

AGUEERA



Sistemas de Almacenamiento

Segundo Bloque

Tecnología

Agustín P. Russo

Gerente de Desarrollo de Proyectos

AIRES Renewables

arusso@aires-renewables.com

ACERCA DE NOSOTROS



Consultora técnica independiente especializada en **energía eólica, solar fotovoltaica y BESS**, en proyectos utility-scale y de generación distribuida.

Contamos con **15+ años** de experiencia en energías renovables y **5+ años** de experiencia específica **en BESS** en América Latina.

Asesoría técnica en el **desarrollo de proyectos, servicios de ingeniería, Due Diligence** para *M&A* y *Project Finance* en proyectos *greenfield/brownfield, RtB*, en construcción y en operación, además de **apoyo técnico en políticas públicas** para gobiernos y entes reguladores.

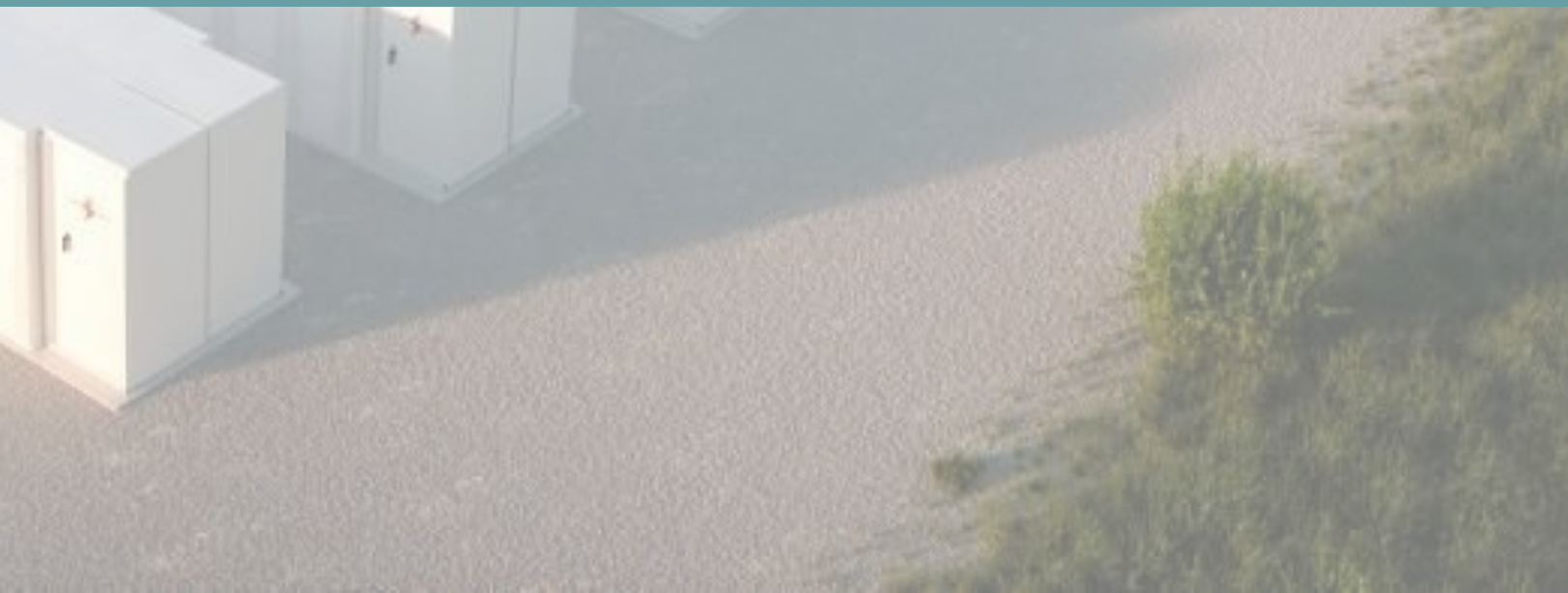


- Principio de funcionamiento
- Componentes de un sistema BESS
- Parámetros principales y conceptos clave
- Oferta tecnológica, proveedores y costos
- Aplicaciones y rol del almacenamiento en la integración de ER
- Modelos de negocio BESS
- Experiencias internacionales
- Conclusiones



Sistemas de almacenamiento

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



Principio de funcionamiento

- **Conversión de energía eléctrica a química (y viceversa)**
- **Sistemas modulares**
- **Autogestión** del proceso de carga y descarga
- Capacidad de interactuar con red eléctrica para proporcionar **servicios auxiliares**
- Su funcionamiento y vida útil se definen en términos de **“ciclos” de carga y descarga**

POTENCIA
MW

Potencia que el
BESS puede
suministrar/tomar

÷

CAPACIDAD
MWh

Cantidad de
energía que es
posible almacenar
dentro del BESS

=

C-RATE

Velocidad relativa
de carga y
descarga del
sistema

BATTERY
ENERGY
STORAGE

Principio de funcionamiento



POTENCIA
MW

Potencia que el BESS puede suministrar/tomar

÷

CAPACIDAD
MWh

Cantidad de energía que es posible almacenar dentro del BESS

=

C-RATE

Velocidad relativa de carga y descarga del sistema

BATTERY
ENERGY
STORAGE

BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM

Principales tecnologías

NMC: Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide.
 NCA: Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide.
 LFP: Lithium Iron Phosphate.
 LTO: Lithium Titanate Oxide.

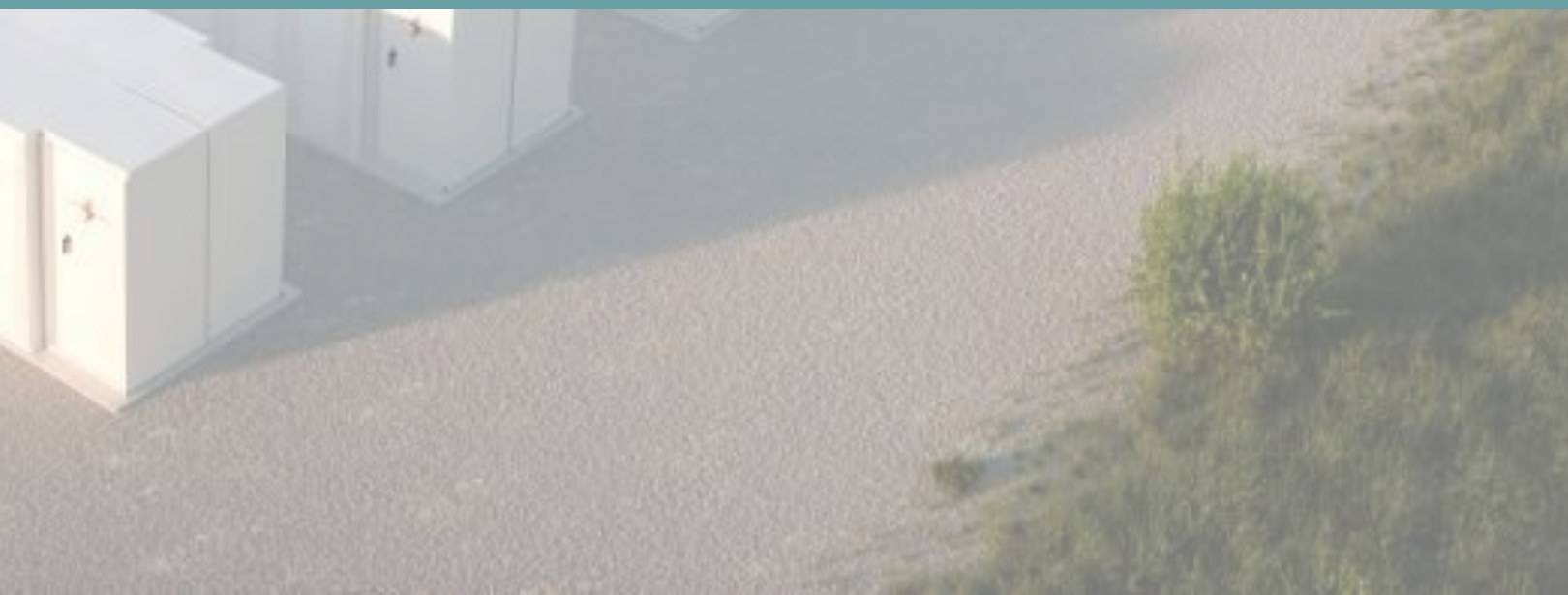
	Lithium-ion				Sodium-sulphur	Redox flow	Lead-acid
	NMC	NCA	LFP	LTO			
Technical characteristics							
Cycle life (cycles)	1,500–4,800	1,000–5,000	1,000–10,000	7,000–15,000	2,500–40,000	10,000–16,000	250–2,000
Round-trip efficiency (%)	75–97%	75–97%	75–97%	90–97%	75–90%	75–90%	63–90%
Charging rate (min – max) ¹¹	C/4–2C	C/4–1C	C/4–2C	C/4–10C	C/8–C/6	C/8–C/4	C/10–2C
Depth of discharge (%)	80–100%	80–100%	80–100%	90–100%	100%	100%	50–80%
Energy density (kWh/m³)	200–250	250–350	95–200	50–80	150–350	10–33	25–90
Thermal stability	Medium	Low	High	High	Medium	High	High
Commercial characteristics							
Capital cost — DC (\$/kWh)	170–210	250–300	150–190	400–1,000	300–600	240–390	210–240
Operating cost (\$/kWh)	8	8	8	6	8	11	3
Development & construction time (years)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.25
Maturity of technology	Mature	Commercialization	Commercialization	Early Commercialization	Commercialization	Demonstration	Mature

The World Bank Group (2023). “Guidelines to implement battery energy storage systems under public-private partnership structures”



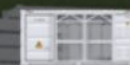
Sistemas de almacenamiento

COMPONENTE DE UN SISTEMA BESS





Smart String ESS



Smart Transformer
Station



Smart PCS

BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM

Componentes

EMS – Energy Management System

Control y monitoreo del flujo de energía dentro del BESS

Módulos

Conjunto de celdas de baterías individuales. Los módulos forman paquetes de baterías conectados en serie y paralelo para la capacidad requerida.

Estación Transformadora

Vinculación con la red eléctrica



Sistema de refrigeración

Usualmente refrigeración con líquido. Homogeneización de temperatura

PCS – Power Conversion System

Convierte DC-AC. Gestiona y regula el flujo de carga entre la BESS y el sistema

Sistemas de seguridad

Control de corrientes de cortocircuito, temperaturas, sistemas anti-incendios, entre otros

DC/DC

Conversión de CC entre inversor y batería



Sistemas de almacenamiento

PARÁMETROS PRINCIPALES



BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM

Parámetros principales

Round Trip Efficiency

Porcentaje de energía que se recupera durante la descarga, comparado con la energía aportada durante la carga.

Depth of Discharge (DoD) [%]

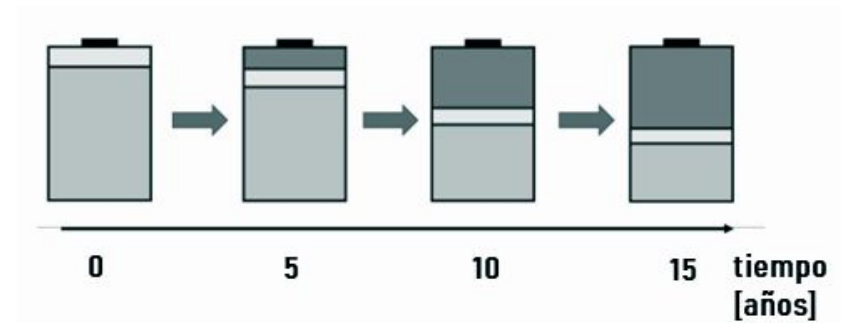
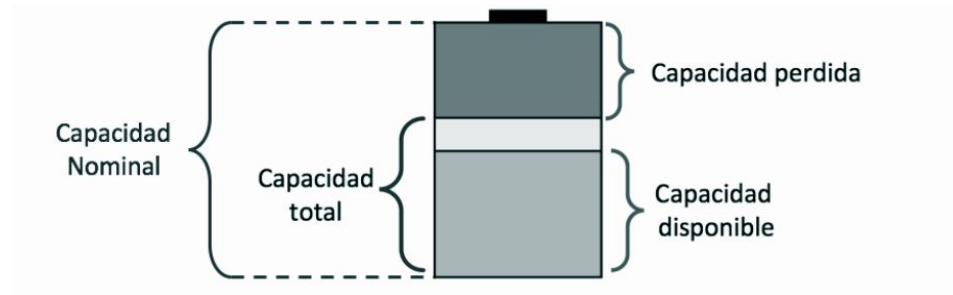
Porcentaje de energía extraída de la batería en comparación con su capacidad total

State of Health (SoH) [%]

Capacidad máxima de almacenamiento del BESS en comparación con su capacidad original

$$DoD = 100\% - SoC \%$$

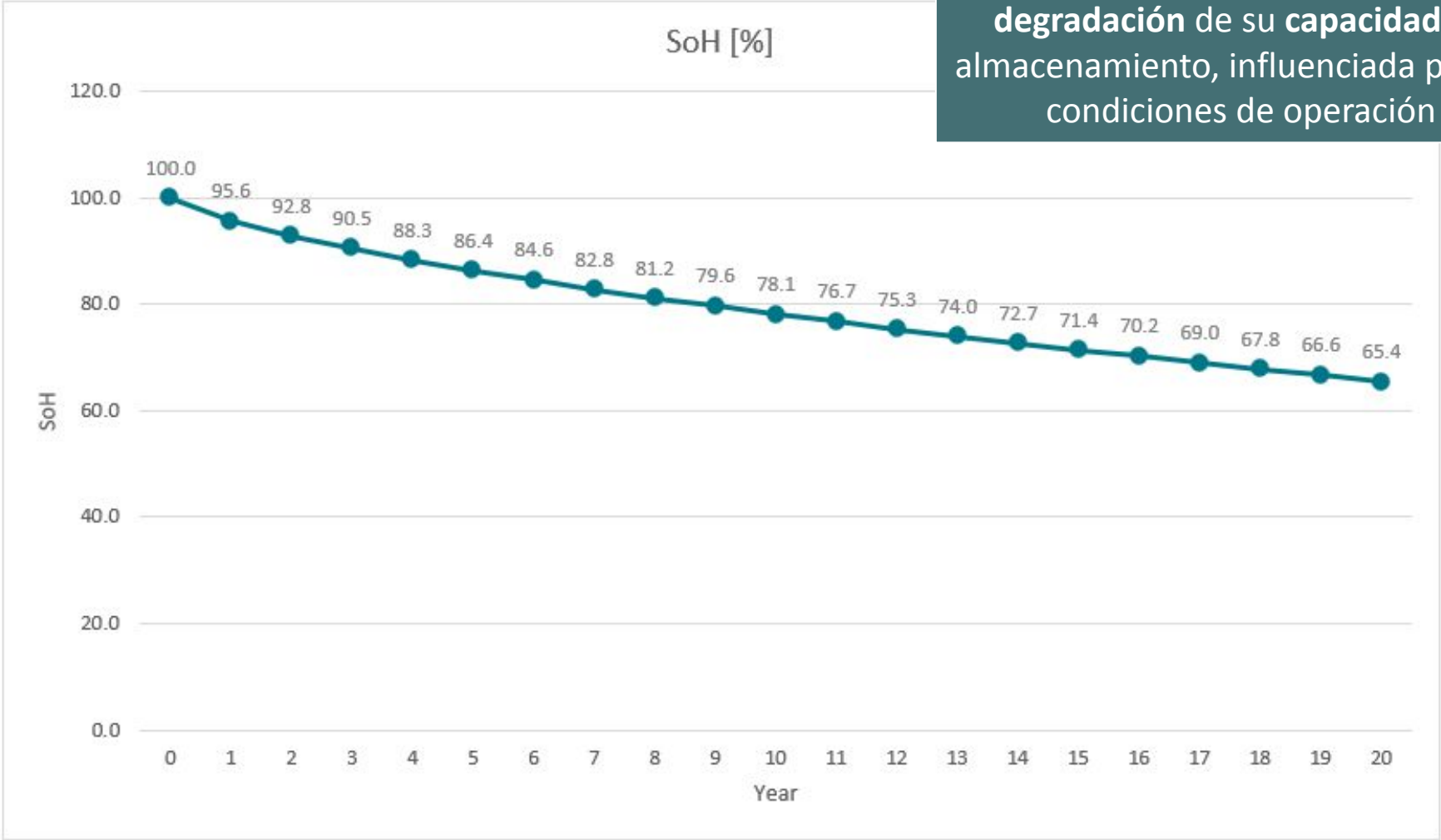
$$SoH = 1 - \frac{Q_{perdida}}{Q_{nominal}}$$



BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM

Parámetros principales

T°: 25°C	
DoD: 90%	
Cycles: 1 cycle/day	
C-Rate: 0.25C	
Year	SoH [%]
0	100.0
1	95.6
2	92.8
3	90.5
4	88.3
5	86.4
6	84.6
7	82.8
8	81.2
9	79.6
10	78.1
11	76.7
12	75.3
13	74.0
14	72.7
15	71.4
16	70.2
17	69.0
18	67.8
19	66.6
20	65.4



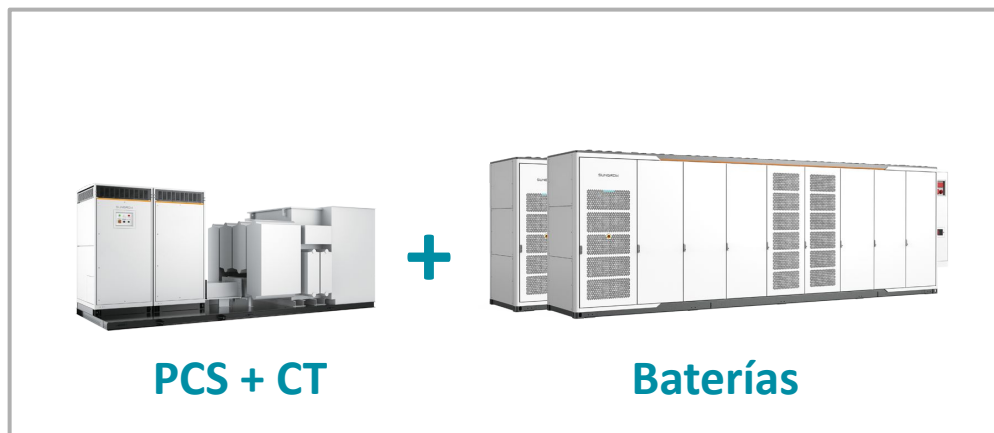
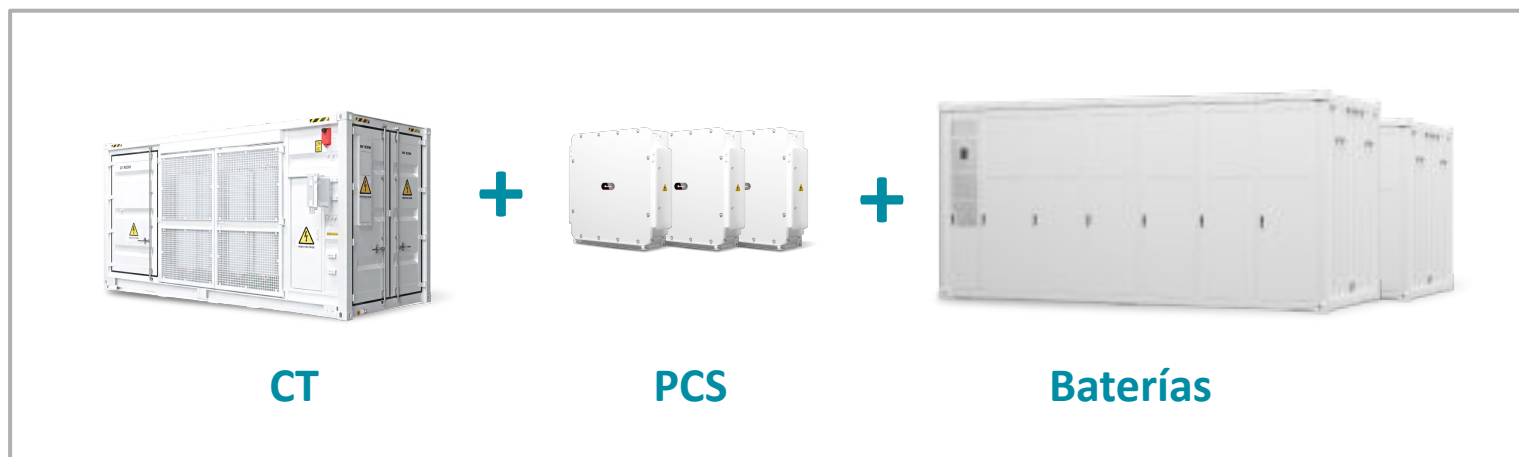
Vida útil del determinada por la **degradación** de su **capacidad** de almacenamiento, influenciada por las condiciones de operación

Sistemas de almacenamiento

OFERTA TECNOLÓGICA

Arquitectura modular

1 ha ~ 400 MWh



Standard general: Contenedores de **20 pies** - Dimensiones: **6 x 3 x 2.5 m** - Peso: **30 a 53 tn**



EnerOne Plus - CATL
400 kWh – 200 kW



MC Cube – T - BYD
536 kWh – 134 kW



Aqua-E-233 - Clou
233 kWh – 110 kW



LUNA2000-215-2S10 - Huawei
2015 kWh – 108 kW

Estándar general: **PCS integrado** - Dimensiones ~ 1.3 x 1.3 x 2.3 m

Diversidad de soluciones, utilizada como estrategia comercial de diferenciación entre tecnólogos

Fabricante	Producto	Capacidad DC por container [MWh/ft]	Ilustración
 FLUENCE A Siemens and AES Company	Smartstack	7.5 MWh/24 ft	
 CATL	TENER Stack	4.5 MWh/20 ft	
 海博思创 HYPER STRONG	HyperBlock M	3.2 MWh/10 ft	
 HTHIUM	∞Power 6.25MWh	6.25 MWh/20 ft	
 SUNGROW	PowerTitan 3.0	3.45 MWh/10 ft 6.9 MWh/20 ft 12.5 MWh/30 ft	
 TESLA	Megapack 2XL	3.9 MWh/29 ft	

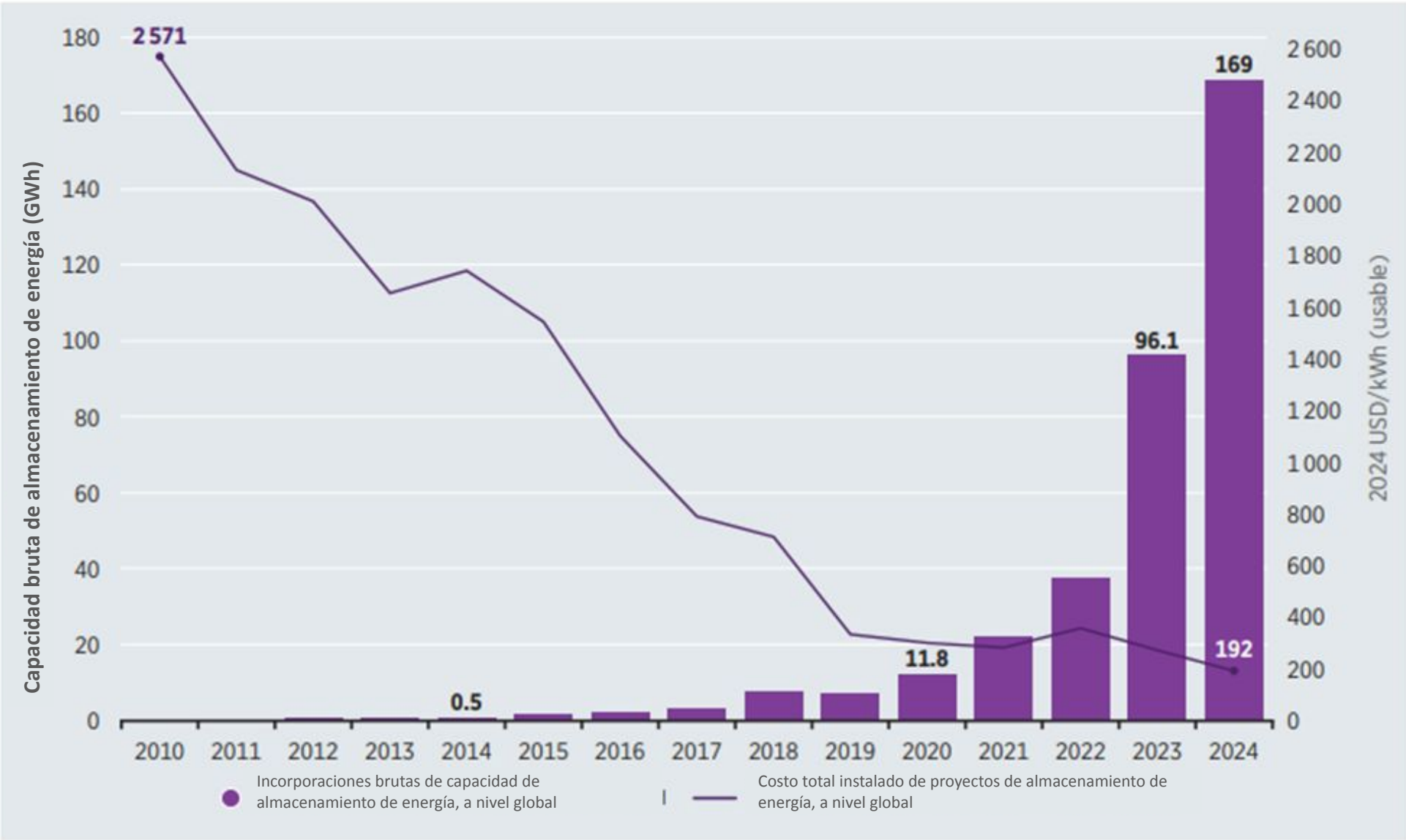
Fuente: Volta Foundation (2026), 2025 Battery Report

Principales factores diferenciadores

- Curvas de degradación y eficiencia garantizadas
- Términos de garantía
- Presencia en el mercado local, soporte postventa
- Integración de componentes como PCS y EMS
- Software
- Financiación
- Superficie ocupada por MWh

Diferentes layouts, transformadores, protecciones, requerimientos civiles

Evolución de capacidad instalada BESS y costo



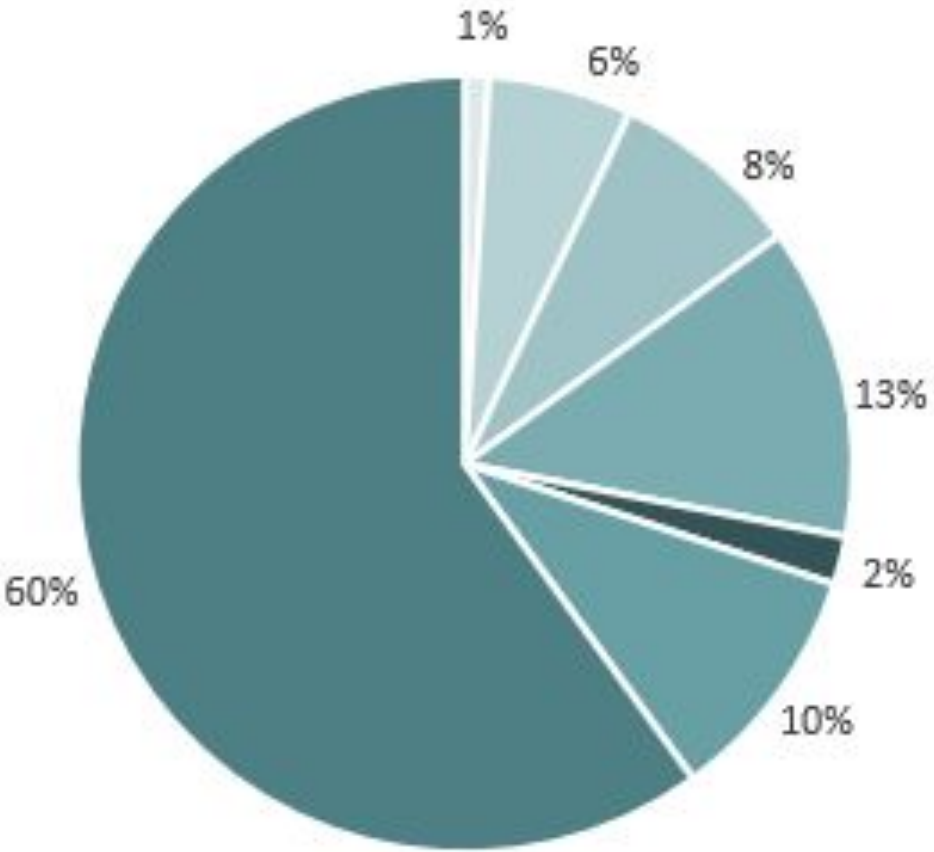
Fuente: IRENA (2025), Renewable power generation costs in 2024, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Composición de costos de un proyecto BESS

→ La capacidad (MWh) pretendida es el factor más determinante

→ Las garantías pueden representar distintos % en función de la cantidad de años

- Desarrollo
- Garantías
- Interconexión
- BoS
- EMS
- PCS
- BESS



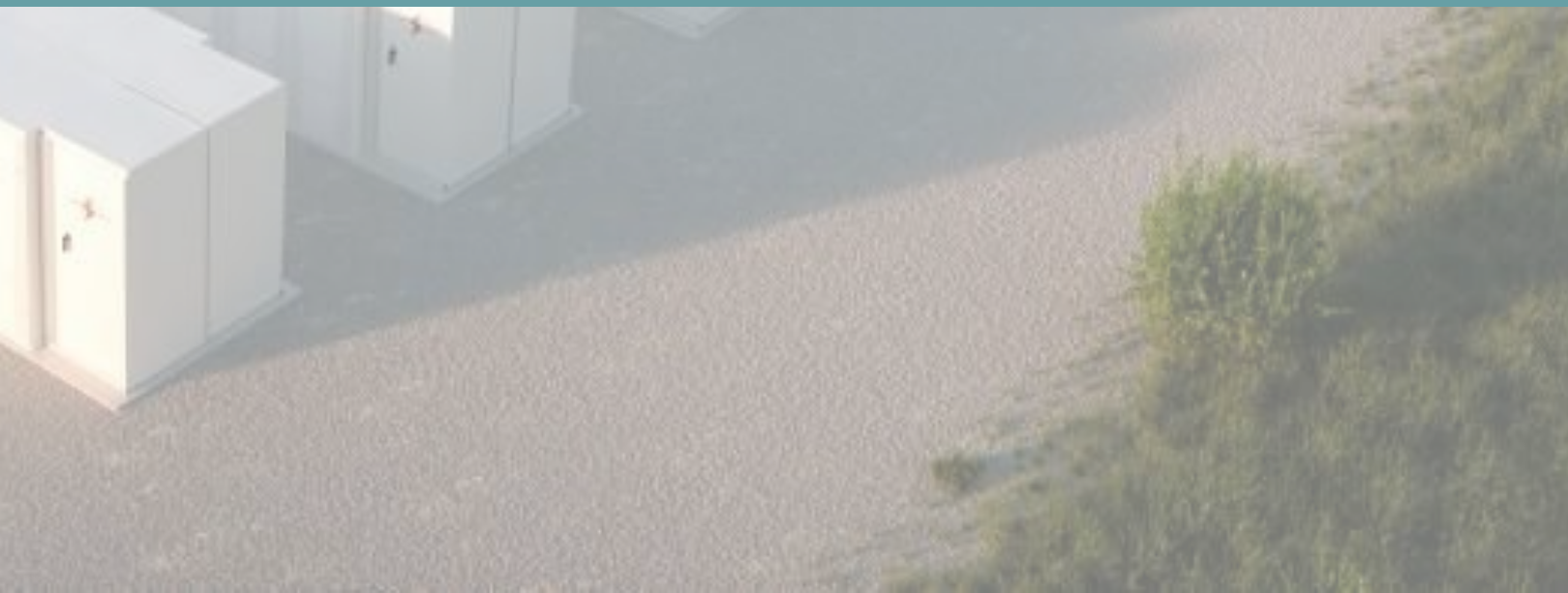
Proyecto de 20 MW/80 MWh (C-Rate: 0.25C)
Fuente: elaboración propia a partir de cotizaciones

Costo Utility-scale llave en mano ~ **200 USD/kWh**

An aerial photograph showing several white, rectangular storage units arranged in a row on a gravel lot, with green vegetation in the background.

Sistemas de almacenamiento

APLICACIONES

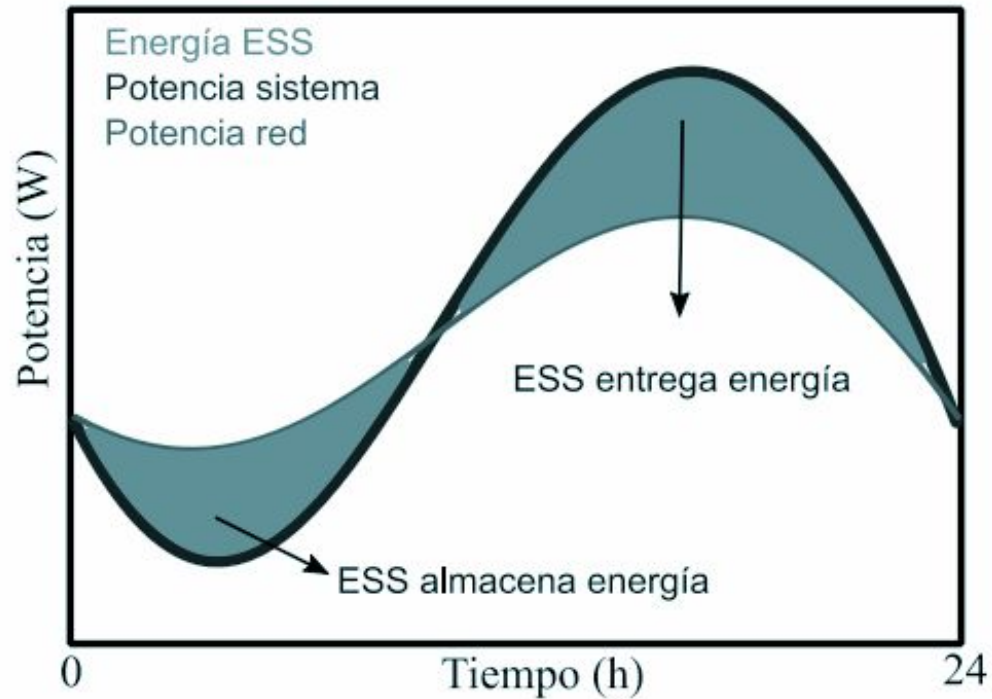


Aplicaciones

- Peak-shifting
- Peak-shaving
- Power firming
- Arbitraje de energía
- Regulación de frecuencia
- Regulación de tensión
- Aplazamiento de inversiones mayores en transmisión
- Microgrids



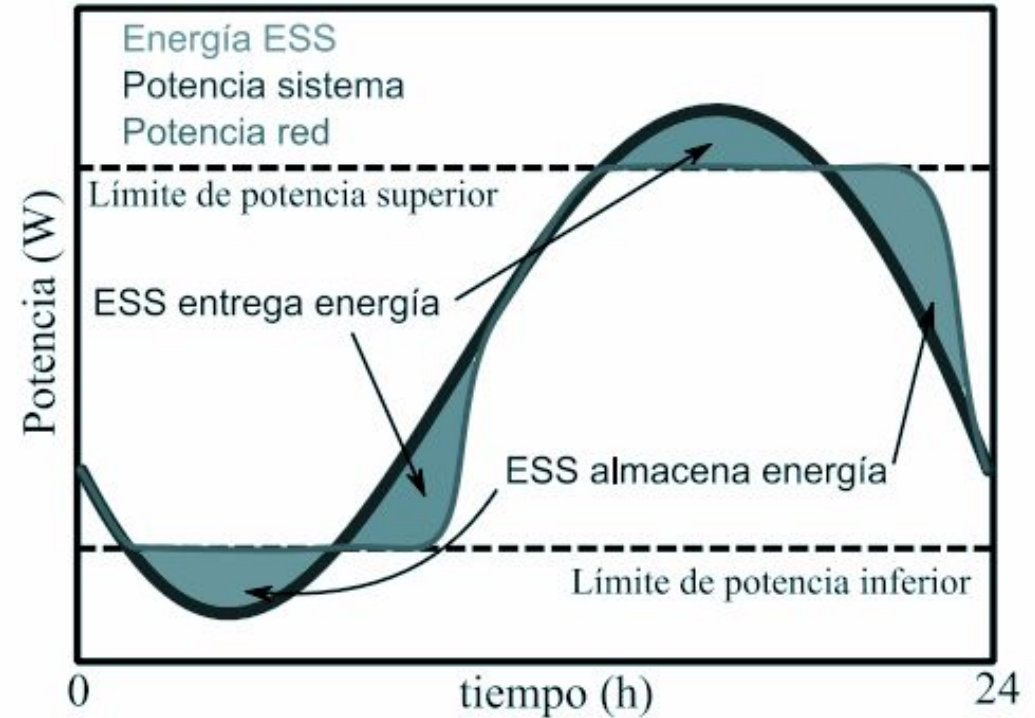
Peak Shifting



Desplazamiento en el tiempo de volúmenes de energía demandados o generados

Responde principalmente a conveniencia económica: en **sistemas con ciclos de precios previsibles**

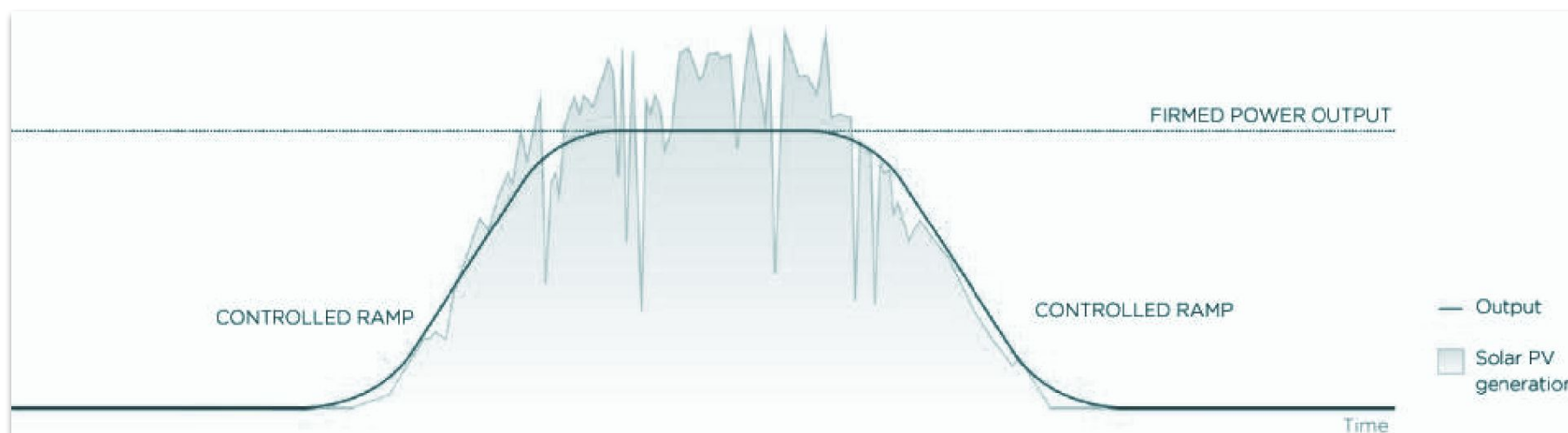
Peak Shaving



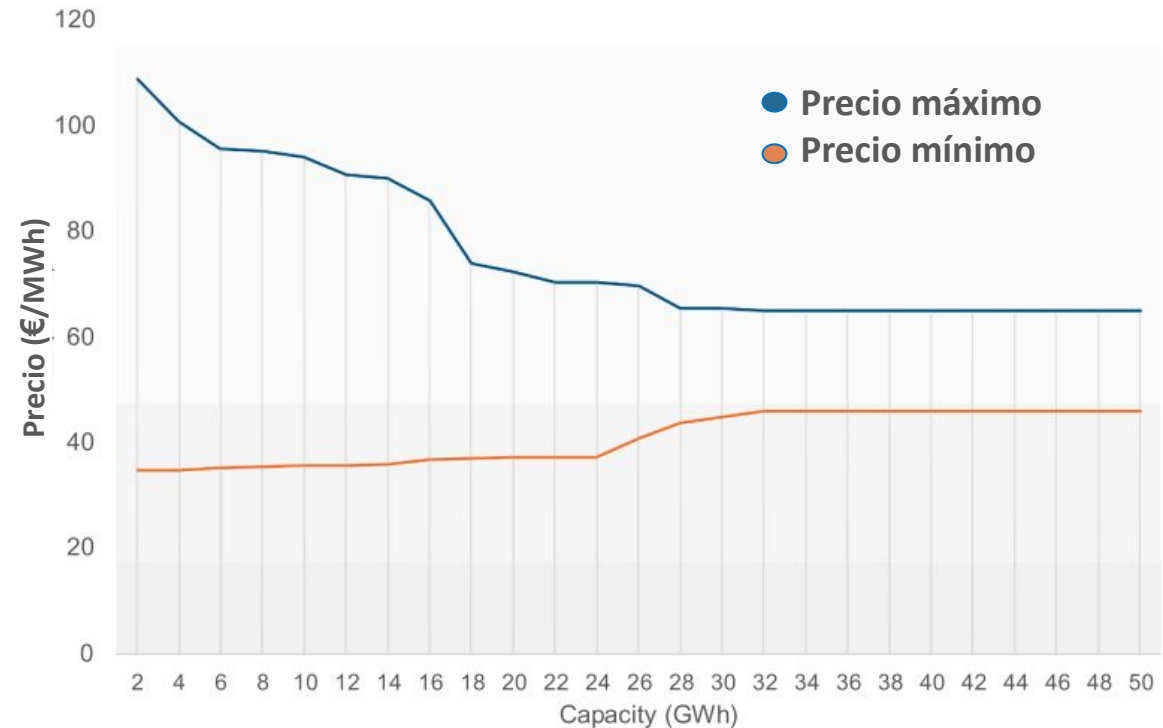
Utilizado **para sortear limitaciones de potencia**, ya sea por:

- **Requerimientos técnicos**
- **Conveniencia económica**

- Aplicado a generación renovable variable
- Dos principales aplicaciones:
 - Corto plazo: Moderación de variaciones bruscas de generación
 - Mediano plazo: provisión de potencia “firme”
- Permite lograr:
 - Mayor penetración de energía renovable
 - Mejor previsibilidad en la entrega de energía



- Ingresos depende del diferencial de precios (spread) del mercado eléctrico
- Desde perspectiva sistémica, el BESS:
 - suaviza picos
 - llena valles
 - reduce la volatilidad del mercado
- Consecuencia natural: **compresión progresiva** de los spread, reduciendo el revenue de esta fuente



Reducción del diferencial de precios a medida que aumenta la capacidad instalada

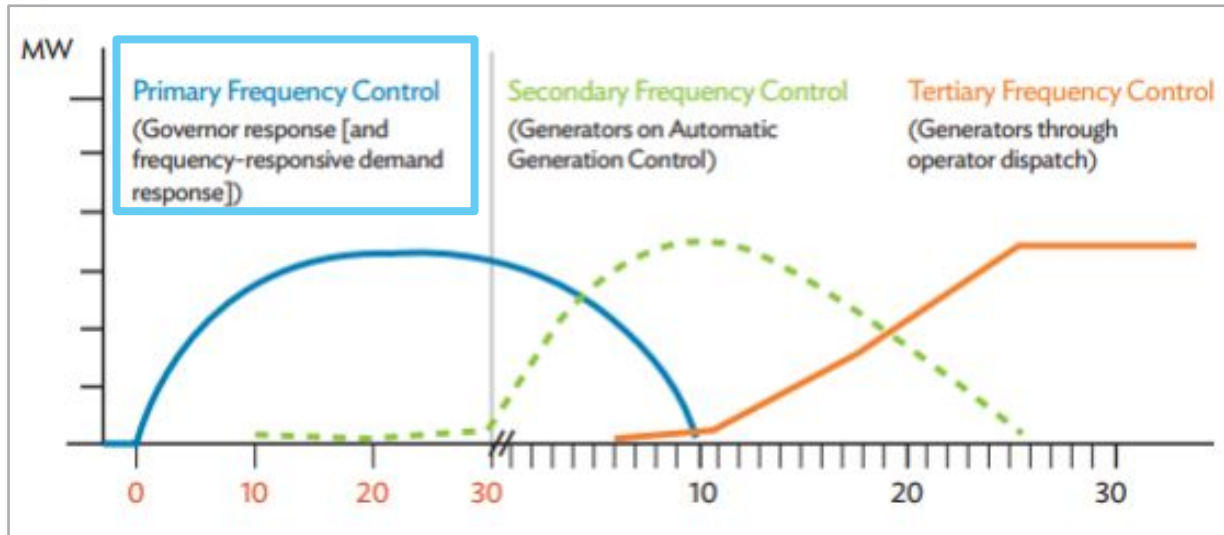
*Proyectos **tempranos**: ↑ spread + ↑ exposición al riesgo de mercado*

*Proyectos **posteriores**: ↓ spread compensado con ↓ CAPEX y ↑ estandarización tecnológica*

Servicios auxiliares a la red eléctrica

REGULACIÓN PRIMARIA DE FRECUENCIA

Mediante inyección de potencia activa (o aumento de demanda)

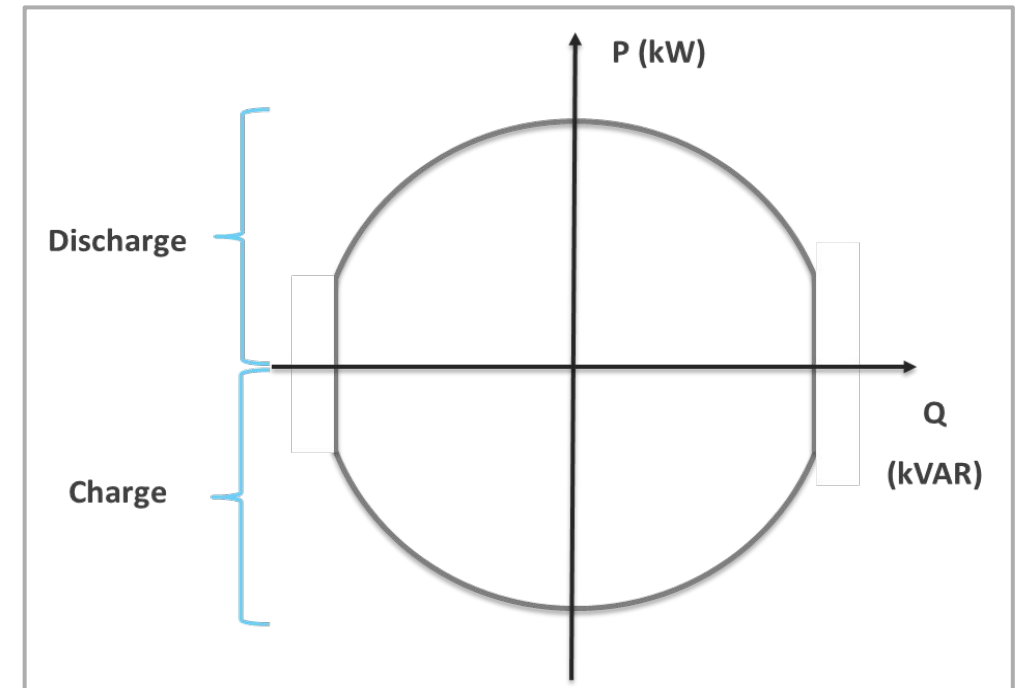


APORTE DE POTENCIA DE CORTOCIRCUITO

En redes con alta penetración renovable

REGULACIÓN DE TENSIÓN

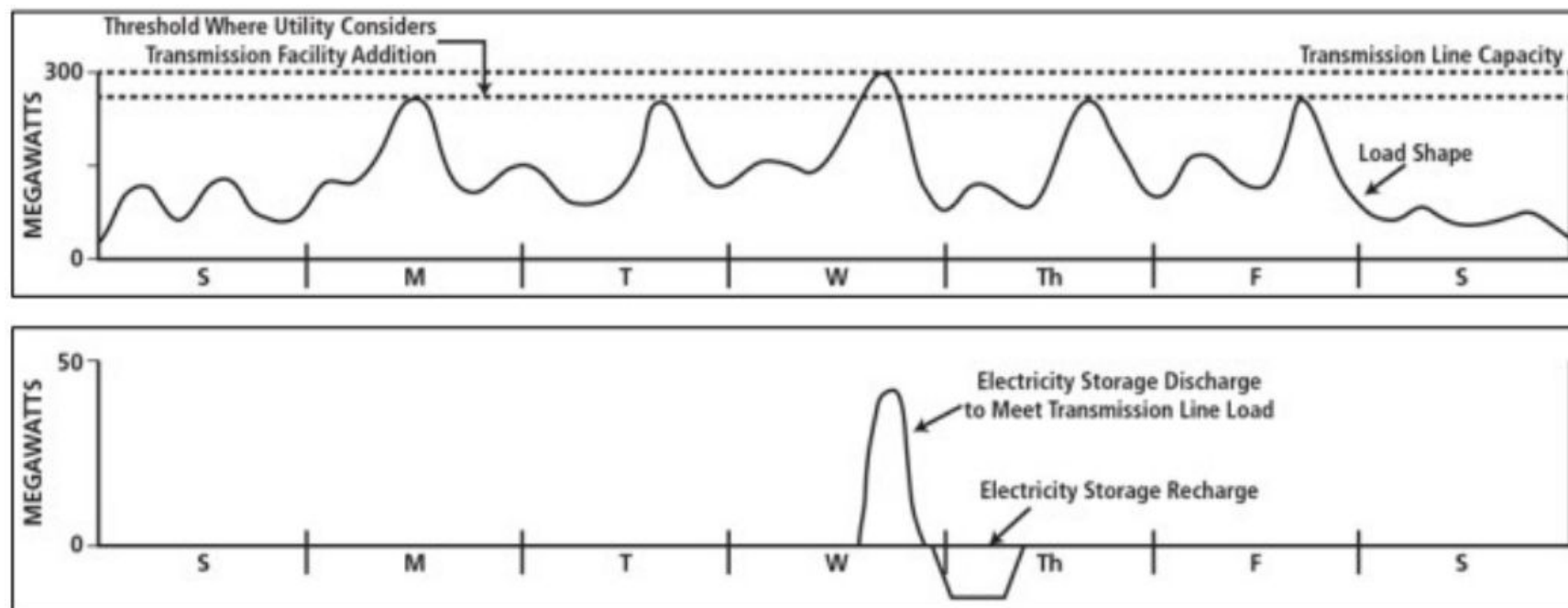
Mediante inyección/demanda de potencia reactiva



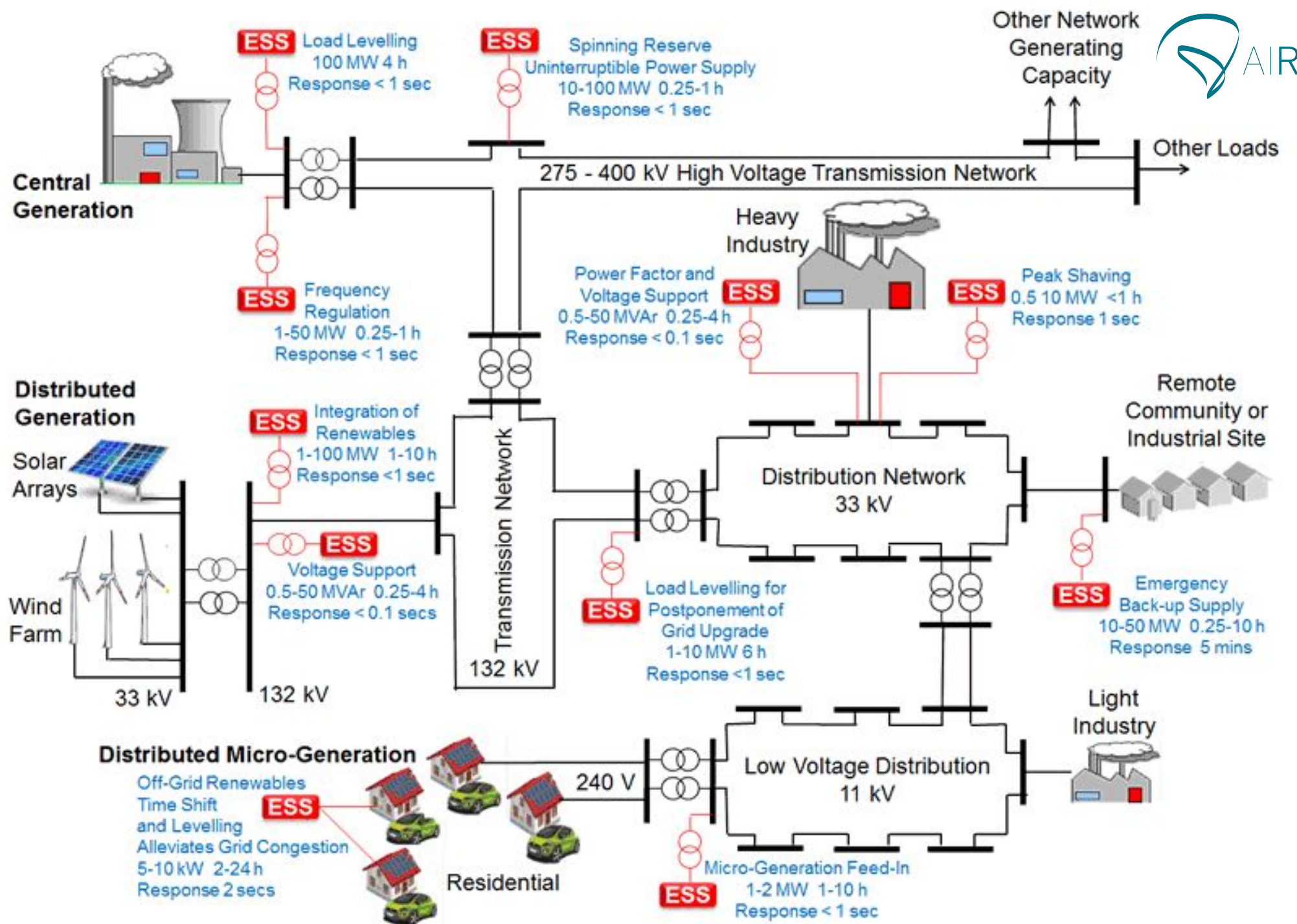
Aplazamiento de inversión en Transporte y Distribución

- Permite reducir:
 - Sobrecargas de generación: tomando demanda
 - Sobrecargas de demanda: inyectando potencia
- Tiempos de implementación **cortos** (2 años)

Los límites operativos de las líneas de transmisión generalmente se exceden durante períodos de tiempo cortos



APLICACIONES Microrredes



Sistemas de almacenamiento

MODELOS DE NEGOCIO

Mercado

- Despliegue de BESS depende de la dinámica del mercado
- Ingresos expuestos a precios y condiciones operativas.
- Mayor volatilidad, menor previsibilidad
- Alta flexibilidad operativa
- Sensibilidad a la evolución del mercado

Contratos

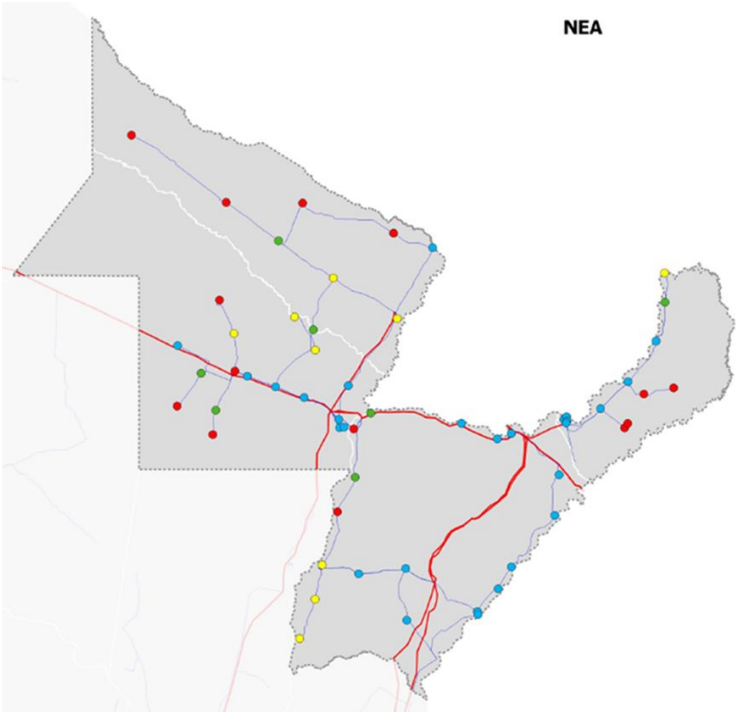
- Despliegue acelerado de nuevas tecnologías
- Mayor previsibilidad mediante contratos con pagos que pueden ser fijos o variables
- Condiciones y límites de operación predefinidos y establecidos a largo plazo
- Prioriza estabilidad de ingresos aunque limitando retornos potenciales

A horizontal line with vertical end caps, positioned below the 'Mercado' and 'Contratos' boxes and above the 'Modelos híbridos' box, indicating a conceptual link or synthesis of the two top models into the hybrid model.

Modelos híbridos

- Combinan ingresos merchant y contractuales:
 - Contrato asegura un ingreso mínimo que cubra los servicios de deuda y de una rentabilidad mínima
 - Ingresos merchant buscan maximizar el retorno

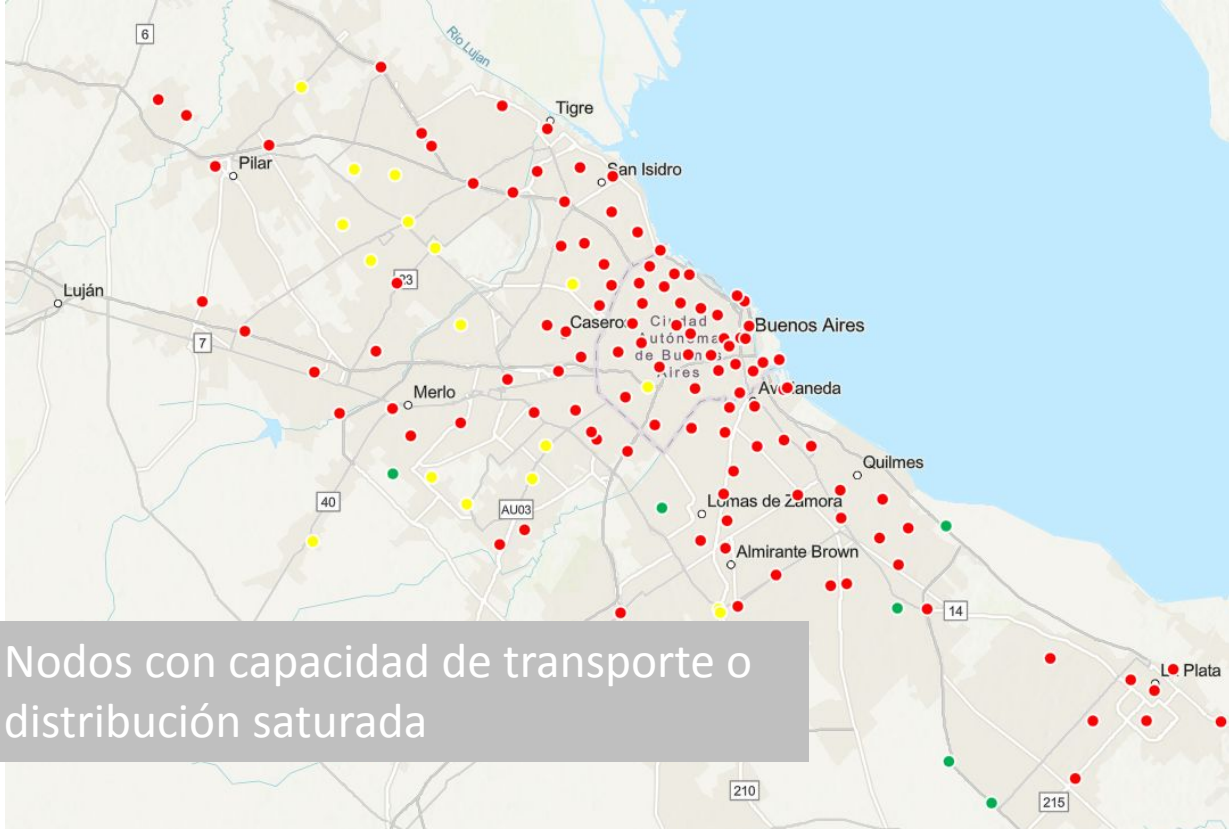
Objetivo: **Sustituir generación forzada** mediante integración de proyectos de generación renovable híbridos con almacenamiento o stand alone



- **Remuneración adicional** sobre la energía renovable generada **por hibridar el proyecto** (NO se remunera aparte el almacenamiento)
- Contratos con CAMMESA a 15 años
- Criterio de **dimensionamiento BESS** mínimo **establecido por pliego**: Potencia mayor o igual al **25% de la Potencia de generación** con al menos **3 horas** de almacenamiento

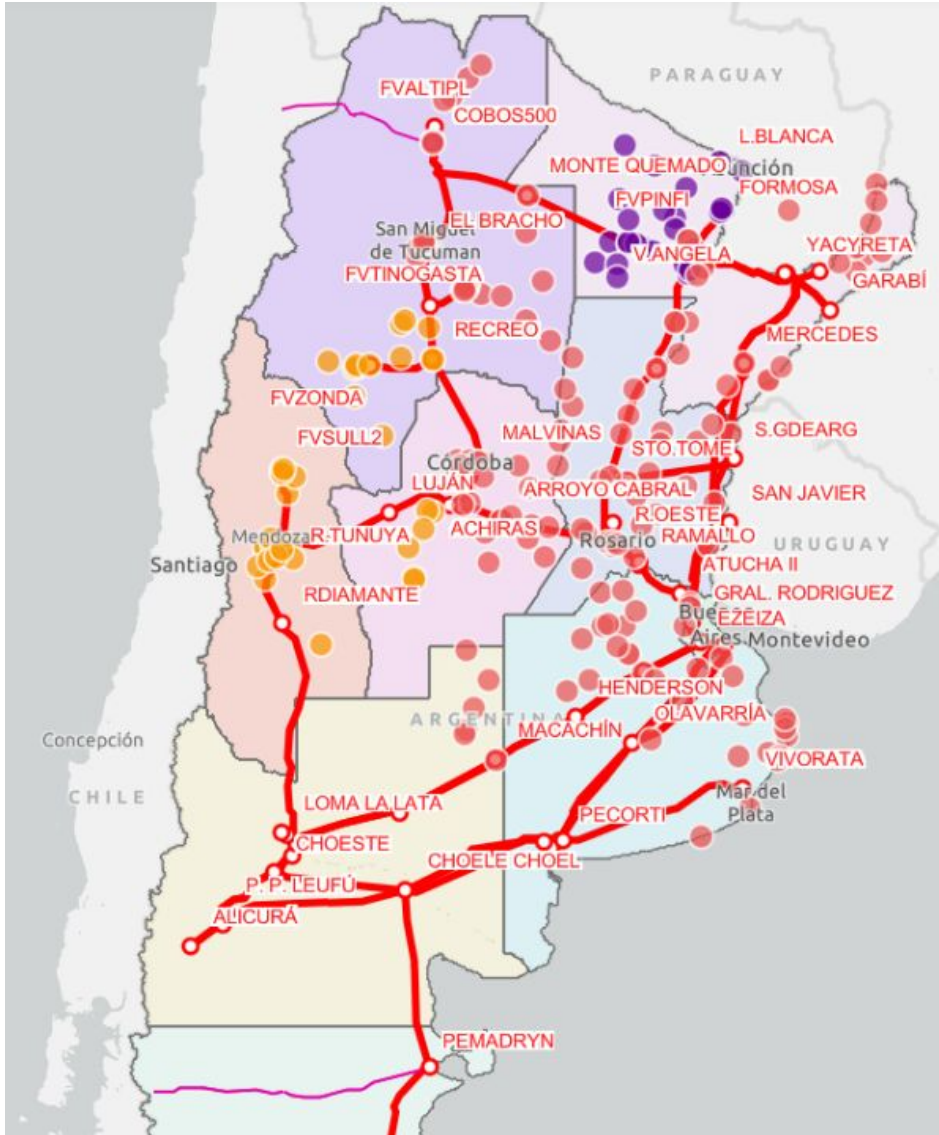
Resultados de licitación

	SFV	SFVA	EOLA	BM	Totales
MW	450	52	10	3	514
#Proy	41	3	1	1	46
PO pond. u\$s/MWh	71	82	115	146	73.1



Drivers de licitación

- Saturación de la red de transmisión hacia el AMBA
- Déficit de potencia en picos de demanda
- Limitaciones para expandir infraestructura en el corto plazo
- Necesidad de soluciones flexibles y localizadas
- **Primera licitación BESS Stand Alone en Argentina**



Drivers de licitación

- Saturación y restricciones de transmisión a nivel del SADI
- Creciente penetración de renovables con necesidad de flexibilidad
- Limitaciones para expandir infraestructura de transporte en el corto plazo
- Necesidad de soluciones distribuidas y escalables a nivel país
- **Continuidad del esquema AlmaGBA como modelo de referencia**

Revenue Stacking

Revenue stacking



Combinaciones de Revenue Streams

Revenue Stacking típicos:

Capacidad

Servicios auxiliares

Capacidad

Arbitraje (limitado)

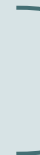
Energías ERV

Servicios operativos

***¿Qué habilita o limita
el Stacking?***

- ➔ Requerimientos de disponibilidad definidos por el regulador u operador
- ➔ Restricciones de simultaneidad entre servicios
- ➔ Límites técnicos del activo (potencia, energía, ciclos)

- Supuestos operativos específicos
- Coherencia con las capacidades técnicas

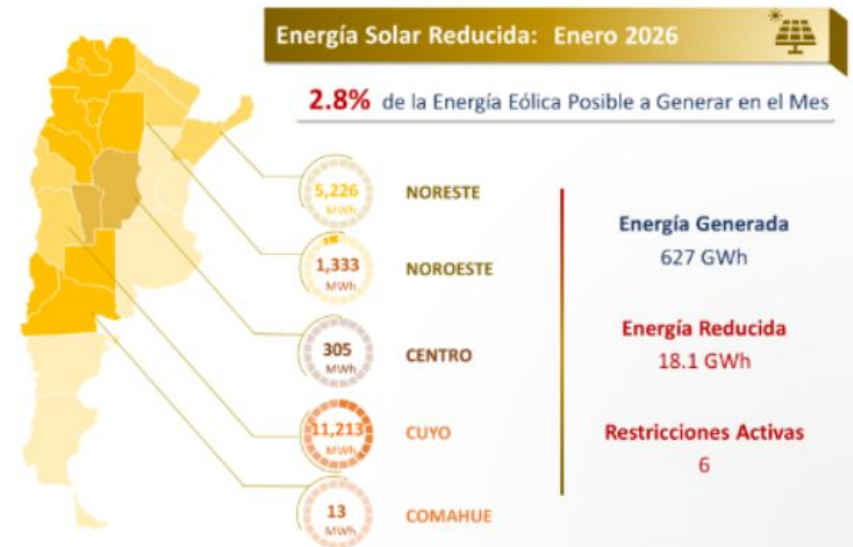
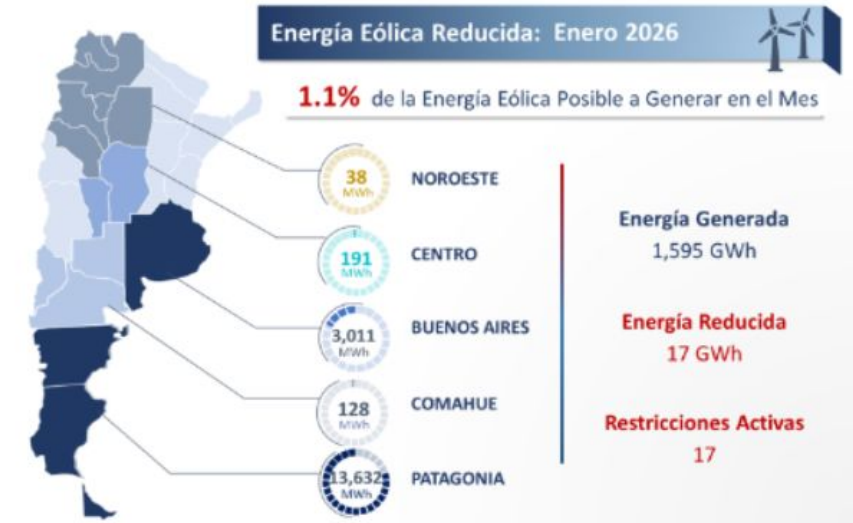
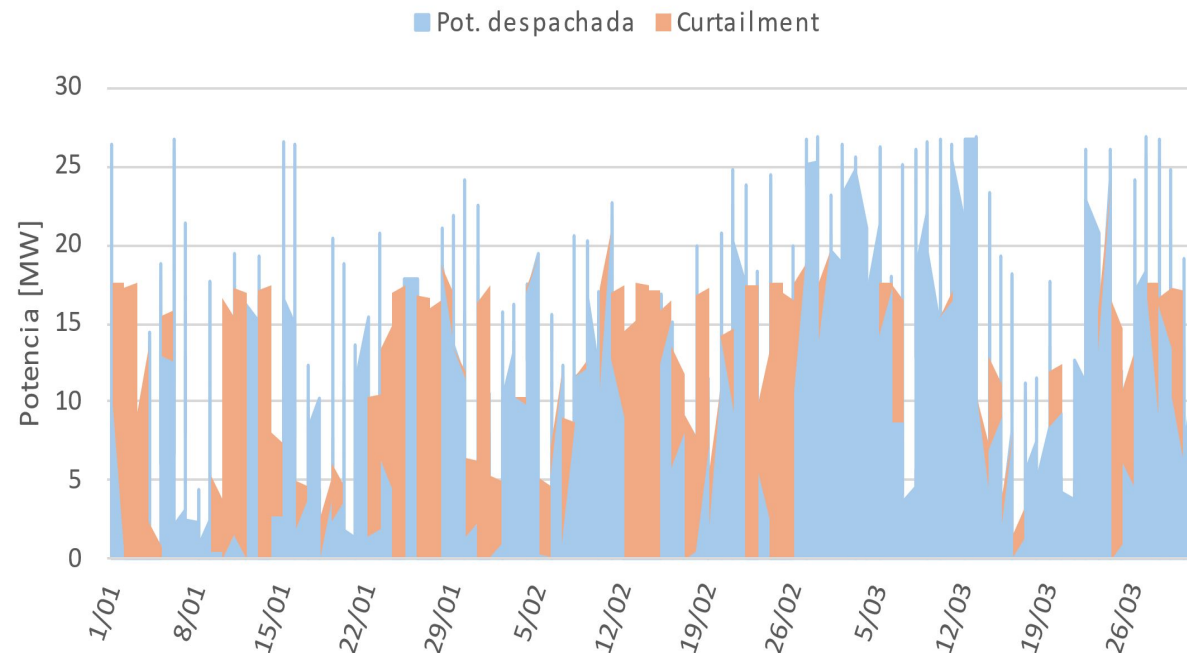


Fundamentales para la estimación
de Revenue de un proyecto

Reducción de curtailment renovable

Definición de configuración BESS más eficiente en función de:

- Características y periodicidad de eventos de reducción de despacho
- Costo equipamiento BESS
- Precio de venta de energía
- Tasa de retorno pretendida



Resolución 400/25

Oportunidades *merchant*

Arbitraje energía Spot

Carga y descarga:

$$\text{CMgh} \times \text{FP}$$

(costo marginal horario por factor de pérdidas nodal)

- Coordinación operativa con CAMMESA (programación semanal/diaria)
- El despacho se evalúa por el OED por **criterio económico**.

Venta de potencia Spot

- **Remuneración por potencia disponible en HRP**
- PADISP: potencia neta real disponible verificada
- HAV: horas efectivas de descarga. Se paga proporcional a las HAV.
- Despacho y validación por CAMMESA según disponibilidad real

Mercado a Término (MAT) de Energía

Se habilita que el almacenamiento participe del MAT como demanda (para cargar) y como generador (para descargar)

Mercado a Término de Potencia

Las centrales de almacenamiento cubrirán sus contratos de potencia “en forma horaria” con la potencia disponible real. Se debe contar con mínimo 4 HAV.

Servicio de Reserva de Confiabilidad Adicional

- Hasta USD 9.000 por MW-mes por hasta 10 años desde la habilitación comercial. Precio a ser ajustado por SE
- Previa aprobación de la SE, donde CAMMESA indique necesidad de potencia de reserva.
- Mecanismo de adjudicación en proceso de desarrollo

Servicios de reserva de corto plazo

Sin mecanismo definido aún

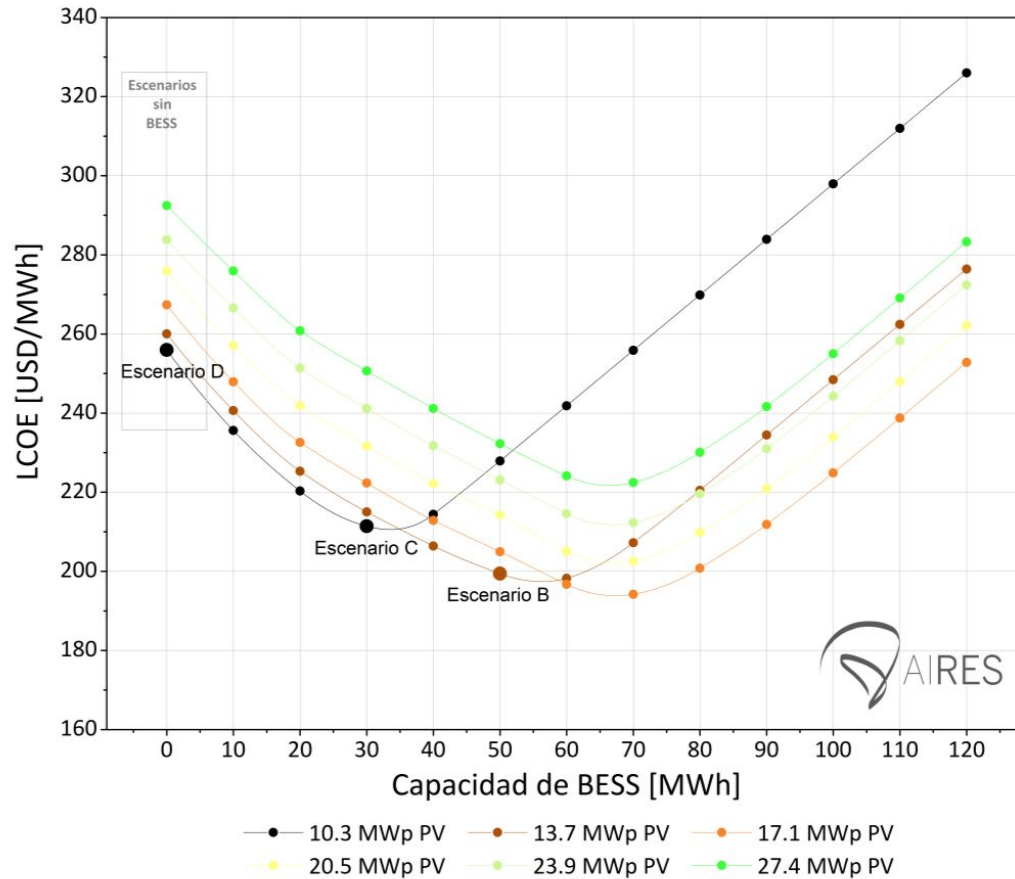
MATER

Acceso a Prioridad de Despacho mediante ampliaciones de transporte

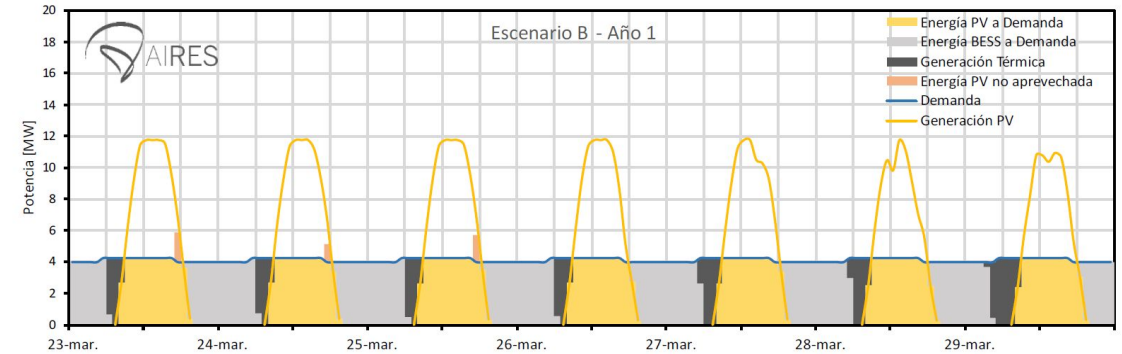
- La **Res. 360/23** habilita a los desarrolladores a crear capacidad de transporte y capturar Prioridad de Despacho
- Obras ejecutadas por el propio desarrollador del proyecto de generación
- La PDD se asigna por la capacidad adicional creada
- Alternativa para destrabar proyectos de generación en nodos saturados
- BESS:
 - ◆ permite habilitar capacidad adicional “virtual”
 - ◆ menor CAPEX y tiempo de ejecución relativo en comparación a grandes obras de infraestructura eléctrica
 - ◆ flexibilidad operativa

Ejemplos concretos adjudicados

Periodo de Asignación	Proyecto	RAZÓN SOCIAL SOLICITUD	Potencia Asignada REF A [MW]	PDI DESCRIPCIÓN	PROVINCIA
3º Trim. 2025	PS CATAMARCA II 60MW + Obra "Incorporación de Sistemas de Almacenamiento BESS 60 MW / 6hs Alumbreira - Ampajango"	SOLAR ENERGY S.A.	60	LÍNEA 220 KV ALUMBRERA - AMPAJANGO	CATAMARCA
3º Trim. 2025	P.S. SIERRAS RENOVABLES I, II y III / Incorporación de Sistemas de Almacenamiento BESS Montecristo 60 MW / 6hs	ARN Tech Partner S.A.	60	YOCSINA	CÓRDOBA



Escenario B (PV+BESS+térmico) perfil de cargas



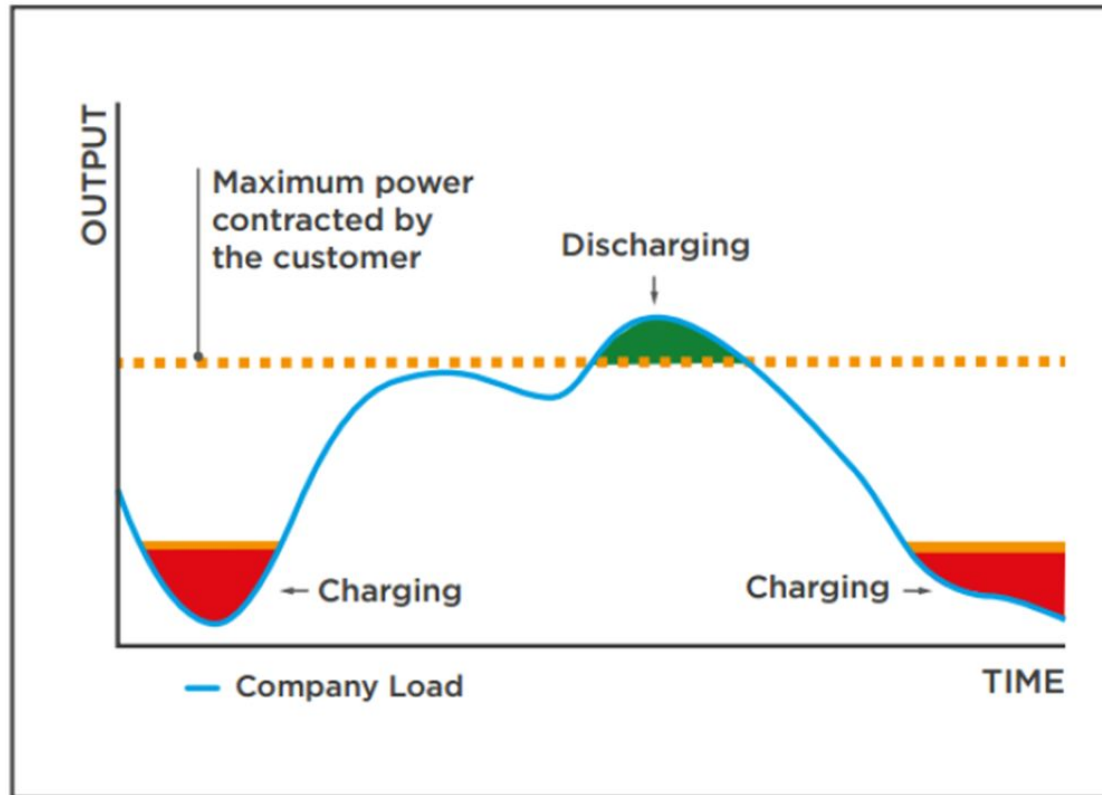
BESS aporta:

- Balance generación y demanda
- Permite aumentar el % de renovable, reduciendo el costo y las emisiones
- Servicios auxiliares, confiabilidad

Definición de mix óptimo en función de:

- Costo equipamiento BESS y PV
- Precio de combustible
- Tasa de retorno pretendida

Gestión de la demanda para reducción de costos de potencia y energía



Factibilidad de implementación:

- **Forma de curva de demanda**
- **Composición de los costos eléctricos: participación de conceptos asociados a potencia frente a los asociados a energía**
- **Tarifas horarias**



Sistemas de almacenamiento

EXPERIENCIAS INTERNACIONALES



Contexto Latinoamérica y Caribe



Principales drivers de integración BESS



Ejemplo

CHILE

2022

2024

Canibalización
ER solar

IPPs comienzan a integrar **BESS a proyectos solares** con el objetivo principal de **arbitrar intradiario**

Regulación
habilitante

Incorporación explícita del **almacenamiento en el marco regulatorio** y habilitación a participación en mercados

Crecimiento
híbrido

Desarrollo proyectos solar + BESS con el mismo enfoque inicial: arbitraje y reducción de vertimientos

Nuevos marcos de
remuneración

Participación BESS en servicios complementarios y mercado de potencia. **Actualización de criterios técnicos** para reconocimiento de potencia firme (según duración y disponibilidad BESS)

Revenue stacking

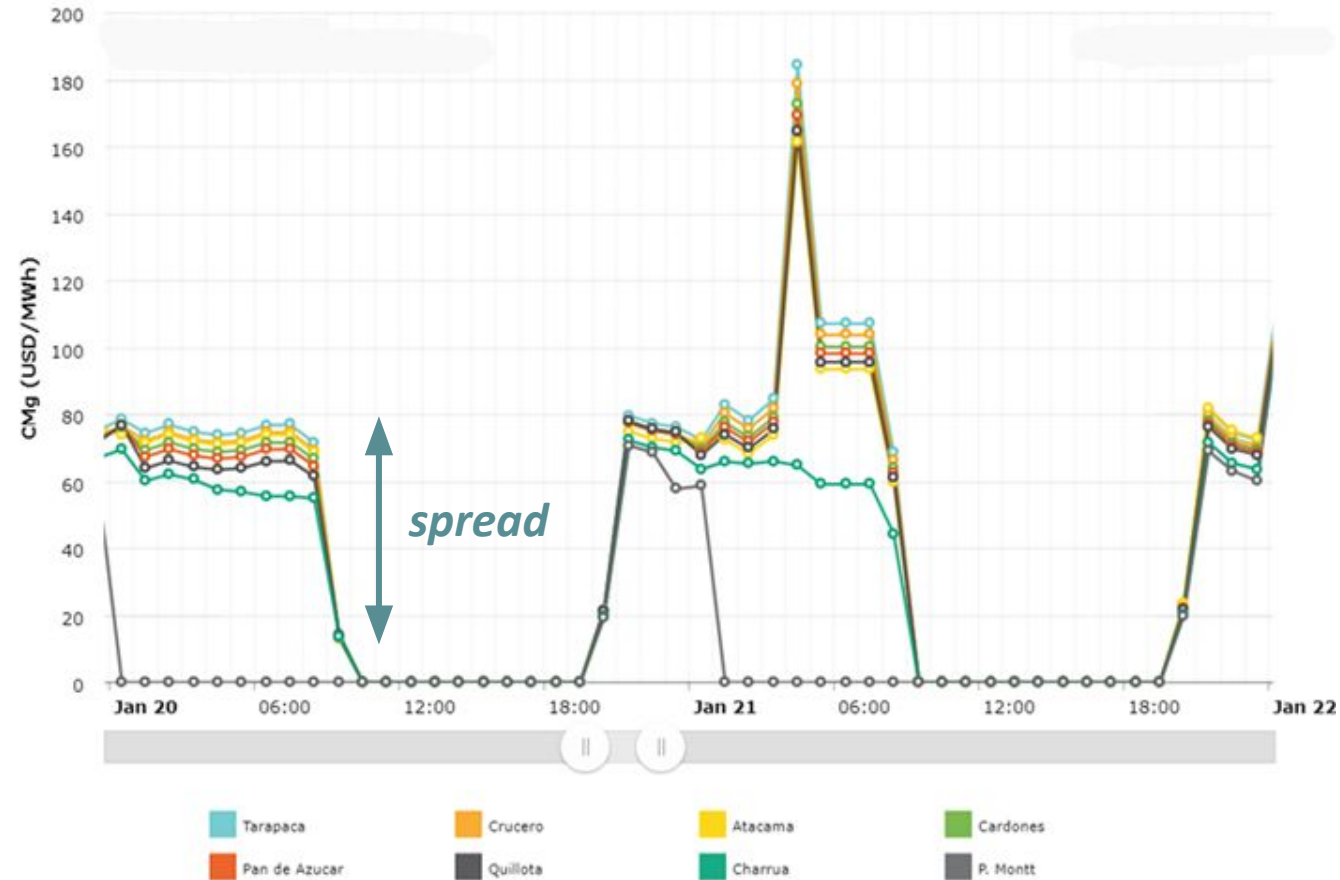
Migración del arbitraje híbrido al **revenue stacking BESS** (reducción de curtailment, potencia firme, servicios auxiliares, soporte de red y confiabilidad)

Sensibilidad del modelo de negocio a la evolución del mercado y factores habilitantes

Ejemplo

CHILE

- Canibalización solar al mediodía en el mercado mayorista
- Captura del spread horario mediante almacenamiento
- La hibridación transforma un perfil de generación “must-take” en un **activo gestionable**
- **Riesgo principal:** compresión futura del spread de precios



Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional - Chile (Enero 2024)

Mecanismos aplicados

Licitaciones y contratación bilateral

Argentina: AlmaGBA, AlmaSADI con contratos a 15 años

Brasil: consulta pública y reglas en desarrollo

Italia: licitación MACSE con contratos a 15 años

Mercados liberalizados

Chile: evolución de arbitraje de energía a regulación que habilita ingresos más estables por capacidad y servicios

Estados Unidos: BESS enfocado a mercados de energía y servicios auxiliares

Modelos Mixtos

Australia: BESS con participación en mercados de energía y servicios auxiliares pero con mecanismos de contratación explícita de servicios

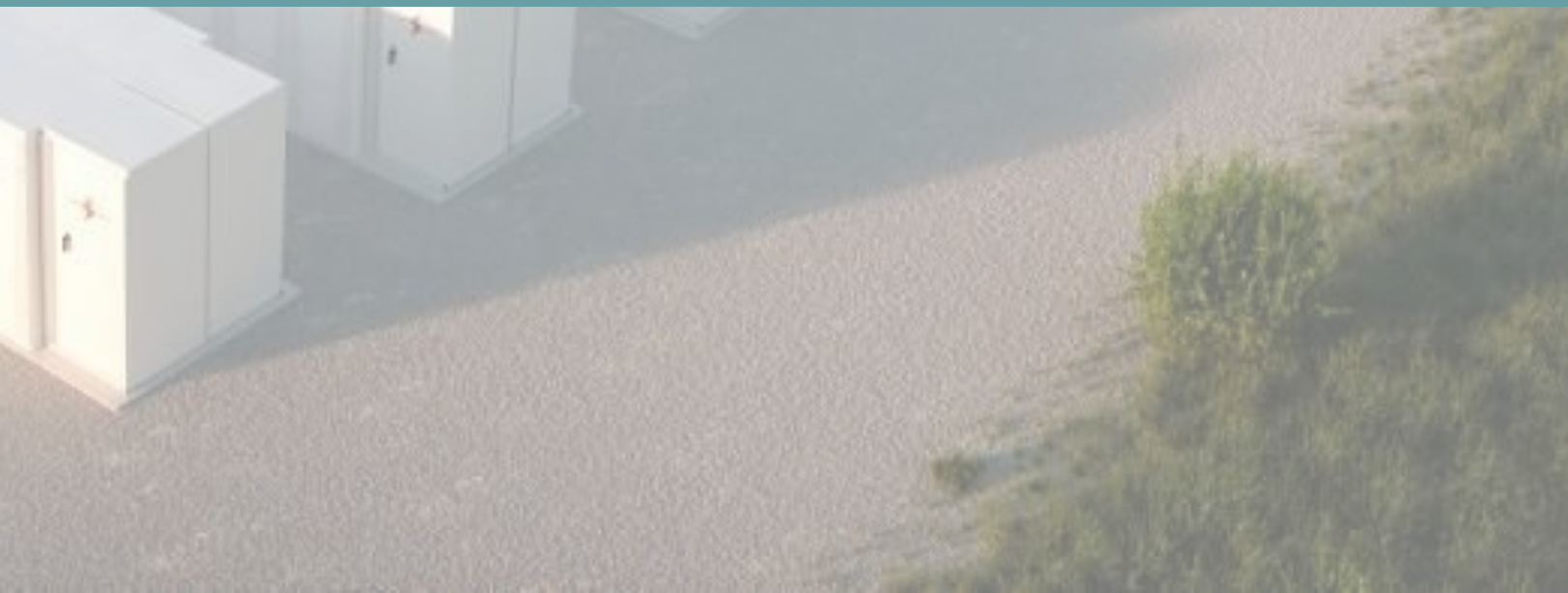
Canadá: Ontario (IESO) ha adjudicado BESS bajo contratación de potencia. Alberta (AESO) habilita operación BESS para servicios auxiliares

Diferentes mercados aplican distintos mecanismos para reconocer el valor que los BESS aportan a la red



Sistemas de almacenamiento

CONCLUSIONES



Principales conclusiones

- En Argentina existe un marco regulatorio que reconoce al BESS como activo del sistema
- BESS ya es un negocio en Argentina. La caída de CAPEX y el marco regulatorio habilitan proyectos viables hoy. Diversos modelos con distintos perfiles de riesgo
- Principales usos en Argentina: aporte de capacidad y gestión de restricciones en la red de transmisión.
- Mitigación de curtailment como oportunidad, según condiciones específicas
- La viabilidad en el sector industrial está sujeta a su estructura de costos, en particular del precio de la energía/combustible y del perfil de consumo.
- El modelo de negocio tiene implicancias específicas en el diseño constructivo del BESS

AGUEERA



MUCHAS GRACIAS

Segundo Bloque

Tecnología

Agustín P. Russo

Gerente de Desarrollo de Proyectos

AIRES Renewables

arusso@aires-renewables.com