



SOLAR AND ENERGY
INNOVATION COMMITTEE

Rol de la Concentración Solar de Potencia en el Sistema Eléctrico Nacional

XII Mes de la Energía

11 Junio 2019

Cristián González Veloso
Comité Solar e Innovación
Energética
CORFO
cgonzalez.veloso@corfo.cl



Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

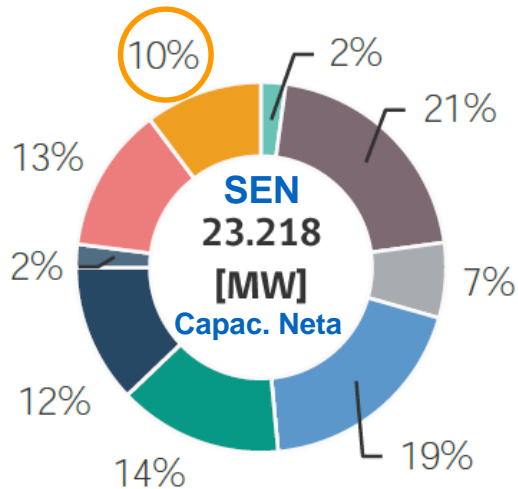
Introducción

- La matriz de generación del SEN tiene una considerable diversificación de tecnologías, lo cual es saludable para mantener un Sistema Eléctrico estable que proporcione:
 - Seguridad en el suministro eléctrico.
 - Despacho económico.
- Para la estabilidad del Sistema, naturalmente que es vital el acceso abierto a todos los sistemas de transmisión disponibles.
- Con el fin de mantener dicha seguridad de suministro y despacho económico, es esencial diferenciar los atributos y prestaciones que proporciona cada tecnología de generación que participa en el SEN.
- De esta forma, podrán ser adecuadamente planificadas las necesidades en infraestructura de generación y transmisión, dependiendo de las particularidades de las tecnologías.



Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Capacidad Instalada Neta & En Construcción



Eólica



Carbón



Diésel



Gas Natural



Solar Fotovoltaica



Hidráulica de Pasada



Mini Hidráulica de Pasada (< 20 MW)



Concentración Solar de Potencia



Geotermia



Hidráulica de Embalse

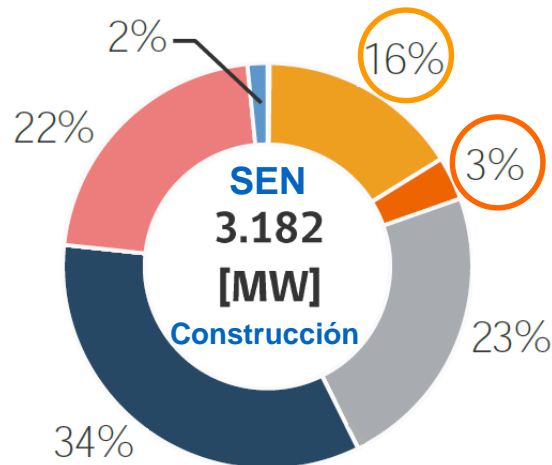


Biomasa

A la fecha, **21%** de la capacidad neta total del SEN es ERNC.

Fuente:

Comisión Nacional de Energía, Coordinador Eléctrico Nacional.
Mayo 2019.

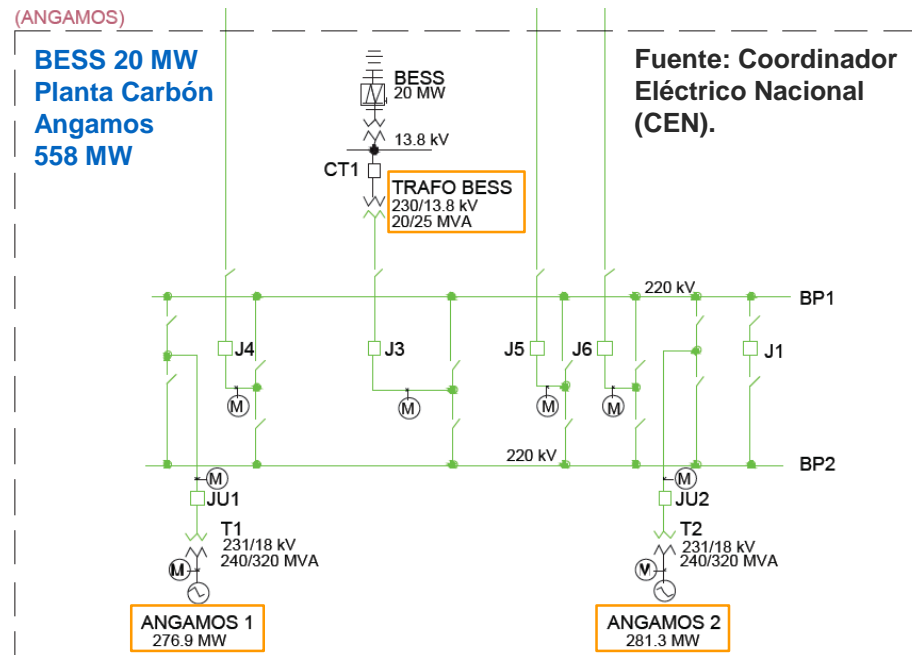




Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Sistemas de Almacenamiento (BESS)

- Existen sistemas de almacenamiento electroquímico en operación, basados en baterías de ion-litio:
 - BESS 20 MW, en Central Angamos de 558 MW.
 - BESS 20 MW, en Central Cochrane de 548 MW.
 - BESS 12 MW, en S/E Los Andes.



- Estas instalaciones de almacenamiento han sido utilizadas especialmente en momentos críticos para estabilizar la frecuencia del SEN, logrando una buena respuesta en el control de frecuencia, durante periodos de corta duración.
- Asimismo, sistemas de almacenamiento de similares características se planean implementar en proyectos hidroeléctricos de pasada actualmente en construcción.

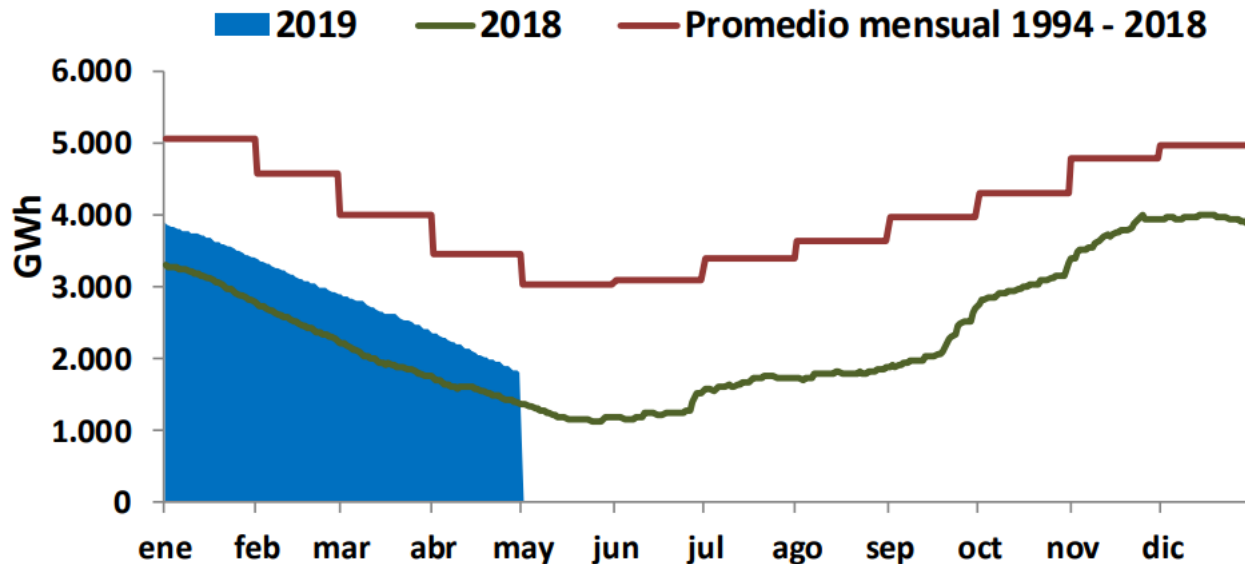
BESS: Battery Energy Storage Systems.



Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Energía almacenada en principales embalses

- Durante el año 2019 la energía embalsada ha sido superior al año anterior.
- Sin embargo, la energía hídrica almacenada continua en niveles muy bajos, representando sólo un **64%** del promedio mensual histórico.



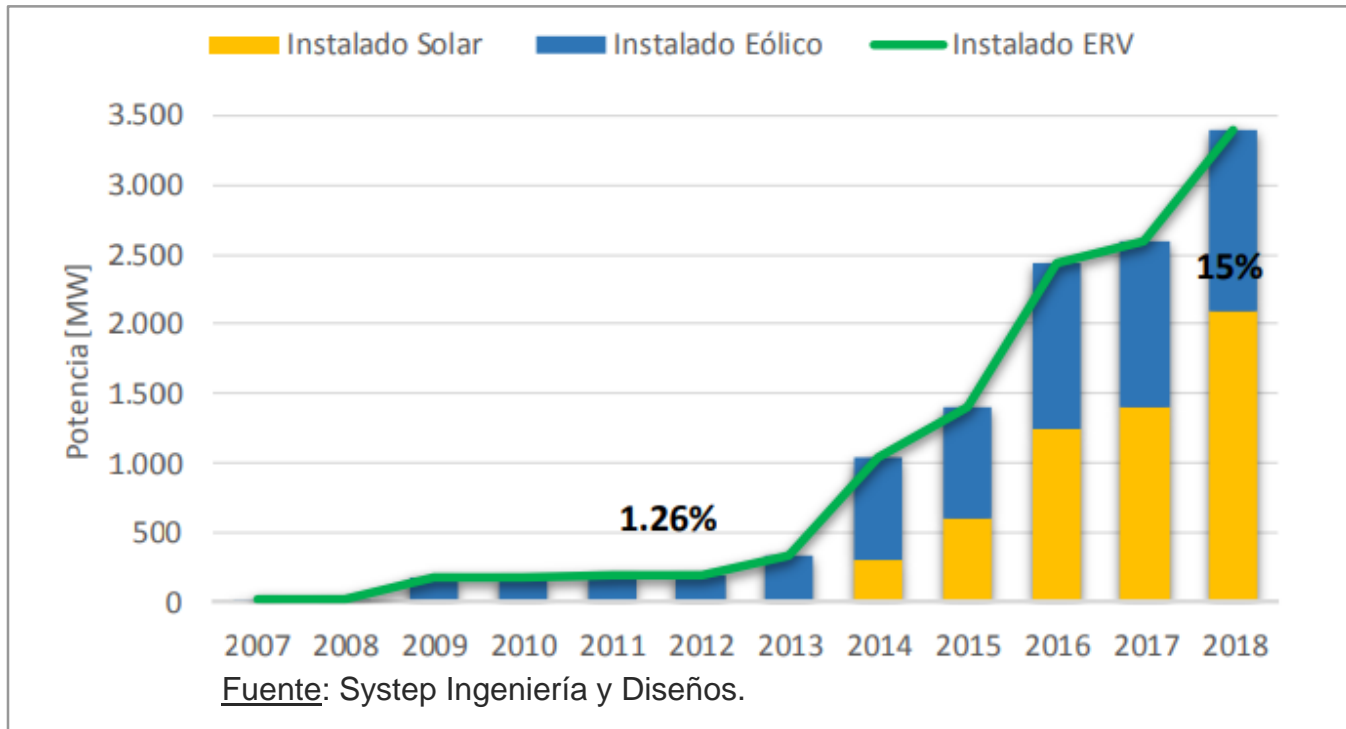
Energía almacenada en principales embalses (estado a Abril 2019).

Fuente: Comisión Nacional de Energía, Coordinador Eléctrico Nacional, Systepl.



Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Energías Renovables Variables (ERV)



- Se proyecta que las plantas FV serán la tercera fuente de generación en 2019, después de las plantas de carbón y plantas hidroeléctricas (en 2018 la tercera fuente de generación fueron las plantas a gas natural).
- Hito → Una fuente ERNC sería la tercera en generación.
- Sin embargo, las ERV no generan en sincronía con el sistema eléctrico.



Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Estado de Situación de la Matriz Eléctrica

- Considerando la capacidad instalada ERNC en operación, 81% corresponde a generación variable (ERV).
- De los 3.182 MW actualmente en construcción:

Tipo	Perfil de Generación / Costo Variable (CV)	Tecnología	%
Fósil	Estable, moderado CV indexado a precios fósiles	Gas Natural	2
Fósil	Estable (*), alto CV indexado a precios fósiles	Diésel	22
Renovable	Variable indexado a recurso solar y cinético, bajo CV	FV, Eólica (ERV)	39
Renovable	Variable indexado a niveles hidrológicos, bajo CV	Hidro de Pasada	34
Renovable	Estable, indexado al diseño del almacenamiento, bajo CV	CSP	3

(*) Perfil de generación estable, pero raramente despachado debido al alto costo variable.

- Existe una frecuente volatilidad en el precio de combustibles fósiles.
- Hay tendencia hacia hidrologías más secas.
- La energía embalsada está sólo en 64% con respecto al promedio mensual histórico.



Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Estado de Situación de la Matriz Eléctrica

- La creciente participación de ERV hace esencial que sean incorporadas tecnologías que proporcionen “flexibilidad” en el SEN, lo cual es necesario para mantener una operación con estabilidad.
- Asimismo, es necesario incorporar tecnologías que posean el atributo de despacho económico, lo cual permitirá una estabilidad económica en el SEN.
- Para la expansión y desarrollo del Sistema Eléctrico en el mediano y largo plazo, deben planificarse las inversiones considerando todos los atributos necesarios en las tecnologías de generación → Estabilidad económica y sustentable.

Atributos de Tecnologías de Generación	
Despacho durante el día	Suficiencia y continuidad de suministro
Despacho durante las horas peak	Reducción de gases efecto invernadero
Despacho durante la noche	Contribución de inercia
Despacho económico (bajo costo variable)	Contribución de reserva en giro
Almacenamiento energético	Contribución en control de frecuencia
Tiempo de arranque a plena capacidad	Contribución en control de tensión



Atributos de Tecnologías de Generación

Qué tecnología puede proporcionar todos los atributos?

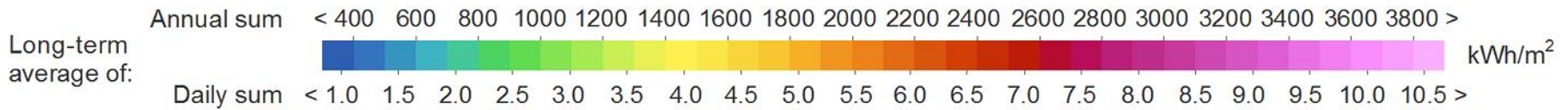
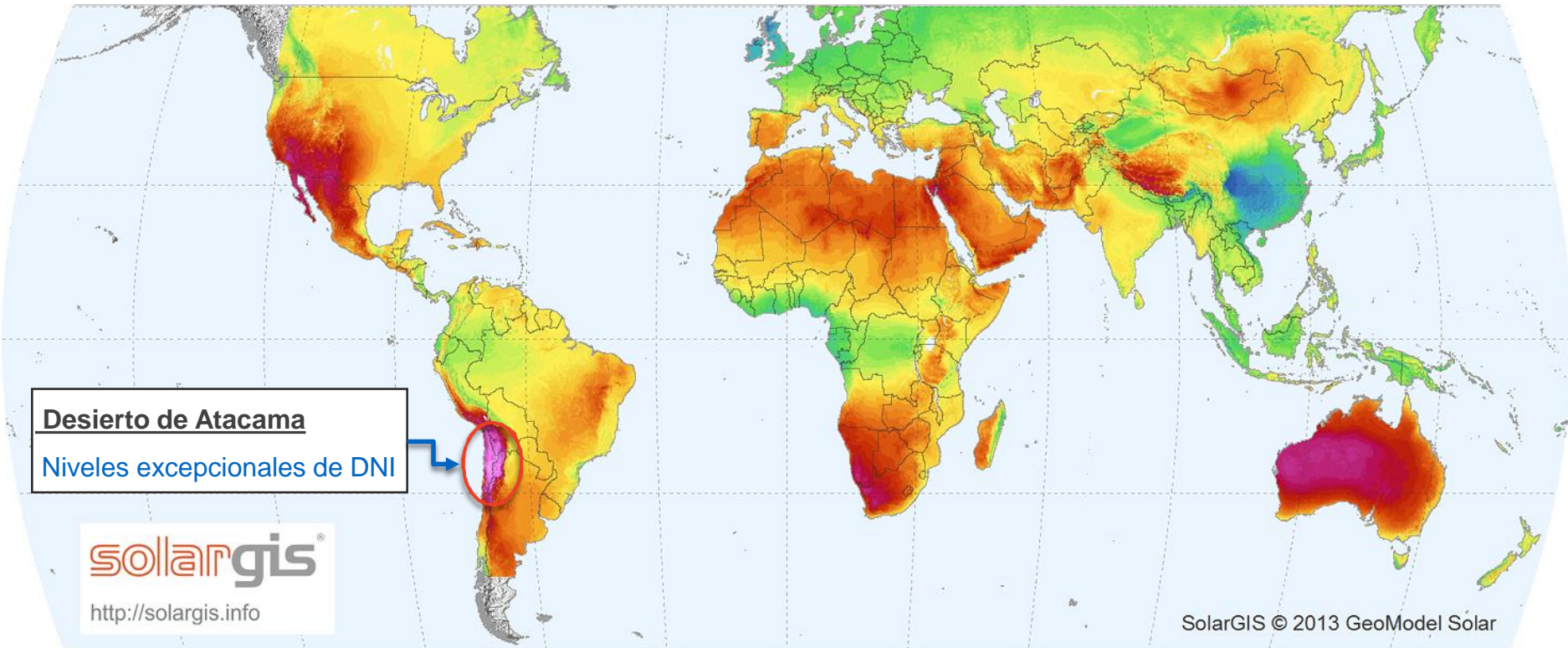
→ La Concentración Solar Potencia es una excelente alternativa ... Por qué?

- Flexibilidad (despacho) → Habilidad para hacer frente a la variabilidad e incertidumbre en el perfil de demanda.
- Versatilidad → Las plantas CSP se diseñan de acuerdo al perfil de demanda que deben suministrar (perfil de generación es endógeno).
- Disponibilidad de almacenamiento, desacoplando la variabilidad del recurso solar con respecto al perfil de generación (de acuerdo al diseño de la planta CSP en cuestión).
- Estabilidad para el Sistema Eléctrico, mediante:
 - Inercia.
 - Reserva en giro.
 - Control de frecuencia y voltaje.
- Bajo costo variable.
- Tiempo de arranque a plena capacidad igual o inferior que las tecnologías termoeléctricas que usan combustibles fósiles.
- Generación renovable (permite reducir GEI).
- Constituyen un reemplazo natural de las centrales a carbón (CSP posee todos los atributos).
- Y además, Chile cuenta con el mejor recurso solar del mundo para la CSP (DNI).



Potencial de Energía Solar en Chile

Irradiancia Normal Directa (CSP)



DNI : Direct Normal Irradiance.

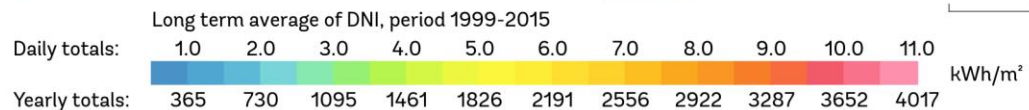
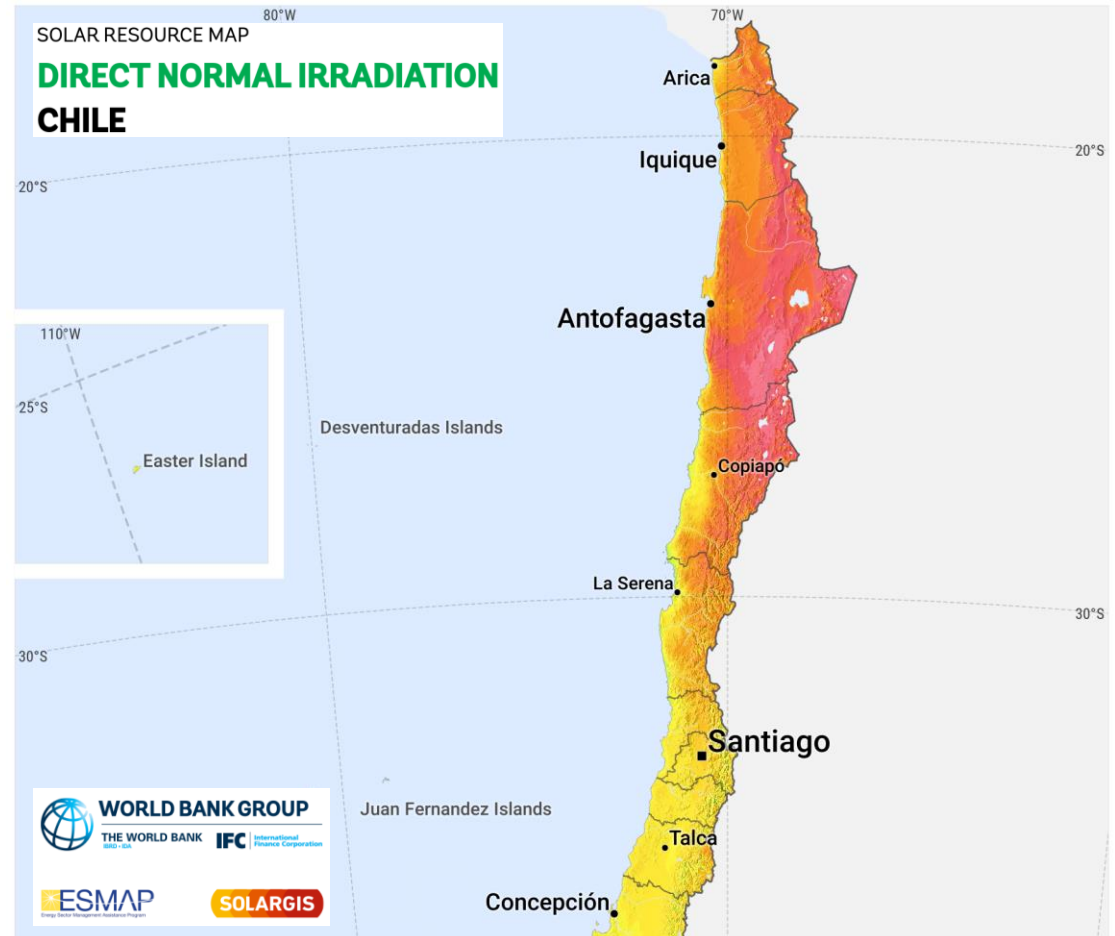


Potencial de Energía Solar en Chile

Irradiancia Normal Directa (CSP)

Condiciones en Desierto de Atacama:

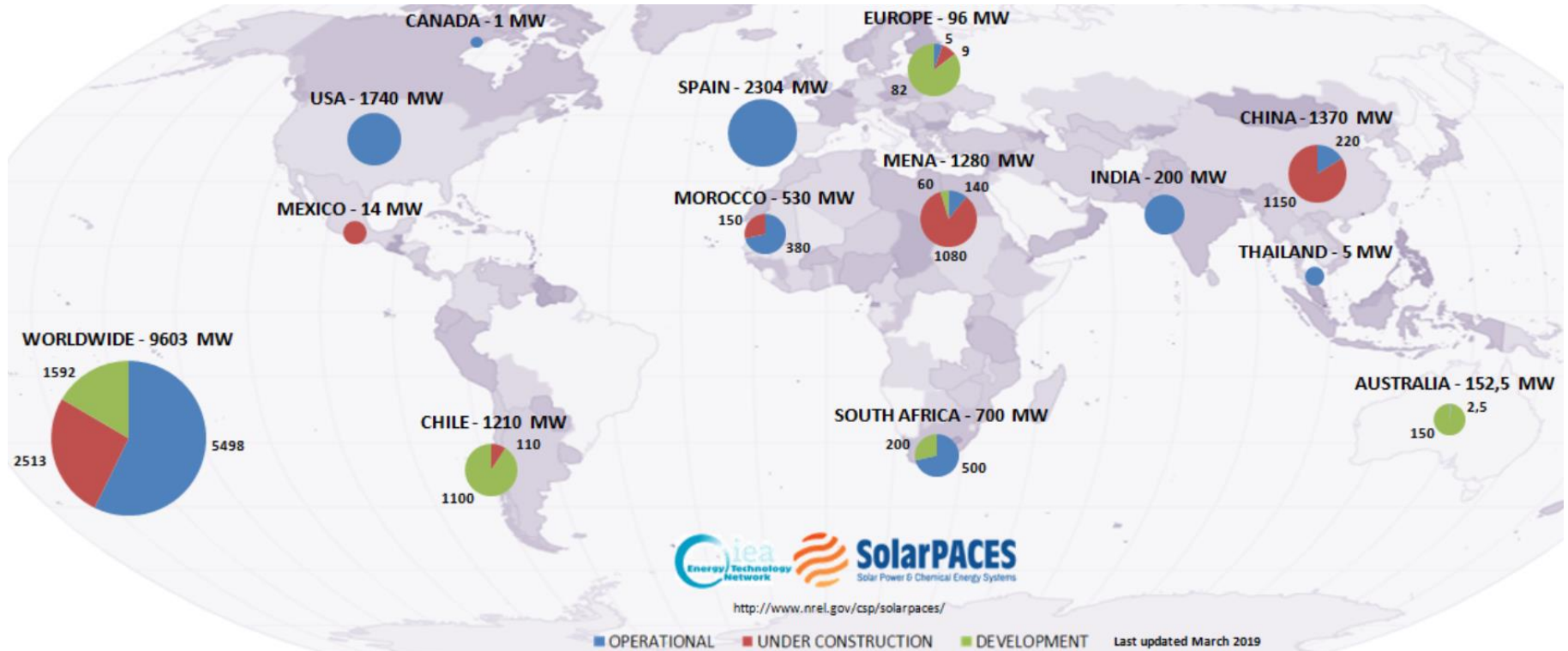
- DNI sobre $\sim 3.200 \text{ kWh/m}^2$ por año (principalmente en región de Antofagasta).
- Sobre ~ 4.000 horas de sol por año.
- Excelentes condiciones de **atenuación atmosférica**.
- GHI (Irradiancia Global Horizontal) sobre $\sim 2.400 \text{ kWh/m}^2$ por año (para FV).
- Rendimiento FV sobre $\sim 2.200 \text{ kWh/kWp}$ por año.





CSP en el Mundo

Proyectos en operación, construcción y desarrollo





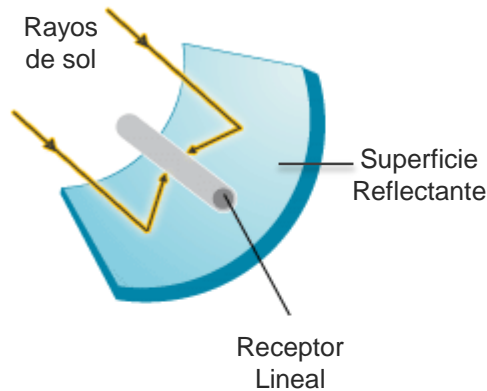
Tecnologías CSP

Procesos de concentración solar

Tecnologías de Concentración Lineal

Cilindro Parabólico

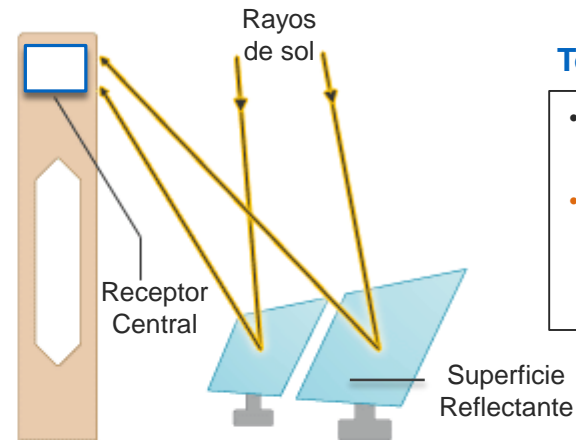
- En operación comercial.
- Actualmente con la mayor capacidad instalada en el mundo.



Tecnologías de Concentración Puntual

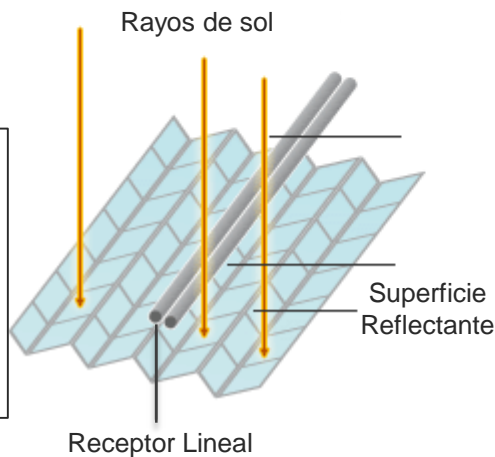
Torre

- En operación comercial.
- **Mayor tasa de crecimiento de capacidad instalada.**



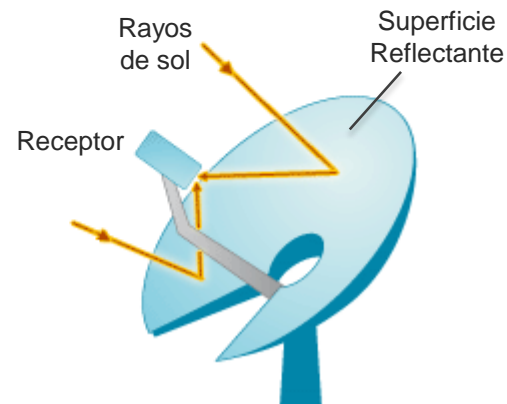
Colectores Lineales Fresnel

- En operación comercial.
- Existe escasa capacidad instalada.
- Sólo 1 proyecto en construcción.



Disco Stirling

- Tecnología aún en desarrollo.
- Actualmente existen sólo prototipos.





CSP en el Mundo

Proyectos por tecnología



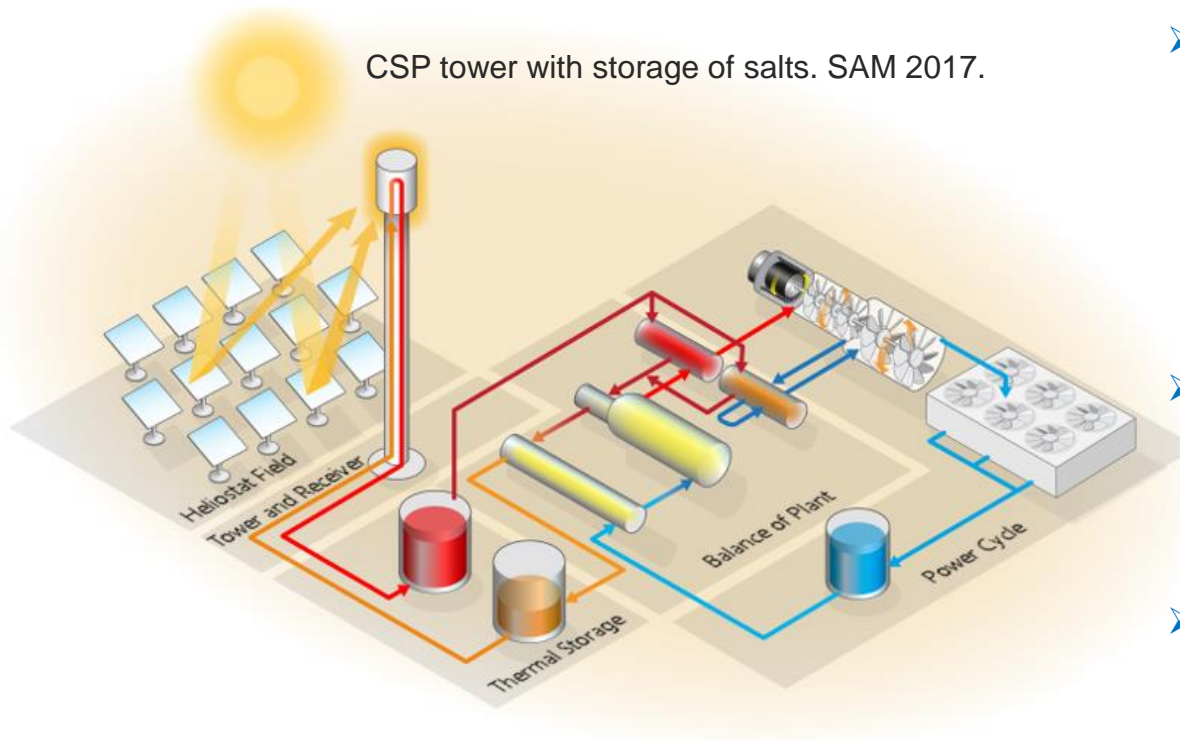
Fuente: SolarPACES.



Planta CSP de Torre

Principales Componentes

CSP tower with storage of salts. SAM 2017.



➤ Capacidad de Captura Térmica.

- Helióstatos.
 - Receptor.
 - Fluido Caloportador.
- } **Potencia Térmica de Receptor [MW-t]**
(también llamado Potencia Térmica del Campo Solar)

➤ Campo Solar.

Provee un flujo de energía térmica, dependiente del recurso solar (DNI) y del tamaño del campo heliostático. La energía térmica es capturada en sales fundidas (**Fluido Caloportador**).

➤ Fluido Caloportador.

Es direccionado al estanque de sales calientes, permitiendo un suministro energético estable para el **Bloque de Potencia**.

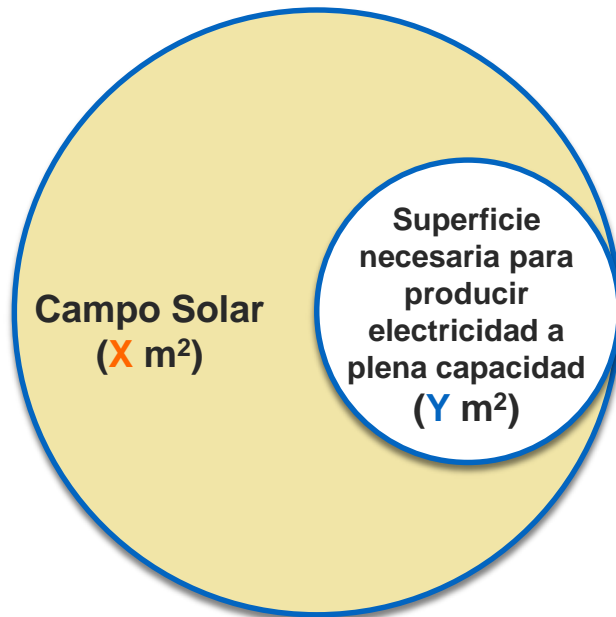
➤ Bloque de Potencia.

Es suministrado desde los intercambiadores de calor para la generación eléctrica, dependiendo de la señal de despacho y del tamaño del almacenamiento térmico (TES).



Planta CSP de Torre

Configuración de Planta – Múltiplo Solar



El **Múltiplo solar** define la relación de la Capacidad de Captura Térmica del campo solar (MW-t), con respecto a la Potencia Térmica de la turbina en el Bloque de Potencia (MW-t).

$$\text{Múltiplo Solar} = \frac{X \text{ m}^2}{Y \text{ m}^2}$$

$$\text{Múltiplo Solar (SM)} = \frac{\text{Capacidad de Captura Térmica [MW}_{-t}]}{\text{Potencia Térmica de Turbina [MW}_{-t}]}$$



Planta CSP de Torre

Configuración de Planta – Horas de Almacenamiento



- La **Capacidad de Almacenamiento Térmico** representa la capacidad del(los) estanque(s) para sales fundidas calientes.
- La **Capacidad de Almacenamiento Térmico** determinará la cantidad de horas que el Bloque de Potencia puede producir electricidad a plena capacidad, independientemente del Campo Solar.

$$\text{Horas de Almacenamiento} = \frac{\text{MWh}_{-t}}{\text{MW}_{-t}}$$

$$\text{Horas Almac.} = \frac{\text{Capacidad de Almacenamiento Térmico [MWh}_{-t}\text{]}}{\text{Energía Térmica necesaria para producir electricidad a plena capac. en 1 hora [MW}_{-t}\text{]}}$$



Configuración de Plantas CSP

Múltiplo Solar (MS) & Horas de Almacenamiento (HA)

➤ La **Capacidad de Captura Térmica** [MW-t] puede ser utilizada para producir electricidad [MW-e]:

- Durante las horas peak.
- Durante la noche.
- Durante las horas peak y la noche.
- Durante las 24 horas.

Dependiendo de la configuración “MS/HA” de cada planta CSP en particular.

Horas Almac.	Múltiplo Solar						
	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	3,0
6	■	■	■	■	■		
9				■	■	■	
12						■	
15						■	■
18							■



Diseños de Proyectos CSP

Configuración de Planta

Diseño de Configuración de Planta	Cerro Dominador (Chile)	NOOR III (Marruecos)
Potencia bruta [MW-e]	110	150
Eficiencia térmica a eléctrica	~ 40% - 42%	~ 40% - 42%
Potencia térmica de turbina [MW-t]	~ 268	~ 366
Potencia térmica de receptor [MW-t]	~ 805	~ 660
Múltiplo Solar (MS)	~ 3.0	~ 1.8
Almacenamiento de energía térmica [horas]	17,5	7,5
Cantidad de helióstatos	10.600	7.400
Superficie reflectante [m ²]	~ 1.484.000	~ 1.317.000
Irradiancia Normal Directa (DNI) [kWh/(m² año)]	~ 3.700	~ 2.500

Fuente: NREL, SENER Molten Salt Tower Technology (Ouarzazate NOOR III case) y elaboración propia.

- CSP es una tecnología "*speciality*", diseñada de acuerdo al perfil de carga requerido.
- CSP representa "varias tecnologías".



Proyectos CSP

Cerro Dominador (Chile)

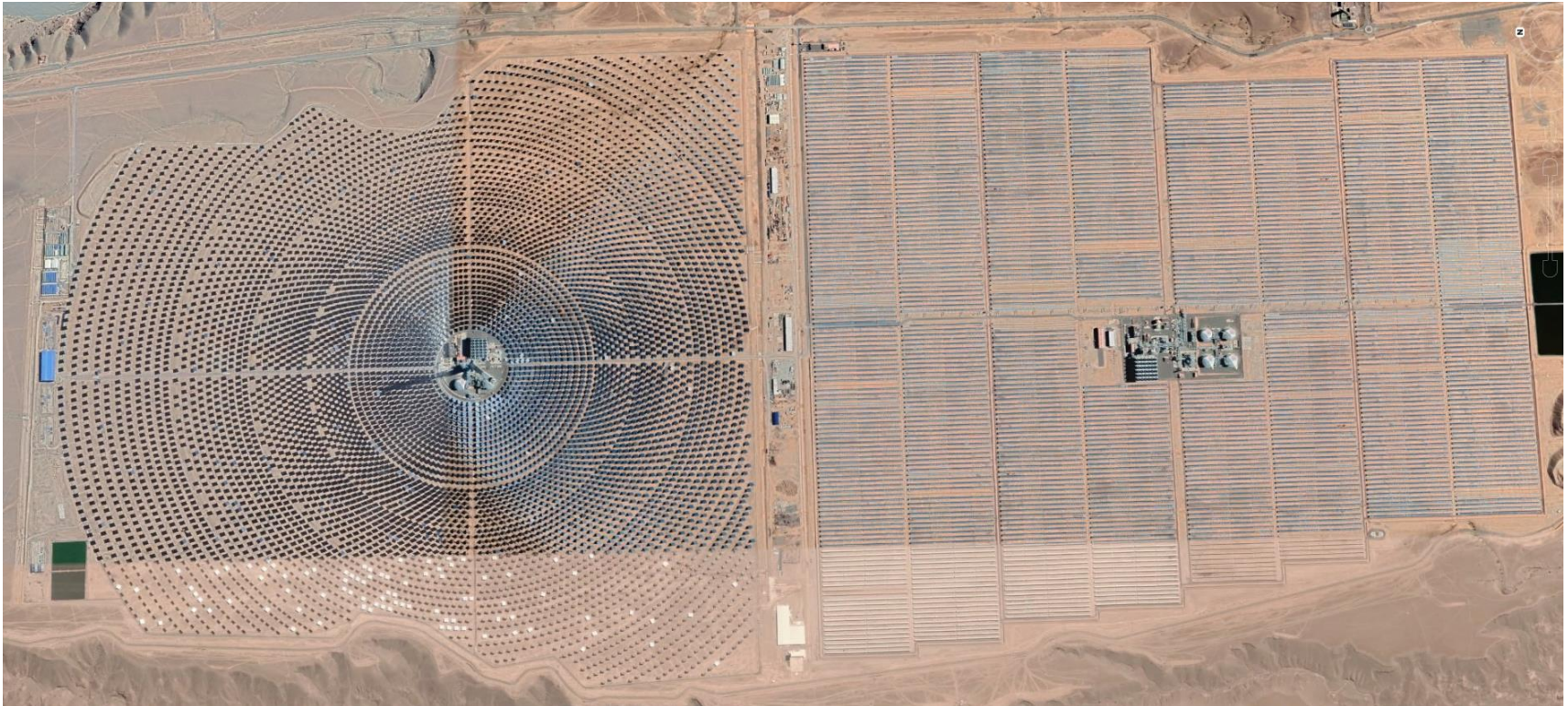


- Proyecto CSP (tecnología de Torre), 110 MW, 17.5 horas de almacenamiento térmico (en construcción).
- Proyecto Fotovoltaico, 100 MW (en operación).

Fuente: Cerro Dominador. María Elena, Chile.



Proyectos CSP NOOR (Marruecos)



Proyecto NOOR III (en operación)
150 MW – 7.5 horas almacenamiento
(tecnología de Torre)

Proyecto NOOR II (en operación)
200 MW – 7.5 horas almacenamiento
(tecnología de Cilindro Parabólico)

Fuente: Masen, NOOR Projects. Ouarzazate, Morocco.



Diseños de Proyectos CSP

Configuración de Planta

- La configuración de las plantas CSP está determinada fundamentalmente por:
 - Múltiplo Solar (MS).
 - Horas de Almacenamiento.
- Cada configuración de planta CSP tiene diferente CAPEX, ya que:
 - Tienen diferentes tamaños de campo solar.
 - Tienen diferentes tamaños de estanques de almacenamiento.
 - Tienen diferentes volúmenes requeridos de fluido caloportador.
- Considerando que cada configuración de planta CSP tiene un CAPEX diferente, entonces cada planta CSP tiene un LCOE diferente.
- De esta forma, para la tecnología CSP, el LCOE no es un número ... **Es una función.**

$$\text{LCOE CSP} = f(\text{Múltiplo Solar, Horas de Almacenamiento})$$



Comentarios Finales

- Para planificar la expansión del Sistema Eléctrico en el mediano y largo plazo, no es suficiente con pensar solamente en incorporar más MW de capacidad instalada.
- Es fundamental diferenciar los atributos de las tecnologías de generación, ya que cada tecnología posee diferentes cualidades para aportar al Sistema Eléctrico.
- Es esencial incorporar tecnologías de generación síncrona en la expansión del Sistema Eléctrico, con el fin de complementar la creciente implementación de ERV.
- Dada la crítica realidad ambiental que estamos viviendo, es imperativo utilizar fuentes de generación renovables → El principal potencial renovable en Chile es Solar.
- Las plantas CSP pueden proporcionar generación síncrona, flexible y renovable, con despacho económico y estabilidad de suministro, pudiendo adaptarse a cualquier perfil de demanda, sin aspectos exógenos que intervengan.
- La tecnología CSP posee todos los atributos para reemplazar a las centrales a carbón que serán progresivamente cerradas.



SOLAR AND ENERGY
INNOVATION COMMITTEE

Muchas Gracias

Cristián González Veloso
Comité Solar e Innovación
Energética
CORFO
cgonzalez.veloso@corfo.cl