

Almacenamiento subterráneo de aire comprimido en Canarias



Consejería Insular de Industria, Comercio,
Sector Primario y Bienestar Animal
Consejería de Industria



COITF
Ingenieros Industriales - Santa Cruz de Tenerife

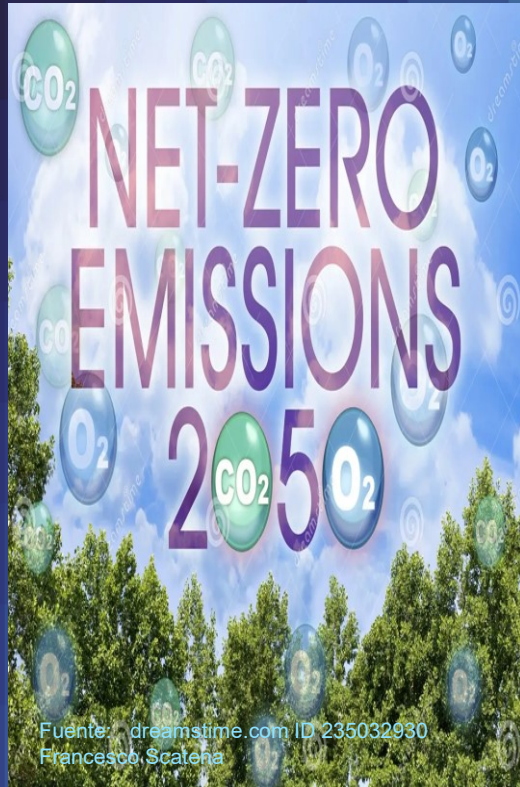


Fernando Ruiz del Olmo

CTO y co-CEO - RIEGOSUR



Almacenamiento de energía mediante aire comprimido: la gran alternativa para un futuro con cero emisiones netas



Fuente: dreamstime.com ID 235032930
Francesco Scatena

EL PROYECTO:

PUSHING THE LIMITS OF LARGE-
SCALE ENERGY STORAGE:
OPTIMIZED COMBINED CYCLE CAES



Funded by the
European Union

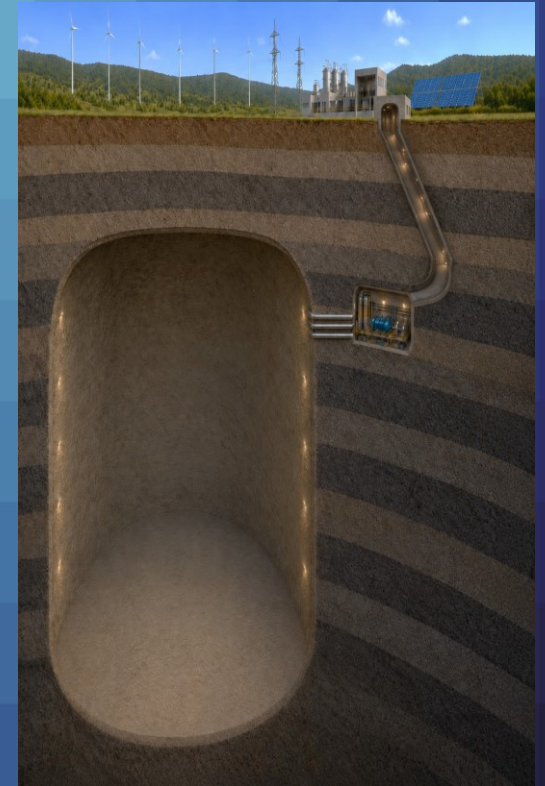
EL CONSORCIO:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

EL PROGRAMA:

EIC Pathfinder Challenge "Mid to long
term and systems integrated energy
storage systems"



Contenido

1. **ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA CON AIRE COMPRIMIDO (CAES)**
2. **TECNOLOGÍA CAES DE CICLO COMBINADO (CCC)**
3. **INTEGRACIÓN EN LOS SISTEMAS INSULARES CANARIOS**

Contenido

1. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA CON AIRE COMPRIMIDO (CAES)

Primeras plantas de aire comprimido



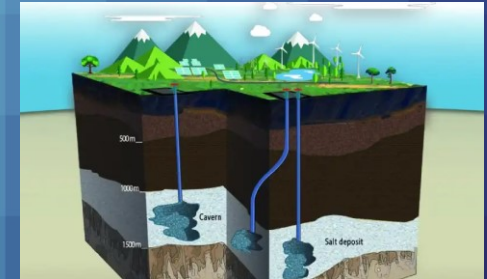
ELSLETH – HUNTORF (Alemania)

- ✓ 290 MW / 3 h 42% RTE
- ✓ 2 cavernas 310.000 m3 volumen total
- ✓ Operación entre 44 y 66 bar

DENSIDAD ENERGÉTICA MUY BAJA



Cavernas solo asequibles mediante minería por disolución de sales



Mc INTOSH, ALABAMA (EEUU)

- ✓ 110 MW / 26 h 53% RTE
- ✓ 1 caverna 560.000 m3
- ✓ Operación entre 45 y 74 bar



Fuentes: Claudia S., Iulian V., Dan I., Mihai H. "Compressed Air Energy Storage Installation for Renewable Energy". Alexis M. "Bottled Wind Could Be as Constant as Coal". Christian M. "Underground Compressed-Air Energy Storage" <https://www.aquaswitch.co.uk/blog/compressed-air-energy-storage/>

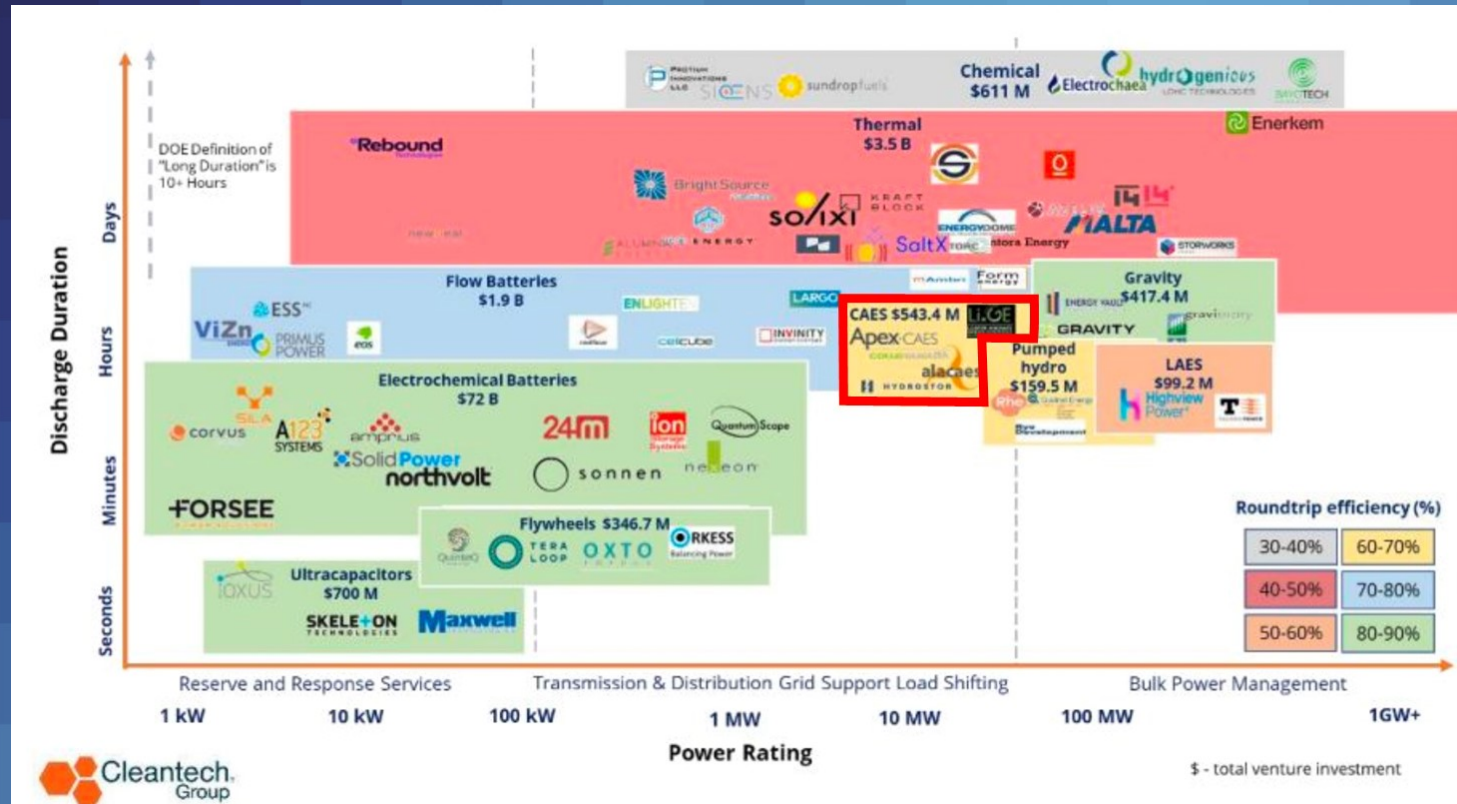
VENTAJAS:

Limpia, escalable, duradera, baja autodescarga, alta capacidad y bajo coste

INCONVENIENTES:

Densidad energética muy baja, Rendimiento de ida y vuelta (RTE) muy bajo, contaminación atmosférica en la caverna, profundidad de descarga muy baja, tiempo de respuesta elevado, disponibilidad geográfica muy reducida y riesgos de "fracking"

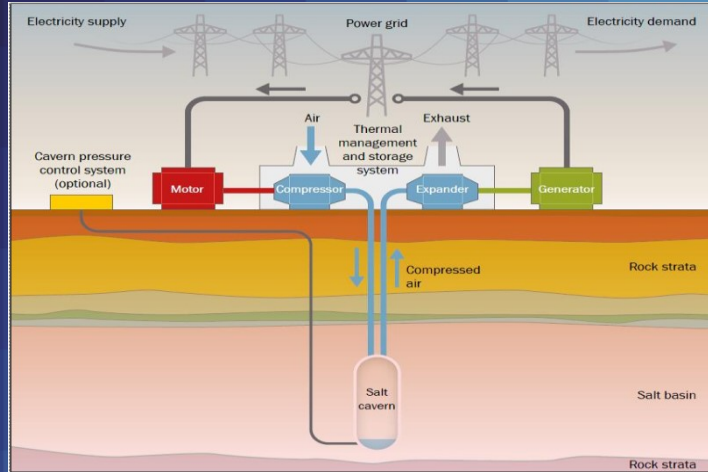
Tecnologías de almacenamiento de energía



Principales avances en CAES

CAES ADIABÁTICA (AA-CAES)

El calor adquirido por el aire durante la compresión se almacena para ser devuelto al mismo antes de su entrada a la turbina



Fuentes: Groenenberg et al., "Large-scale Energy storage in salt caverns and depleted fields (LSES) - project findings", TNO Report R12006, 2020
ESSNEWS

AVANCES EN TURBOMÁQUINAS

- ✓ Compresores de un solo cuerpo
- ✓ Presión de descarga máxima de 10,1 Mpa
- ✓ Eficiencia a la presión de descarga máxima del 88,1 %



INCONVENIENTES RESTANTES:

Densidad energética muy baja, Rendimiento de ida y vuelta (RTE) aún bajo, contaminación atmosférica en la caverna, profundidad de descarga muy baja, tiempo de respuesta elevado, disponibilidad geográfica muy reducida y riesgos de "fracking"

Nuevos desarrollos CAES

2025



HUBEI (China)

300 MW / 5 h 64% RTE

US\$ 270 M

2022



JIANGSU (China)

60 MW / 4 h 70% RTE

+350 MW / 8 h 71% RTE

2024



FEICHENG (China)

300 MW / 6 h 70% RTE

US\$ 207,8 M

2026

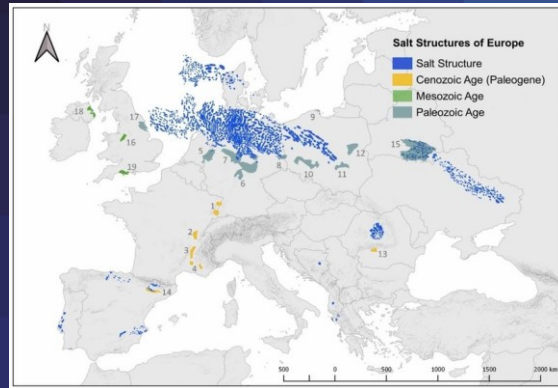


JIANGSU (China)

600 MW / 4 h 71% RTE

US\$ 520 M

CAES en cavernas artificiales excavadas en roca dura



LA MINERÍA DE ROCA DURA AMPLÍA LA DISPONIBILIDAD GEOGRÁFICA ESPECTACULARMENTE

- ✓ Los domos salinos son escasos y normalmente profundos (áreas coloreadas)
- ✓ La roca dura, sin embargo, es muy abundante
- ✓ Los costos de la minería de roca dura sólo son asumibles si se incrementa notablemente la densidad energética



2021

CHINESE ACADEMY OF SCIENCES (CAS)

ZHANGJIAKOU (China)

100 MW / 4 h 70,4% RTE

XINYANG (China)

300 MW / 4 h 72,1% RTE

US\$ 300 M

2026



Contenido

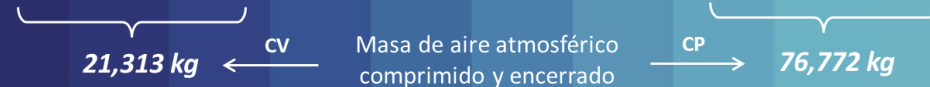
2. TECNOLOGÍA CAES DE CICLO COMBINADO (CCC)

CAES a presión constante

VOLUMEN CONSTANTE

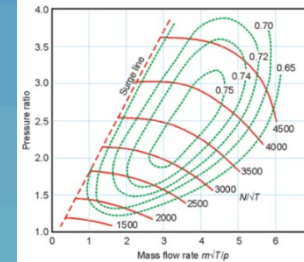


PRESIÓN CONSTANTE

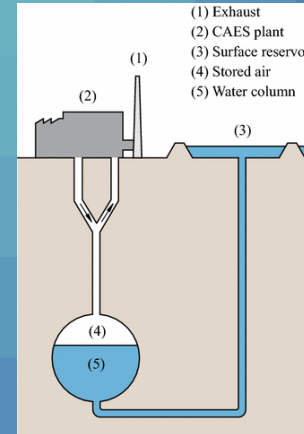


Masa de aire atmosférico
comprimido y encerrado

	CAES 48 - 66 bar	CCC 66 bar
Exergía almacenada en kWh_{salida}/m^3 de aire seco a 25 °C	2,9	11,8



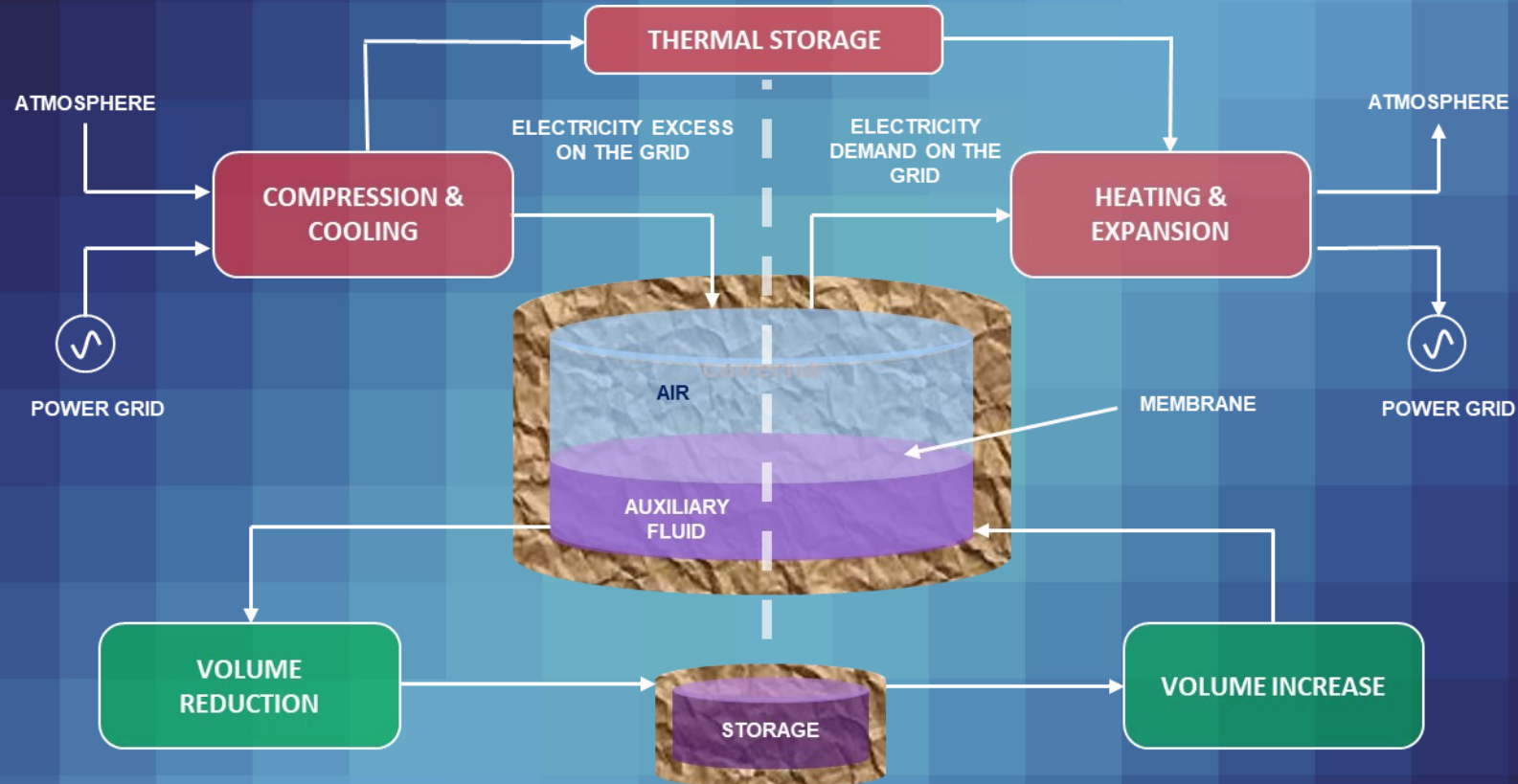
✓ La operación a presión constante puede aumentar el RTE hasta en un 20 %



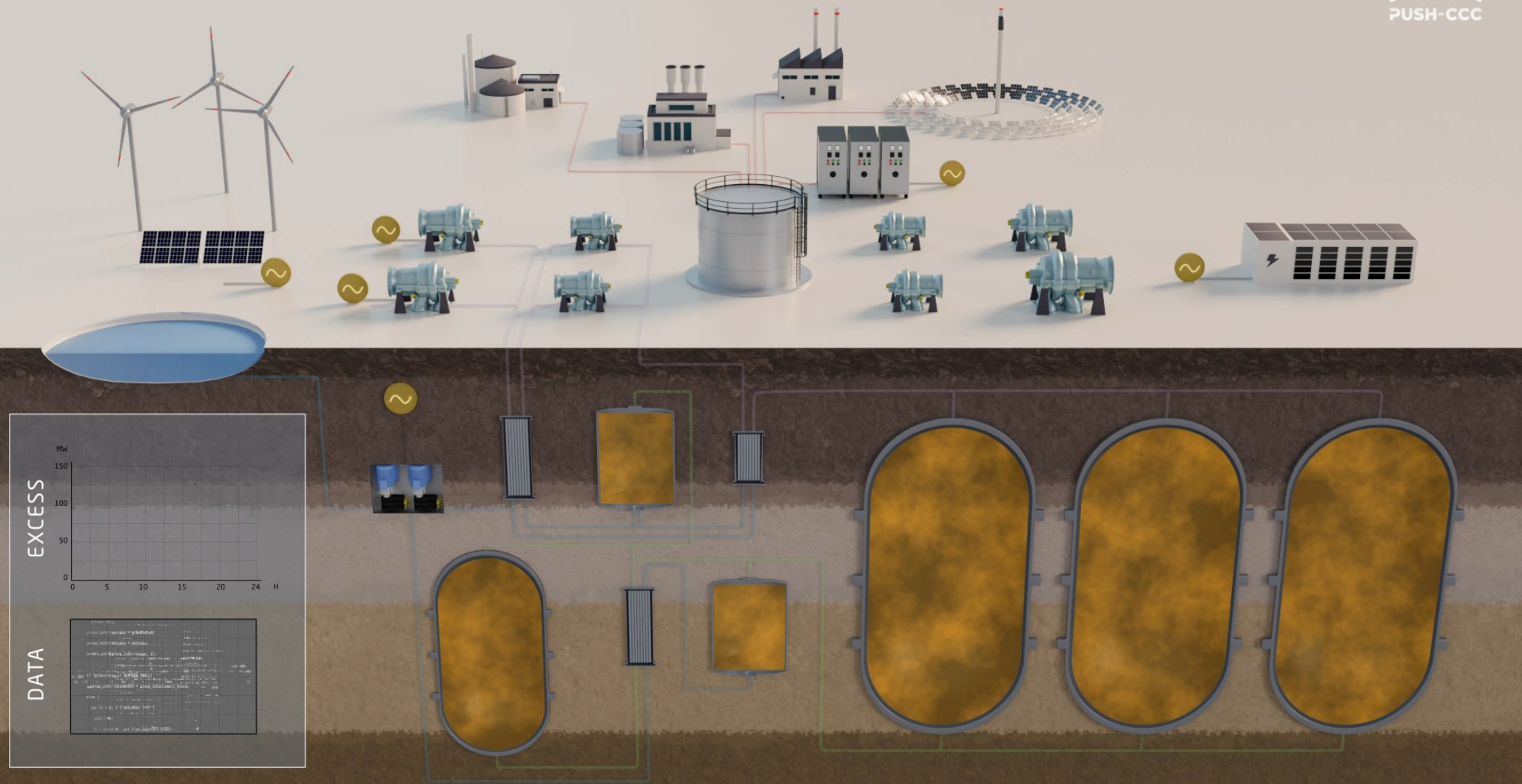
✓ A menos que se disponga de la columna de agua, el CAPEX y el RTE se ven seriamente afectados

✓ La masa de aire atmosférico comprimido e introducido en la caverna aumenta notablemente

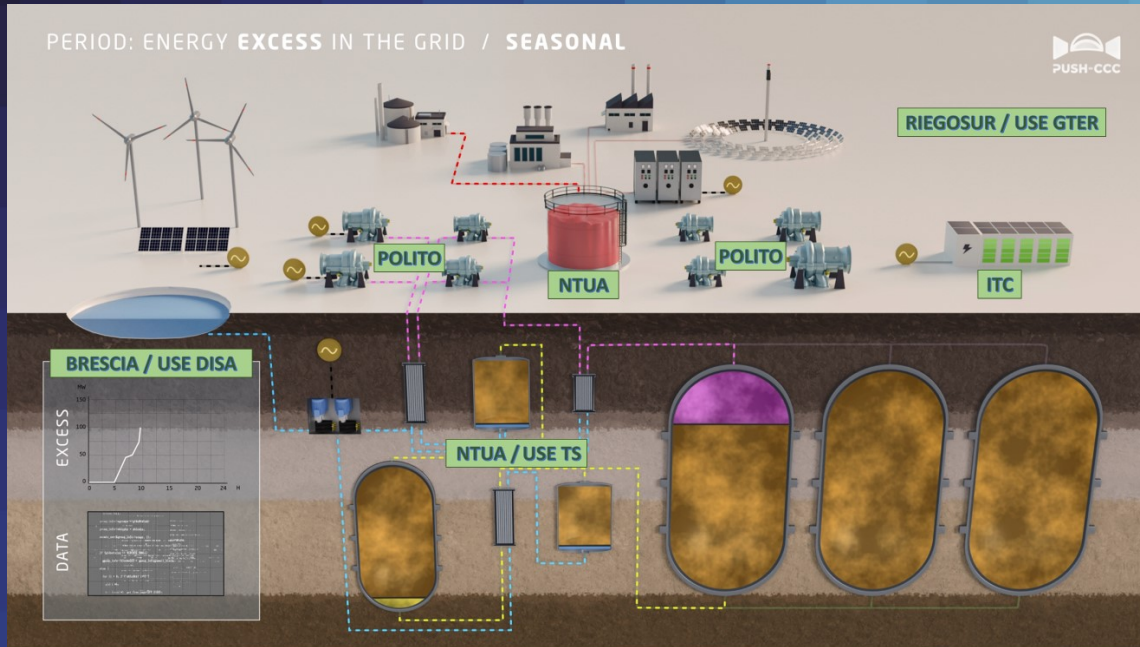
Tecnología CAES de Ciclo Combinado (CCC)



PERIOD: ENERGY EXCESS IN THE GRID / DAILY

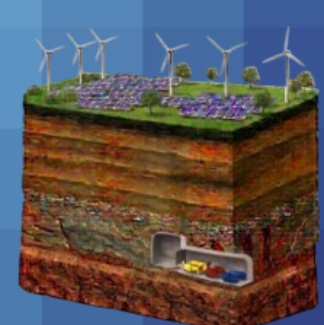
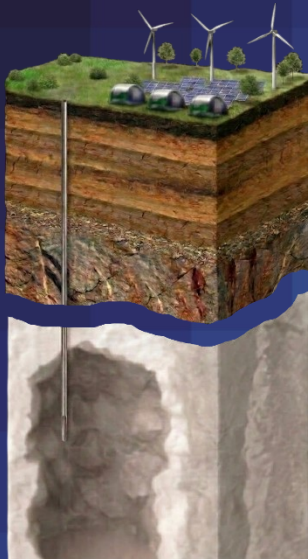


Plantas PUSH-CCC integradas con ciclo diario y ciclo de almacenamiento de media y larga duración (MLDES)



- ✓ Proceso de alto rendimiento para el ciclo diario y proceso de alta densidad energética para los ciclos ocasionales
- ✓ Baterías electroquímicas / supercondensadores / ... para conexión a la red eléctrica
- ✓ TES / baterías / hidrógeno / ... para picos de excedentes y para funcionamiento a cargas parciales
- ✓ El usuario final de calor se encuentra en la misma planta, evitando así los costes de distribución
- ✓ Conversión de calor en electricidad con alta eficiencia, dado que se dispone de aire comprimido
- ✓ Posibilidad de aprovechamiento de otras fuentes de energía térmica

Evolución de la tecnología CAES



DIABATIC CAES

RTE: **45% - 55%**
Air pollution: **YES**
Fracking risks: **YES**
Geograph. avail.: **REDUCED**

AA-CAES

RTE: **65% - 71%**
Air pollution: **YES**
Fracking risks: **YES**
Geograph. avail.: **REDUCED**

CAS

RTE: **72,1%**
Air pollution: **NO**
Fracking risks: **NO**
Geograph. avail.: **HIGH**

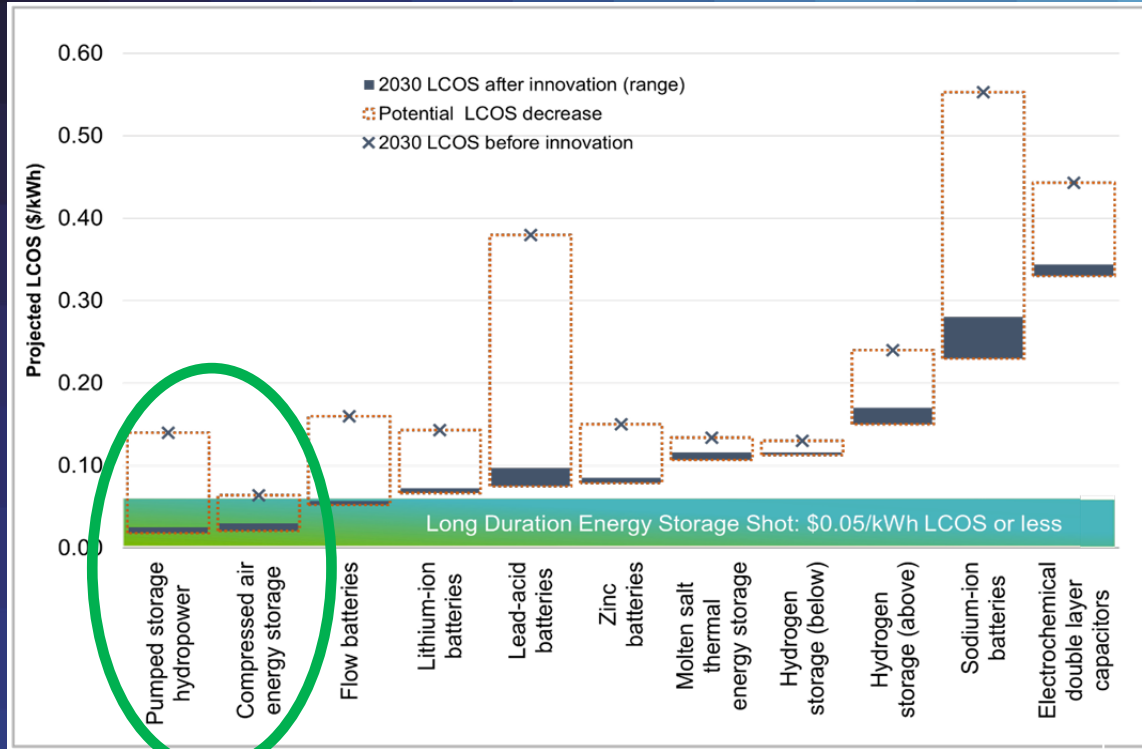
PUSH-CCC

RTE: **> 80%**
Air pollution: **NO**
Fracking risks: **NO**
Geograph. avail.: **HIGH**

HD PUSH-CCC

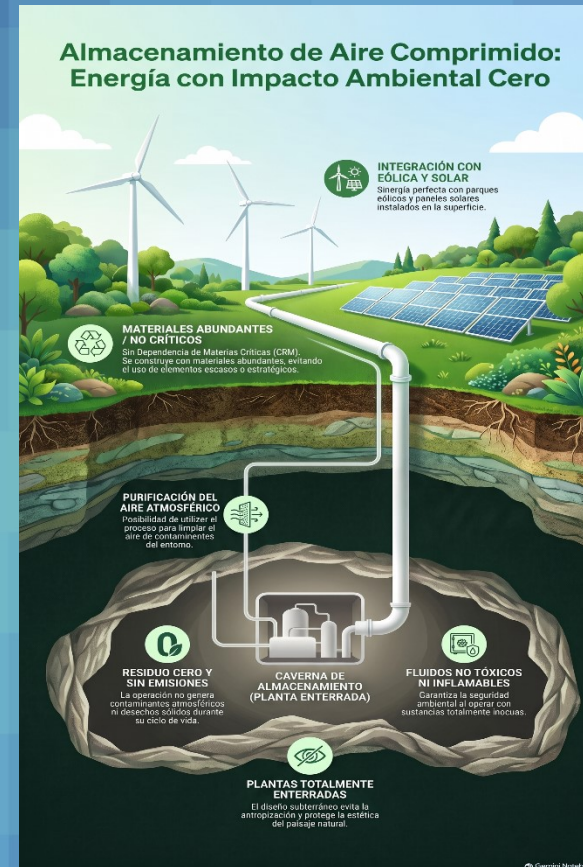
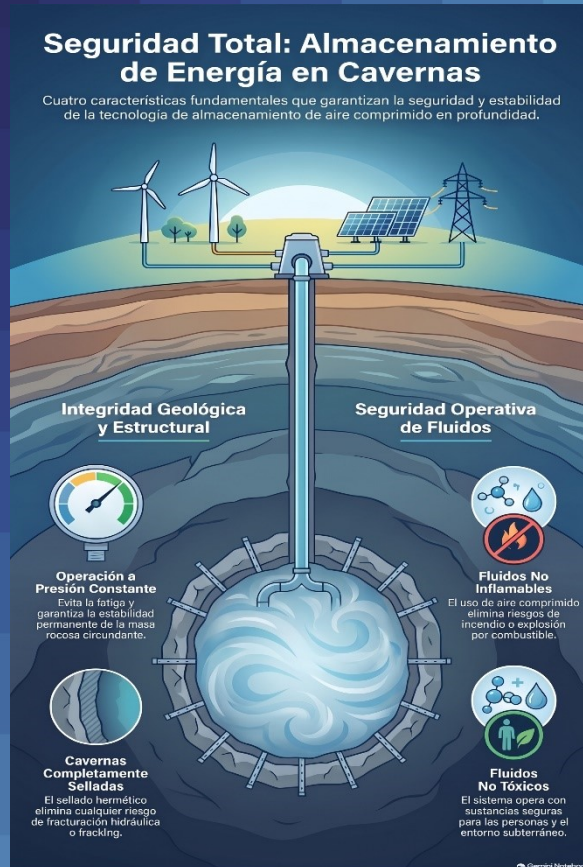
RTE: **> 75%**
Air pollution: **NO**
Fracking risks: **NO**
Geograph. avail.: **HIGH**

Vuelco total en la viabilidad económica del aire comprimido

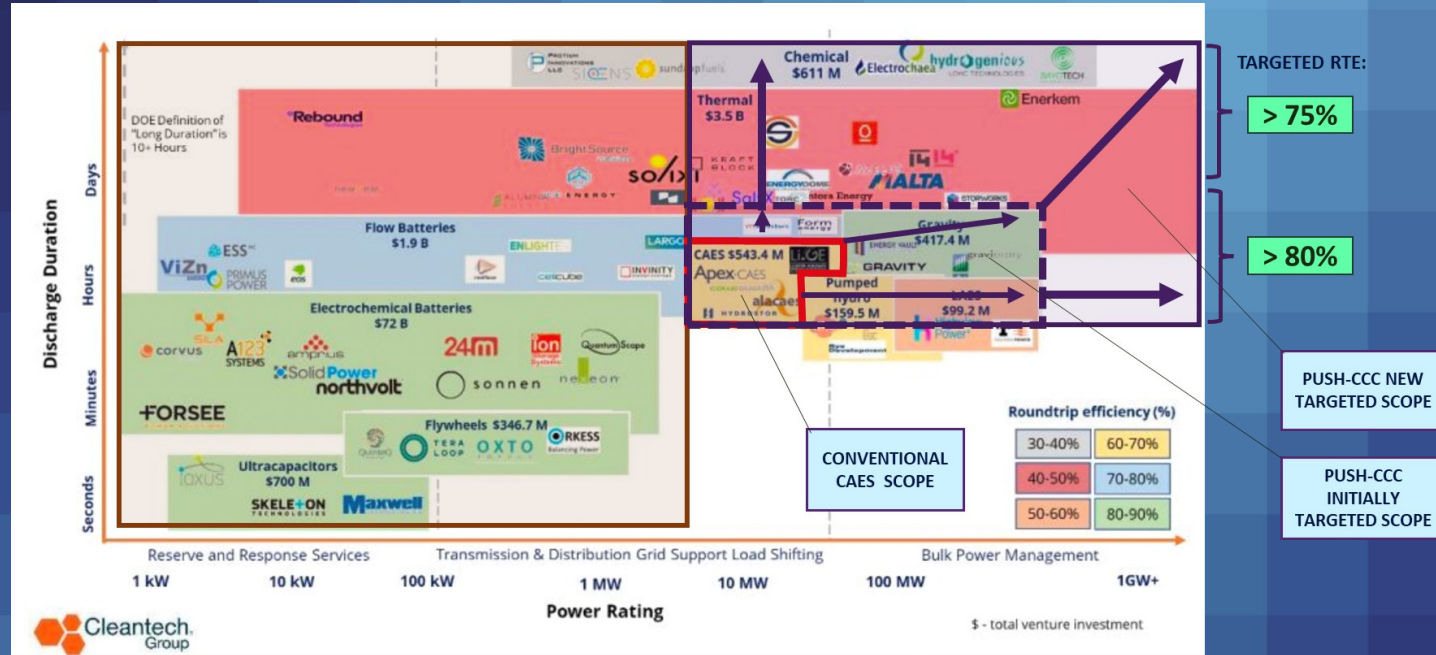


- ✓ Este estudio reciente publicado por el Departamento de Energía de Estados Unidos ya sitúa a CAES, junto con el bombeo reversible, como las tecnologías más competitivas
- ✓ ... ¡y aún no incluye el impacto de nuestra tecnología!
- ✓ Estamos convencidos de que la tecnología CAES DE CICLO COMBINADO (CCC) se va a convertir en la herramienta más viable económicamente para el almacenamiento de energía a gran escala

CCC también líder en Seguridad y en Impacto Ambiental

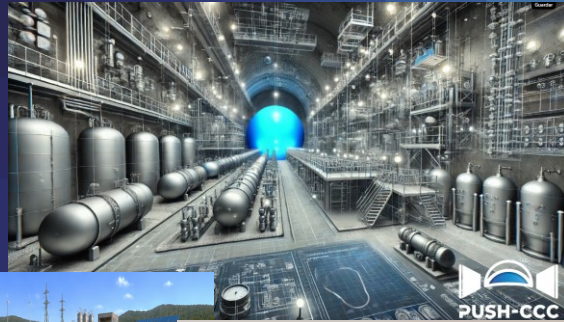


Nuevo potencial de utilización del aire comprimido



- ✓ Tras los últimos avances conseguidos durante el proyecto PUSH-CCC, la tecnología CAES de Ciclo Combinado conseguirá expandir su ámbito de aplicabilidad de forma espectacular, con rentabilidades muy superiores a las del resto de tecnologías del mercado

Nuestros principales retos



- ✓ Escalar nuestra tecnología hasta el nivel TRL 5-6 en nuestra planta experimental de La Gomera
- ✓ Escalar nuestra tecnología hasta el nivel TRL 8-9 en una posterior Planta de Demostración
- ✓ Entrar en un mercado que requiere:
 - Establecer un marco regulatorio y un sistema de remuneración adecuado
 - Agilizar la tramitación de permisos y autorizaciones



Orden TED/966/2026, de 15 de septiembre, por la que se crea un mercado de capacidad en el sistema eléctrico peninsular español

Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Real Decreto 738/2015, de 31 de julio

Contenido

3. INTEGRACIÓN EN LOS SISTEMAS INSULARES CANARIOS

Transición energética restante en las islas Canarias

ESTRUCTURA DE LA POTENCIA DE GENERACIÓN EN CANARIAS EN 2025



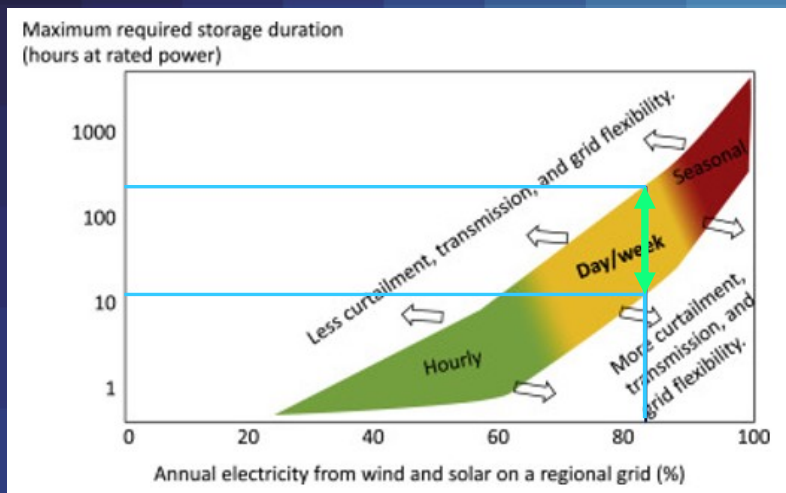
KPIs PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR ELÉCTRICO EUROPEO

	HISTORICAL	PLANNED ENERGY SCENARIO			DECARBONISING ENERGY SCENARIO		
	2021	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Total renewable capacity (GW)	491	1 246	1 717	1 993	1 247	1 919	2 456
Renewables' share in capacity (%)	52	79	86	87	79	88	91
Share of variable renewables in capacity (%)	37	70	78	80	70	81	84
Renewables' share in generation (%)	38	71	75	78	71	82	88
Capacity by technology - solar (GW)	161	651	937	1 109	651	1 098	1 443
Capacity by technology - wind (GW)	188	446	625	724	446	650	819
Capacity by technology - hydro (GW)	105	108	111	116	108	111	116

- ✓ Con el 30% actual de generación renovable instalada en Canarias ya se están produciendo importantes vertidos en gran parte de las islas
- ✓ Para poder llegar a los objetivos de descarbonización marcados en el European Green Deal para 2050, será necesario incrementar la potencia instalada de generación de renovables no gestionables desde el 30% actual hasta en torno a un 84%

La solución: Almacenamiento de media y larga duración (MLDES) + herramientas de flexibilidad

ALMACENAMIENTO DE MEDIA Y LARGA DURACIÓN

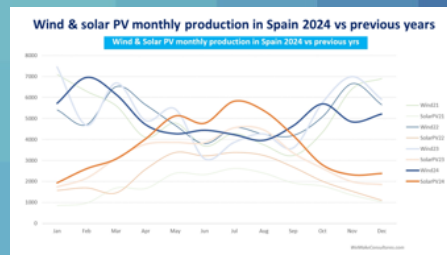


- ✓ Con el mix energético actual pronosticado por IRENA para 2050, la duración de almacenamiento necesaria para cumplir con el escenario de 1,5 °C oscilaría entre unas 15 y unas 200 horas

INTERCONEXIÓN DE REDES



POTENCIA INSTALADA EÓLICA /SOLAR BIEN EQUILIBRADA



- ✓ Con una buena gestión de estas herramientas de flexibilidad se reducirá notablemente la duración de almacenamiento MLDES necesaria, **pudiendo quedarse entre 20 y 50 horas para la mayoría de los sistemas eléctricos**

INCORPORACIÓN DE RENOVABLES GESTIONABLES



Hidráulica



Geotérmica

Costes del nuevo sistema eléctrico

- ✓ Actualmente se están construyendo plantas integradas de producción renovable firme con baterías capaces de transformar la producción variable de energías renovables en un suministro continuo y fiable
- ✓ Estas plantas ya pueden suministrar electricidad las 24 horas del día a **costes inferiores** a los de referencia típicos de los combustibles fósiles
- ✓ La ventaja no es solo económica, sino también estratégica, ya que refuerzan la resiliencia, la estabilidad y la seguridad energética en tiempos de crisis, evitando tensiones geopolíticas y la volatilidad de los precios del petróleo y del gas



- ✓ Las previsiones de IRENA son que estos costes seguirán bajando de forma espectacular
 - ✓ ... y todo ello ha sido analizado con baterías (BESS);
- ¡en cuanto se considere el almacenamiento con CCC estas cifras bajarán aún más de forma sustancial!

Hibridación de geotermia con CCC: una gran alternativa para las islas

Geotermia Tradicional



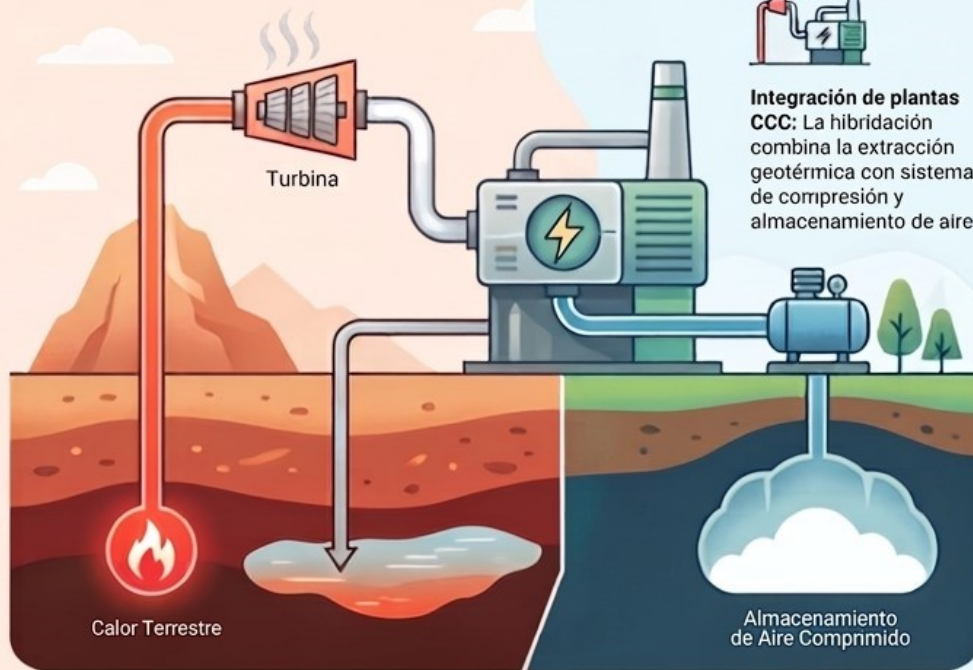
Turbinas de vapor: Las plantas de conversión eléctrica suelen basarse en esta tecnología convencional.



Rendimiento limitado al 40%: Las turbinas de vapor actuales operan con una eficiencia energética muy baja.



Riesgo de agotamiento del recurso: Ocurre cuando la extracción de calor y fluidos supera la recarga natural terrestre.



Hibridación con CAES de ciclo combinado



Integración de plantas CCC: La hibridación combina la extracción geotérmica con sistemas de compresión y almacenamiento de aire.



Mejora del rendimiento y viabilidad: Aumenta sensiblemente la eficiencia energética y la rentabilidad económica de ambas tecnologías.



Alternativa ideal para las islas: Proporciona estabilidad a los sistemas eléctricos aislados mediante una gestión más eficiente de los recursos.

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN



PUSH-CCC

A BREATH OF FRESH AIR FOR A NET ZERO CARBON FUTURE

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto PUSH-CCC, que ha recibido fondos del programa EIC Pathfinder Challenges 2022 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101115601



Funded by the
European Union