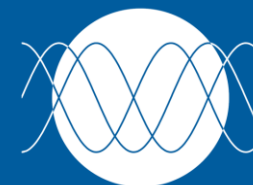


Almacenamiento subterráneo de hidrógeno

Valencia, 26 de abril 2024

Iván Jares Salguero – Presidente Instituto MinesTech
Socio – Ingeniero Proyectos CIMBRA INGENIERÍA S.L.

Contacto: info@minestech.es



MinesTech

INSTITUTO STEM



ÍNDICE

I.

Introducción

- 1.1. Formas de almacenar energía
- 1.2. Números básicos del Hidrógeno

II.

Propiedades del Hidrógeno

- 2.1. Producción, aplicaciones y madurez
- 2.2. Propiedades del hidrógeno
- 2.3. Factor de compresibilidad

III.

Almacenamiento Subterráneo

- 3.1. Tipos de estructuras subterráneas
- 3.2. Criterios de selección
- 3.3. Posibilidades en España



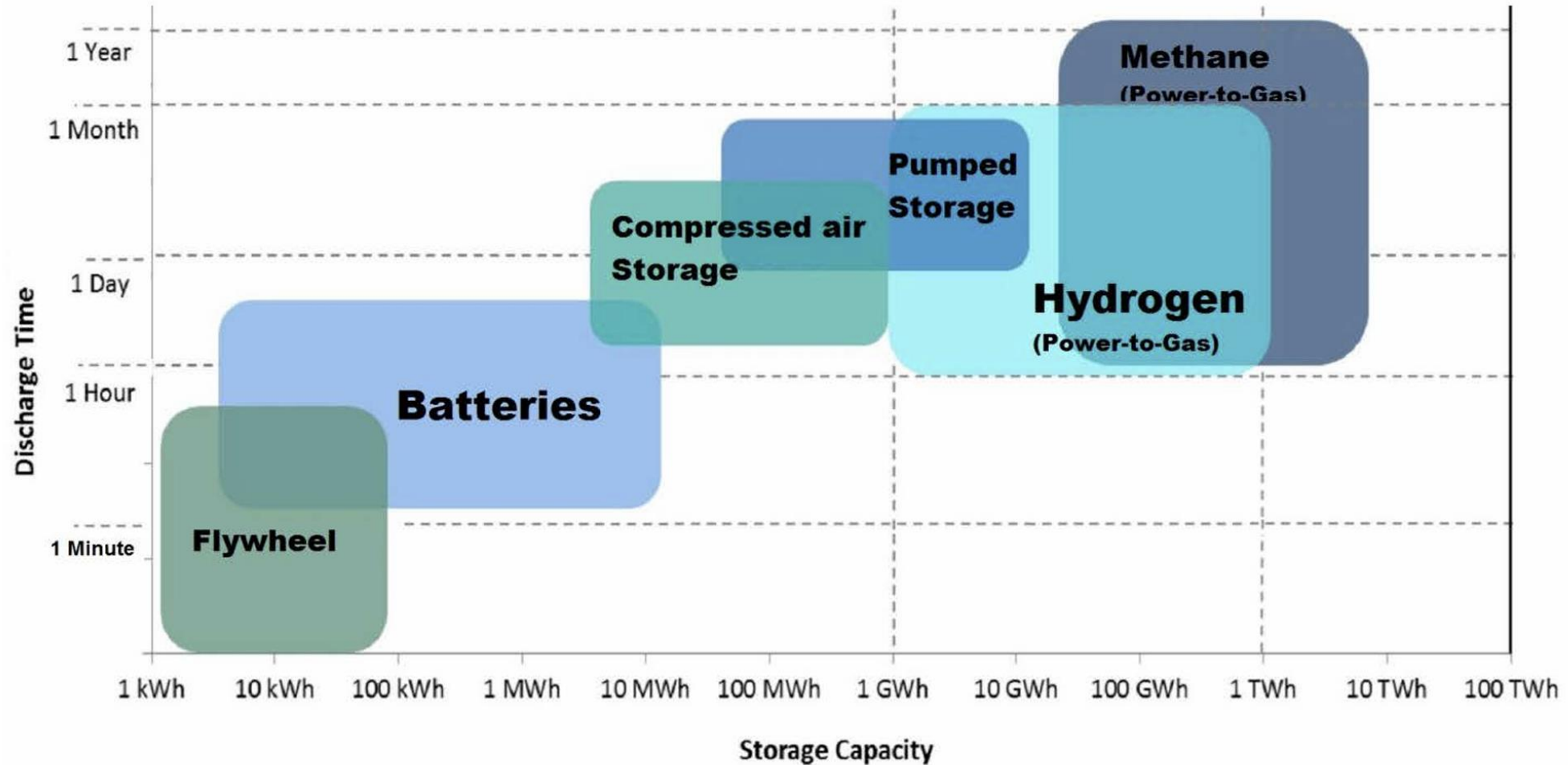
I.

Introducción



1.1. Formas de almacenar energía

1.2. Números básicos del Hidrógeno

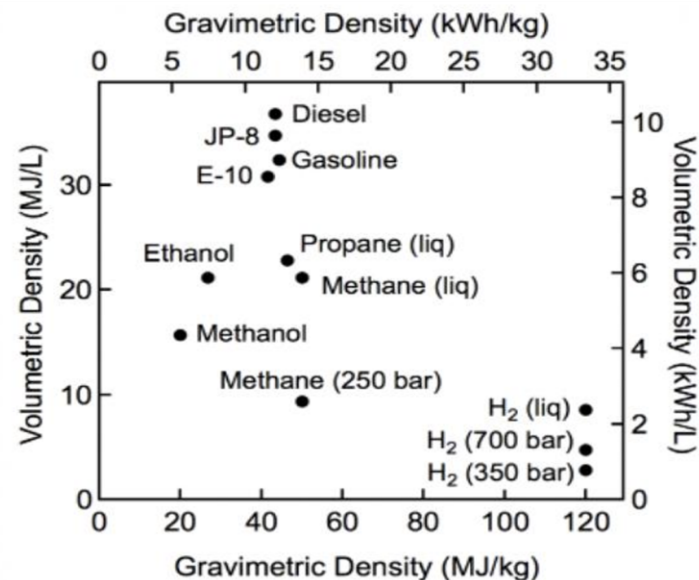


Source: School of Engineering, RMIT University (2015)

Propiedades físicas del hidrógeno

- ◇ **1 kg** ↔ 11,1 Nm³ ↔ 33,3 kWh (PCI) y 39,4 kWh (PCS)
- ◇ **Alta densidad energética por unidad de masa**
1kg H₂ = 3,77 l gasolina
- ◇ **Baja densidad energética por unidad de volumen**
1Nm³ H₂ = 0,34 l gasolina

Unidad	Hidrógeno	Metano
kg/m^3	0,09	0,72
MJ/kg PCS	142,00	55,60
MJ/m^3 PCS	12,70	40,00

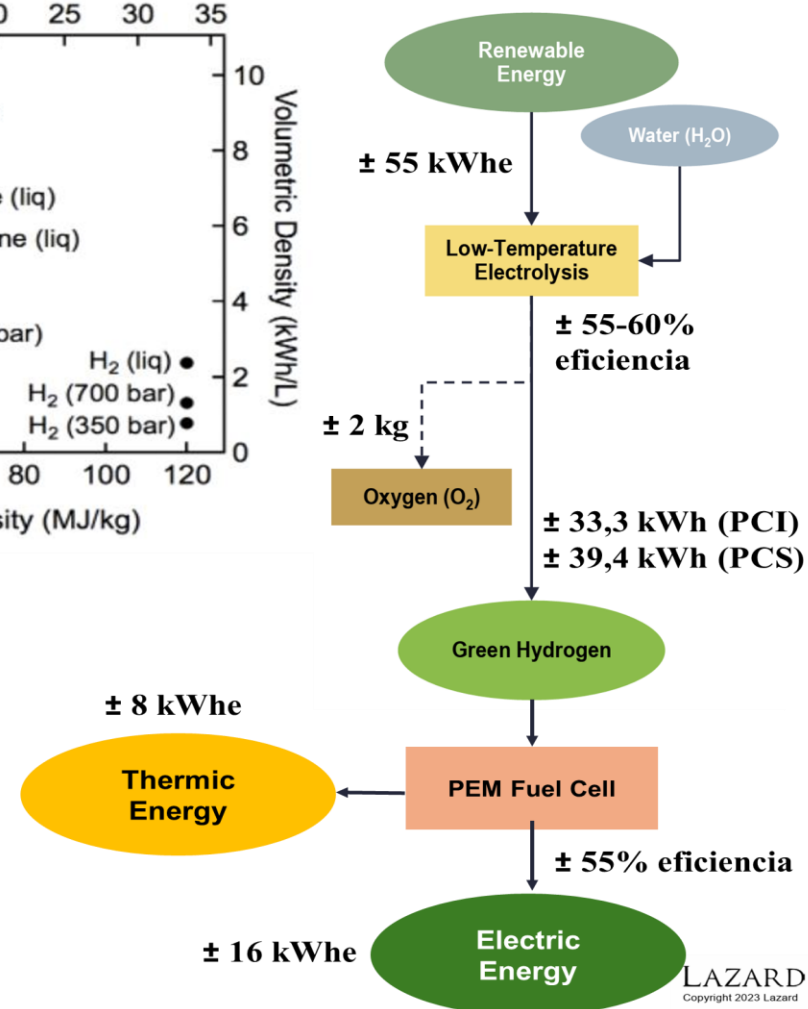


Producción de hidrógeno por electrólisis

- ◇ **Potencia:** 1 MW electrolizador ↔ 200 Nm³/h H₂ ↔ ± 18 kg/h H₂
- ◇ **Energía:** ± 55 kWh → 1kg H₂ ↔ 11,1 Nm³ ↔ ± 10 litros agua desmineralizada

Producción de eléctrica por pila de combustible PEM

- ◇ **Energía:** 1kg H₂ → ± 55-60% eficiencia eléctrica → ± 16 kWh y ± 8 kWh
- ◇ **Eficiencia global:** ± 80-85% eficiencia





II.

Propiedades del Hidrógeno

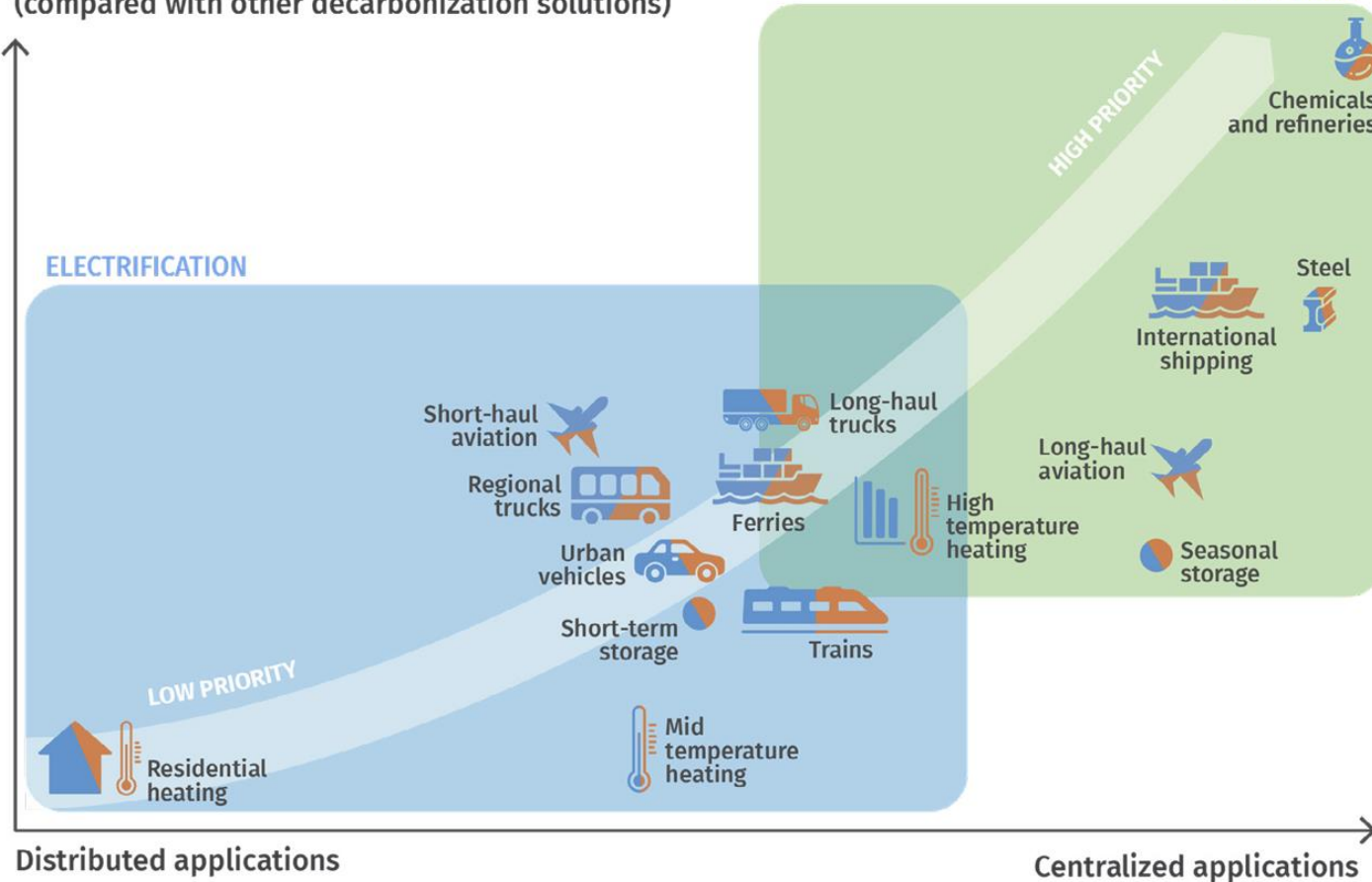


- 2.1. Producción, aplicaciones y madurez
- 2.2. Propiedades del Hidrógeno
- 2.3. Factor de compresibilidad

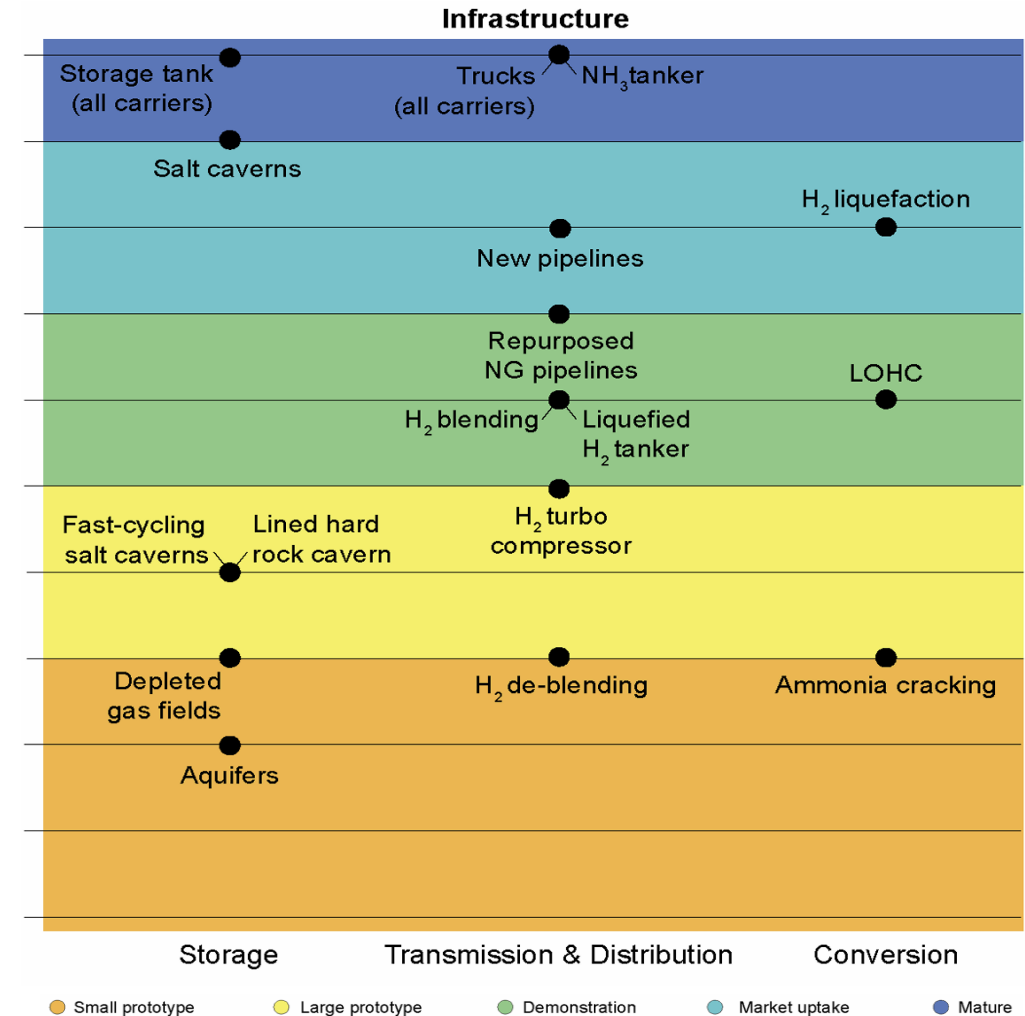
2.1

Producción, aplicaciones y madurez

Maturity of hydrogen solutions (compared with other decarbonization solutions)

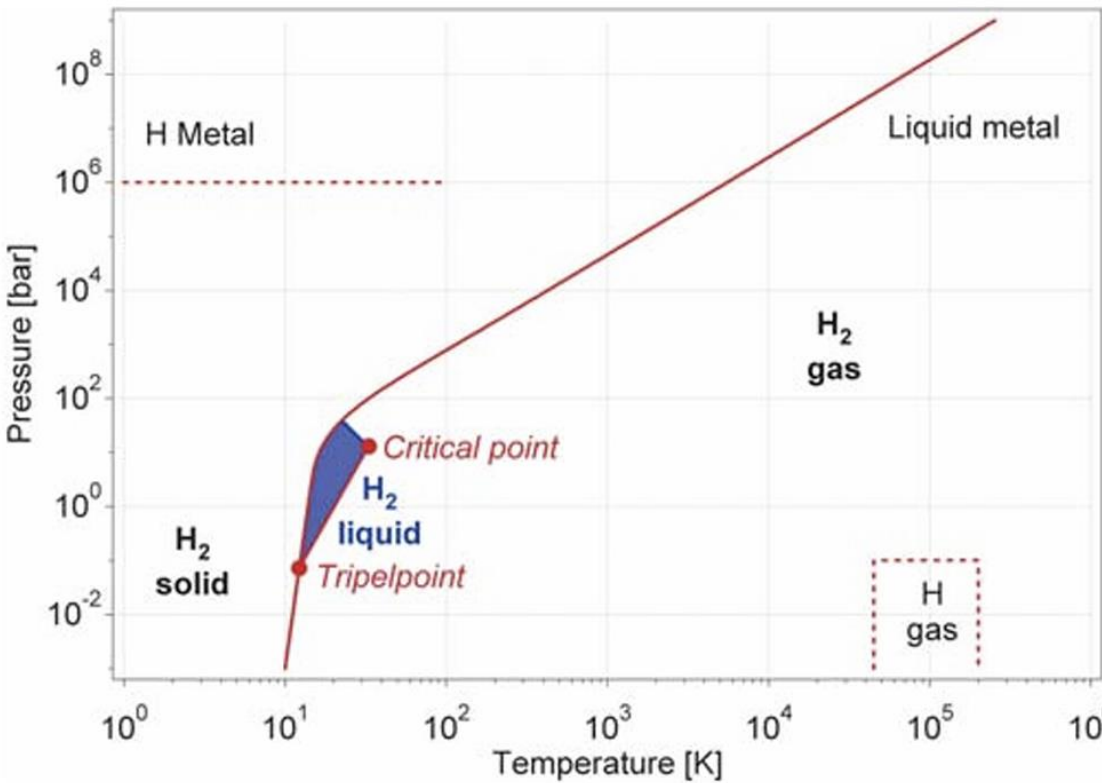


IRENA (2022). Green hydrogen for industry: A guide to policy making, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

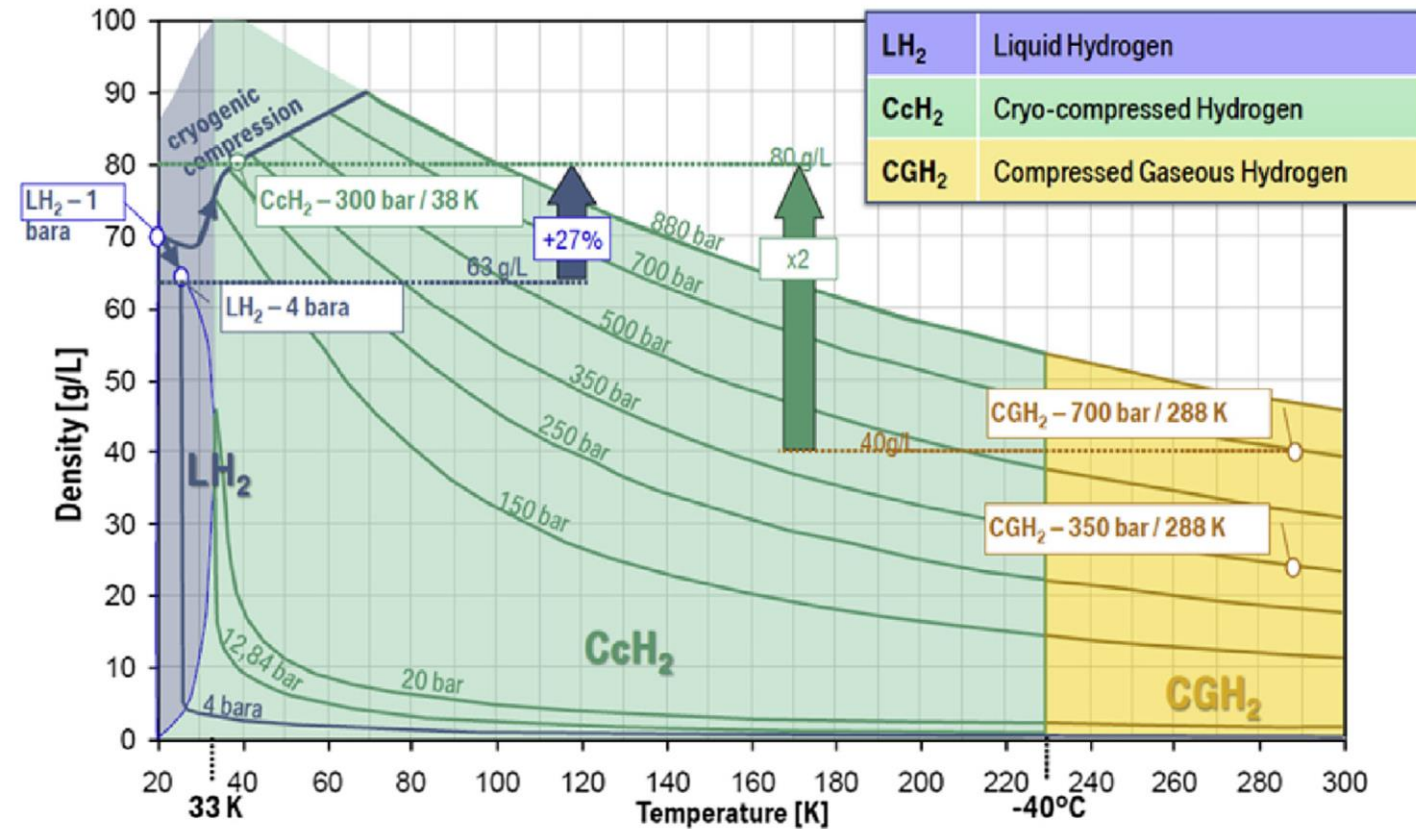


IEA (2023). Global Hydrogen Review 2023.

2.2 Propiedades del hidrógeno



Züttel, A. Hydrogen storage methods. Naturwissenschaften 91, 157–172 (2004).



Performance of a cryo-compressed hydrogen storage. (2012). Kunze K. World hydrogen energy conference e WHEC. Toronto Canada.

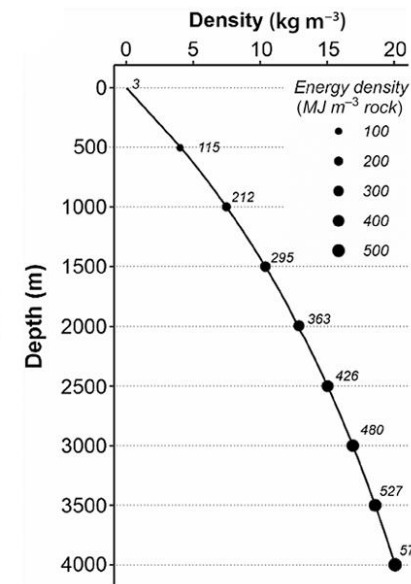
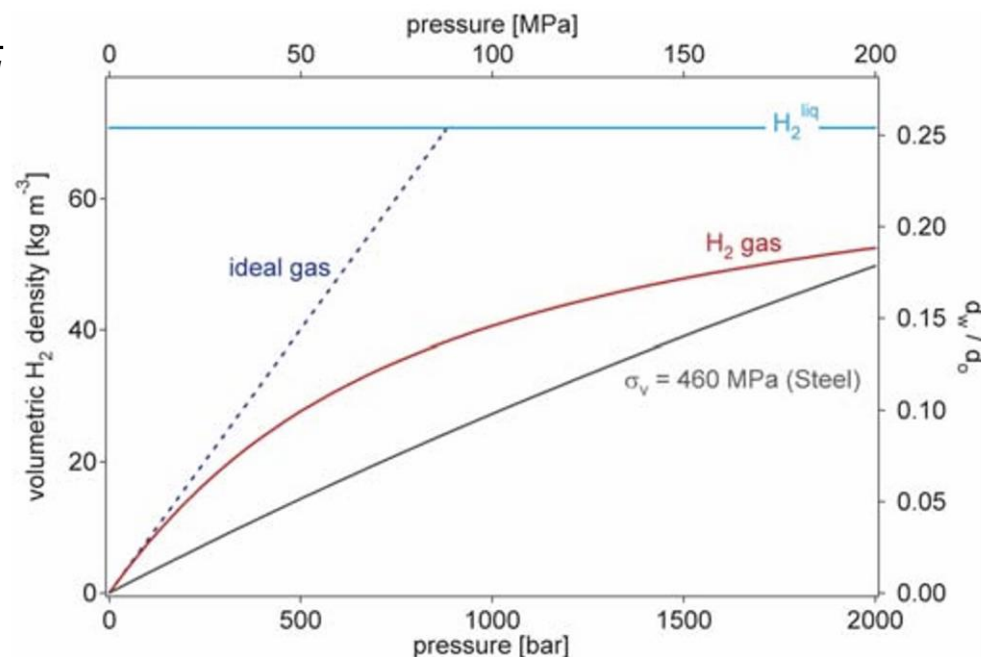
2.3 Factor de Compresibilidad

$$P \cdot V = z \cdot n \cdot R \cdot T \longrightarrow \text{Peso } H_2 = 2,016 \frac{P \cdot V}{z \cdot R \cdot T}$$

z = factor de compresibilidad

Masa molecular $H_2 = 2,106 \text{ g/mol}$

Presión (bar)	Temperatura (K)						
	250	273.15	298.15	350	400	450	500
1	1.00070	1.00040	1.00060	1.00055	1.00047	1.00041	1.00041
5	1.00337	1.00319	1.00304	1.00270	1.00241	1.00219	1.00196
10	1.00672	1.00643	1.00605	1.00540	1.00484	1.00435	1.00395
50	1.03387	1.03235	1.03037	1.02701	1.02411	1.02159	1.01957
100	1.06879	1.06520	1.06127	1.05369	1.04807	1.04314	1.03921
150	1.10404	1.09795	1.09189	1.08070	1.07200	1.06523	1.05836
200	1.14056	1.13177	1.12320	1.10814	1.09631	1.08625	1.07849
250	1.17789	1.16617	1.15499	1.13543	1.12034	1.10793	1.08764
300	1.21592	1.20101	1.18716	1.16300	1.14456	1.12957	1.11699
350	1.25461	1.23652	1.21936	1.19051	1.16877	1.15112	1.13648
400	1.29379	1.27220	1.25205	1.21842	1.19317	1.17267	1.15588
450	1.33332	1.30820	1.28487	1.24634	1.21739	1.19439	1.17533
500	1.37284	1.34392	1.31784	1.27398	1.24173	1.21583	1.19463
600	1.45188	1.41618	1.38797	1.33010	1.29040	1.25920	1.23373
700	1.53161	1.48880	1.44991	1.38593	1.33914	1.30236	1.27226



Züttel, A. Hydrogen storage methods. Naturwissenschaften 91, 157–172 (2004).

◇ Comparación ideal vs real

Gas Ideal → 350 bar = 28 kg/m³ 700 bar = 57 kg/m³
 H₂ Gas → 350 bar = 23 kg/m³ 700 bar = 37 kg/m³

III.

Almacenamiento Subterráneo



- 3.1. Tipos de estructuras subterráneas
- 3.2. Criterios de selección
- 3.3. Posibilidades en España

3.1 Tipos de estructuras geológicas

Yacimientos depletados y acuíferos salinos (rocas porosas)

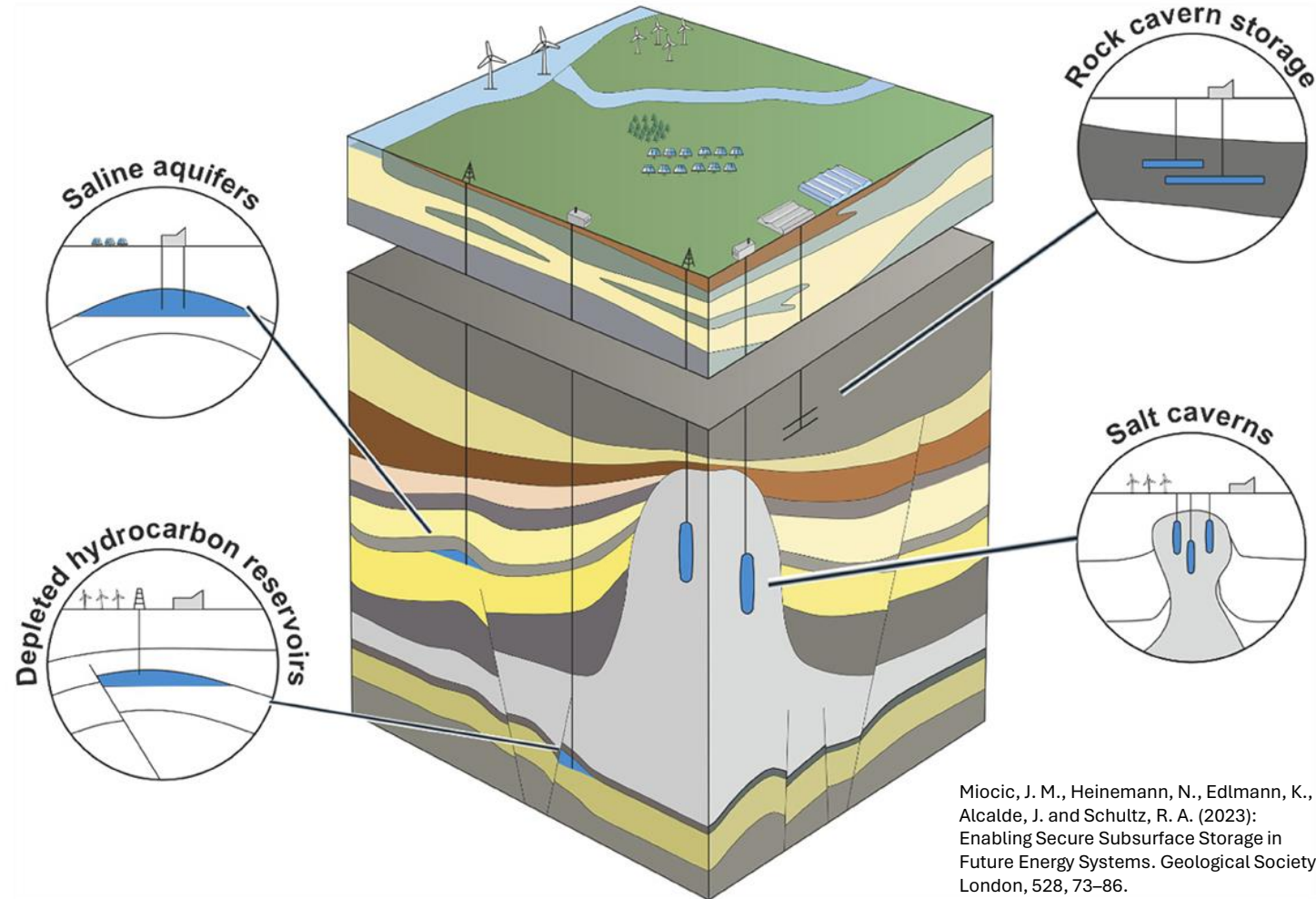
- ◇ Son rocas porosas (almacén) donde se almacena el gas. Tienen una **estructura geológica bien conocida**, estanqueidad (Fm. Sello), **porosidad adecuada** e instalaciones preexistentes.
- ◇ **Posible reactividad química y bacteriológica.**

Cavidades Salinas

- ◇ Se usa agua dulce para disolver la roca de sal formando cavidades salinas.
- ◇ Es una de las tecnologías más prometedoras para el hidrógeno, debido a su **madurez tecnológica**, su rápida **flexibilidad** de ciclo y su gran **capacidad** de almacenamiento de volumen.
- ◇ **No reactividad química ni bacteriológica.**

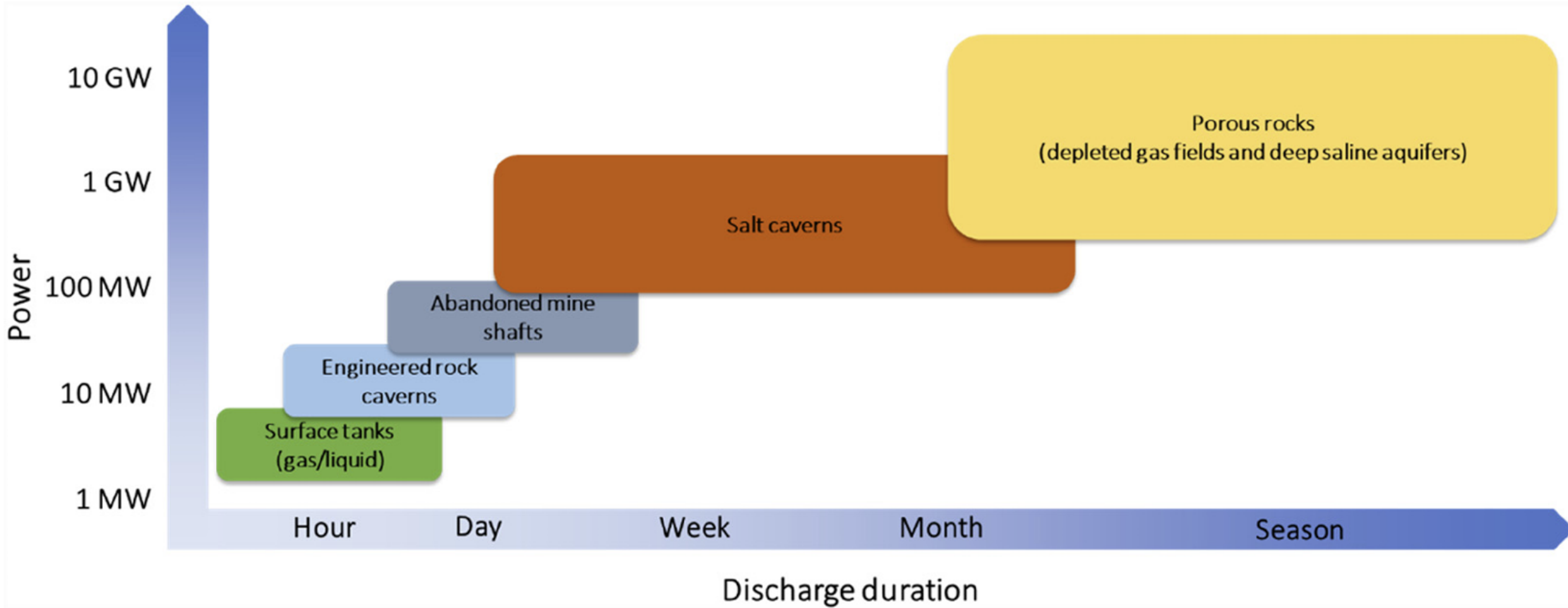
Rock cavern (caverna minada)

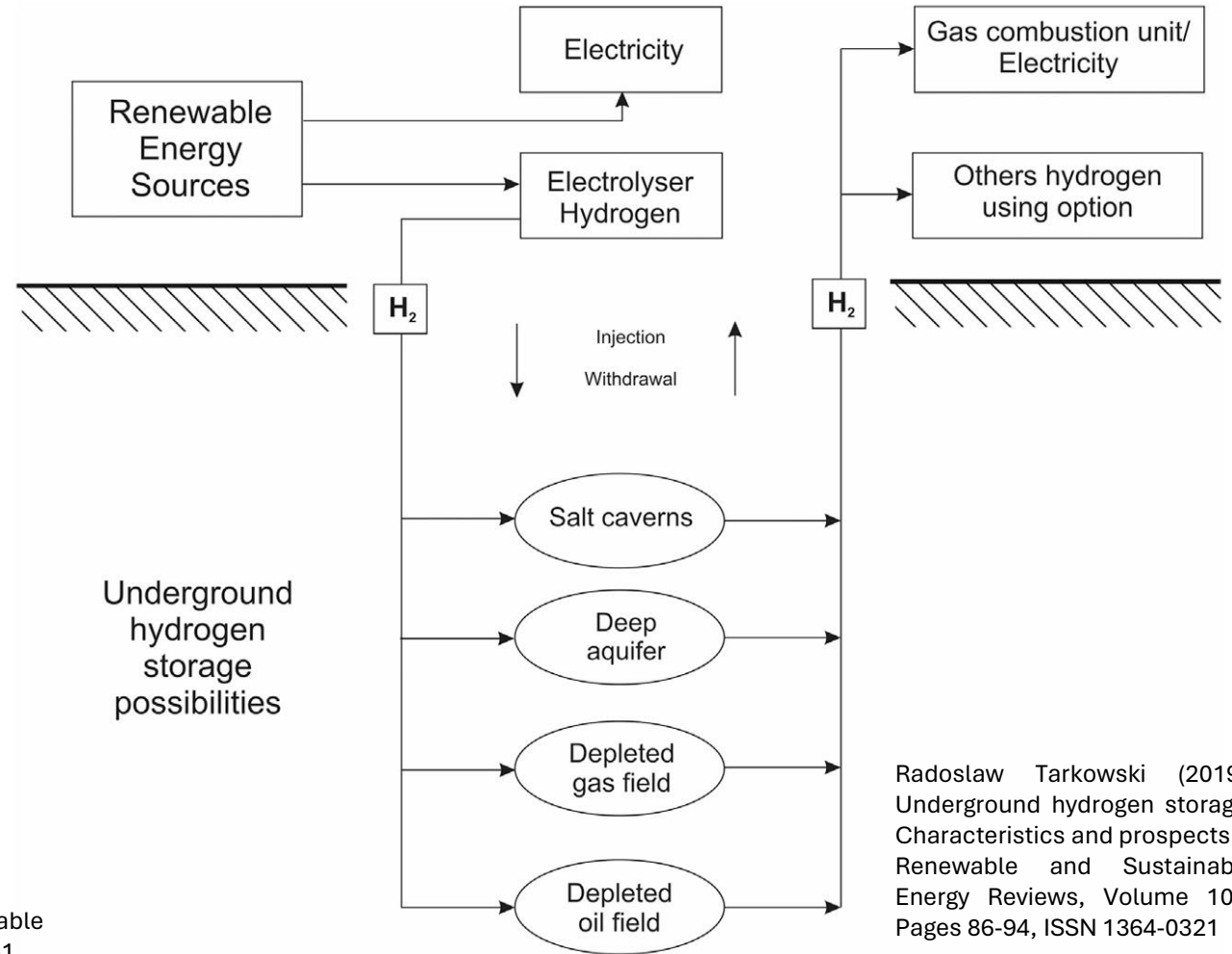
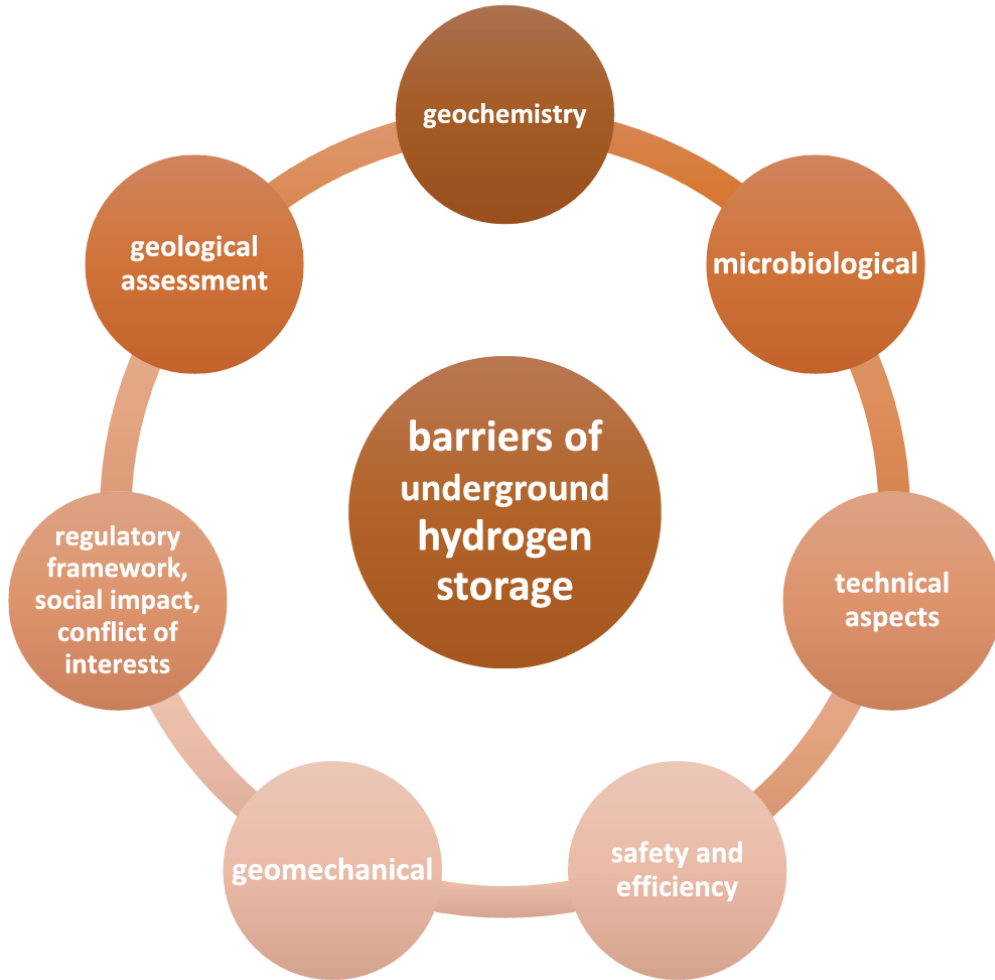
- ◇ Rocas explotadas exprofeso o explotaciones preexistentes.
- ◇ La **presión del gas es aguantada por la roca.**



Miocic, J. M., Heinemann, N., Edlmann, K., Alcalde, J. and Schultz, R. A. (2023): Enabling Secure Subsurface Storage in Future Energy Systems. Geological Society, London, 528, 73–86. <https://doi.org/10.1144/SP528-2022-88>.

3.1 Tipos de estructuras geológicas

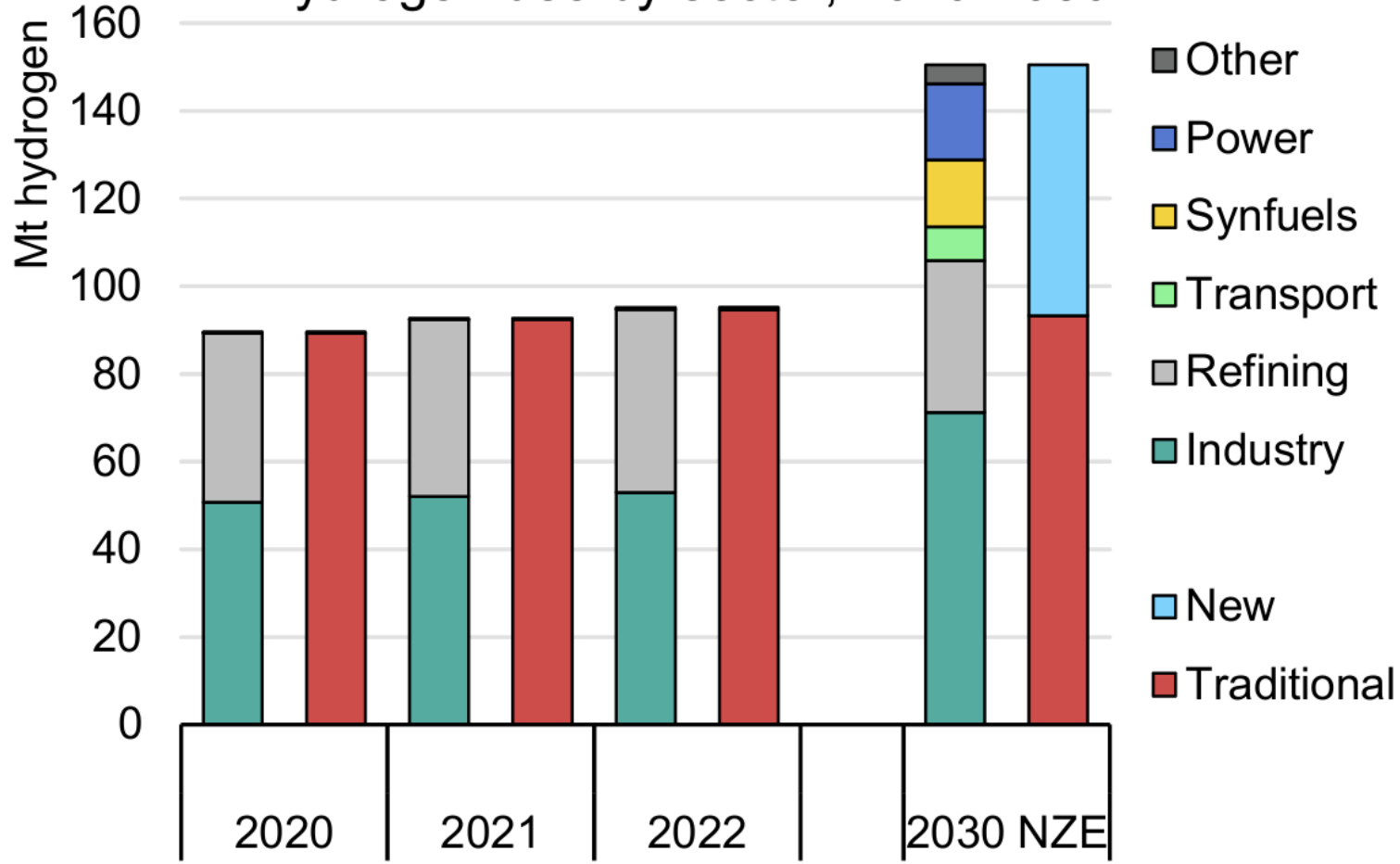




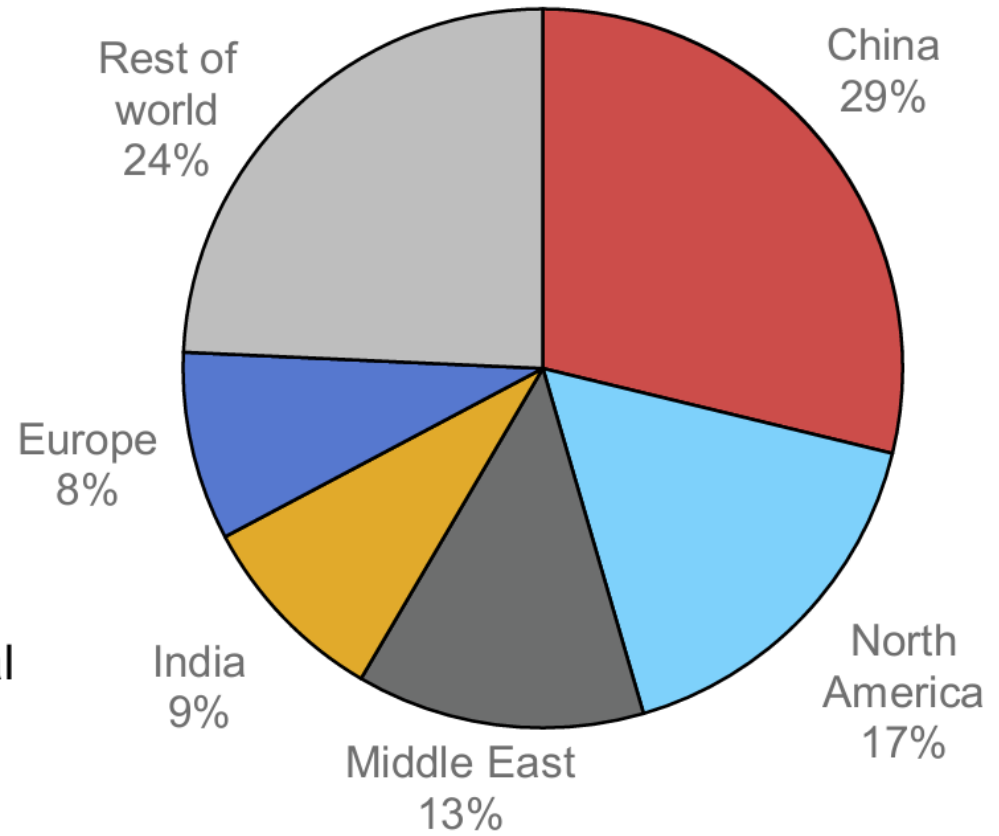
R. Tarkowski, B. Uliasz-Misiak, Towards underground hydrogen storage: A review of barriers, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 162, 2022, 112451, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112451>.

Radoslaw Tarkowski (2019): Underground hydrogen storage: Characteristics and prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 105, Pages 86-94, ISSN 1364-0321

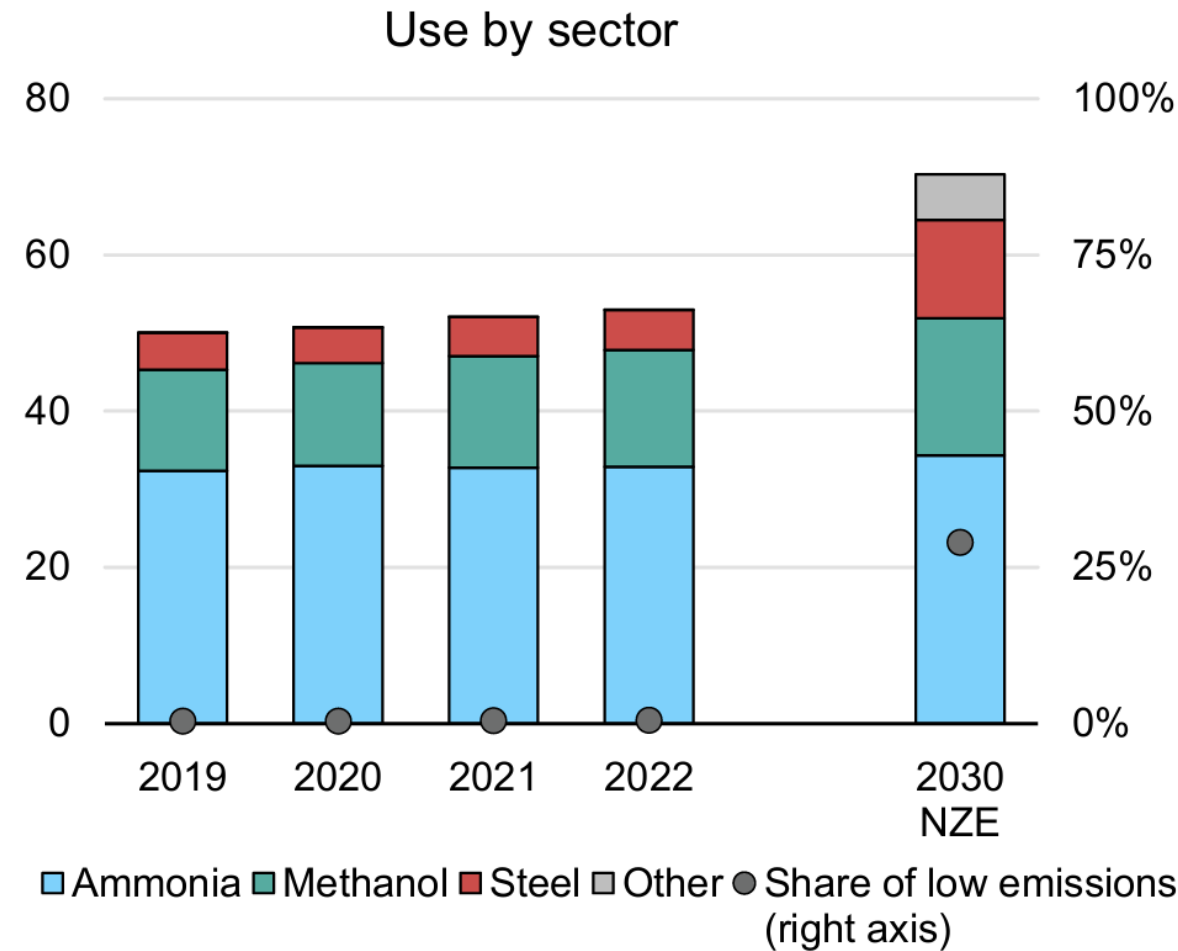
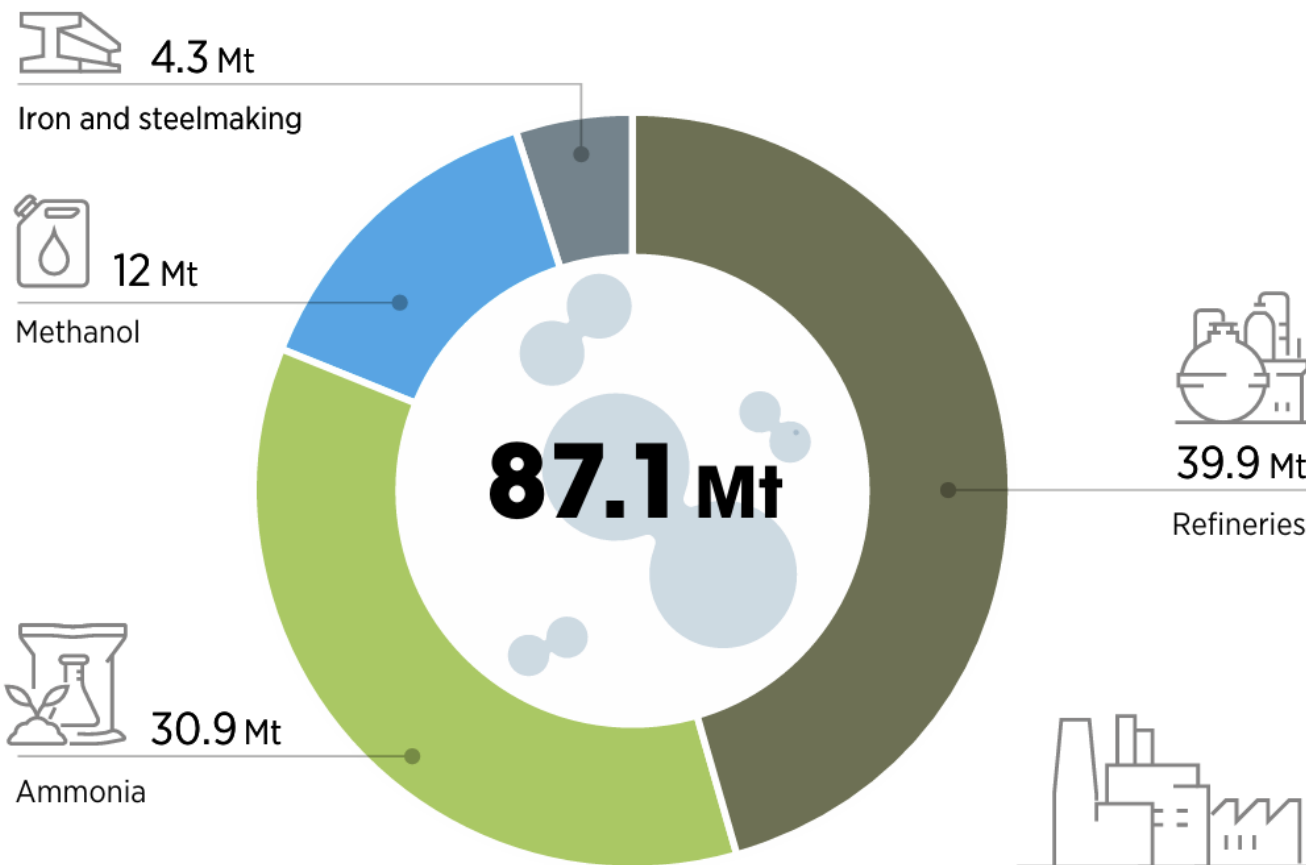
Hydrogen use by sector, 2020-2030



Hydrogen use by region, 2022



IEA (2023). Global Hydrogen Review 2023. IEA. CC BY 4.0.

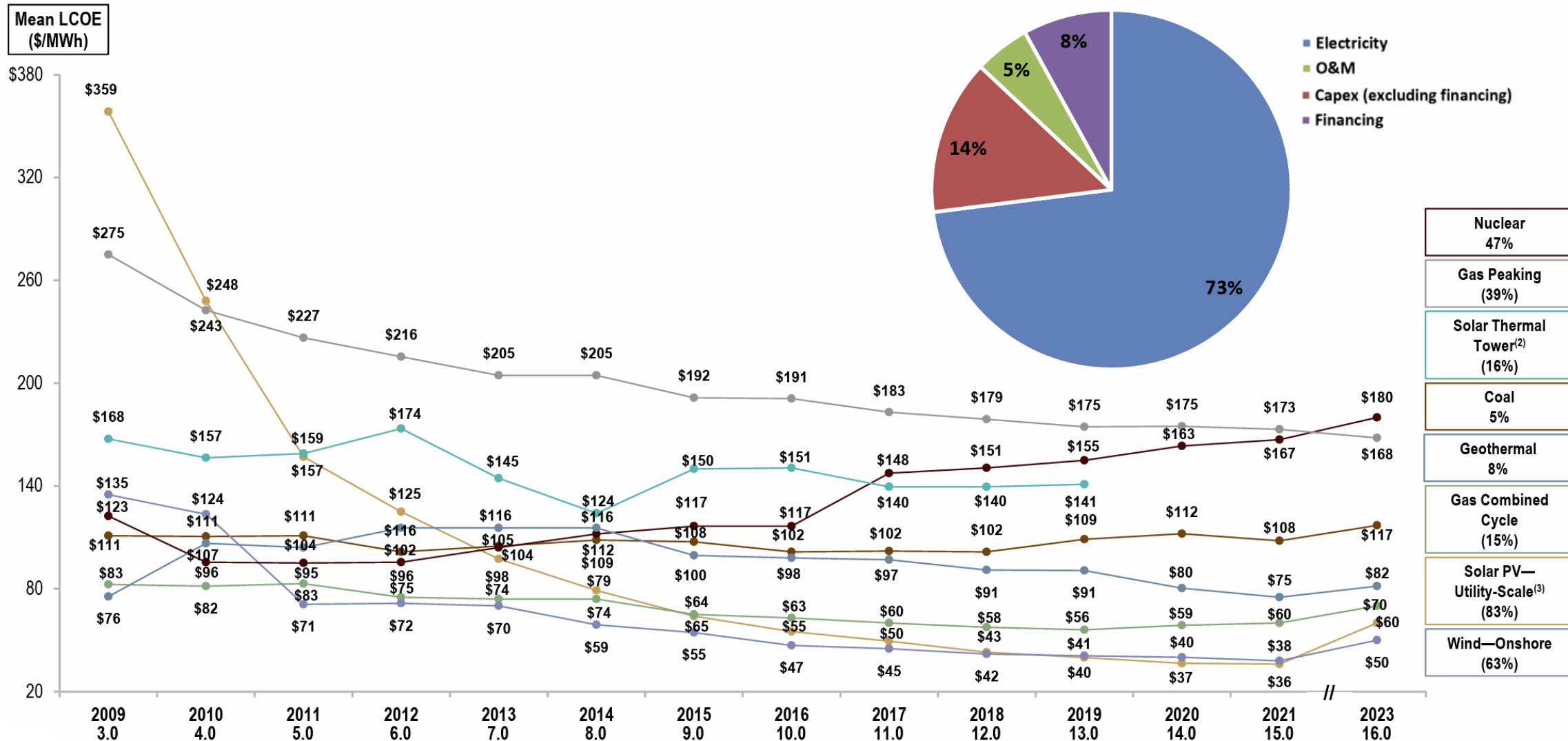


IRENA (2022). Green hydrogen for industry: A guide to policy making, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

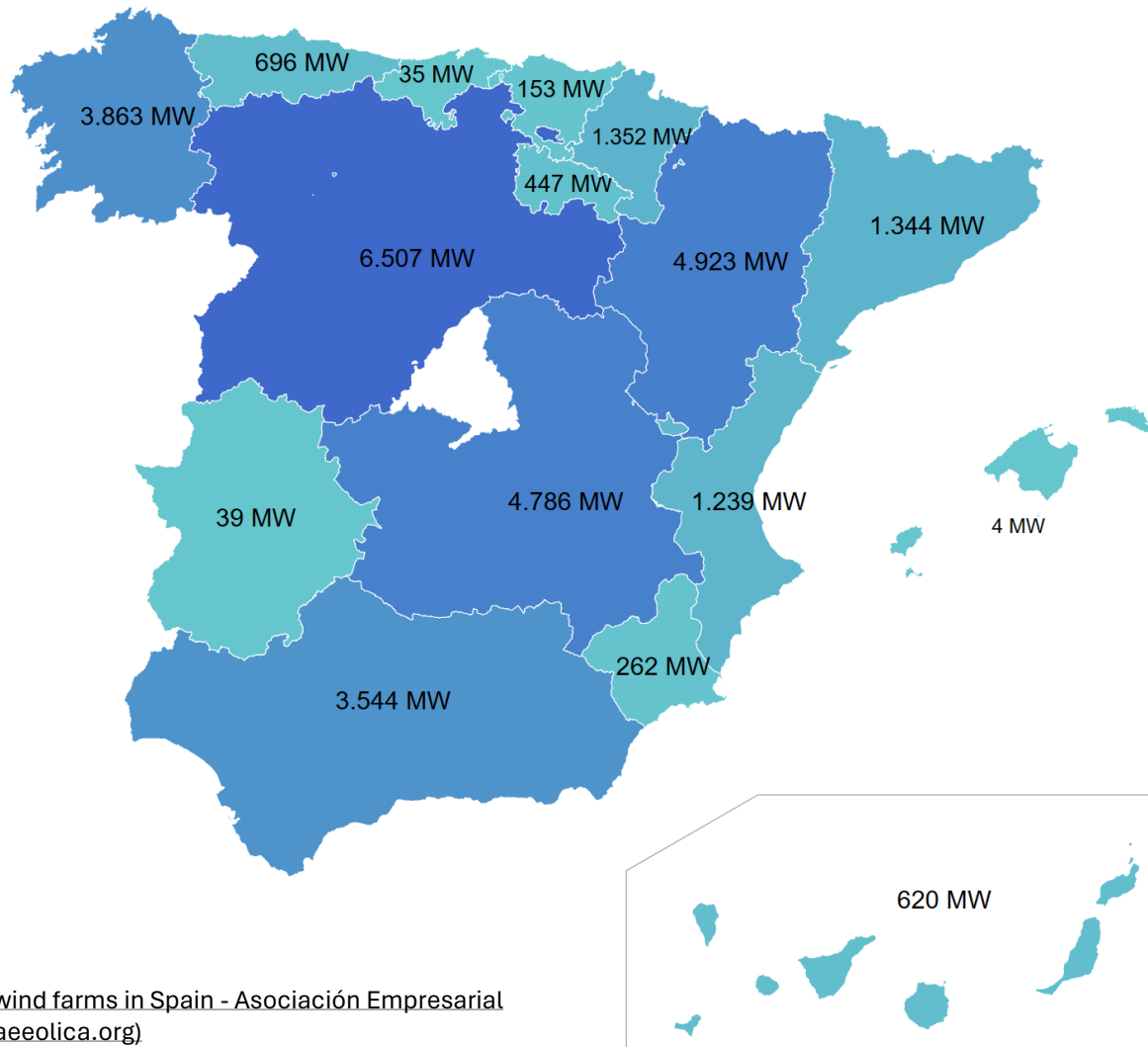
IEA (2023). Global Hydrogen Review 2023.

3.2

Criterios de selección-Solar y eólica



3.2 Criterios de selección-Solar y eólica



MAPA DE RECURSO SOLAR

POTENCIAL ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO ESPAÑA



Promedios de largo plazo del potencial eléctrico fotovoltaico, periodo 1994-2018

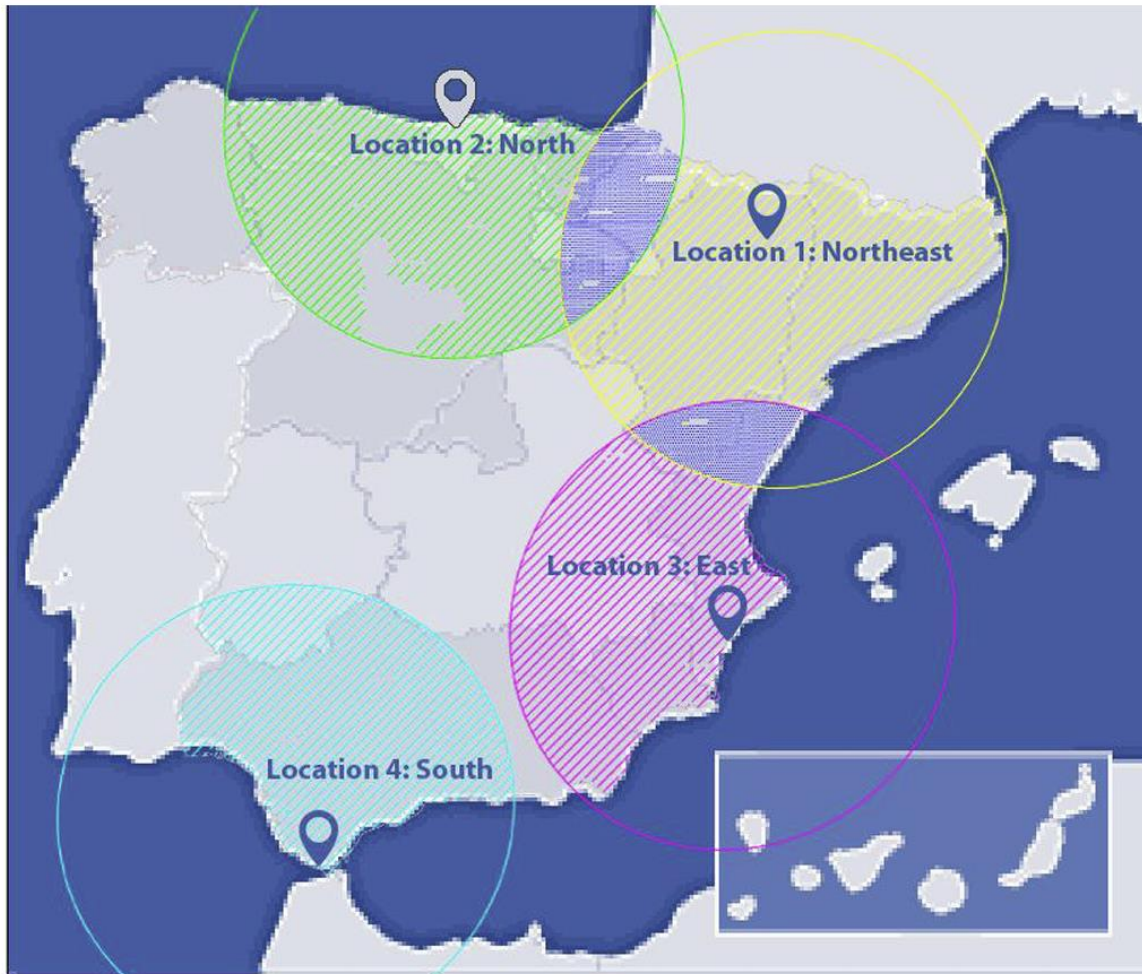
Totales diarios:	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0
Totales anuales:	1095	1241	1387	1534	1680	1826

Unidad: kWh/kWp

Este mapa está publicado por el Grupo Banco Mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis. Para más información, y términos de uso, por favor visite <http://globalsolaratlas.info>.

Map of wind farms in Spain - Asociación Empresarial Eólica (aeolica.org)

3.3 Posibilidades en España



- ◇ Las fuentes de energía renovable baratas de alto potencial, principalmente eólica y solar, están disponibles en España para la producción de energía.
- ◇ Existen ciertas posibilidades técnicas de almacenamiento de hidrógeno en el subsuelo, sin embargo, los estudios más avanzados se encuentran a lo sumo en escala piloto, mientras que, los estudios realizados en España son trabajos de viabilidad técnico-económica.
- ◇ La geología española puede proporcionar cuatro opciones técnicamente interesantes para el almacenamiento subterráneo de hidrógeno (Norte, Noreste, Este y Sur de España).
- ◇ En un almacenamiento subterráneo la escala es primordial, por tanto, las cavidades salinas parten con un gran hándicap, el volumen de gas que pueden almacenar.

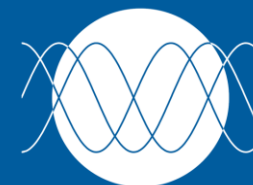
J. Simon, A.M. Ferriz, L.C. Correas, (2015): Hydrogen Underground Storage at Large Scale: Case Study Spain, Energy Procedia, Volume 73, Pages136-144, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.661>.

Almacenamiento subterráneo de hidrógeno

Valencia, 26 de abril 2024

Iván Jares Salguero – Presidente Instituto MinesTech
Socio – Ingeniero Proyectos CIMBRA INGENIERÍA S.L.

Contacto: info@minestech.es



MinesTech

INSTITUTO STEM