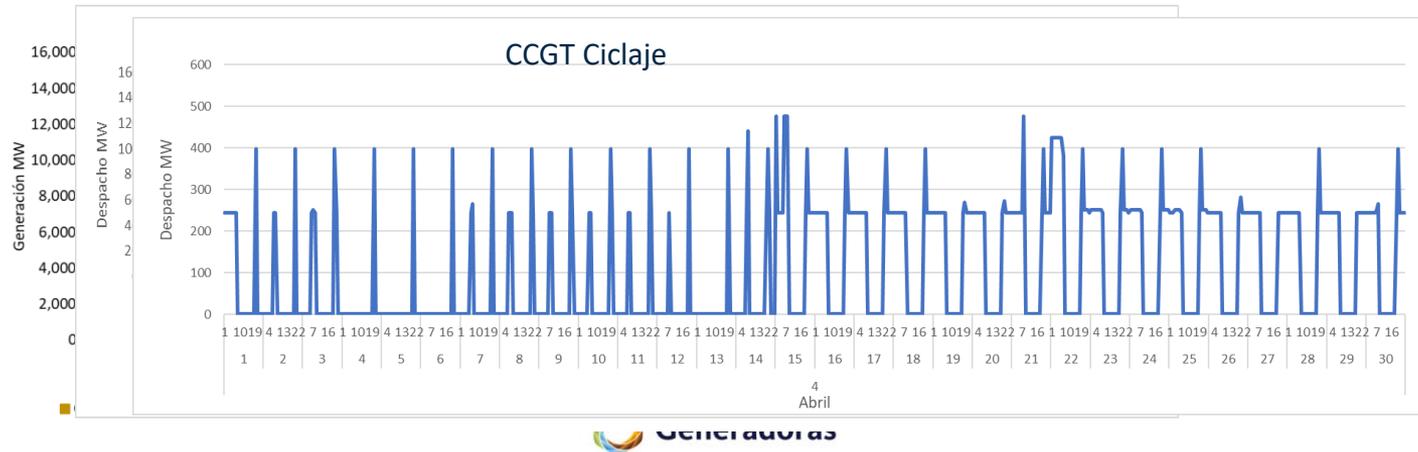


# Conclusiones principales

- ▶ 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
  - CC GN : 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

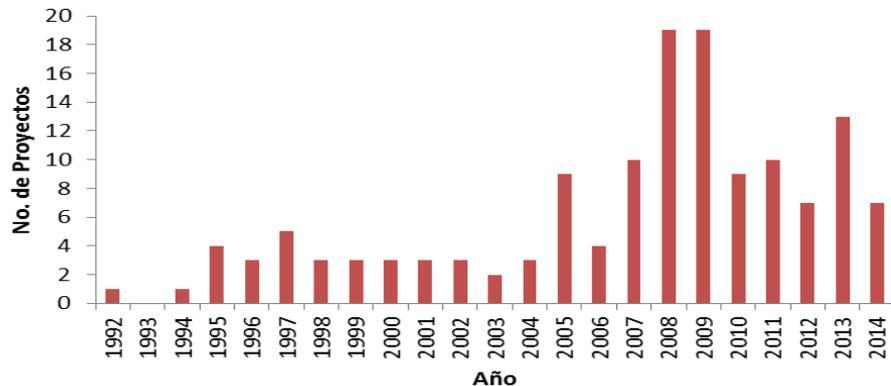
- ▶ La expansión óptima presentada presume que existirán los mecanismos regulatorios para viabilizar su desarrollo
  - Costos de operación eficientes serán compensados
  - Reservas requeridas serán remuneradas apropiadamente
  - Inversiones serán apoyadas por mecanismos de largo plazo

Pilar 3

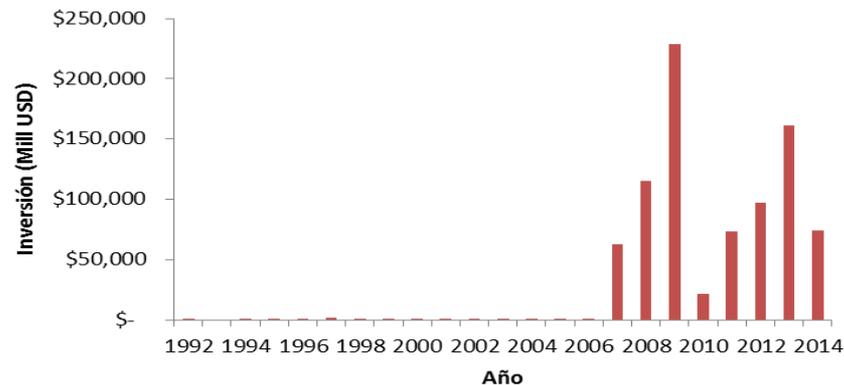
# SUSTENTABILIDAD Y LEGITIMIDAD

# 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

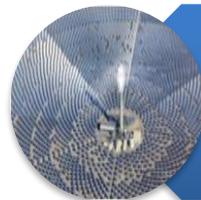
- Políticas públicas compartidas y de largo plazo
- Diálogo público privado reglado (ej. ley de lobby)
- Estado, empresas y ONGs más transparentes
- Diálogo permanente con las comunidades, buscando crear confianza, legitimidad y valor compartido.



## Tres pilares para un futuro mejor



Electrificar la matriz energética



Aprovechar nuestras fuentes renovables



Sustentabilidad y legitimidad



Generadoras de Chile

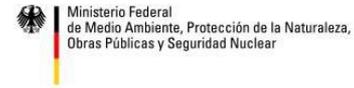
## Visión de la industria sobre la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico chileno

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