

IX CONGRESO INTERNACIONAL

Almacenamiento
DE ENERGÍA ⚡

una **nueva era** de alta Confiabilidad



**Versatilidad estratégica de los BESS:
Servicios eléctricos, flexibilidad comercial y
regulación emergente desde la experiencia chilena**

Luciano Silva Militello

Gerente de Producto e Ingeniería BESS para LATAM



Hacemos parte de

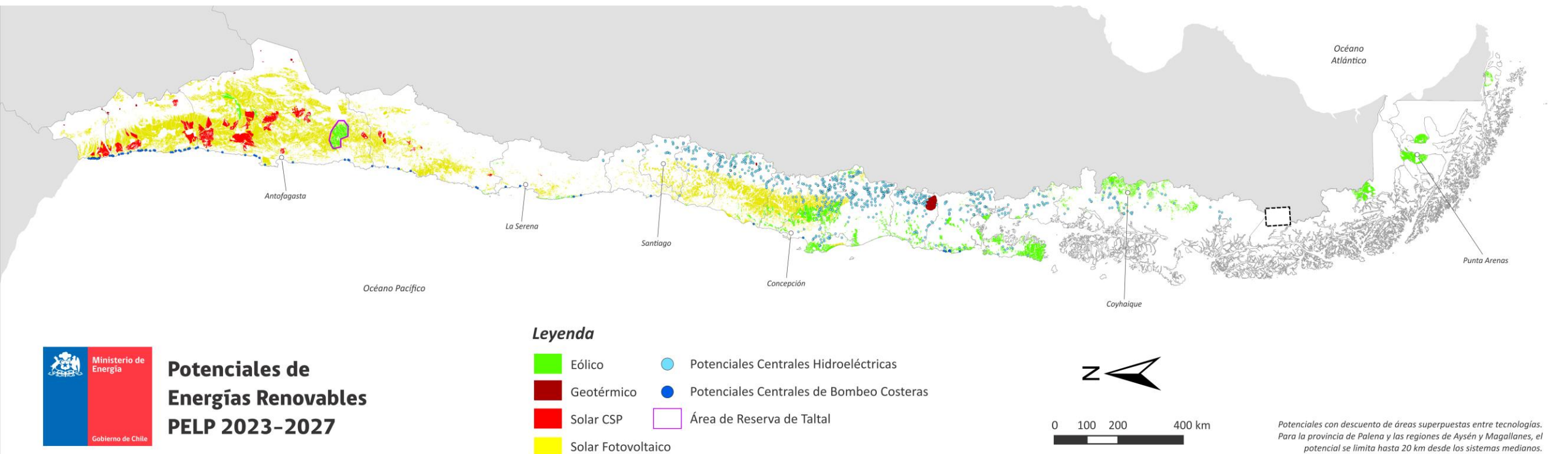


Organizan:





Chile y su gran potencial renovable





Chile no recorre la transición energética por gusto



Combustibles fósiles **100% importados**

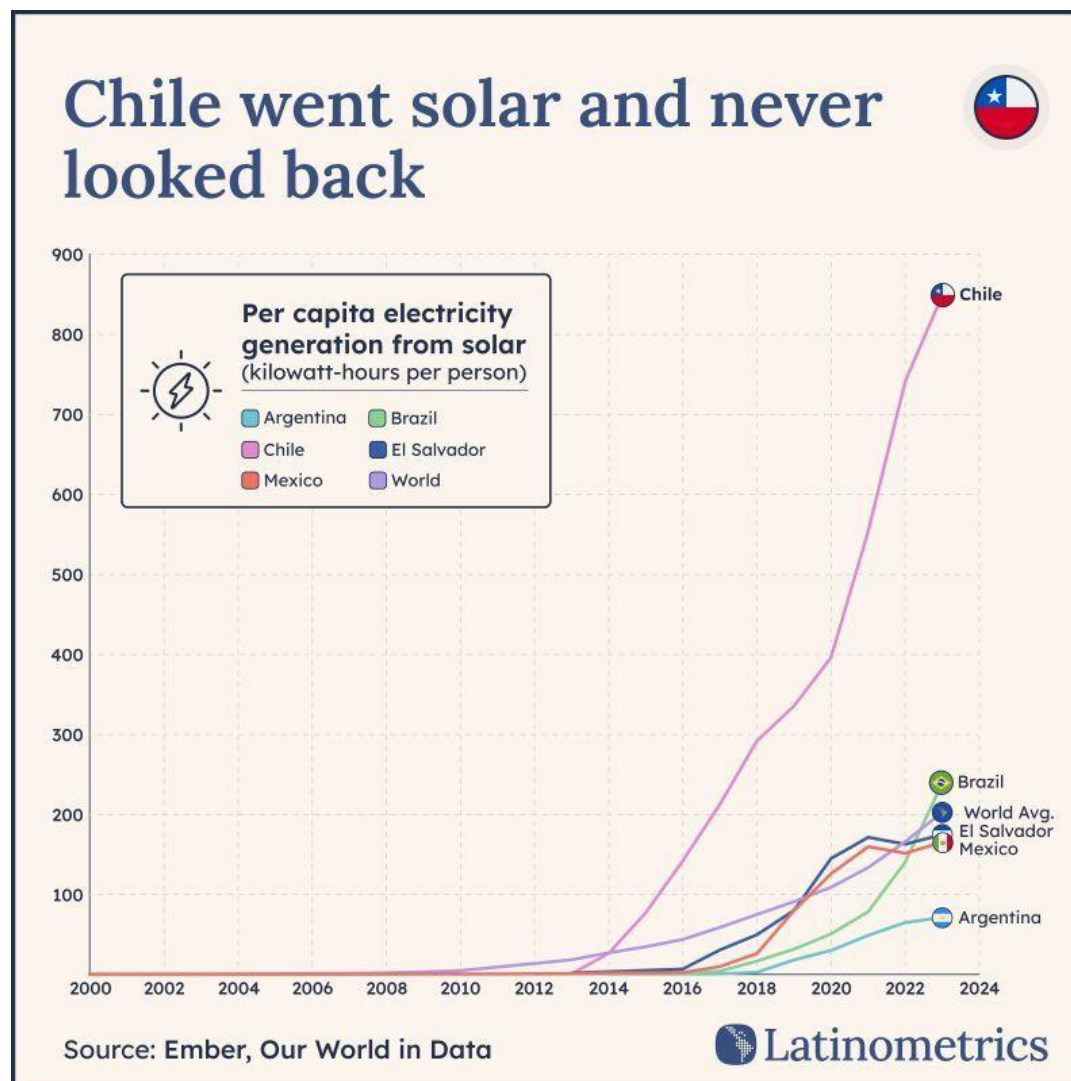


Abundantes recursos renovables no
convencionales **propios**

Superar la escasez de energía



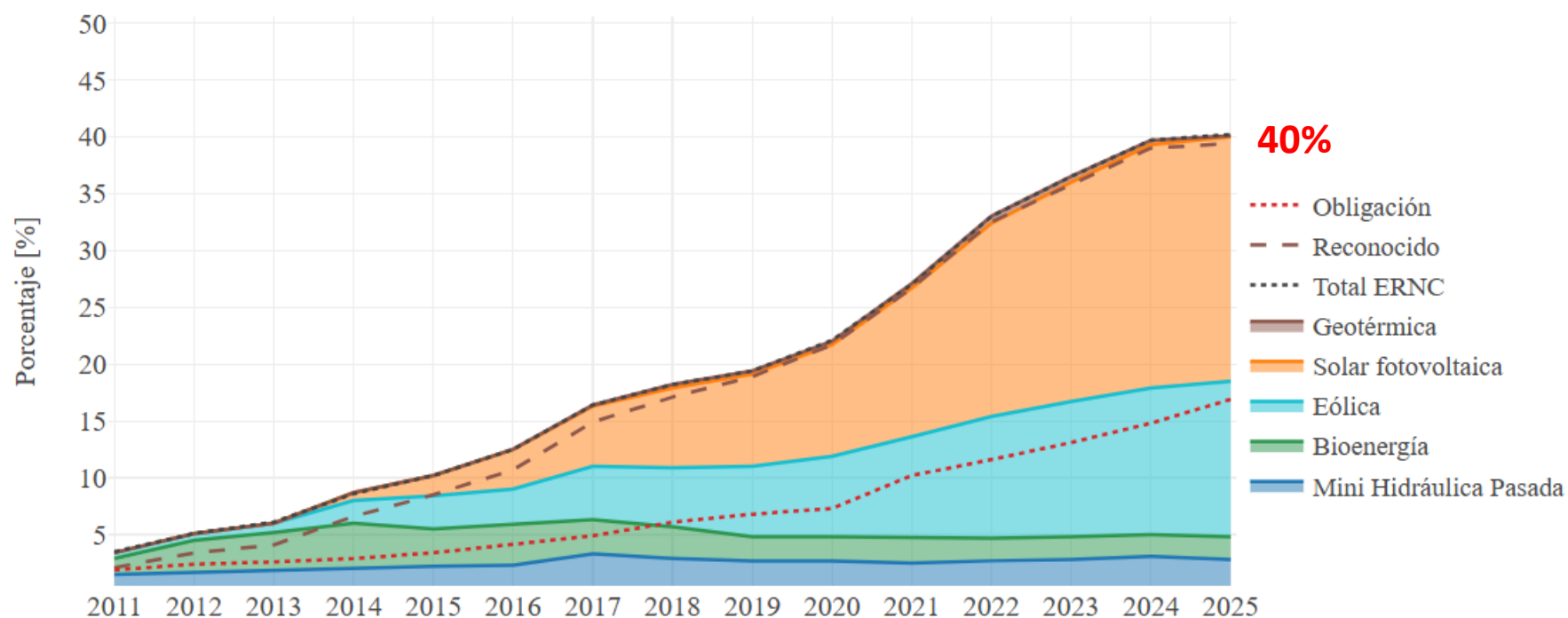
La energía dejó de ser escasa





La energía dejó de ser escasa

Participación ERNC en la generación de energía Septiembre-25



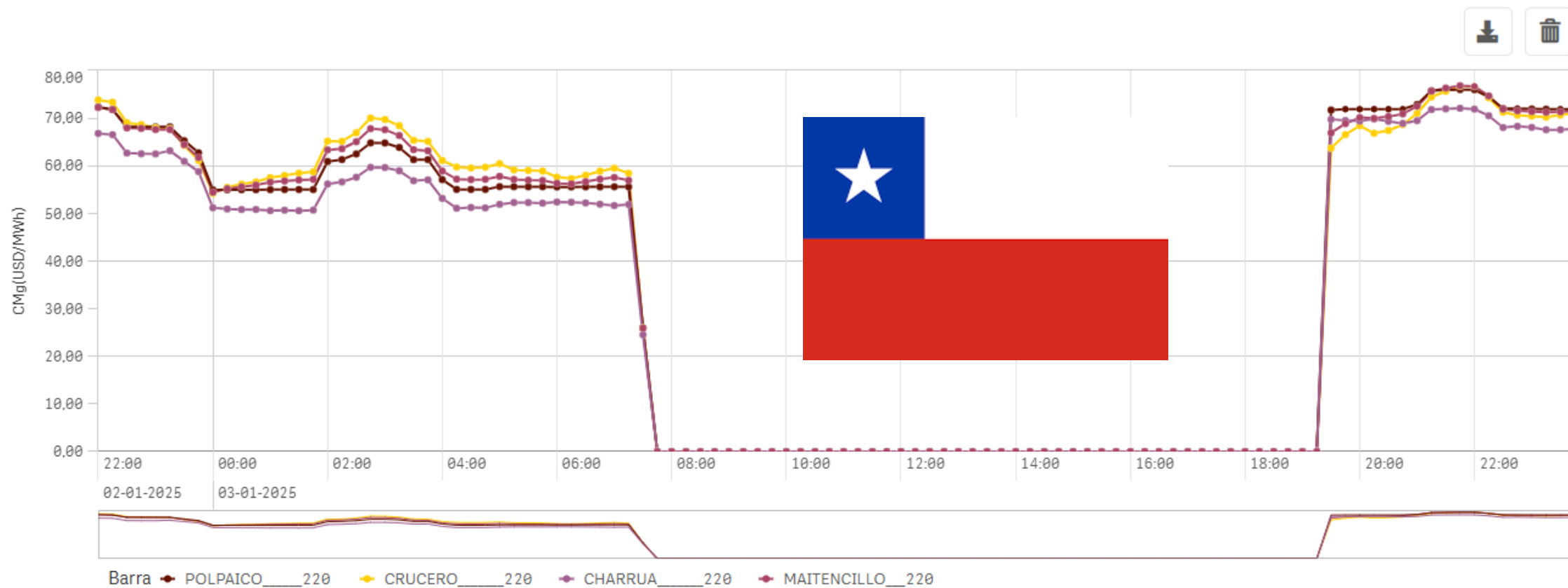


Demanda neta en Chile (MW)





Precios mayoristas en Chile (USD/MWh)

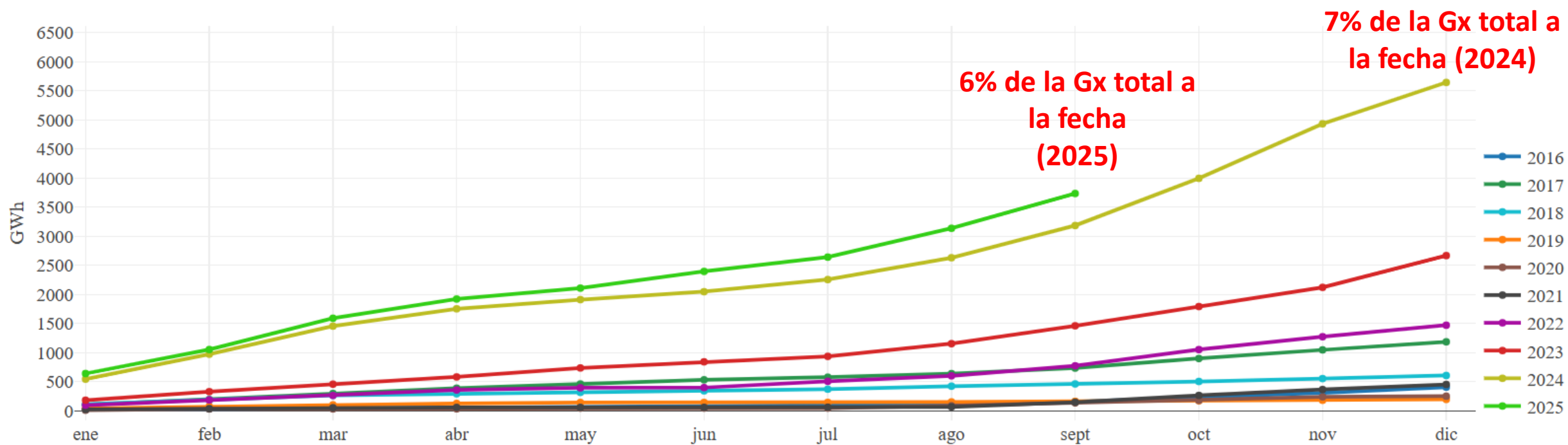


Fuente: CEN (2025)



Estamos vertiendo grandes volúmenes de energía renovable

Evolución Anual Recortes ERNC





Chile no recorre la transición energética por gusto



Combustibles fósiles **importados**



Abundantes recursos renovables no convencionales **propios**

Escasez de energía



Escasez de **gestión** de
energía

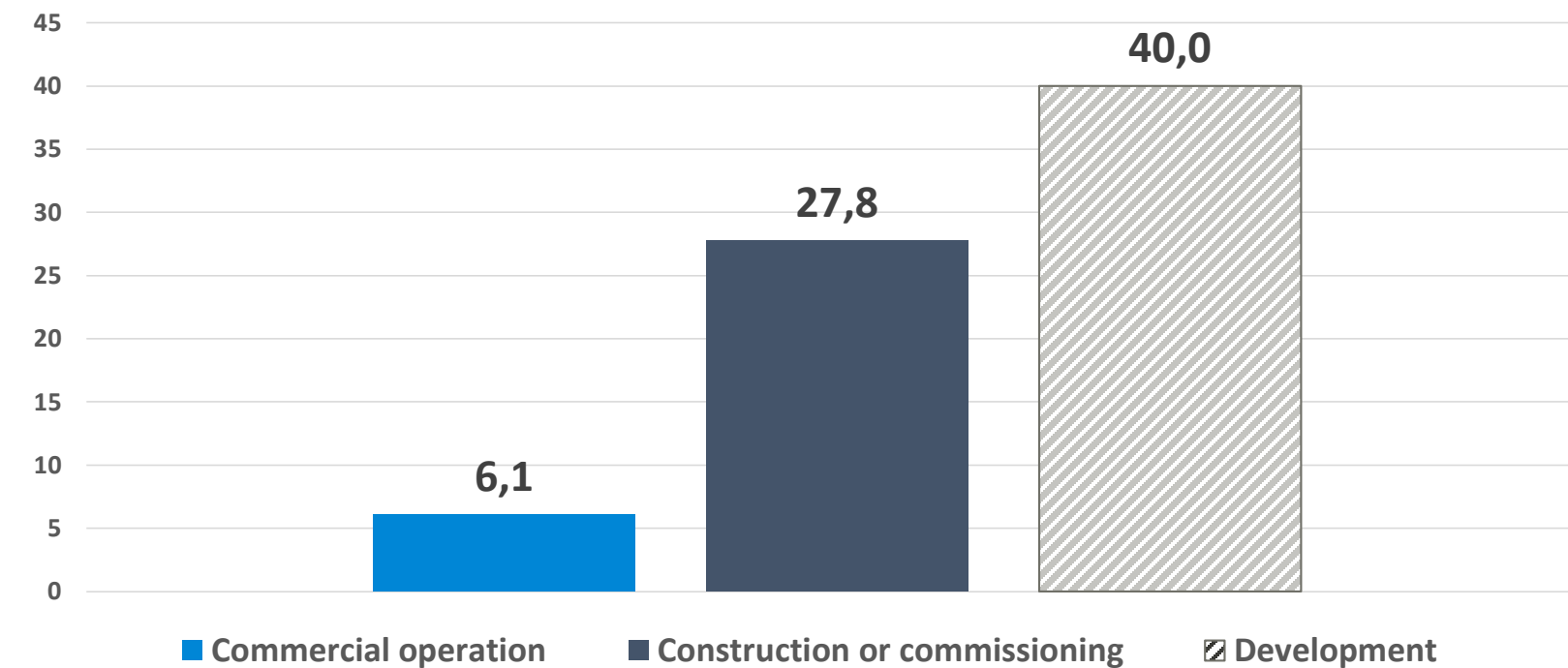


Desierto de Atacama, norte de Chile



Chile está liderando el despliegue BESS de gran escala

Cumulative BESS energy capacity in Chile (GWh) - Oct. 2025

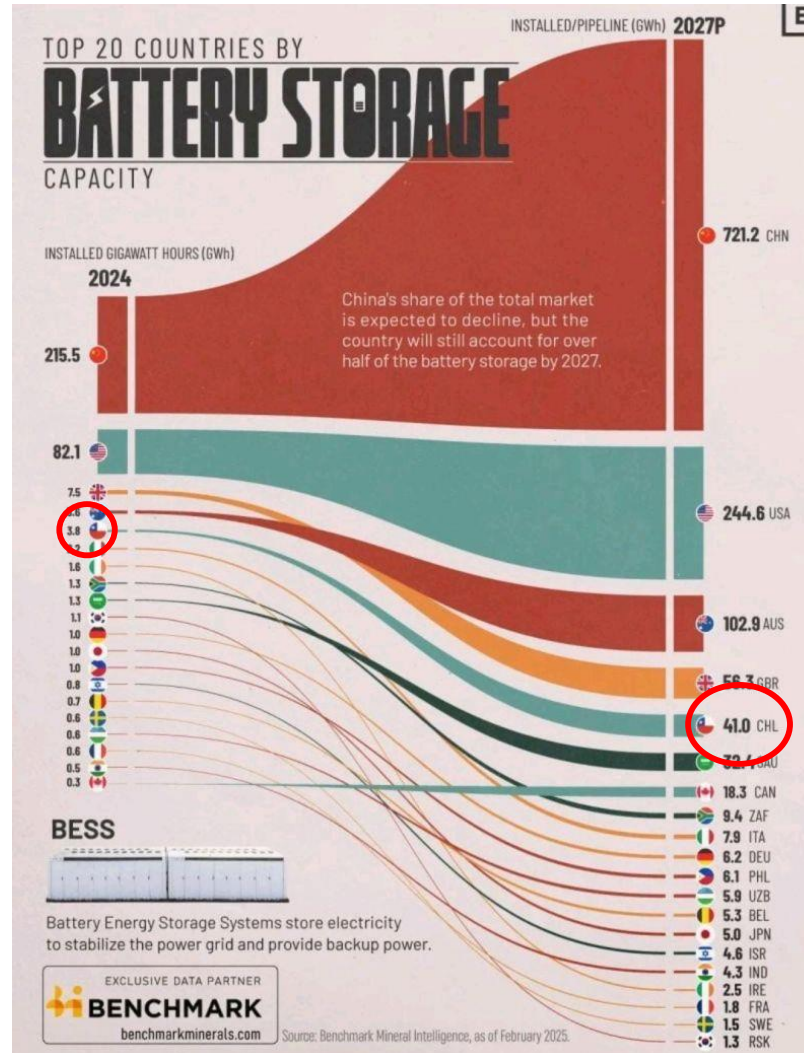


Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional & SEA (Oct. 2025)





Chile está liderando el despliegue BESS de gran escala



#5 lugar a nivel mundial en términos de despliegue absoluto



Condiciones habilitantes para el despliegue masivo de BESS en Chile



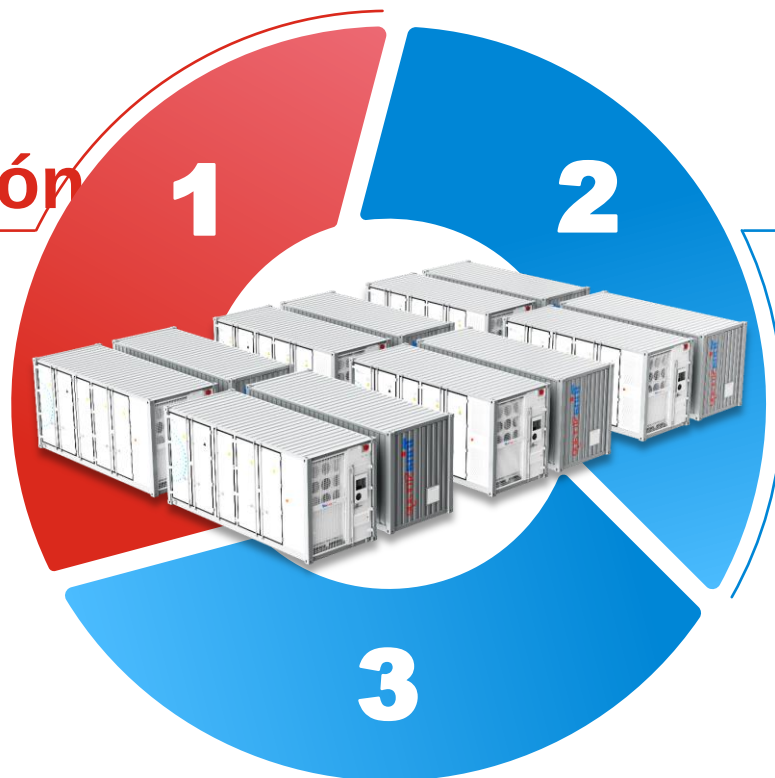


Condiciones habilitantes para el despliegue masivo de BESS en Chile

Remuneración

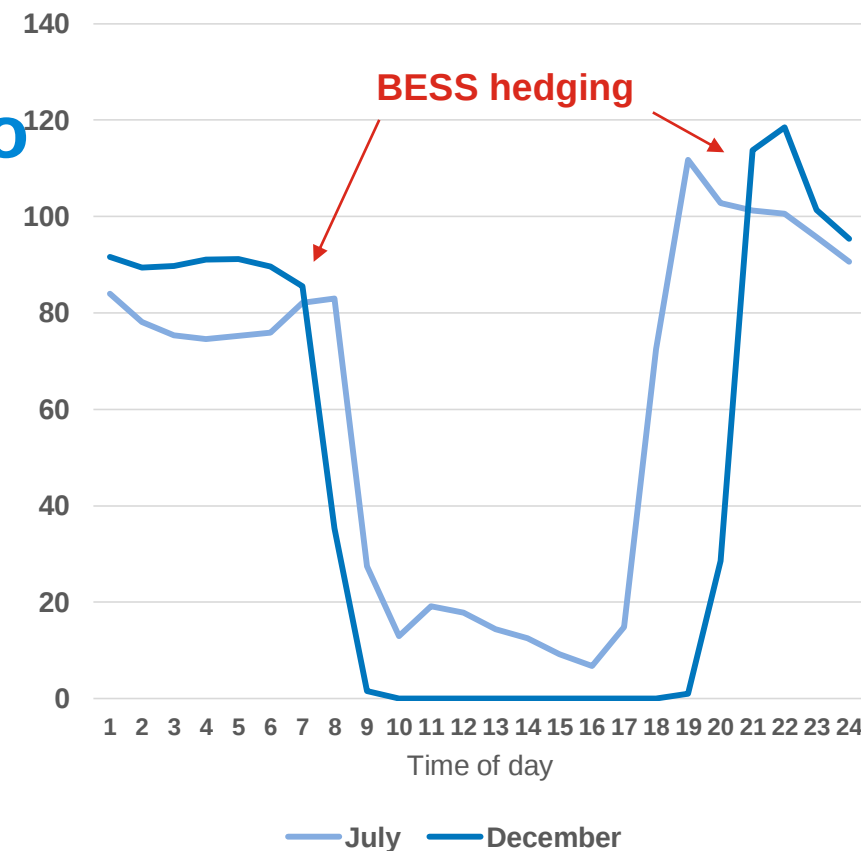
- Sin SSCC (continuará...)
- Pagos por capacidad (mejorados en 2024)
- Desplazamiento de energía o arbitraje de precio spot (alto riesgo – alto premio)
- PPAs (idealmente de largo plazo)

Cómo lidiar con la degradación (SOH)?



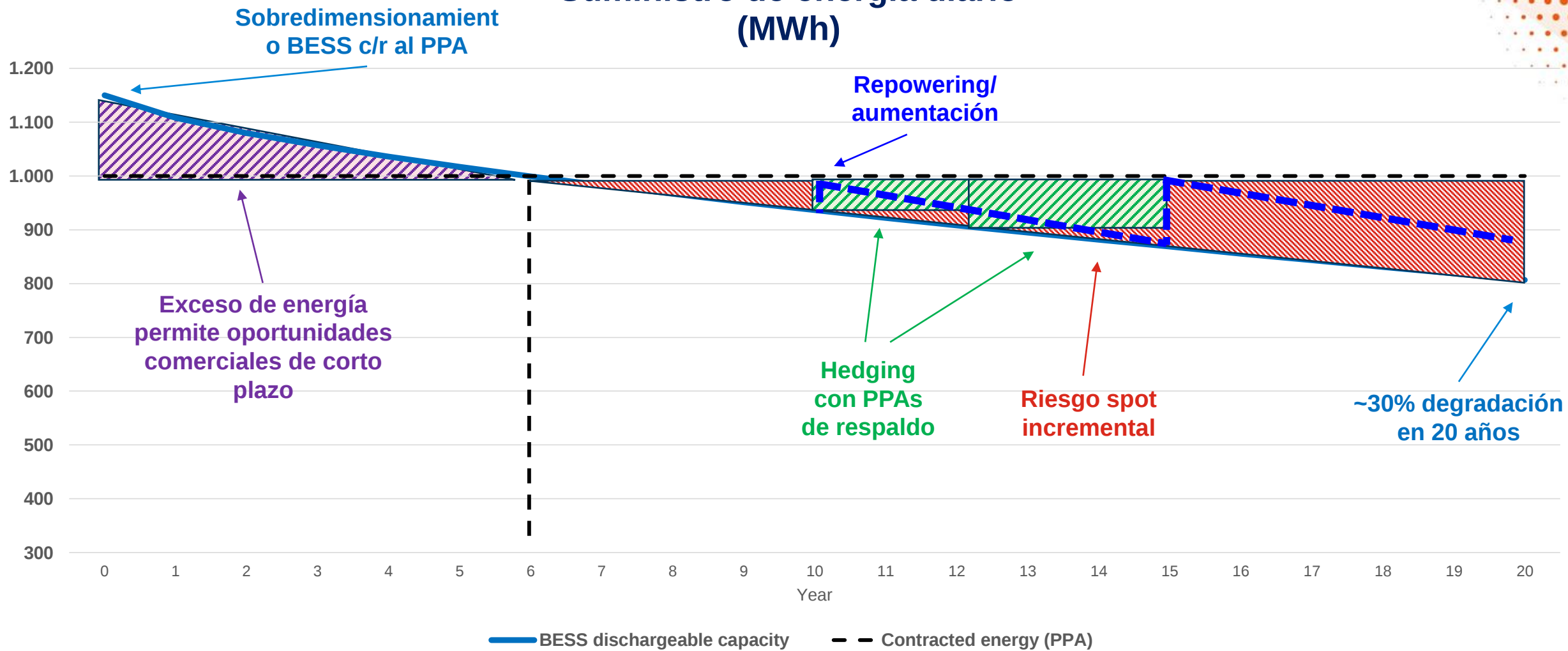
Costo

Precio mayorista – norte de Chile
2023 (USD/MWh)





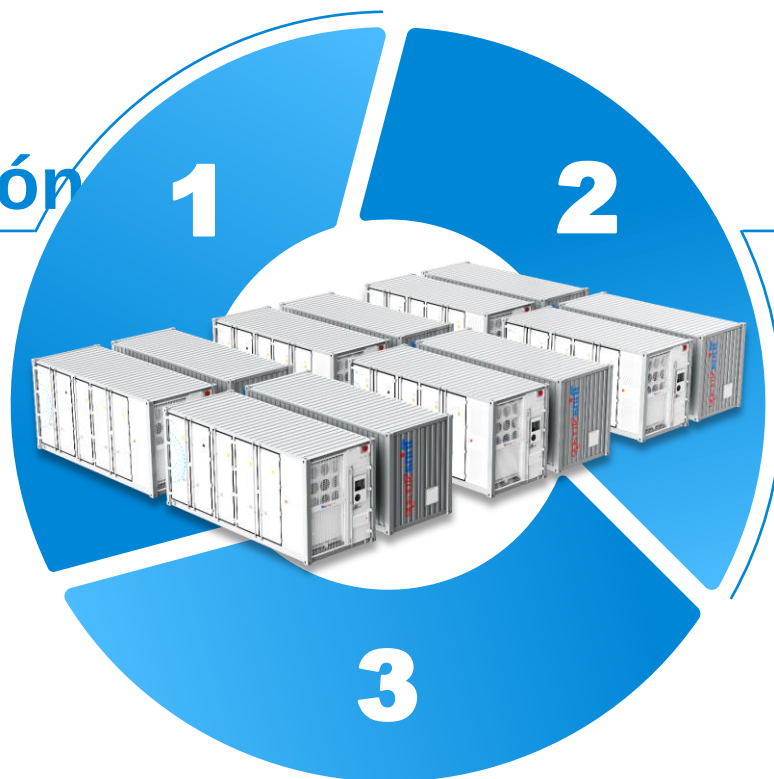
Suministro de energía diario (MWh)





Condiciones habilitantes para el despliegue masivo de BESS en Chile

Remuneración



Costo

Paulatinamente, propiciará inversiones en otros usos de BESS y permitirá extraer más valor de los activos ya desplegados, permitiendo un mayor “*revenue stacking*” para los propietarios

Regulación



Ya contamos con el primer BESS como activo de transmisión operativo

Grupo Saesa inaugura el primer sistema de almacenamiento BESS en Transmisión a nivel nacional

9 enero, 2025



El sistema instalado en Nueva Imperial ofrece una capacidad de 5,2 MW de potencia nominal y un almacenamiento de 26 MWh,

An aerial, top-down view of a large-scale battery energy storage system (BESS) installation. The facility is composed of numerous rectangular modules, each filled with blue battery packs. These modules are arranged in a grid-like pattern, separated by narrow aisles. The entire area is illuminated by bright, yellow overhead lights, which cast long, dark shadows from the modules. The perspective is from directly above, looking down on the facility. The text "¿Por qué BESS y no otro almacenamiento?" is overlaid in white, sans-serif font across the center of the image.

¿Por qué BESS y no otro almacenamiento?



Fortalezas de BESS frente a otras tecnologías de almacenamiento

1. Modularidad, escalabilidad y rápida construcción:

Integrable fácilmente al dominio de generación, transmission, distribución e infraestructura C&I (detrás del medidor).

2. Versatilidad:

Permite aplicaciones de energía, potencia y servicios complementarios dada su flexibilidad de control y rápida respuesta.

3. Alta eficiencia:

Eficiencia de conversión energética entre 85-95%.

4. Bajo mantenimiento:

diseño simple, pocas partes móviles, operación autocontenida, monitoreo y control automático.

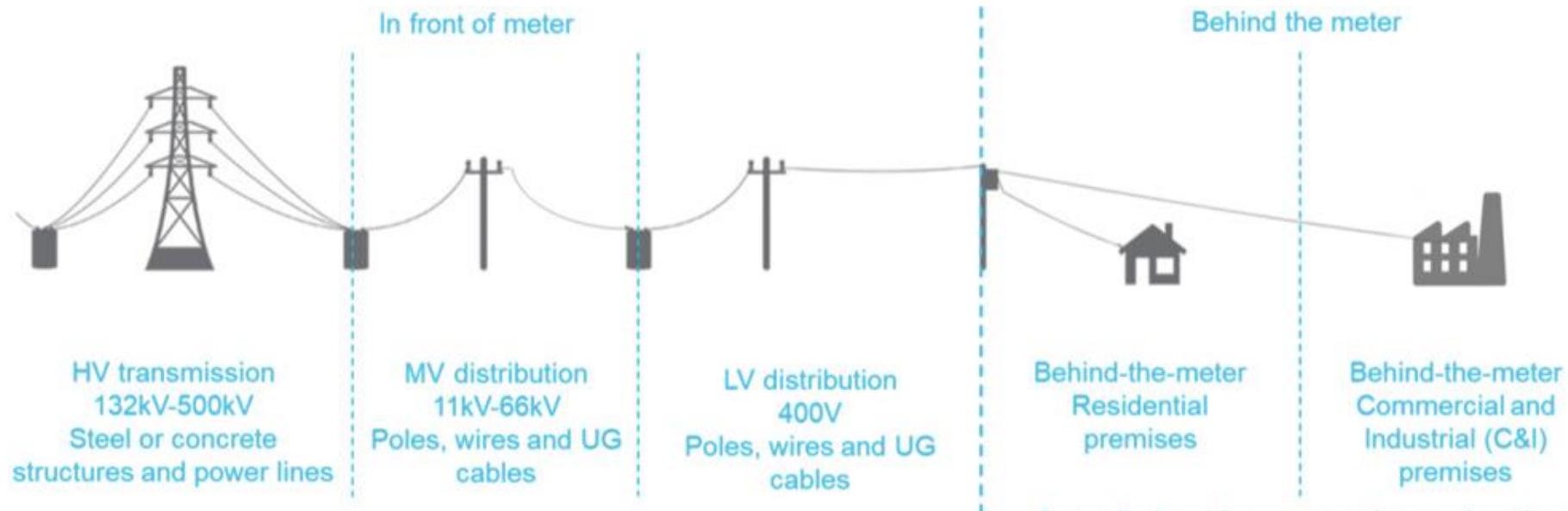
5. Costo-eficiencia:

Costos decrecientes con el





Frente del medidor v/s detrás del medidor (versatilidad en cuanto al dominio)





Aplicaciones comerciales o servicios eléctricos (versatilidad en cuanto al uso)

**Son muchísimas, pero al final todas
corresponden a gestionar energía
de alguna manera u otra**



Aplicaciones comerciales o servicios eléctricos (versatilidad en cuanto al uso)

- Las más conocidas:

- Desplazamiento de energía
- Arbitraje de energía
- Reserva de capacidad
- Recorte de punta/respaldo

- Servicios complementarios (SSCC):

- Sustitución de reserva en giro
- Control de frecuencia (rápido, primario, secundario, terciario)
- Control de tensión
- VSG/funciones “Grid Forming”:
 - Inercia sintética
 - Contribución al cortocircuito
 - Capacidad de arranque en negro
 - Operación en isla (aislamiento rápido)
 - Otros

- Apoyo a contingencias de Tx o desplazamiento de inversiones



El caso de Chile
es una singularidad en la región



Otros países en la región están reconociendo el valor estratégico de los BESS



República Dominicana introduce normativa clave para proyectos de energía renovable: Almacenamiento en baterías será obligatorio

Energía +

Septiembre 22, 2024

El director ejecutivo de la Comisión Nacional de Energía (CNE), **Edward Veras**, anunció en el evento **Energyear Caribe 2024** la aprobación de una modificación normativa que exigirá a los proyectos de energía renovable con una capacidad superior a 20 megavatios (MW) incorporar al menos un 50 % de almacenamiento de energía mediante baterías. Esta medida, respaldada por el presidente **Luis Abinader**, se ha convertido en una **política pública esencial** y tiene como objetivo garantizar el éxito de la **transición energética** en República Dominicana.



Otros países en la región están reconociendo el valor estratégico de los BESS



Argentina.gob.ar



Ministerio de Economía / Energía /

Argentina inicia modernización eléctrica histórica en AMBA y convoca a las provincias a replicarlo en nodos críticos

17 de febrero de 2025

Esta iniciativa, inédita en el país pero ya aplicada a nivel mundial, busca sumar 500 MW de capacidad de almacenamiento en nodos críticos del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), con una inversión estimada de USD 500 millones y un plazo de ejecución de entre 12 y 18 meses. El objetivo es garantizar un suministro eléctrico más confiable y eficiente, especialmente durante los picos de demanda.



Otros países en la región están reconociendo el valor estratégico de los BESS

canal solar

Início / Notícias / Leilões / Leilão de baterias ocorrerá no segundo semestre, diz secretário do MME

Leilão de baterias ocorrerá no segundo semestre, diz secretário do MME

Certame está na fase final de ajustes das propostas apresentadas por empresas e associações do setor, informou Thiago Barral

Henrique Hein | 13 de março, 2025 | 1 min 43 seg de leitura



Thiago Barral, secretário nacional de Transição Energética e Planejamento do MME. Foto: Tauan Alencar/MME



Otros países en la región están reconociendo el valor estratégico de los BESS



5.1.1.2 SAEB – 002. Mompox 115 kV.

Nombre de la obra	SAEB - Mompox 115 kV
Código de la Obra	SAEB - 002
Proyecto propuesto- ALCANCE	Instalación de un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías (SAEB) de 20 MW / 80 MWh en la subestación Mompox 115 kV
Tiempo estimado de puesta en operación. Requerimiento de obras previas	2 - 3 años

Parámetros de valoración de obra	
	Control de tensión
Eliminación de restricciones	Límites de importación del área
	Reducción de costos operativos
Aumento de capacidad de transporte	Reducción de pérdidas

Fuente: UPME (Dic 2024)

Algunos conceptos relevantes de la jerga BESS





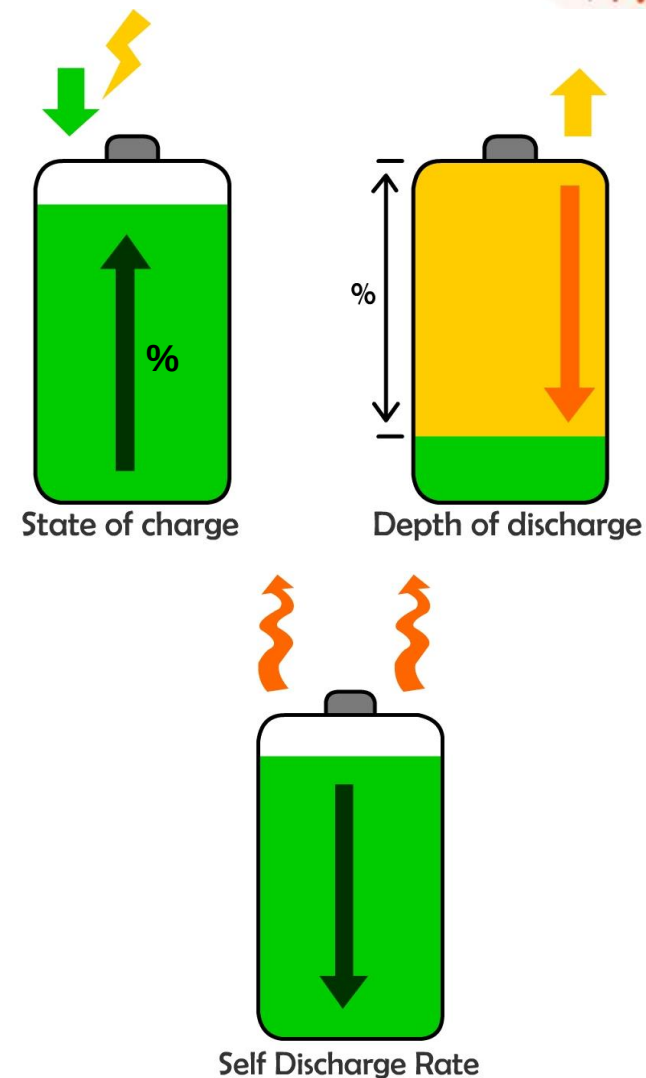
Conceptos clave BESS (1)

- **P-rate o tasa de carga/descarga:** medida de la tasa a la cual la batería se carga o descarga relativa a su capacidad nominal de energía en 1 hora.
 - Por ejemplo, 1P significa que la batería se descarga por completo en 1 hora, mientras que 0,5P significa que se descarga por completa en 2 horas.
 - A mayor P-rate, mayor potencia se inyecta o extrae hacia o desde la batería.
 - A veces se confunde con C-rate, que es un concepto similar pero **asociado a la corriente en lugar de la potencia**. Como **normalmente los sistemas BESS operan en modo potencia constante** (CP mode por sus siglas en inglés) es más correcto hablar de P-rate.
- **POI o POC:** punto de interconexión o conexión.
 - Es muy relevante para entender en qué punto estamos evaluando la entrega de energía y potencia **neta** de un sistema BESS.
 - Es importante evaluar los dimensionamientos BESS en términos **netos de pérdidas de potencia activa y**



Conceptos clave BESS (2)

- **SoC:** Estado de carga. Porcentaje de la capacidad de energía nominal de la batería que está actualmente almacenada.
- **DoD:** Profundidad de Descarga. Porcentaje de la capacidad de energía nominal de la batería que actualmente se ha descargado.
 - Es el opuesto del estado de carga: $DoD = 100\% - SOC$.
- **Máximo DoD:** El máximo porcentaje de SoC que se recomienda descargar por el fabricante de acuerdo a una aplicación específica del proyecto BESS a fin de optimizar el desempeño. Típicamente 90%-100%.
- **Auto-descarga:** Se refiere a la pérdida de energía almacenada a partir de reacciones químicas internas, incluso cuando la batería o está en uso. Típicamente $\leq 3\%/mes$ para LFP





Conceptos clave BESS (3)

- **Eficiencia de carga/descarga:** Energía perdida en el proceso de carga/descarga de la batería con respecto a su capacidad de energía nominal debido a pérdidas eléctricas.

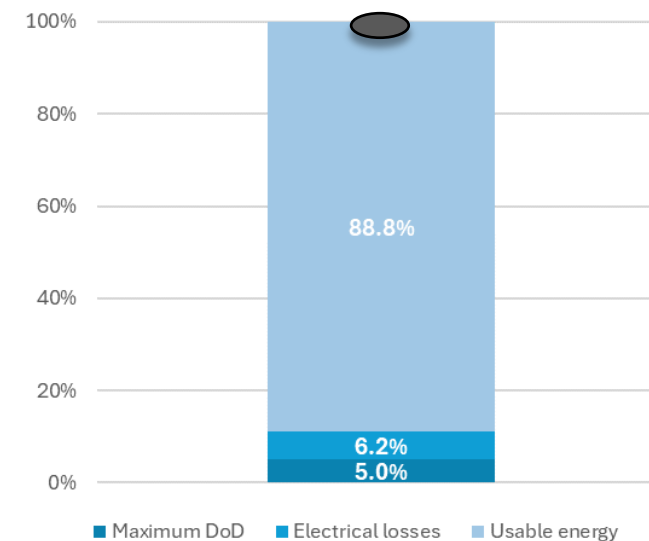
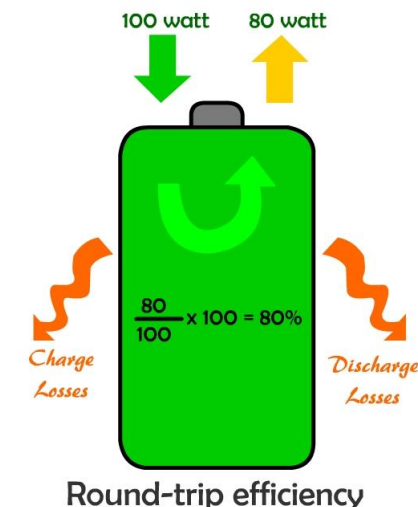
- Al cargar, energía adicional a la capacidad nominal debe ser extraída de la red.
- Al descargar, menos energía que la capacidad nominal será inyectada a la red.

- **Eficiencia de ciclo (RTE):** Energía que puede ser recuperada/descargada de la batería como porcentaje de la energía que fue requerida para cargarla.

- $RTE = charge_{eff} * discharge_{eff}$

- In symmetrical AC-coupling: $charge_{eff} \sim discharge_{eff} \sim \sqrt{RTE}$

- **Energía usable:** Energía que puede ser recuperada/descargada de la batería una vez cargada, considerando pérdidas eléctricas y máxima profundidad de descarga.





Conceptos clave BESS (4)

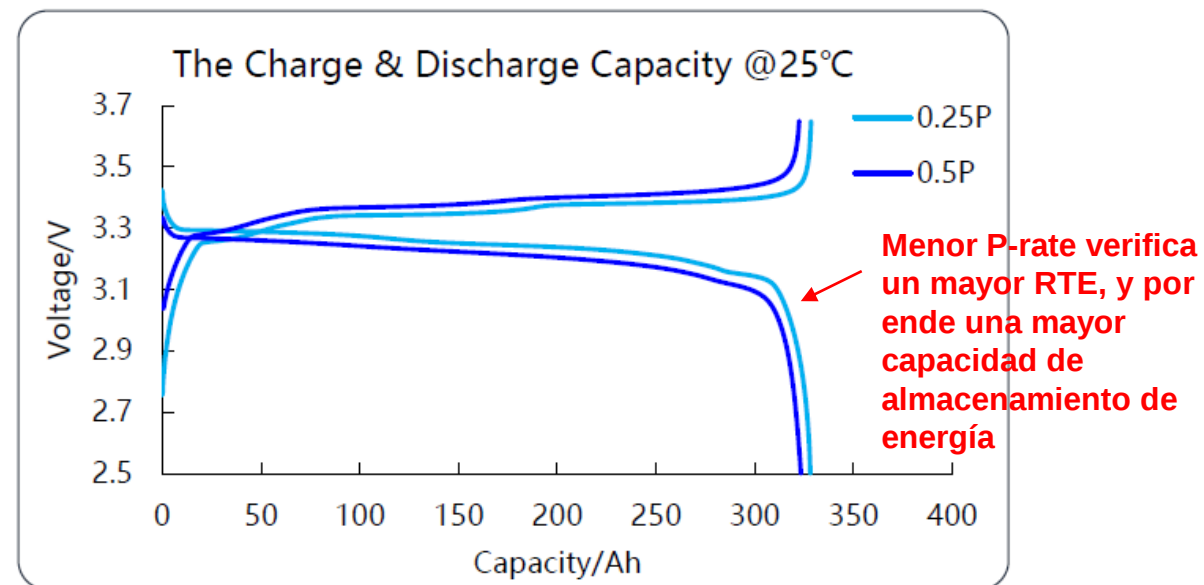
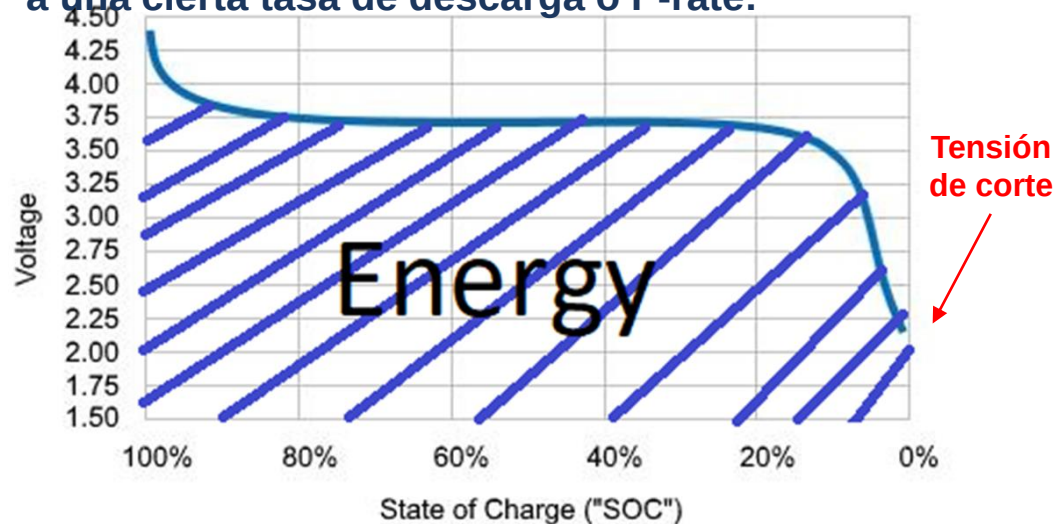
- **BoL:** Principio de la vida útil del proyecto BESS.
- **EoL:** Fin de la vida útil del proyecto BESS.
- **SoH:** Estado de salud. Representa la capacidad remanente de la batería con respecto a su capacidad nominal en BoL.
 - Es el inverso de la degradación.
 - Es una magnitud clave para el desempeño económico de un proyecto BESS.
 - Los fabricantes tienen la capacidad de garantizar esta cantidad por toda la vida útil del proyecto.
- **BMS:** Sistema de gerenciamiento de baterías. Sistema dedicado al monitoreo, control y protección de las distintas capas de un sistema BESS (celdas, módulos, racks, gabinetes). Es clave para garantizar una operación Segura y confinable.
- **PCS:** Sistema conversor de potencia. Comprende la interfaz eléctrica entre la batería (DC) y la red (AC), sirviendo como un inversor bi-direccional, para la carga y descarga del BESS desde y hacia la red.
- **PPC/EMS:** Controlador de planta/Sistema de gerenciamiento de energía. Comprende el lazo de control entre la demanda de la red y el PCS. Continuamente monitorea requerimientos de la red y facilita acordemente la transferencia



Conceptos clave BESS (5)

- Medir la tensión en los terminales de la batería provee un indicio de su SoC, pero como **la carga/descarga de una batería es un fenómeno no-lineal, no provee una medición exacta** de cuanta energía efectivamente tiene almacenada dicha batería.
- Una prueba de descarga o desempeño es necesaria para determinar efectivamente cuanta energía almacena un BESS.
- Para ello, se debe medir la tensión y corriente de la batería durante una descarga completa hasta alcanzar la tensión de corte,

Curva de descarga @ algún P-rate
a una cierta tasa de descarga o P-rate:





El increíble desarrollo tecnológico de las baterías LFP

Mayor capacidad/desidad



Mayor resistencia
a altas temperaturas



Mayor ciclo de vida



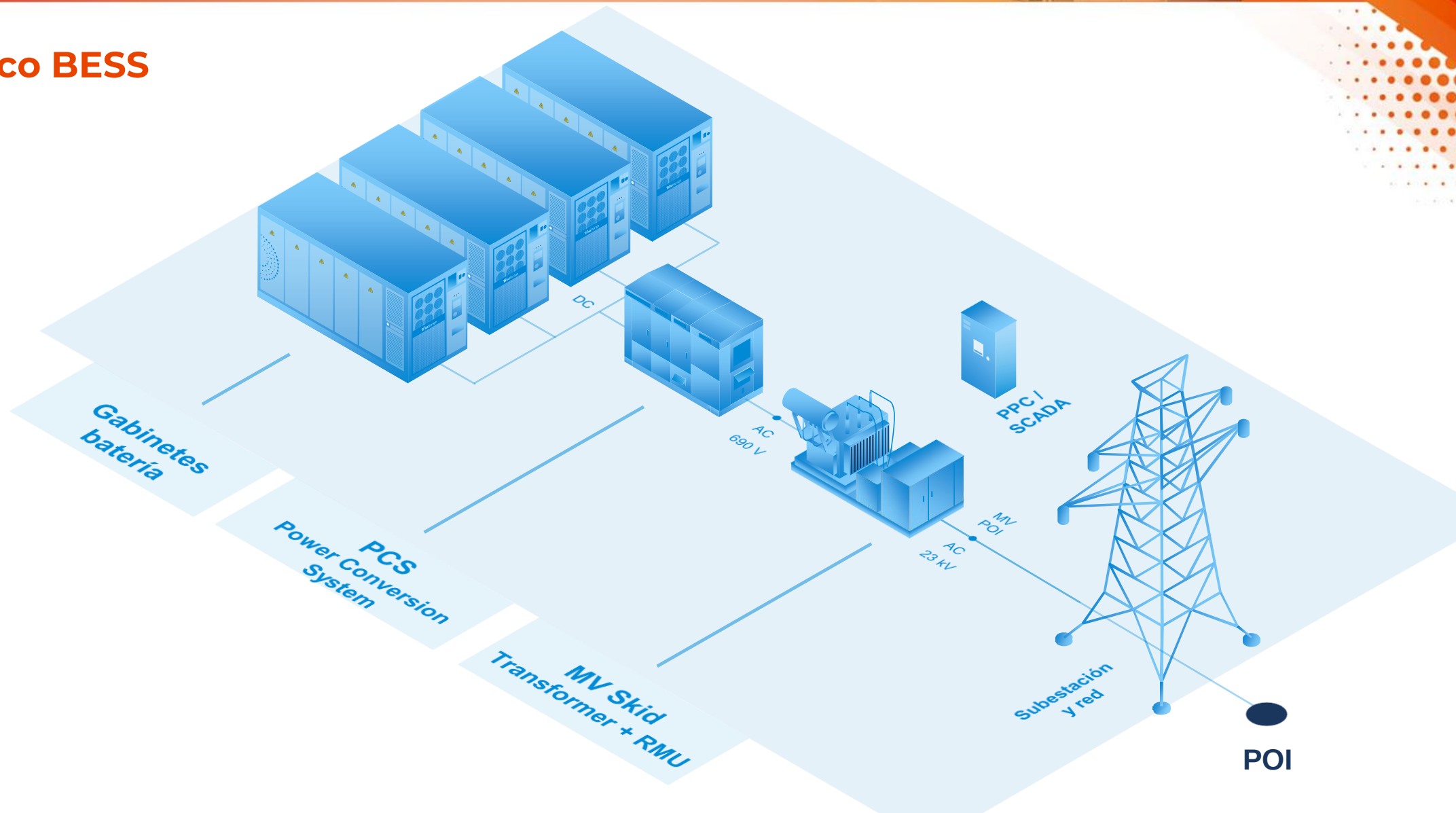
Mayor RTE



Seguridad como pilar central

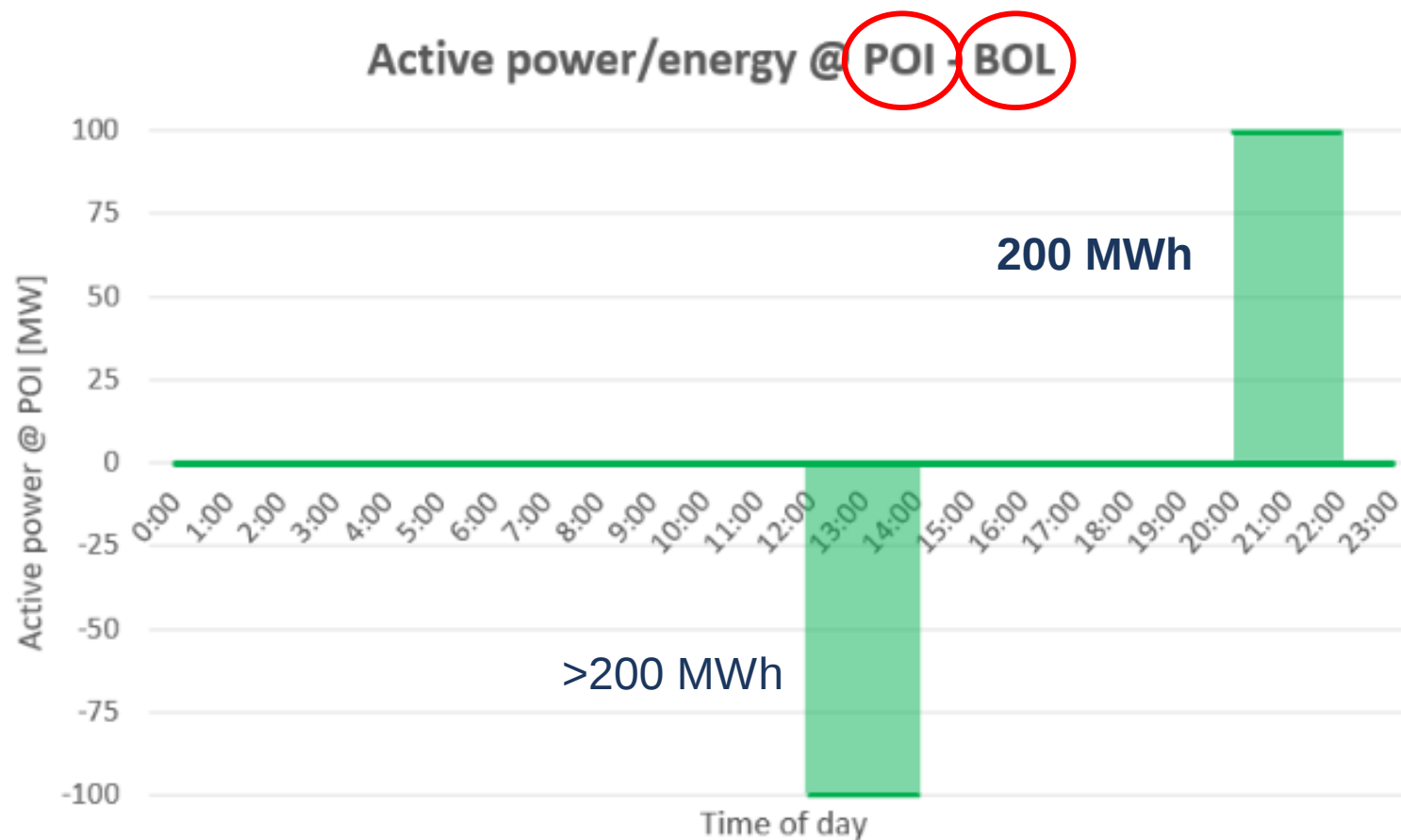


Bloque típico BESS





Operación comercial del activo

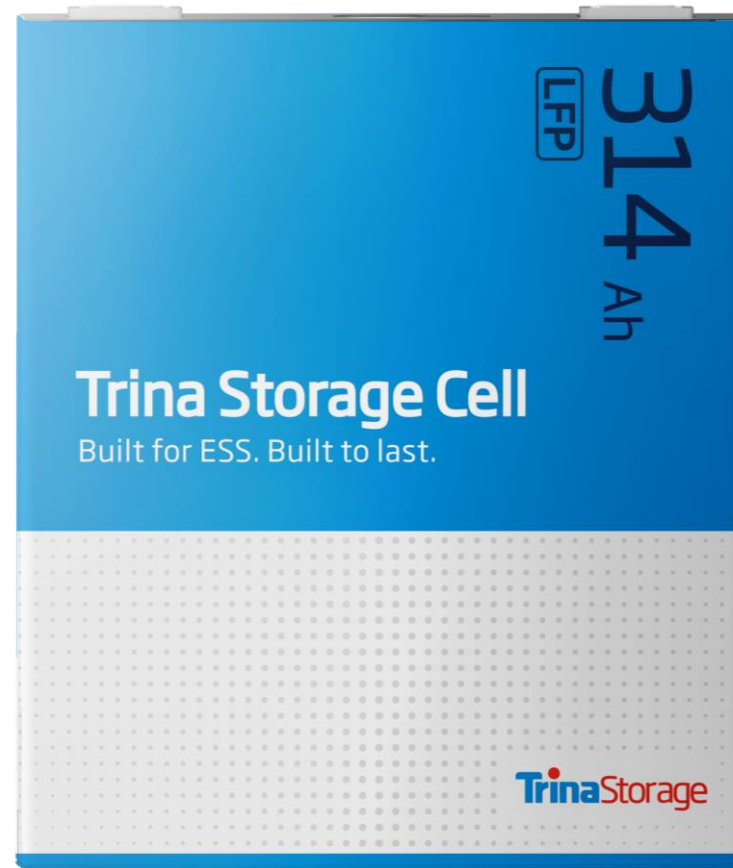


100 MW potencia
garantizada

100 MW potencia
garantizada



Degradación de las baterías en el tiempo

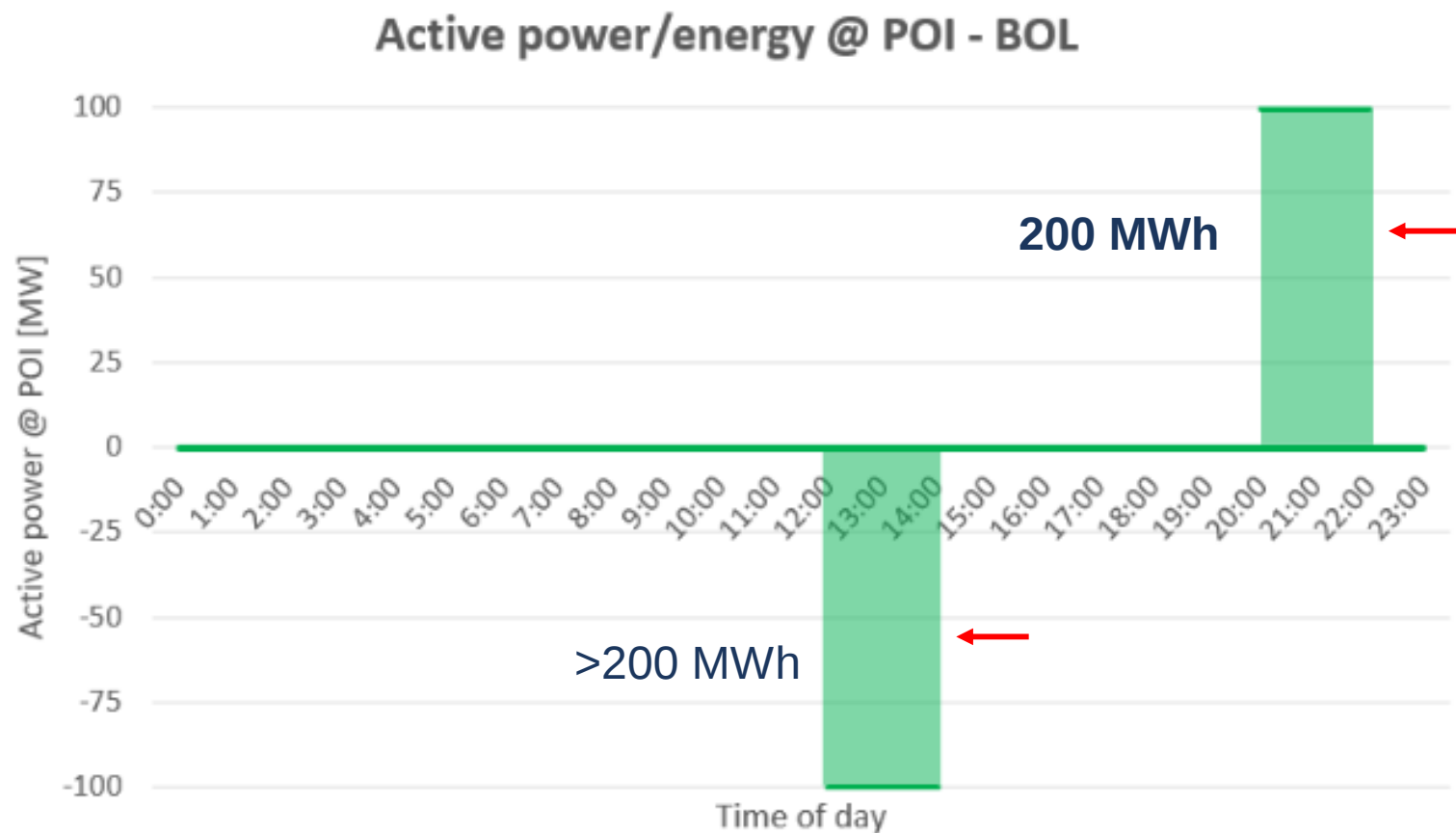


SOH: Estado de salud





Operación comercial del activo considerando degradación



100 MW potencia
garantizada

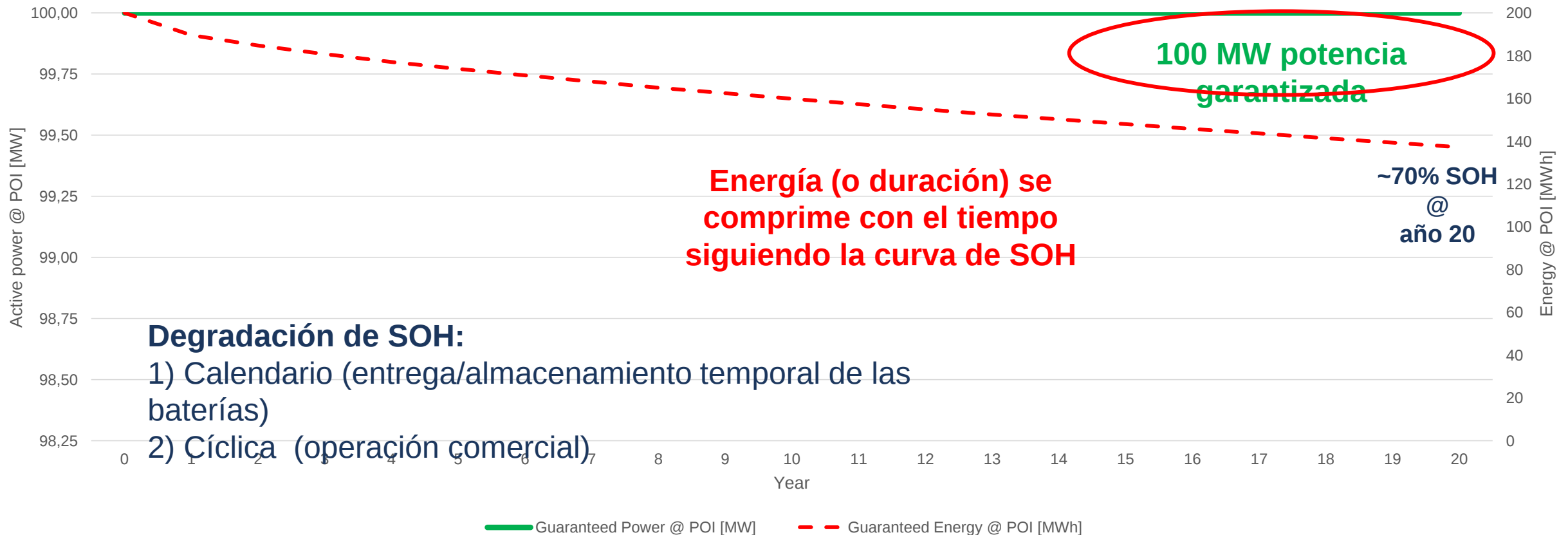
La energía (o duración)
se comprime con el
tiempo

100 MW potencia
garantizada



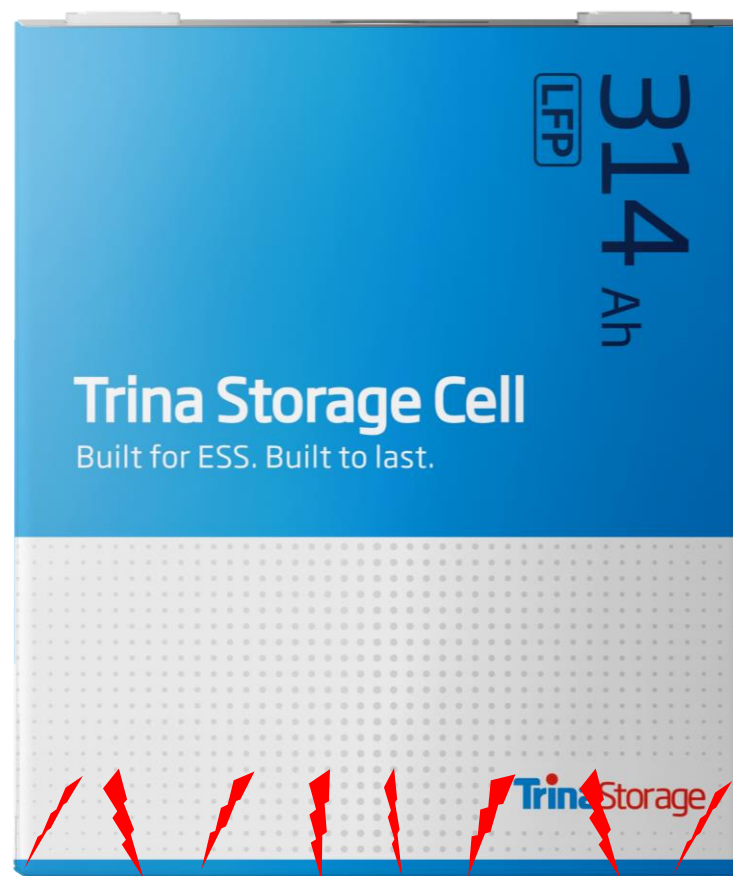
Operación comercial del activo considerando degradación

Potencia/energía active @ POI a lo largo del horizonte del proyecto





Degradación de las baterías en el tiempo



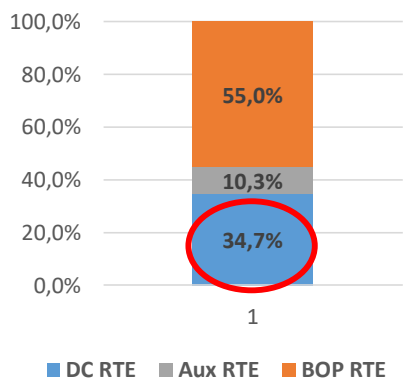
SOH: Estado de salud

RTE: Eficiencia de ciclo



Bloque típico BESS

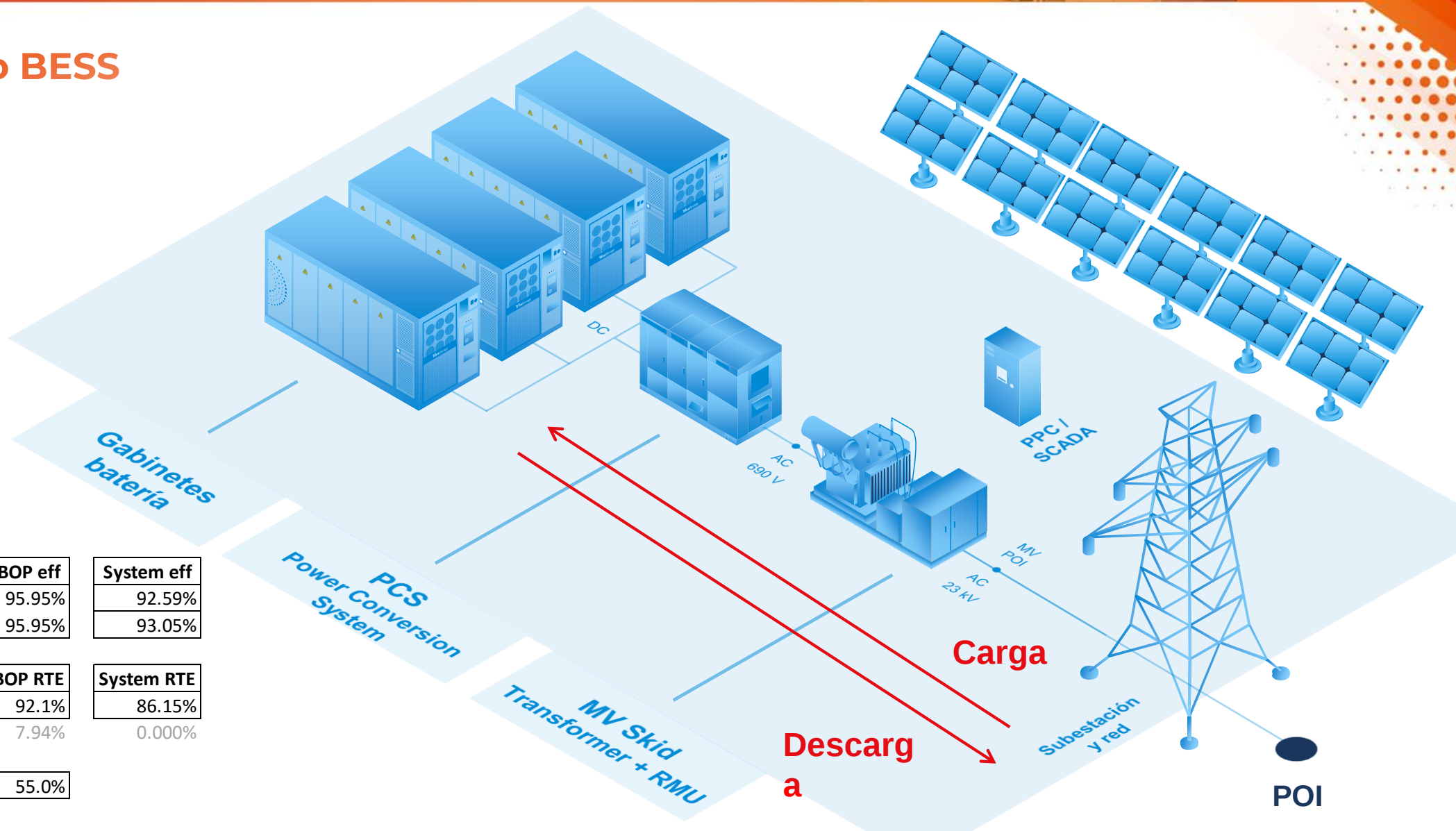
Distribución RTE
(BOL, 0.5P)



	DC eff	Aux eff	BOP eff	System eff
Charge	97.23%	99.25%	95.95%	92.59%
Discharge	97.71%	99.25%	95.95%	93.05%

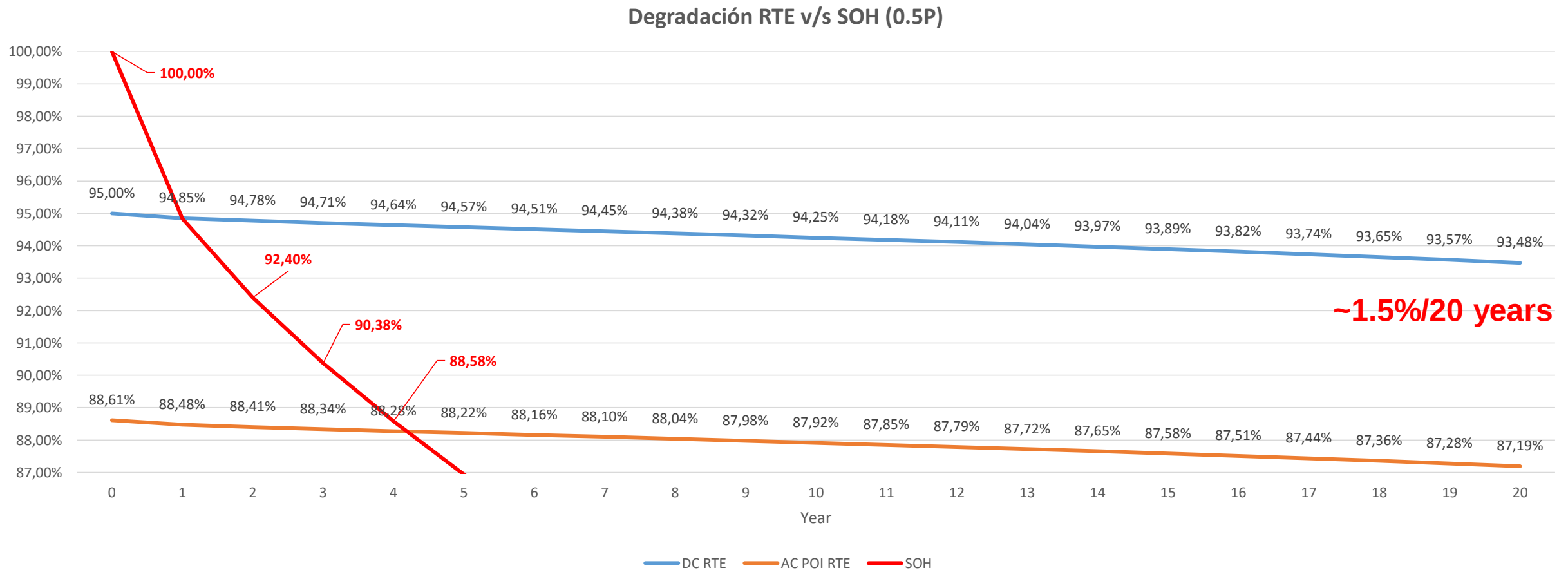
	DC RTE	Aux RTE	BOP RTE	System RTE
Round-trip	95.00%	98.5%	92.1%	86.15%
	5.00%	1.49%	7.94%	0.000%

Weight	34.7%	10.3%	55.0%
--------	-------	-------	-------





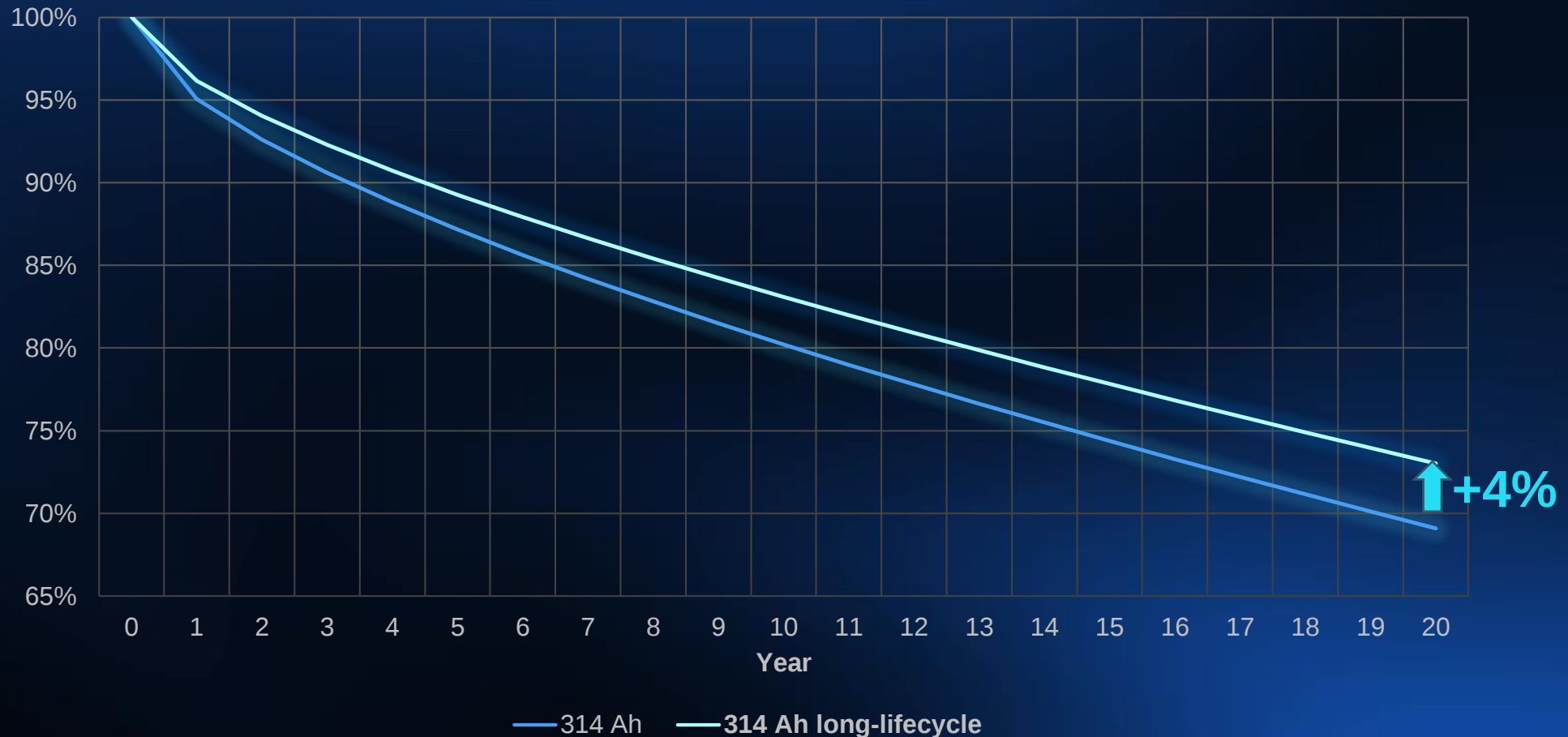
Degradaciones SOH y RTE en perspectiva





El increíble desarrollo tecnológico de las baterías LFP

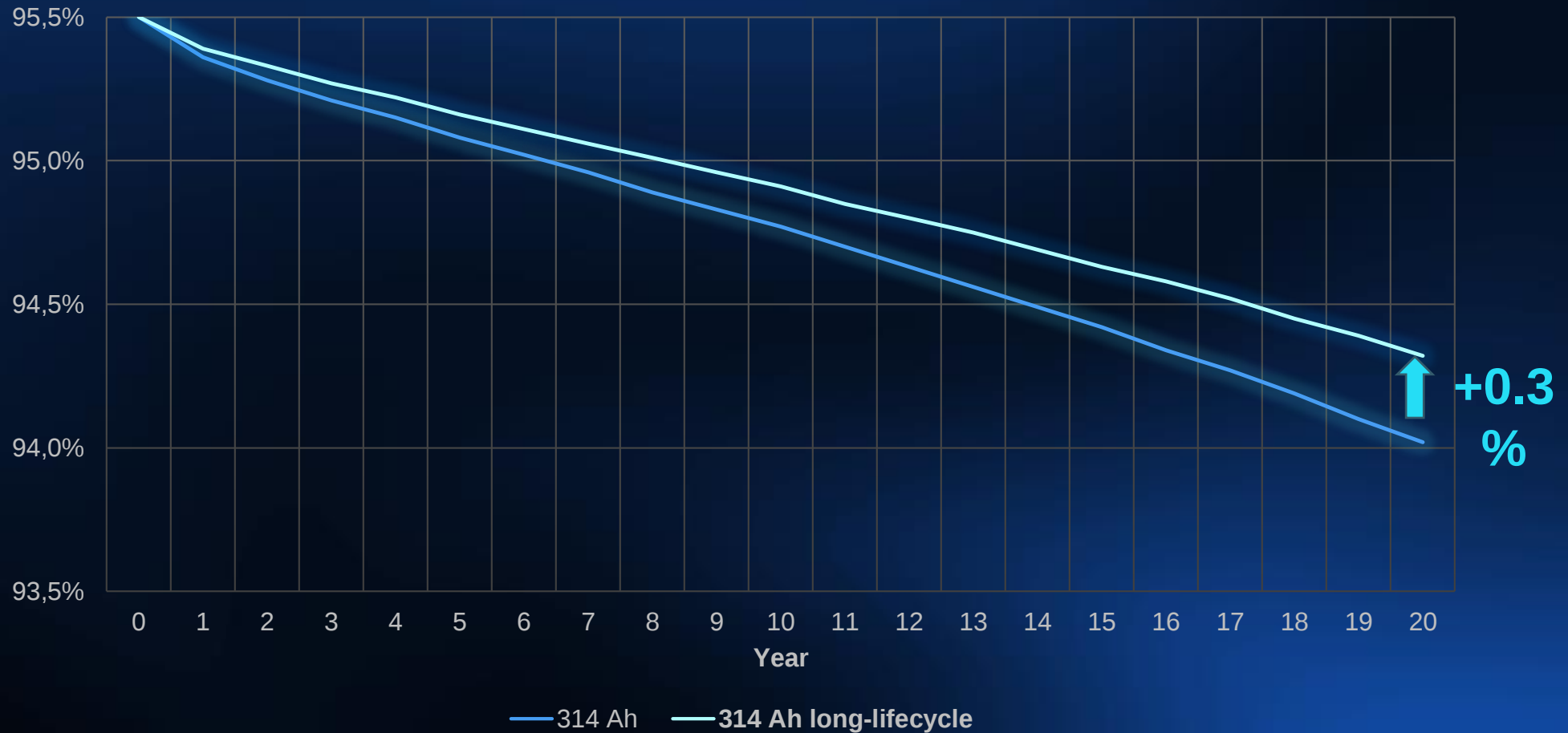
SOH





El increíble desarrollo tecnológico de las baterías LFP

RTE





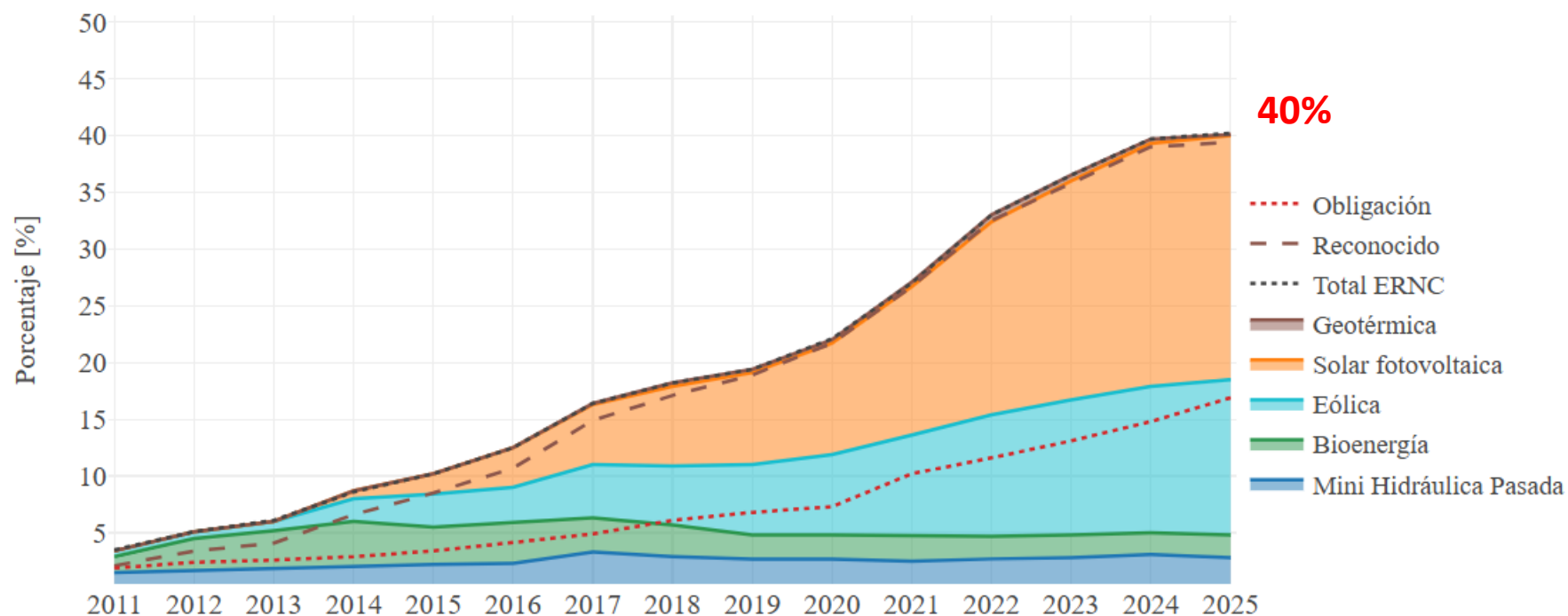
La transición energética
comprende un esfuerzo no-lineal



La energía dejó de ser escasa...

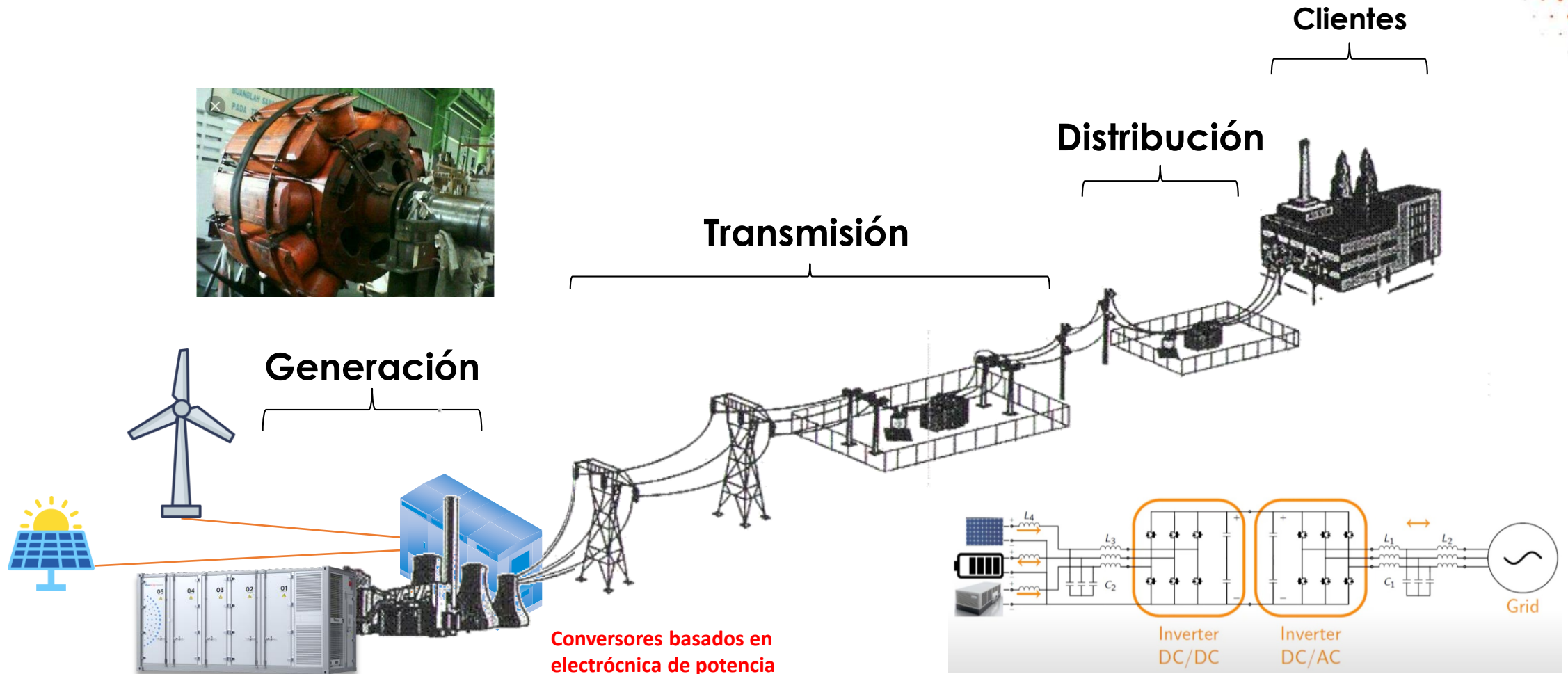


Participación ERNC en la generación de energía Septiembre-25



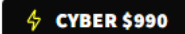


Estamos trabajando para tener mayor gestión y flexibilidad, pero es suficiente para llevar la penetración ERNC al siguiente nivel?





La operación técnica del sistema está desafiada

  **LATERCERA**  

NACIONAL

Chile vive el mayor apagón eléctrico en 15 años y gobierno decreta estado de excepción y toque de queda

Un gigantesco apagón dejó sin electricidad a casi todo Chile, afectando a más de 19 millones de personas desde Arica hasta Los Lagos. La crisis obligó al gobierno a decretar estado de excepción y toque de queda, mientras se investigan las causas de la falla en el sistema de transmisión eléctrica

 Por Gabriela Mondaca 25 FEBRERO 2025

 **EL PAÍS** 2 AÑOS, 20,90 € 

28 ABR 2025 - 12:54
Actualizado: 28 ABR 2025 - 22:34 CEST

Economía

MERCADOS · VIVIENDA · FORMACIÓN · MIS DERECHOS · NEGOCIOS · CINCO DÍAS · RETINA · ÚLTIMAS NOTICIAS

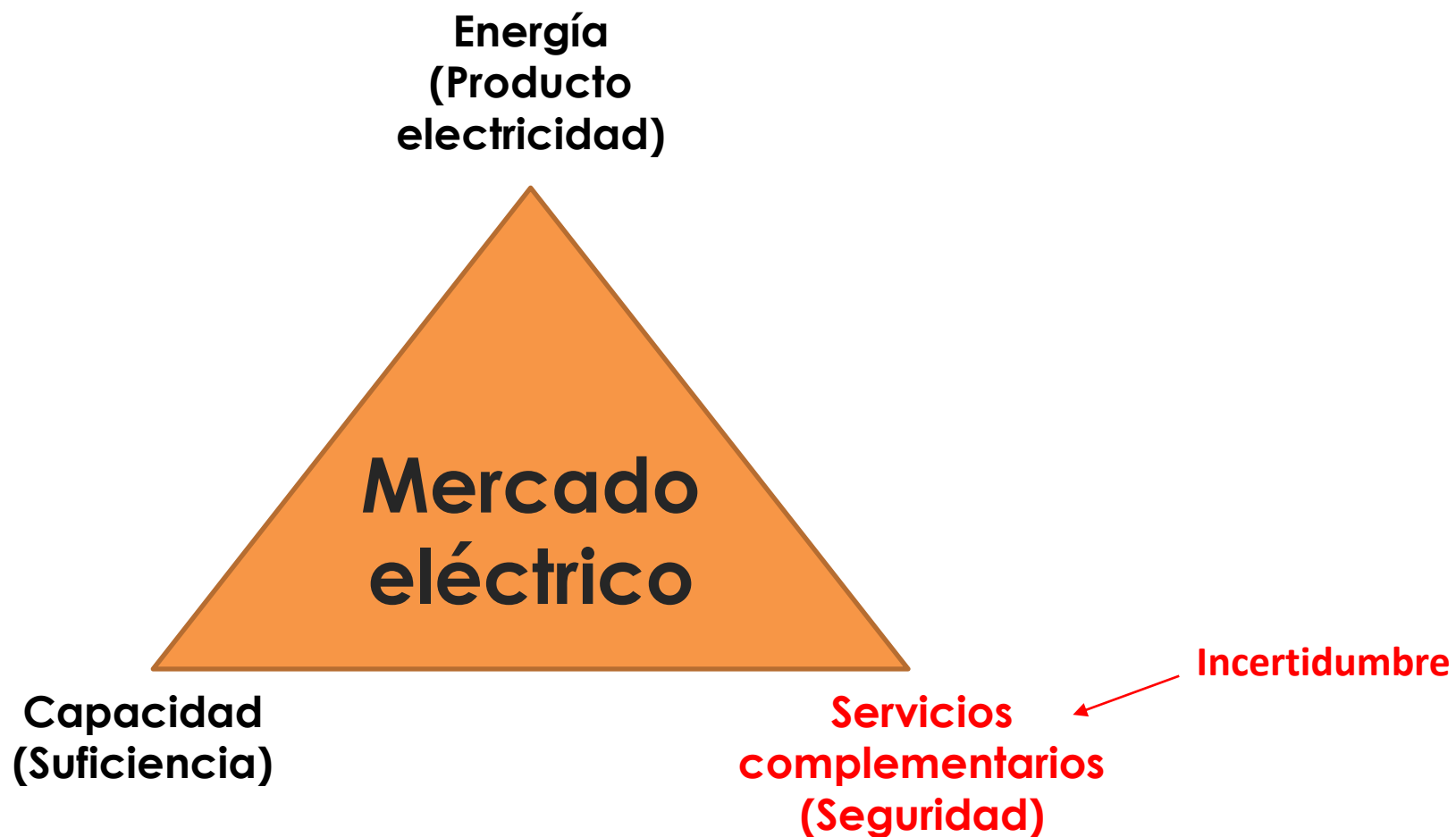
APAGONES >

Un apagón eléctrico masivo en España y Portugal desata el caos

La luz está regresando en diversas zonas del país. Sánchez asegura que no hay datos concluyentes sobre las causas y no descarta ninguna hipótesis



El diseño de mercado estará también desafiado, debiendo reconocer capacidades que antes eran inherentes a la generación convencional



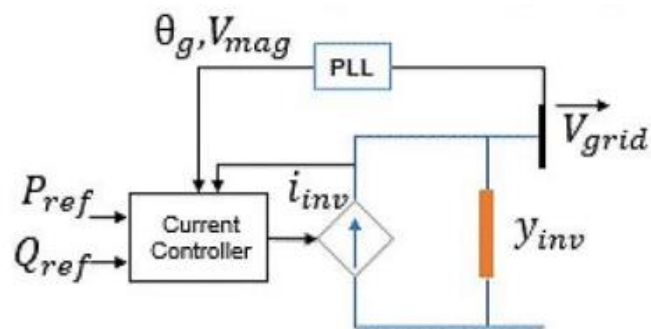
A person with short brown hair is lying down, covering their face with both hands. The scene is dimly lit with a strong blue color cast, creating a somber and emotional atmosphere. The person is wearing a light-colored t-shirt. The background is a solid dark blue.

Hablemos de *Grid Forming*



Típica distinción entre Grid Following y Grid Forming

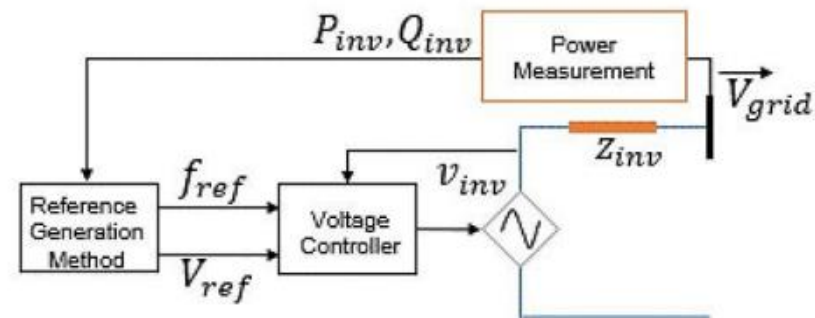
PCS Grid Following



~~“Fuente de corriente”~~

Prioriza corriente para
controlar P/Q
(a costa de control de f/V)

PCS Grid Forming

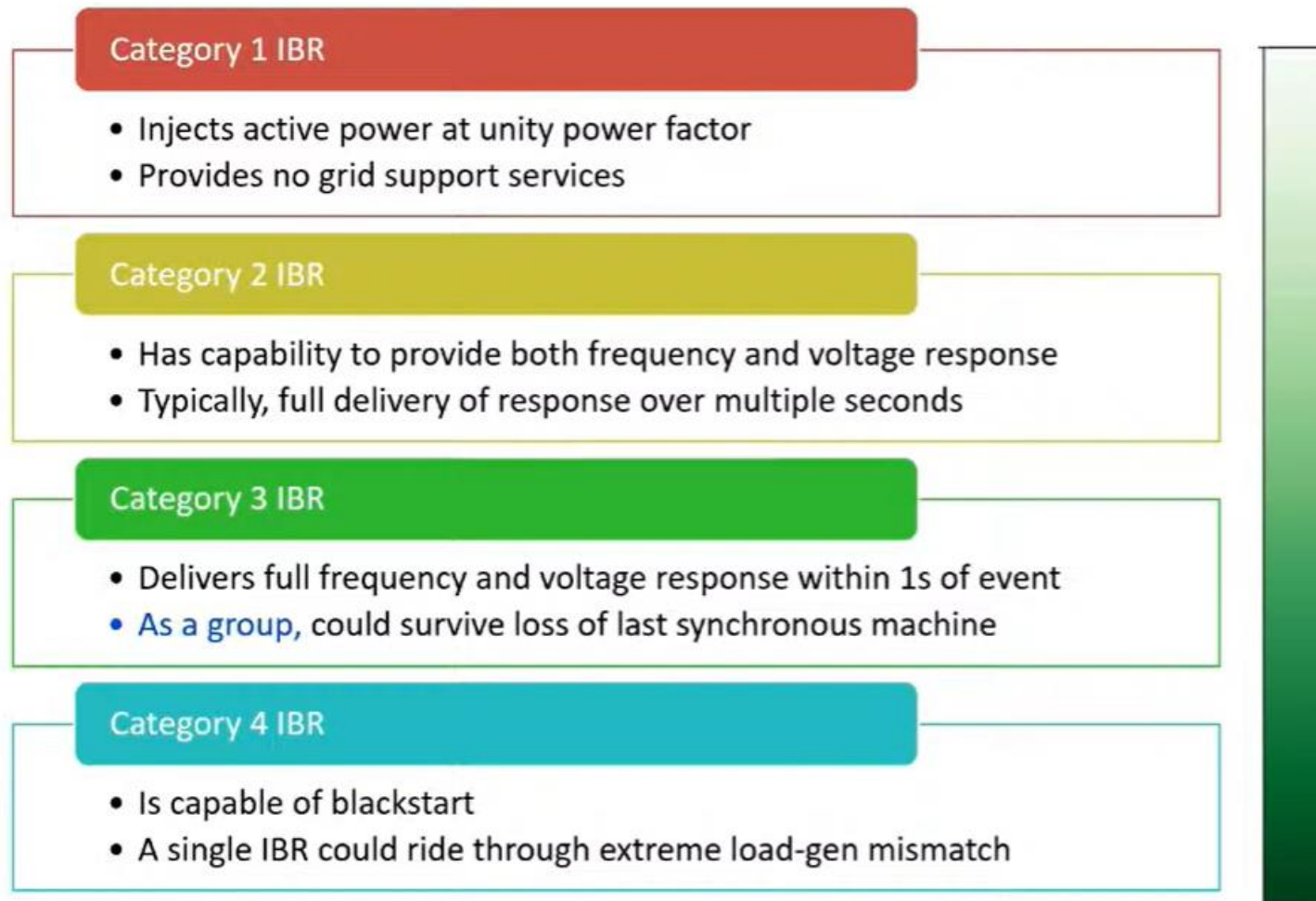


~~“Fuente de tensión”~~

Prioriza corriente para
controlar f/V
(a costa de control de P/Q)

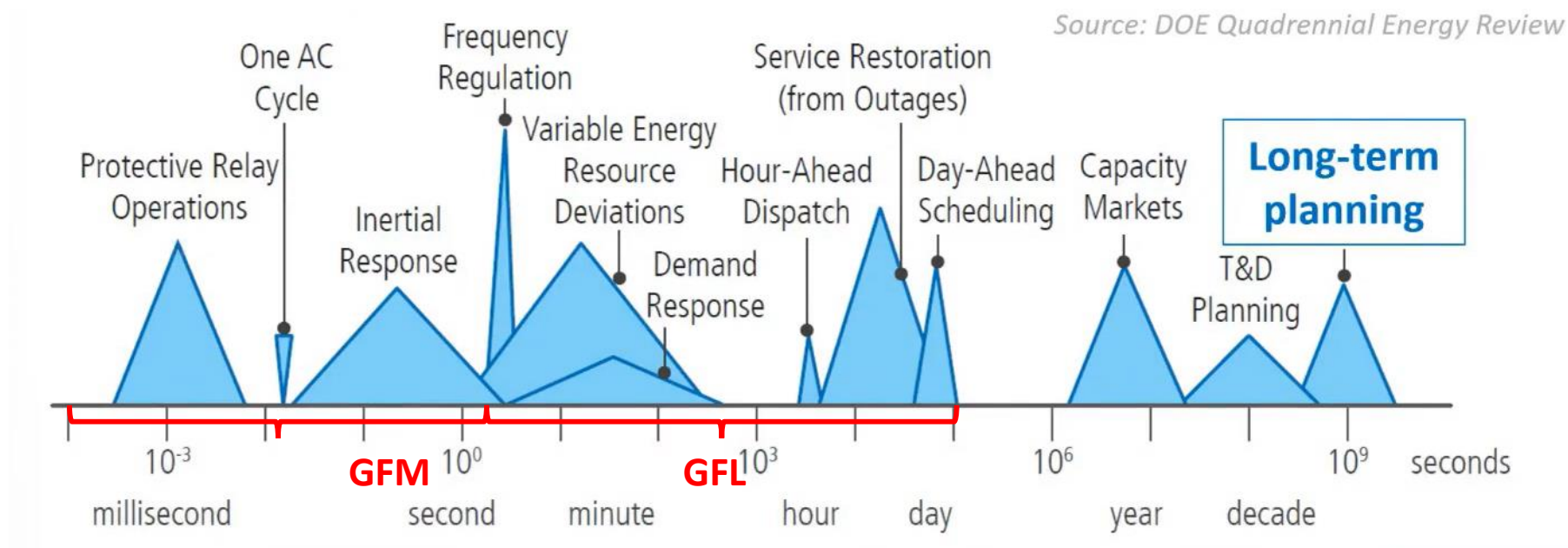


Evolución de las capacidades de los recursos basados en inversores (IBR)





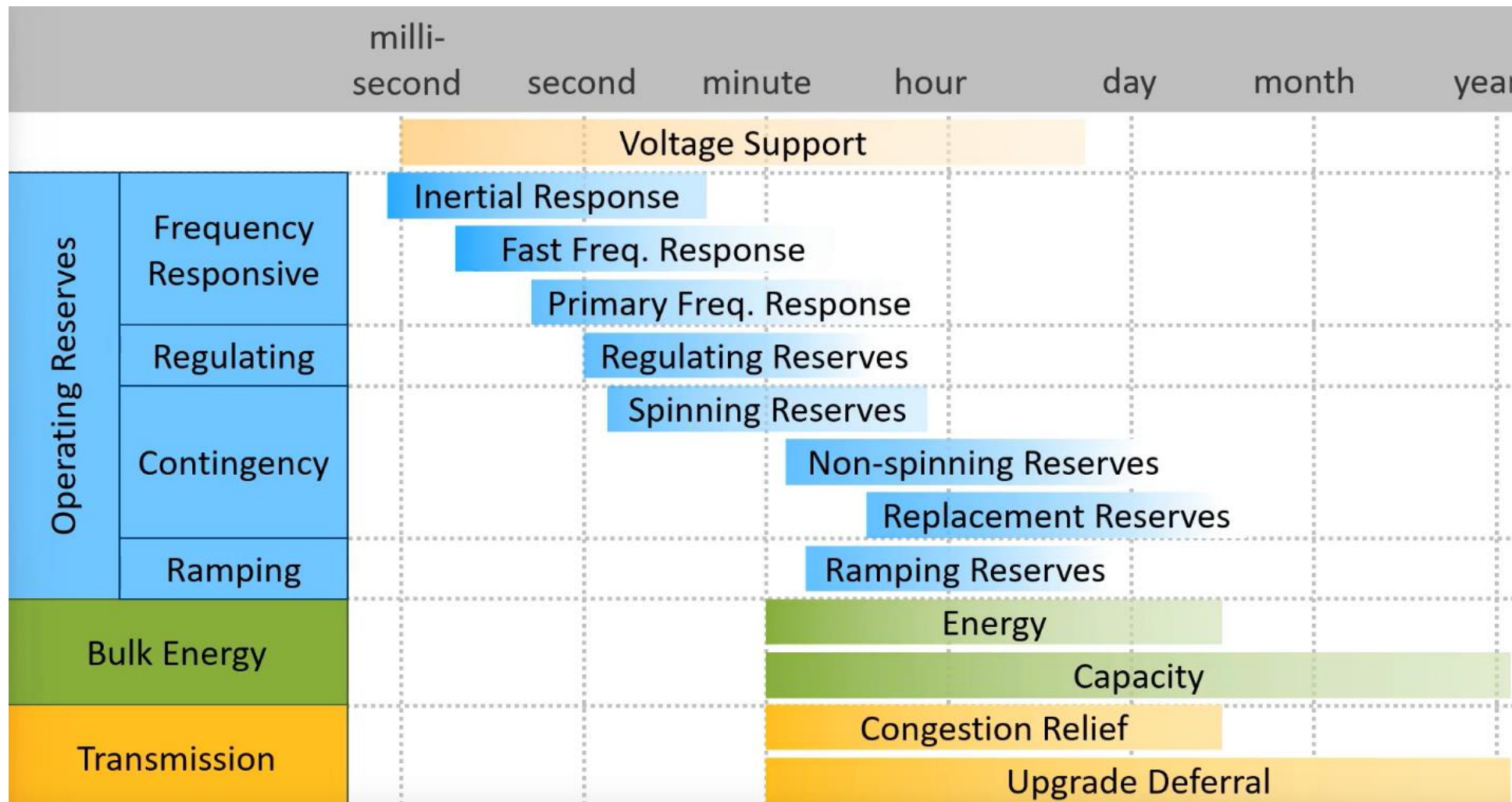
La seguridad del sistema requiere acciones en múltiples escalas de tiempo





La seguridad del sistema requiere acciones en múltiples escalas de tiempo

Valor del servicio eléctrico ↑





Chile está en proceso de consulta pública para imponer nuevos requerimientos técnicos a IBRs. Esto puede traer consigo sobrecostos para el despliegue BESS



*Requerimientos IBR
(GFL+GFM)*



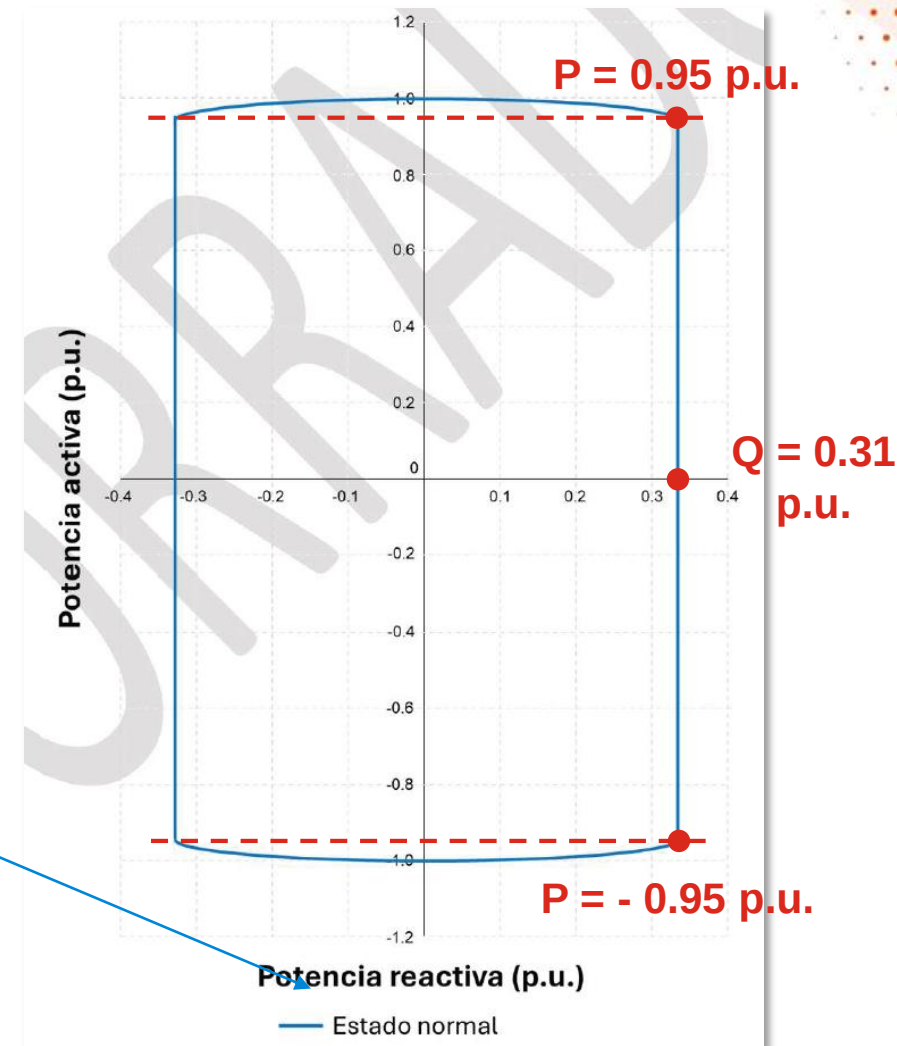
*Nuevo estudio periódico a
realizar por el Operador del
Sistema*



Requerimientos de conexión permanentes para BESS en Chile

- Hasta ahora, los BESS en Chile se han conectado siguiendo los criterios fotovoltaicos existentes, en ausencia de un requerimiento particular para BESS.
- La autoridad ahora ha propuesto asimilar el requerimiento, ratificando la práctica común.

Voltage range: 0.95 – 1.05
p.u.
(for 220 kV point of connection)





Chile está en proceso de consulta pública para imponer nuevos requerimientos técnicos a IBRs



Código de red



*Requerimientos IBR
(GFL+GFM)*



*Nuevo estudio periódico a
realizar por el Operador del
Sistema*



La importancia de la capacidad de sobrecarga de corta duración

- Sobrecarga permanente a 35° C:
(con respecto a la capacidad nominal [kVA])
- Sobrecarga de corta duración:

PCS “legacy” adaptados para GFM

1.0 [p.u.]

1.5 [p.u.] / 50-100 [ms]

Algunos PCS requieren limitar su capacidad nominal [kVA] en 10% o más para alcanzar esta sobrecarga de corta duración, verificando una capacidad “real” de sobrecarga menor.



Puede resultar en sobrecostos del proyecto GFM por vías de sobredimensionamiento de PCS.

PCS de nueva generación diseñados para GFM

1.1 [p.u.]

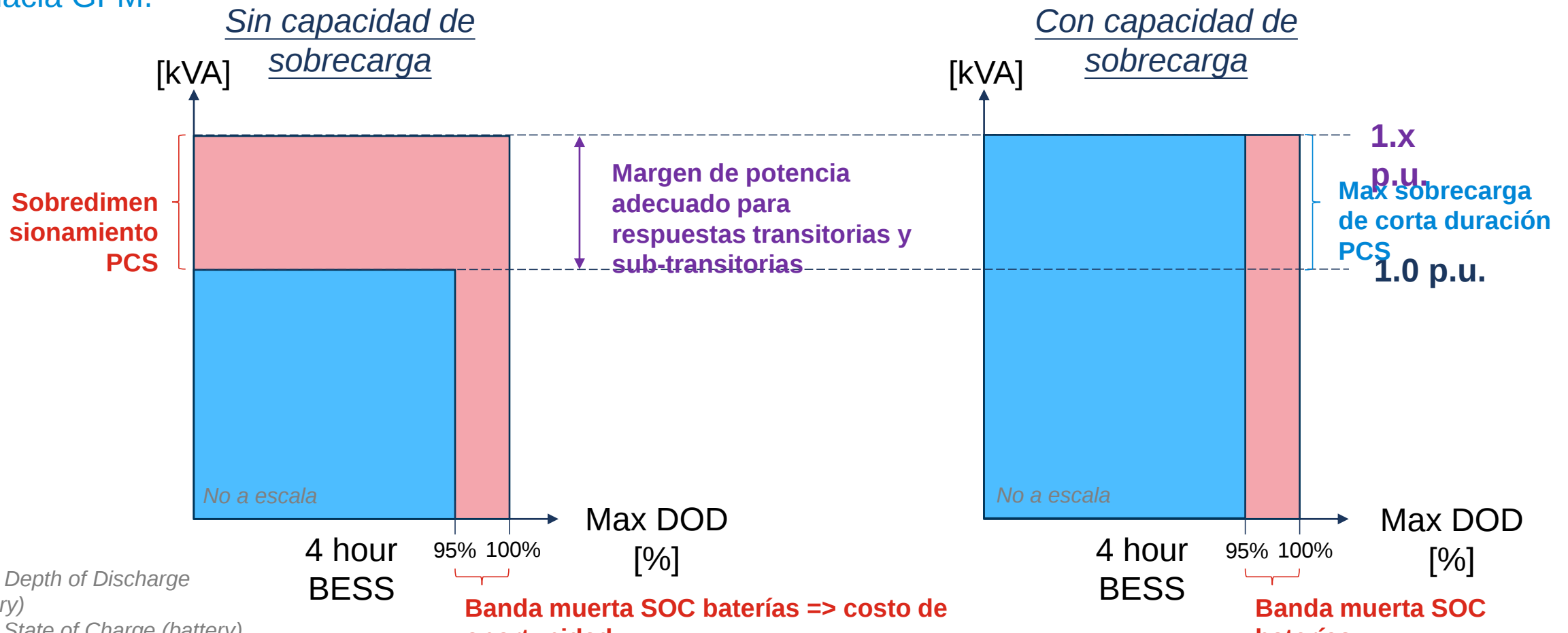
1.5 [p.u.] / hasta 10 [s]

Limitación de capacidad nominal [kVA] requerida solo para capacidades de sobrecarga mayor, hasta 3.0 [p.u.]



Sobrecosto potencial de BESS GFM y costo de oportunidad

Los proyectos pueden apalancar la capacidad de sobrecarga de los PCS para evitar sobredimensionamiento de [kVA]. Sin embargo, algún costo de oportunidad en baterías [kWh] es inevitable hacia GFM.



¡Muchas gracias por su atención!

Luciano Silva Militello

Gerente de Producto e Ingeniería BESS para LATAM



 +56 9 6303 1923

 luciano.silva@trinasolar.com

 www.linkedin.com/in/lucianosilvamilitello

IX CONGRESO INTERNACIONAL

**Almacenamiento
DE ENERGÍA**
una **nueva era** de alta Confiabilidad

Hacemos parte de



Organizan:



Centro de Ciencia
y Sensibilización
Ambiental



corferias[®]
Generadores de
Oportunidades y Progreso

