



GRUPO ARAGONÉS



8 de Abril de 2021

Ciclo de Conferencias sobre Almacenamiento de Energía

Segunda Jornada

Almacenamiento eléctrico masivo por Hidrógeno

ÍNDICE

ALMACENAMIENTO ENERGÍA RENOVABLE

1. SISTEMA ENERGÉTICO ESPAÑOL
2. OBJETIVOS PNIEC
3. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO
4. SISTEMA ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO ESPAÑOL
5. ALMACENAMIENTO ENERGÍA POR BOMBEO (PHS)
6. ALMACENAMIENTO ENERGÍA POR HIDRÓGENO (UHS)



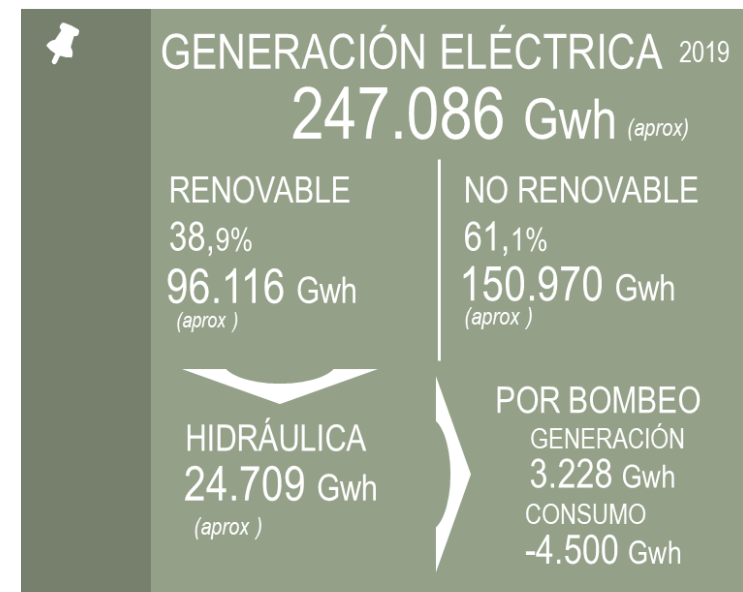
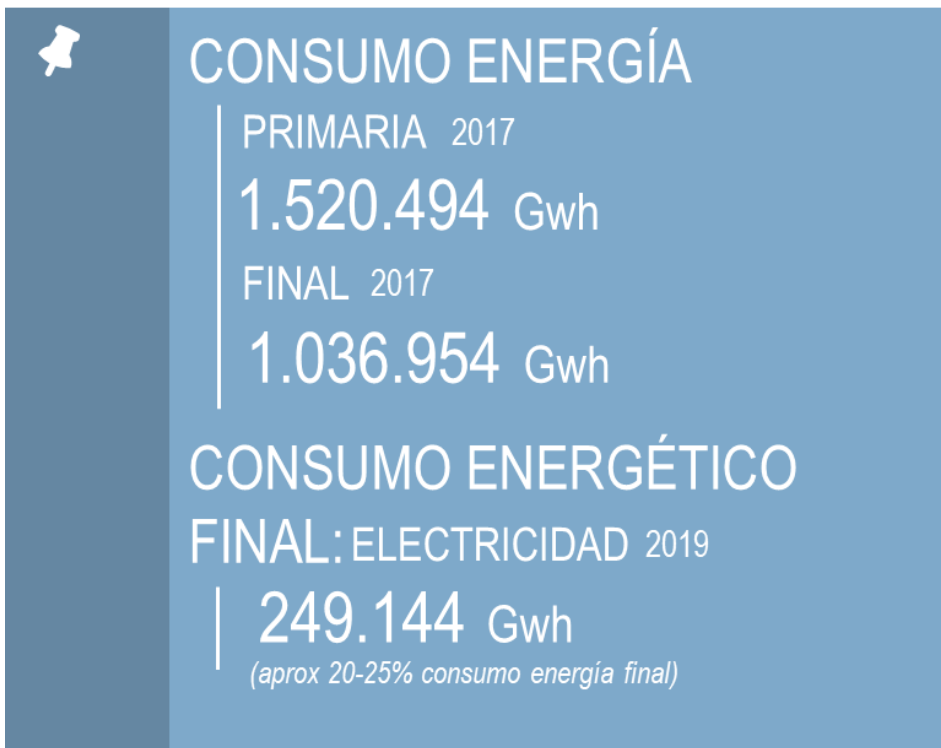
Petronor
Innovación

01

SISTEMA ENERGÉTICO ESPAÑOL

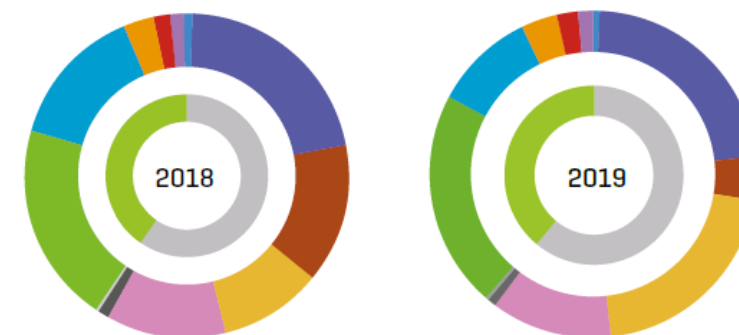
1. SISTEMA ENERGÉTICO ESPAÑOL

CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA EN ESPAÑA



Estructura de la generación peninsular en el 2018 y 2019 [%]

	2018	2019
TURBINACIÓN BOMBEO	0,8	0,7
NUCLEAR	21,5	22,6
CARBÓN	14,1	4,3
CICLO COMBINADO	10,7	20,7
COGENERACIÓN	11,7	12,0
RESIDUOS NO RENOVABLES	0,9	0,8
RESIDUOS RENOVABLES	0,3	0,3
EÓLICA	19,8	21,5
HIDRÁULICA	13,8	10,0
SOLAR FOTOVOLTAICA	3,0	3,6
SOLAR TÉRMICA	1,8	2,1
OTRAS RENOVABLES	1,4	1,5



	2018	2019
RENOVABLES	40,2	38,9
NO RENOVABLES	59,8	61,1



Petronor
Innovación

02

OBJETIVOS PNIEC 2030

2. OBJETIVOS PNIEC

EVOLUCIÓN SISTEMA ENERGÉTICO ESPAÑOL

MEDIDAS PLAN PNIEC 2030

↓23% GEI
Respecto 1990

42% RENOVABLES
Sobre el uso Final de la Energía
359.311 Gwh

39,5% EFICIENCIA ENERGÉTICA
MEJORA (respecto 2017: 1.520.494 GWh)

2030: **1.145.090** Gwh ENERGÍA PRIMARIA
No incluidos consumos no energéticos

PNIEC espera para 2030: **855.503** GWh ENERGÍA USO FINAL

74% ENERGÍA RENOVABLE **183.260** Gwh
en la Generación Eléctrica

CONSUMO ELÉCTRICO ENERGÍA RENOVABLE

247.086 Gwh 2019

247.649 Gwh PNIEC 2030

38,9% RENOVABLE
Generación Eléctrica por
Energía Renovable

96.116 Gwh
(aprox)

74% RENOVABLE
Generación Eléctrica por
Energía Renovable

183.260 Gwh
(aprox)



Petronor
Innovación

03

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

3. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO – HOJA DE RUTA CONSUMO DE HIDRÓGENO EN ESPAÑA Y OBJETIVOS DE H2 ELECTROLISIS

VISIÓN de España 2030

<p>Instalación de al menos 4 GW de potencia de electrolizadores</p>	<p>H₂</p> <p>Industria: contribución mínima del hidrógeno renovable del 25 %</p>	<p>150-200 autobuses 5.000-7.500 vehículos ligeros y pesados</p>
<p>100-150 hidrogeneras de acceso público</p>	<p>2 líneas comerciales de trenes de media y larga distancia</p>	<p>Maquinaria de handling para primeros puertos y aeropuertos</p>
<p>Impacto medioambiental: reducir las emisiones en 4,6 Mton de CO₂eq</p>	<p>€</p> <p>Inversiones estimadas en 8.900 millones de euros</p>	<p>Almacenamiento de energía: Proyectos comerciales de hidrógeno renovable operativos en 2030</p>

CONSUMO H₂ SMR en España



Refining¹	300 – 350 kt/y
Fertilizers² (Amonia production)	90 – 120 kt/y
Others (Hydrogen peroxide, etc.)	10 – 20 kt/y
	400 – 490 kt/y

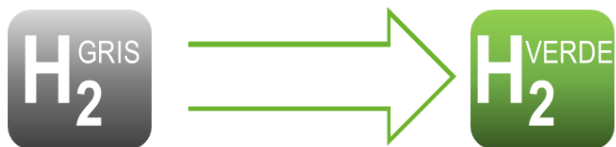


FACTORES CLAVE CONSUMO DE H₂ INDUSTRIAL

- 99% producido por SMR Gas Natural
- Interrupción suministro H₂ paraliza las plantas industriales
- Operación ininterrumpida de 44.000 horas / paradas programadas cada 5 años
- La seguridad industrial se fundamenta en estabilidad del suministro

Equivale entre 2,5 y 3GW de
ELECTROLIZADORES (24/7 → 365 días)

Hoja de ruta H₂ renovable España 2030 > **4GW 630 kt/año**
ELECTROLIZADORES (en 2024 entre 300 y 600 MW)



Descarbonizar con H₂ renovable los consumos industriales actuales de H₂ ¿¿¿¿de manera competitiva en 2030 ????

H₂ Renovable COMPETITIVO 2035



- ELECTROLISIS
- SMR BIOGÁS
- FOTOELECTROCATÁLISIS

490 kt/año **H₂ Renovable** COSTE < 2€/kg

COMPETITIVIDAD H₂ RENOVABLE ELECTROLISIS

- 1. Reducir coste de generación de renovable
- 2. Reducir coste de electrolizador (CAPEX)
- 3. Factor de Capacidad



- Interrupción suministro H₂ paraliza las plantas industriales
- Operación ininterrumpida de 44.000 horas / paradas programadas cada 5 años
- La seguridad industrial se fundamenta en estabilidad del suministro

4. **Habilitar medidas regulatorias que permitan la conexión a la red de manera competitiva**

SUMINISTRO ENERGÍA RENOVABLE COMPETITIVA

- 1º Energía Eléctrica renovable, segura y competitiva (Red de transporte eléctrica descarbonizada) → ALMACENAMIENTO ESTABILIDAD Y SEGURIDAD !
- 2º a futuro, H₂ canalizado, transporte energía renovable masiva (Red de transporte de gas descarbonizada)



Petronor
Innovación

04

ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO ESPAÑOL

“ ... las políticas y medidas de la dimensión de seguridad energética *recaen en el ámbito del Comité Especializado de Seguridad Energética* (creado por Acuerdo del Consejo de Seguridad Nacional (Orden PRA/30/2018, de 22 de enero). Este Comité es un *órgano de apoyo del Consejo de Seguridad Nacional* de los previstos en el artículo 20.3 de la Ley 36/2015, de 28 de septiembre, de Seguridad Nacional, al que corresponde ejercer las funciones asignadas por aquel en el ámbito de la seguridad energética y en el marco del Sistema de Seguridad Nacional.

El objetivo 2 de la Estrategia Nacional de Seguridad Energética establece la necesidad de «contemplar todas las fuentes de energía para poder mantener un mix equilibrado, que refleje correctamente todas las particularidades de España y que permita alcanzar una cierta garantía de suministro, a precios competitivos, y dentro de un modelo sostenible en el que las energías limpias adquieren de forma paulatina mayor importancia».

De forma específica, *en el ámbito de los hidrocarburos*, la norma de referencia es el **Real Decreto 1716/2004, de 23 de julio, por el que se regula la obligación de mantenimiento de existencias mínimas de seguridad**, la diversificación de abastecimiento de gas natural y la Corporación de Reservas Estratégicas de productos petrolíferos (*CORES, que desempeña el papel de “Entidad Central de Almacenamiento”*), de acuerdo con la obligación recogida en la Directiva 2009/119/CE del Consejo de *mantener un nivel mínimo de reservas de petróleo crudo o productos petrolíferos*. En este Real Decreto también se estableció la obligación de mantenimiento de existencias mínimas de seguridad *de gas natural*.

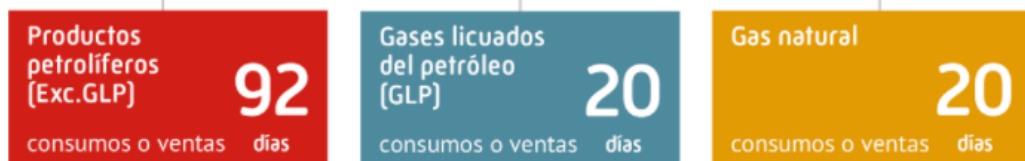


4. ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO ESPAÑOL

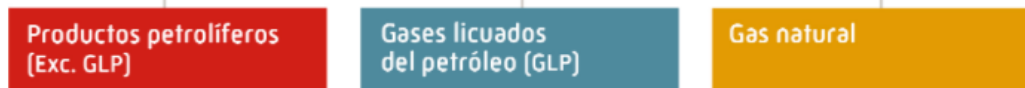
SEGURIDAD ENERGÉTICA – ALMACENAMIENTO ESTRATÉGICO

ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO ESTRATÉGICO

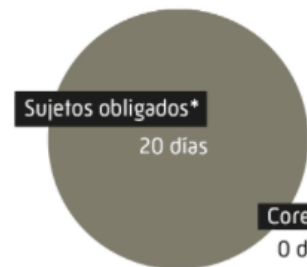
Existencias mínimas de seguridad de hidrocarburos



Quién debe mantener las existencias mínimas de seguridad de hidrocarburos



* Operadores y consumidores/distribuidores que importan.

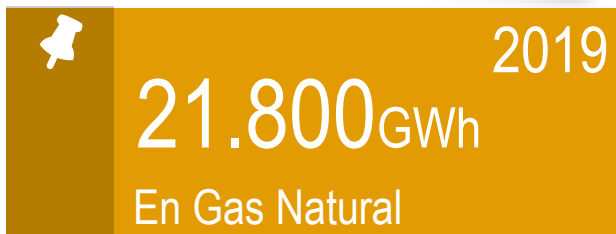


* Operadores y consumidores/comercializadores que importan.



* Comercializadores y consumidores directos.

En valores energéticos (aprox.)



153.200 GWh

Aproximadamente un 14% del consumo energético anual del País (Energía Final)

4. ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO EN ESPAÑA: SISTEMA ELÉCTRICO

PNIEC – HIDRÁULICA + BOMBEO – OBJETIVOS ALMACENAMIENTO



EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL 2019

247.086

GWh
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA PENINSULAR

PRODUCCIÓN HIDRÁULICA PENINSULAR

24.709

GWh

-27,6 %
RESPECTO AL 2018

APORTACIÓN A LA ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN PENINSULAR

10,0 %

Nota: 2019 fue uno de los años más secos

ESPAÑA 2015	Hidráulica	Bombeo Mixto	Bombeo Puro
Potencia (GW)	14,1	2,7	3,3
Generación (GWh)	28.300	1.200	2.000
Consumo (GWh)	-	1.700	2.800
Horas	2007	444	606

CAPACIDAD INSTALADA (MW) - ESCENARIO TENDENCIAL

	2015	2020	2025	2030
Hidráulica	14.104	14.109	14.109	14.109
Bombeo Mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo Puro	3.337	3.337	3.337	3.337
Total	22.143	22.153	22.158	22.163

GENERACIÓN HIDRÁULICA Y BOMBEO Y CONSUMO BOMBEO (GWh) - ESC. TENDENCIAL

	2015	2020	2025	2030
Generación Hidráulica	28.140	28.288	27.935	27.581
Generación Bombeo	3.228	4.640	4.640	4.640
Consumo Bombeo	-4.520	-6.445	-6.445	-6.445

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima incluye la puesta en servicio de **ALMACENAMIENTO** por **BOMBEO** de **0,9 GW** en 2025 y **3,5 GW** en 2030

En años húmedos la hidráulica supera los 40.000 GWh, pero en años secos no llega a 25.000 GWh, siendo la **media de los últimos años 32.500 GWh**, y representando un **17% de la producción anual**.

CAPACIDAD INSTALADA (MW) - ESCENARIO OBJETIVO

	2015	2020	2025	2030
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609
Bombeo Mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo Puro	3.337	3.337	4.212	6.837
Total	22.143	22.153	23.283	26.163

GENERACIÓN HIDRÁULICA Y BOMBEO Y CONSUMO BOMBEO (GWh) - ESC. OBJETIVO

	2015	2020	2025	2030
Generación Hidráulica	28.140	28.288	28.323	28.351
Generación Almacenamiento	3.228	4.594	5.888	11.960
Consumo Bombeo y baterías	-4.520	-6.381	-7.993	-15.262

OBJETIVOS POTENCIA

2020 → **6** GW
2025 → **6,9** GW
2030 → **10,4** GW

OBJETIVOS RECUPERACIÓN

2020 → **4.500** GWh
2025 → **5.900** GWh
2030 → **12.000** GWh

4. ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO EN ESPAÑA

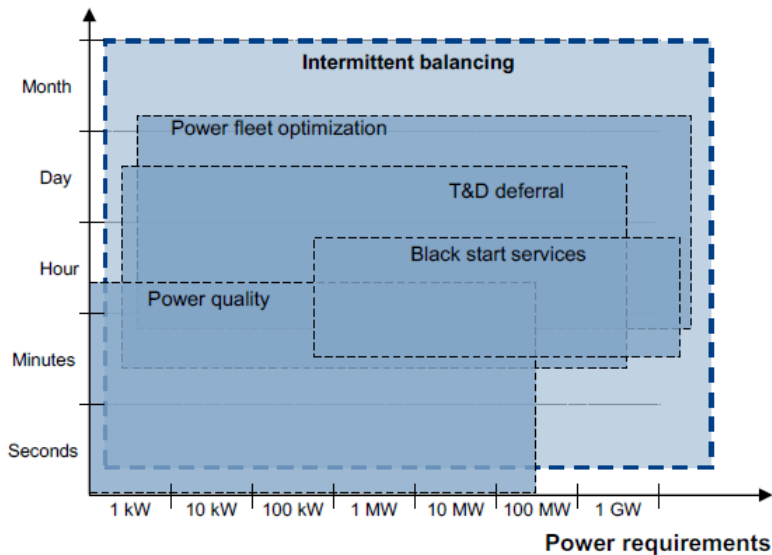
ALTERNATIVAS ALMACENAMIENTO ELECTRICO MASIVO - EFICIENCIA

Para la competitividad y seguridad energética se debe *acompañar el almacenamiento adicional* de energía con el crecimiento de la eólica y fotovoltaica, para *no comprometer su rentabilidad* como consecuencia de los vertidos de electricidad a que se podrían ver abocadas

Storage Applications Requirements²

Discharge time vs. power requirements (MW)

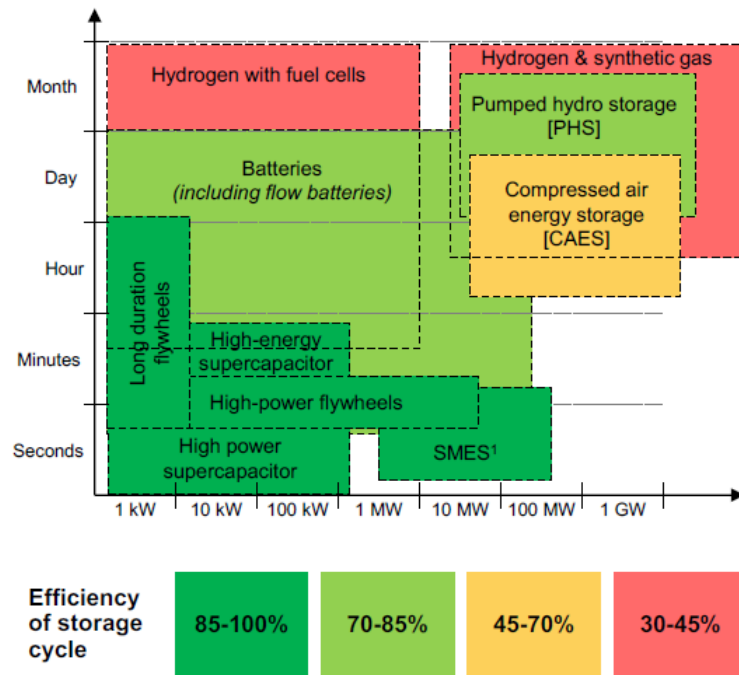
Discharge Time



Electricity storage technologies' features

Discharge time vs. power requirements (MW)

Discharge Time



El **almacenamiento** facilita la **integración** de las energías **renovables** gestionando su variabilidad no solamente en base diaria o semanal sino también estacional.

Por lo tanto, el factor clave de un almacenamiento es su tamaño medido en horas de energía

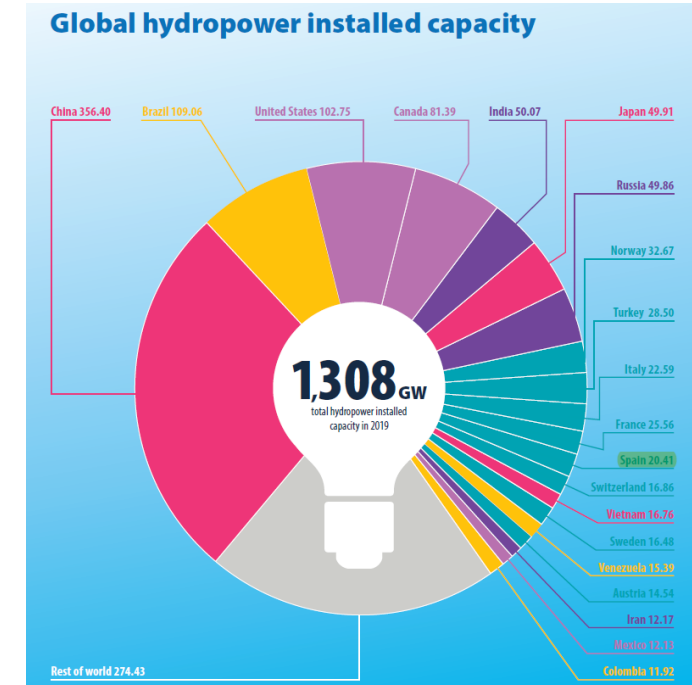
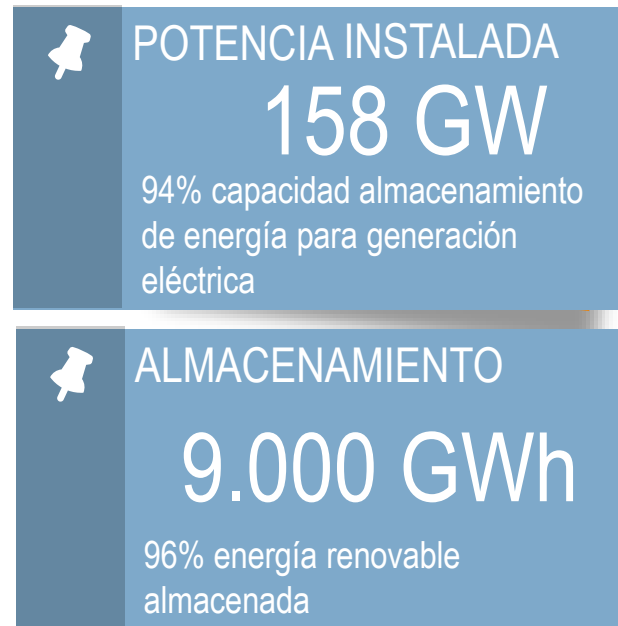


Petronor
Innovación

05

ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO POR BOMBEO PHS

5. ALMACENAMIENTO HIDRÁULICO O ALMACENAMIENTO POR BOMBEO IHA: HYDROPOWER PUMPED STORAGE INSTALLED CAPACITY



Energy storage in the form of pumped storage hydropower (PSH), the world's 'water battery', is a proven technology that has continuously evolved to suit the needs of changing power systems. PSH currently accounts for over 94 per cent of installed global energy storage capacity, and over 96 per cent of energy stored in grid scale applications.



5. ALMACENAMIENTO HIDRÁULICO O ALMACENAMIENTO POR BOMBEO POTENCIAL DEL ALMACENAMIENTO POR BOMBEO EN EUROPA



JRC SCIENTIFIC AND POLICY REPORTS

Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage

A GIS-based assessment of pumped hydropower storage potential

Marcos Gimeno-Gutiérrez
Roberto Lacal-Arántegui

2013



3.4. Results per country

The global figures for the EU do not convey the huge differences between countries. Table 13 shows a comprehensive list for the four potentials defined (T1 & T2, theoretical and realisable) under three scenarios.

Topology and scenario/country	T1 theoretical			T1 realisable			T2 theoretical			T2 Realisable		
	1 km	5 km	20 km	1 km	5 km	20 km	1 km	5 km	20 km	1 km	5 km	20 km
AT	0	105	443	0	4	283	1	335	2 915	1	120	1 747
BE	0	5	12	0	0	0	0	9	21	0	4	12
BG	0	0	119	0	0	11	0	215	1 849	0	76	696
CY	0	0	31	0	0	9	0	33	130	0	18	86
CZ	0	5	39	0	0	6	1	169	644	0	79	450
FI	0	0	12	0	0	12	0	0	33	0	0	2
FR	0	54	1 184	0	5	506	9	811	6 118	4	631	4 090
DE	0	0	89	0	0	14	2	232	1 291	1	139	804
GR	0	0	168	0	0	0	1	171	1 920	1	110	1 062
HU	0	0	4	0	0	0	0	9	59	0	3	23
IE	0	0	0	0	0	0	0	10	355	0	9	94
IT	3	218	1 867	3	35	670	9	1 183	6 846	6	633	4 034
PL	0	0	0	0	0	0	0	19	350	0	15	73
PT	0	7	342	0	0	60	0	151	1 472	0	99	1 209
RO	0	0	44	0	0	0	0	165	1 429	0	83	719
SK	0	0	0	0	0	0	0	6	46	0	3	39
SI	0	0	0	0	0	0	0	12	77	0	11	45
ES	0	292	5 788	0	93	1 894	28	2 096	17 596	10	915	9 363
SE	0	0	51	0	0	0	278	661	10 160	128	283	3 081
UK	0	23	994	0	4	501	7	1 144	6 120	3	750	5 292
EU	4	709	11 387	3	141	3 967	336	7 430	59 431	155	3 982	32 922
HR	0	0	2	0	0	0	6	64	719	6	47	408
EU+AC	4	709	11 390	3	141	3 967	342	7 494	60 149	161	4 028	33 331
NO	0	33	991	0	17	747	18	3 218	16 597	13	2 356	13 315
CH	0	42	1 656	0	28	1 437	0	226	1 645	0	197	1 583
EU+AC+EFTA	4	784	14 037	3	186	6 151	360	10 938	78 391	174	6 582	48 228
AL	0	11	3 152	0	8	2 580	0	72	651	0	71	481
BA	0	0	1	0	0	0	0	36	430	0	36	424
XK	0	0	0	0	0	0	0	6	159	0	5	158
EU+AC+EFTA+PC	4	795	17 189	3	194	8 731	360	11 052	79 630	174	6 694	49 291
IS	0	0	0	0	0	0	2	4	218	2	4	183
ME	0	0	0	0	0	0	0	190	966	0	69	377
MK	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10
RS	0	0	327	0	0	265	1	131	638	1	109	577
TR	0	36	36 793	0	4	19 631	3	3 936	41 412	3	3 338	29 319
EU+AC+EFTA+PC+CC	4	831	54 309	3	198	28 627	366	15 313	122 874	180	10 214	79 758

Table 13: potential PHS energy storage capacity per country under the two topologies, in GWh.

3.3. Summary of potentials

Table 12 allows a quick overview of potentials by showing both theoretical and realisable potentials under both topologies and the six scenarios²¹.

Topology	Potential storage (TWh) per scenario					
	20 km	10 km	5 km	3 km	2 km	1 km
T1 theoretical	54.31	8.00	0.83	0.31	0.10	0.004
T1 realisable	28.63	1.32	0.20	0.07	0.03	0.003
T2 theoretical	122.87	51.09	15.31	7.98	3.11	0.37
T2 realisable	79.76	33.32	10.21	4.72	1.89	0.18

Table 12: summary of potentials under the different scenarios and topologies

POTENCIAL NUEVO BOMBEO EUROPA
T1 – 54.000 GWh
T2 – 123.000 GWh

POTENCIAL NUEVO BOMBEO ESPAÑA
T1 – 6.000 GWh
T2 – 18.000 GWh



Petronor
Innovación

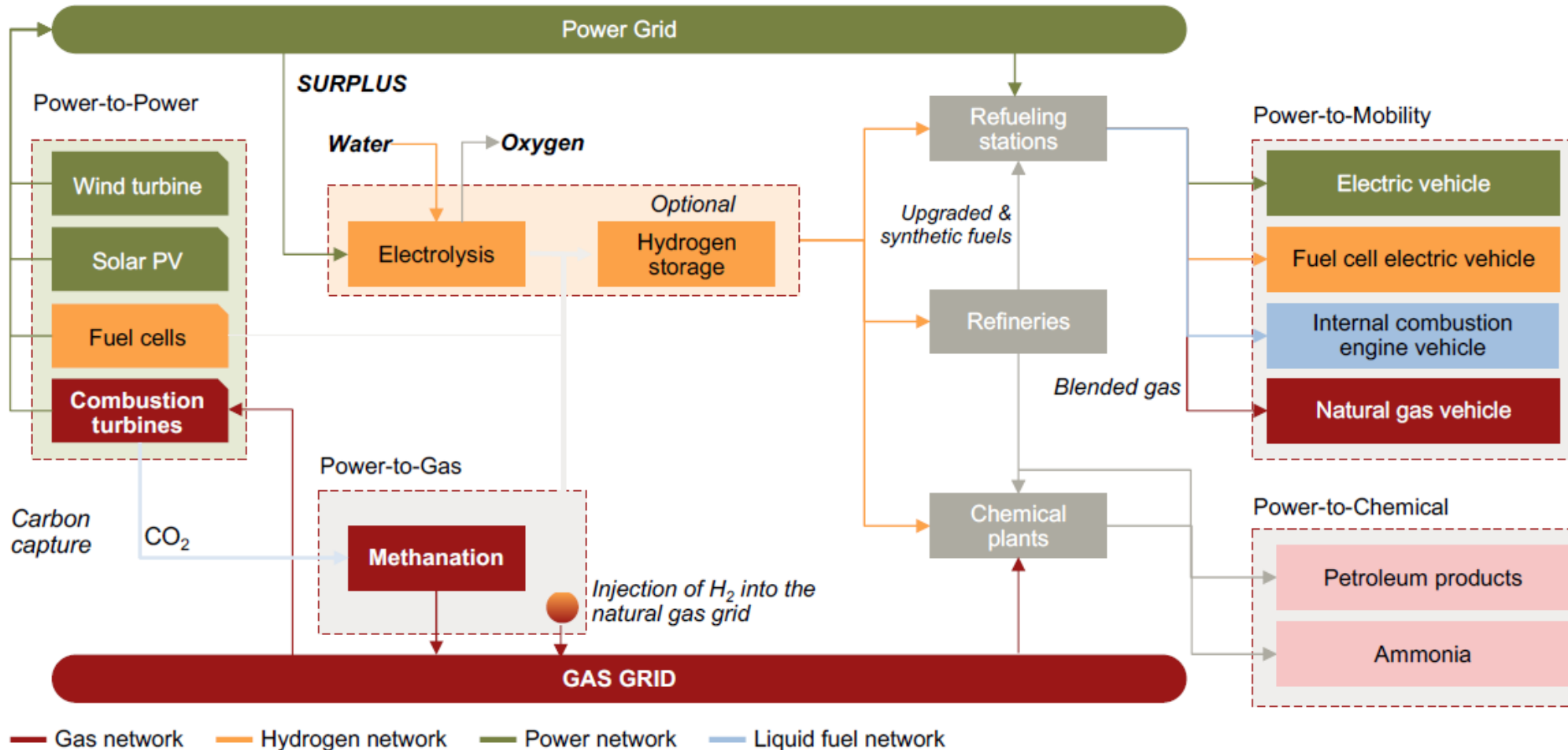
06

ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO POR HIDRÓGENO

6. HIDRÓGENO: INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE

HYDROGEN MORE THAN STORAGE: SYSTEM FLEXIBILITY AND SECTOR COUPLING

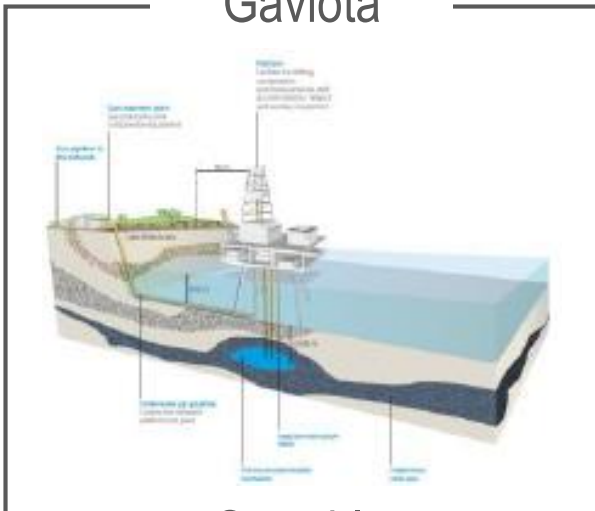
Simplified value chain of hydrogen-based energy conversion solutions¹



1. Simplified value chain. End uses are non-exhaustive. For more information on the technologies mentioned in this diagram, please refer to next chapter or to the Hydrogen FactBook.
Source: A.T. Kearney Energy Transition Institute analysis.

6. HIDRÓGENO: INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE ALMACENAMIENTO ELÉCTRICO MASIVO POR H₂ – SEGURIDAD ENERGÉTICA ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO GAS ESPAÑA

Gaviota



2019

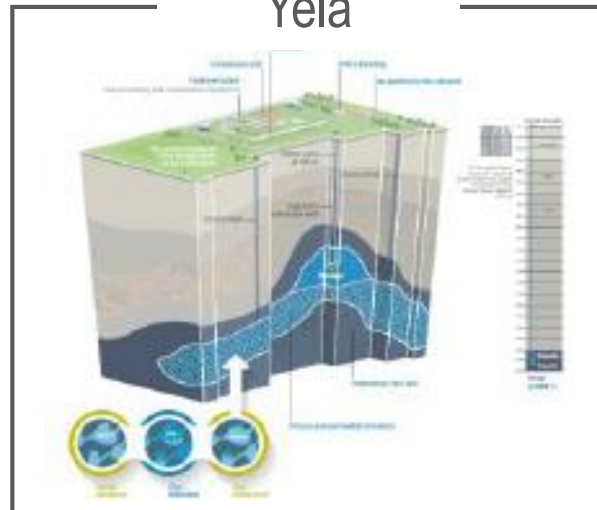
CAPACIDAD ENERGÉTICA DE ALMACENAMIENTO

34.000 GWh

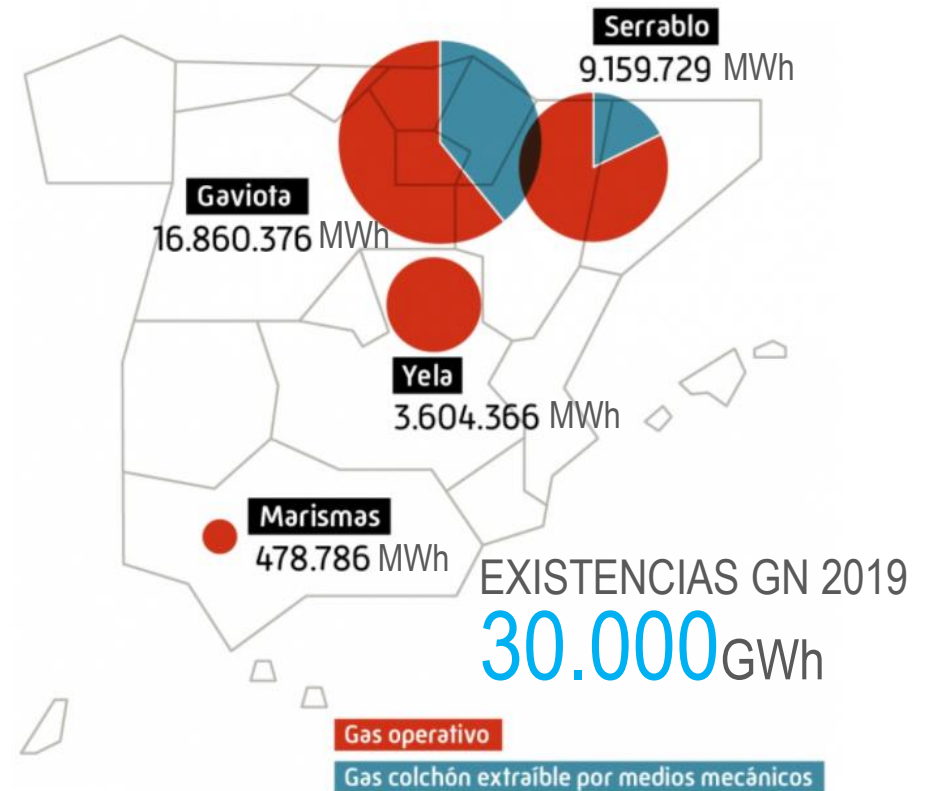
Serrablo



Yela



EXISTENCIAS DE GAS NATURAL EN ALMACENAMIENTOS SUBTERRÁNEOS 2019



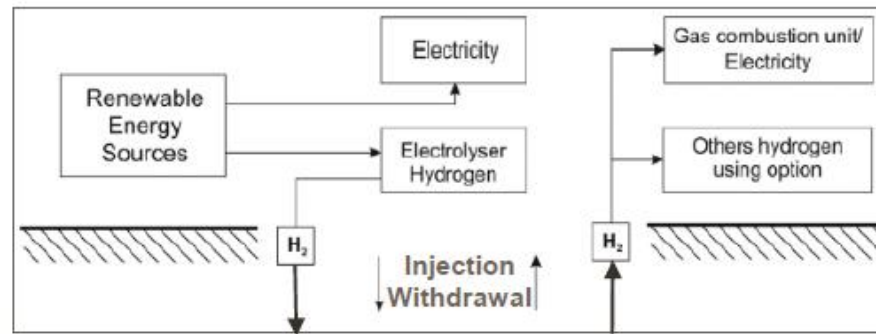
Fuente: CORES

6. HIDRÓGENO: INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE (VHS) ALMACENAMIENTO ELECTRICO MASIVO POR HIDRÓGENO

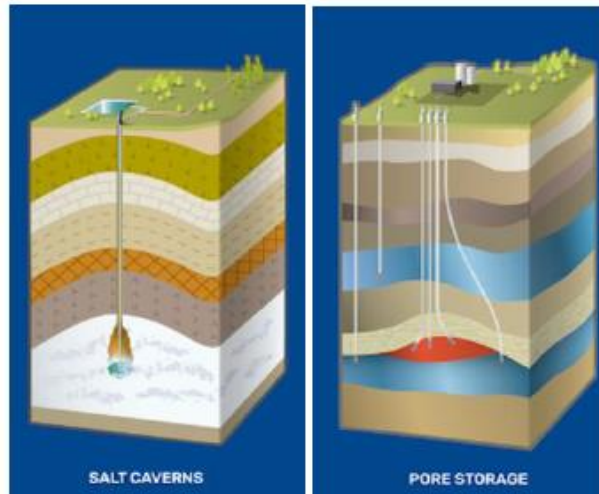
Four types of underground hydrogen storage can be distinguished depending on the form of the energy initially produced:

- **Underground storage of pure hydrogen: Power to power.**
- Underground storage of a mixture with natural gas lean in hydrogen: **Power-to-gas.**
- Underground storage of rich hydrogen mixture with CO, CH₄, and CO₂: **syngas or town gas.**
- Underground methanation reactor (UMR): mixture of hydrogen and CO₂ in an aquifer or depleted gas reservoir to enrich the energy gas into methane.

SALT CAVERNS
Well recognised salt formations.
Multiple (up to 10) cycles of injection per year.
Lower impurities, only caused from reactions in rock salt interbeddings.
Possible limitation of boreholes and water for cavern leaching.
Average associated costs to 1.61 USD/kg H ₂ .
The viscoplastic attributes of evaporitic rocks better sealing capacities.
Adaptable size to required volume and depth.



Underground Hydrogen Storage Possibilities:



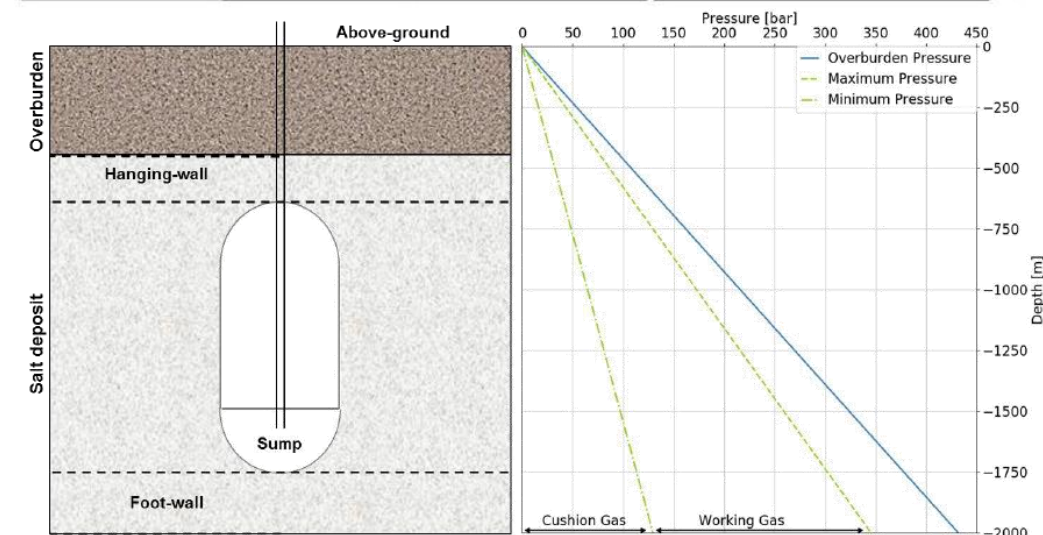
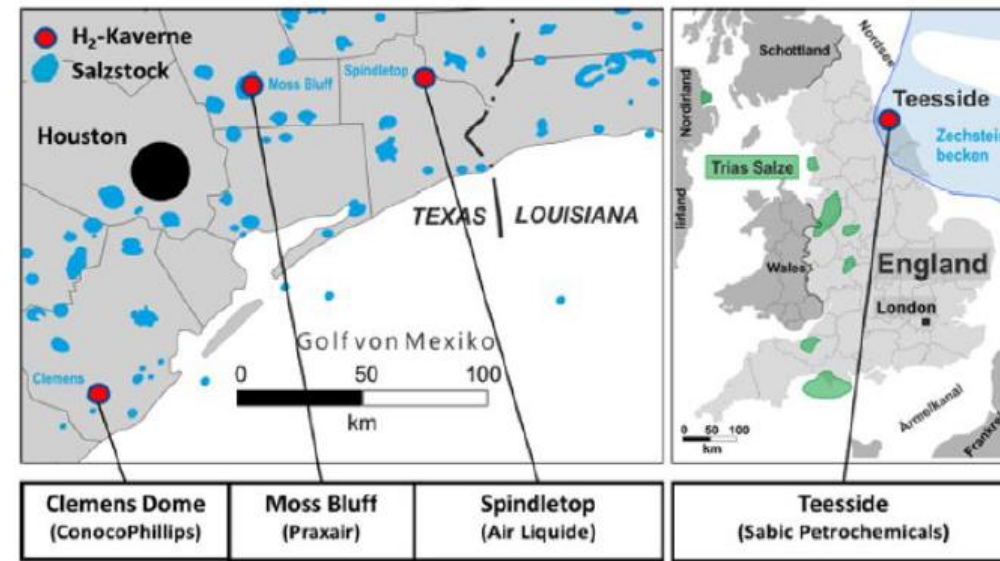
1. Deep Aquifers.
2. Depleted Oil & Gas Fields.
3. Salt Caverns.

DEEP AQUIFERS	DEPLETED OIL AND GAS FIELDS
High Geological Uncertainty.	Low Geological Uncertainty.
One, maximum two cycles per year.	One, maximum two cycles per year.
Undesirable reactions (H ₂ S and CH ₄) with loss of hydrogen purity.	Undesirable reactions (H ₂ S and CH ₄) with loss of hydrogen purity.
No drilled boreholes.	Well availability for either injection and / or monitoring.
Average associated costs 1.29 USD/kg H ₂ .	Average associated costs to 1.23 USD/kg H ₂ .
High uncertainty on seal capacity due to a highly diffusive through overburden layers.	High uncertainty on seal capacity due to a highly diffusive through overburden layers.
Liquid production simultaneously with gas, which is a disadvantage of hydrogen in aquifers.	Mixing of residual hydrocarbons with hydrogen.

6. HIDRÓGENO: INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE

ALMACENAMIENTO ELECTRICO MASIVO POR HIDRÓGENO – CAVERNAS SALINAS CAVERNAS DE SAL CON ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO EN OPERACIÓN

PROJECTS	CLEMENS	MOSS BLUFF	SPINDLETOP	TEESIDE
Country	USA	USA	USA	UK
Trap Mechanism	Salt Dome	Salt Dome	Salt Dome	Bedded Salt
Operator	Conoco Phillips	Praxair	Air Liquide	Sabic Petroleum
Commisioned (year)	1983	2007	2014	1972
Volume (m ³)	580K	566K	588K	3x 70k
Reference Depth (m)	930	822	N/A	350
Pressure Range (bar)	135	152	N/A	45
Gas Capacity Mill Kg H ₂	2,6	3,7	N/A	0,8
GWh	92 GWh	80 GWh	N/A	25 GWh



CAVERNA SALINA (valores aprox. operación)

m ³	bar	tn	GWh
500.000	50	2.100	73
	200	8.000	265
700.000	50	3.000	100
	200	11.000	370

6. HIDRÓGENO: INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE

ALMACENAMIENTO ELECTRICO MASIVO POR HIDRÓGENO – CAVERNAS SALINAS

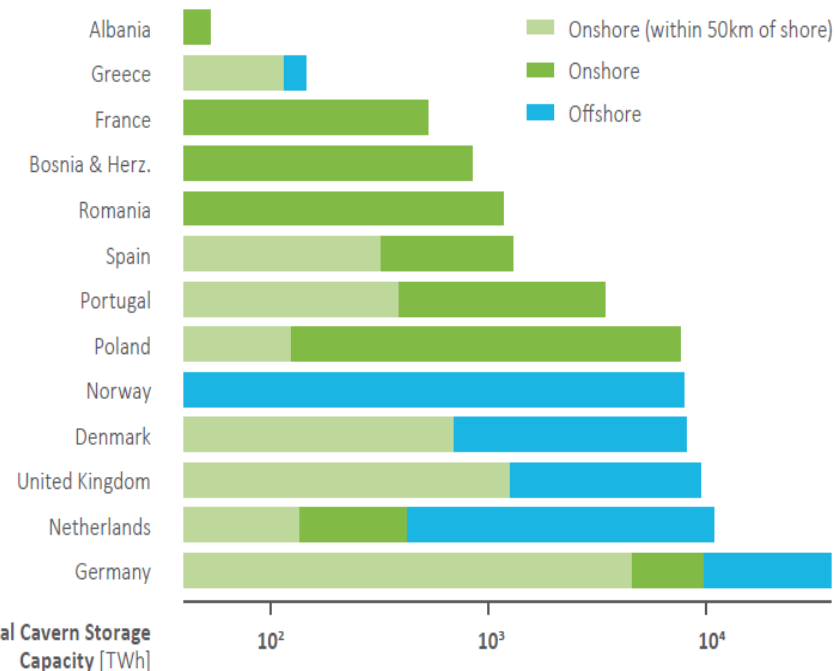
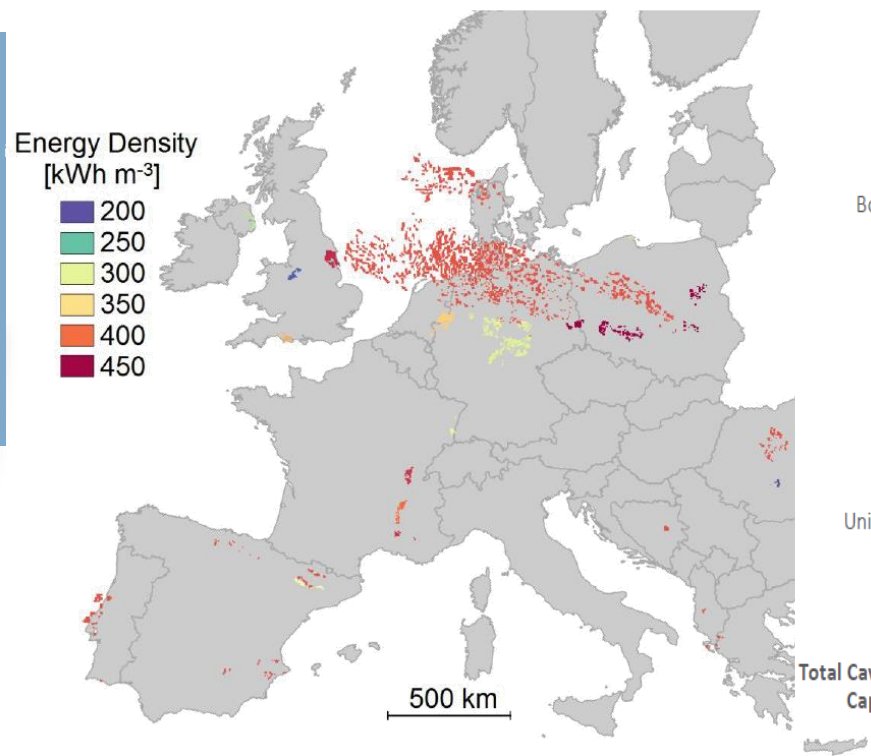
POTENCIAL ALMACENAMIENTO EN EUROPA – ESTUDIOS DE REFERENCIA

EUROPA

ALMACENAMIENTO EN
CAVERNAS SALINAS
POTENCIAL TOTAL:

84.800 TWh

Onshore a 50km de costa: 7.300 TWh



ESPAÑA

ALMACENAMIENTO EN
CAVERNAS SALINAS
POTENCIAL TOTAL:

1.260.000 GWh

Onshore a 50km de costa: 300.000 GWh

Technical Potential of Salt Caverns for Hydrogen Storage in Europe

Dilara Gulcin Caglayan,^{1,2} Nikolaus Weber,^{1,3} Heidi Heinrichs,¹ Jochen Linßen,¹ Martin Robinius,¹ Peter A. Kukla³ and Detlef Stolten^{1,2}

¹ Institute of Energy and Climate Research - Electrochemical Process Engineering (IEK-3)

Forschungszentrum Juelich GmbH, 52425 Juelich, Germany

² RWTH Aachen University, Chair for Fuel Cells, Faculty of Mechanical Engineering,
Kackertstraße 9, D-52072 Aachen, Germany

³ Geological Institute, Energy and Mineral Resources, RWTH Aachen University, 52056
Aachen, Germany



Petronor
Innovación

ESKERRIK ASKO