

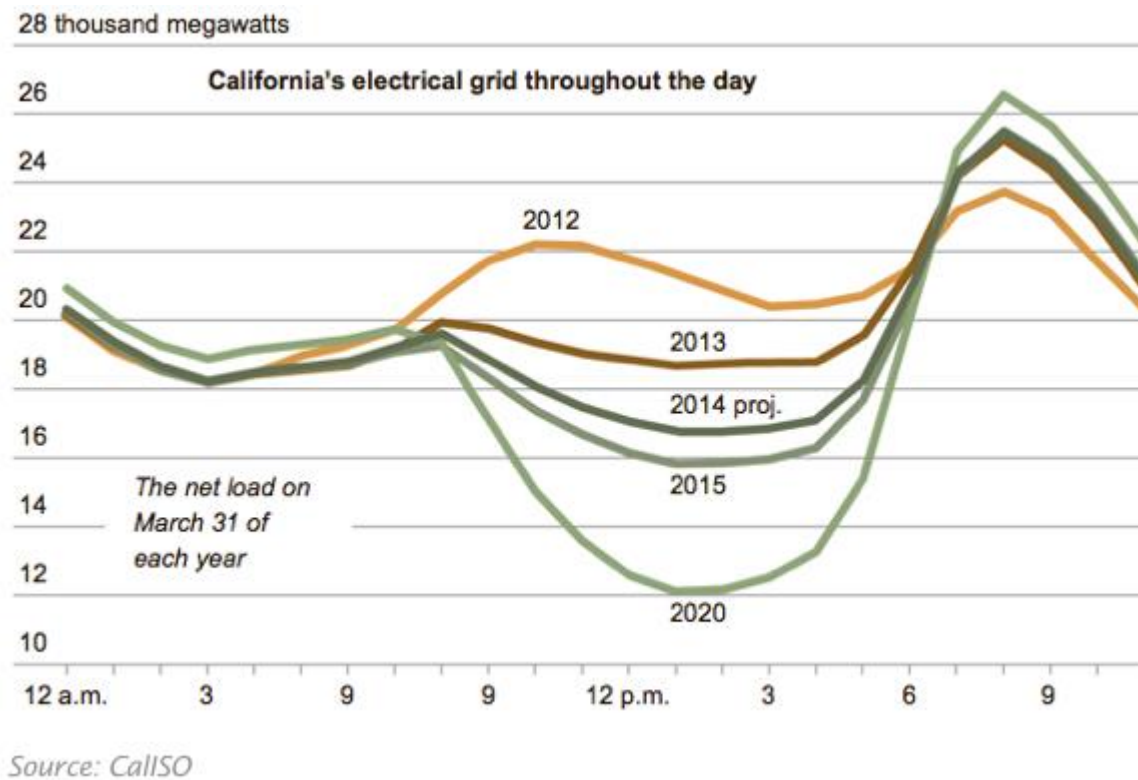


ABENGOA

Tecnologías y sistemas de almacenamiento (II): Térmico y H₂

Para que sirve el almacenamiento

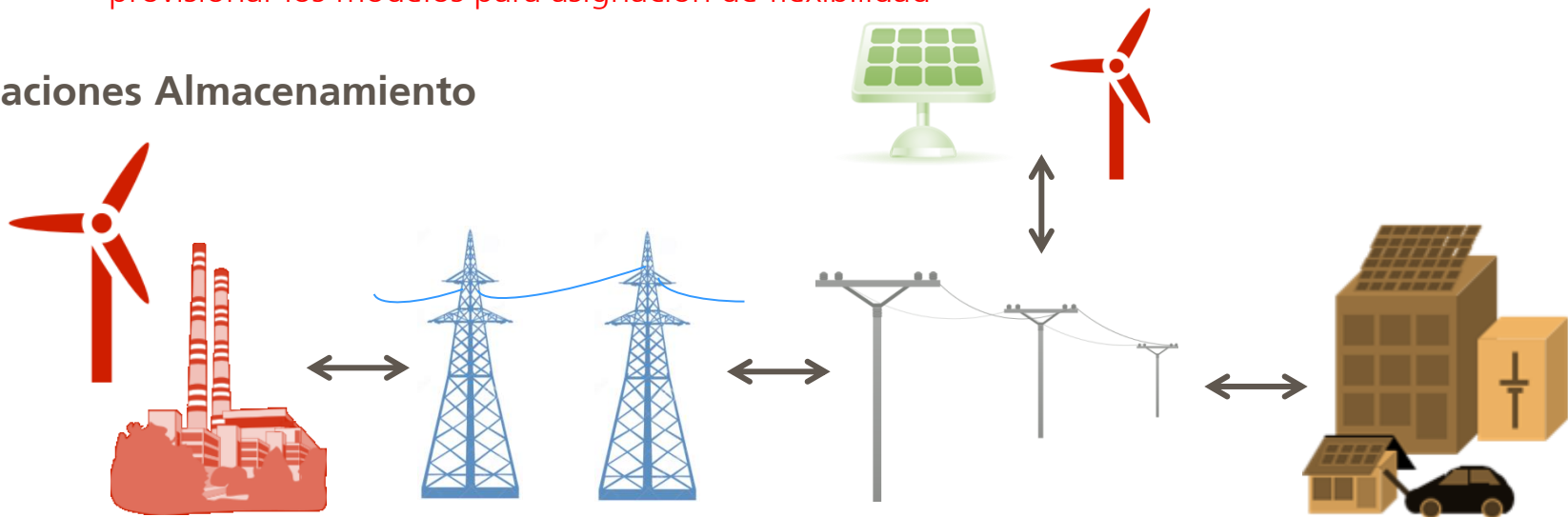
El sistema necesita **flexibilidad**. El **almacenamiento** es una opción



Flexibilidad en el nuevo Sistema Eléctrico

- Necesidades generales para activar la **flexibilización**
 - Diferencia de precios → son necesarias tarifas variables con el tiempo (feed-in y demanda) para provisionar los modelos para asignación de flexibilidad

Aplicaciones Almacenamiento



Generation

- Black Start
- Arbitraje
- Integración g. distribuida

Transmisión

- Participación en el control de frecuencia
- Aplazamiento de inversiones
- Mejorar estabilidad frecuencia

Distribución

- Compensación de la reactiva
- Soporte de contingencias en la red
- Participa control de frecuencia

Consumidor

- Reducción picos
- Continuidad suministro

Flexibilizar la generación y el uso de energía

Operación flexible de plantas de generación convencional

Expansión de la red (transmisión, distribución)

Energía a calor (Distric Heating)

Expansión ciclos combinados (CHP) y almacenamiento térmico

Gestión de la demanda (industria, hogares)

Alm. eléctrico a corto plazo (bomba hidráulica, baterías)

Amplio uso de la bomba de calor para calefacción de espacios

Inyección de hidrógeno en red de gas natural

Sint. combustible para transporte

Sint. combustibles para electricidad/calor

2015

2050

Tecnologías de almacenamiento:

Química

Hidrógeno

Gas natural sintético

Electroquímica

Baterías clásicas

Baterías de flujo

Pb-acido

Li-Ion

V. Red-
OX

Zn-Br

Li-
Polymer

Li-S

Aire
metal

Na-Ion

Na-NiCl₂

Na-S

Ni-Cd

Ni-MH

Eléctrica

Condensador

SMES

Mecánica

Volantes

Aire comprimido
adiabático

Bomba hidráulica

Aire comprimido
diabático

Alm. eléctrico de
calor bombeado

Alm. energía
criogénica

Térmica

Calor (agua caliente
/ PCM)

Sales fundidas
(calor/térmico CSP)

Alm. térmico lecho-
empaquet.

Alm. Térm. eléc.
inteligente

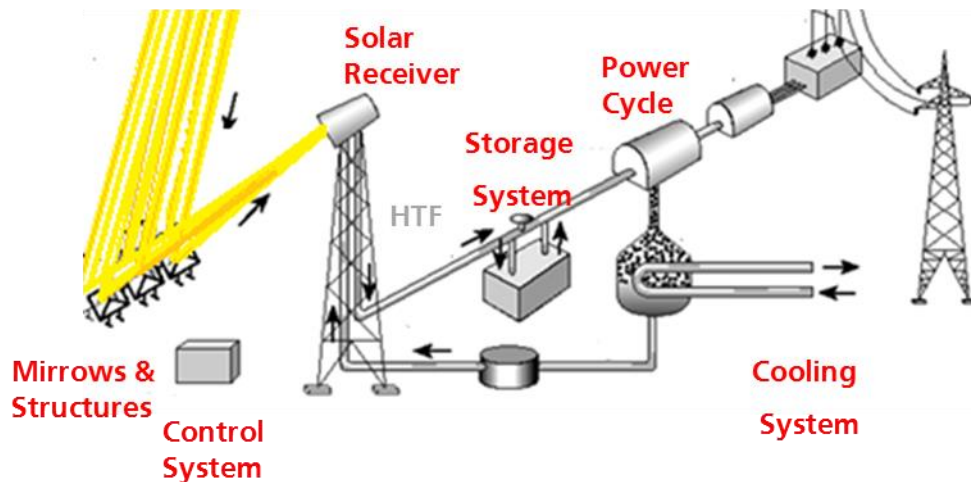


Almacenamiento Térmico en sales fundidas

Tecnología Solar Termoelectrica: concentra radiación solar para alimentar un ciclo de Rankine

Operación

- Concentración de la radiación solar en un receptor
- Fluido caloportador absorbe la radiación convirtiéndola en energía térmica.
- La energía térmica se convierte en electricidad.



Energía Solar Termoeléctrica STE

Fresnel



Torre



Cilindro
parabolico



Disco de Stirling



¿Por qué es STE importante?

- STE puede integrar **almacenamiento térmico** o ser **hibridada** con otros combustibles
- La energía eléctrica puede ser generada cuando se necesite (**gestionable**)
- Permite que las plantas solares sean diseñadas para proporcionar **picos de potencia** o **cargas base**
- Mientras que el share de renovables aumenta en el mix energético, la gestionabilidad de la STE es más necesaria y valorada

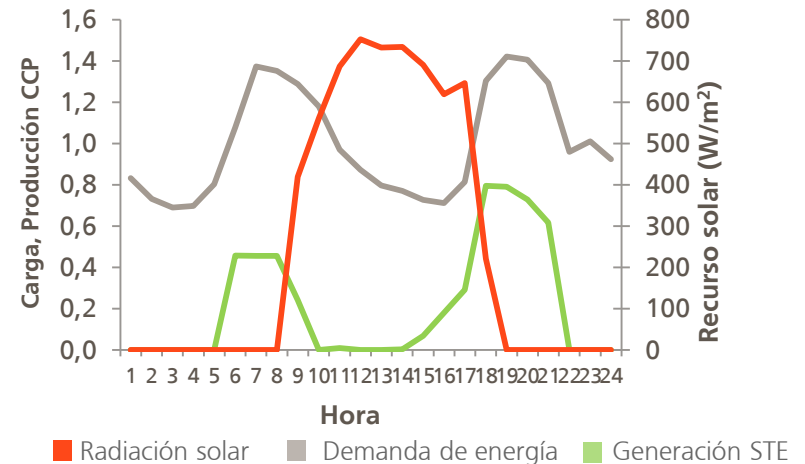
Tecnología STE



Alm.
Energía
térmica

Hibridación
con
combustible
fósil

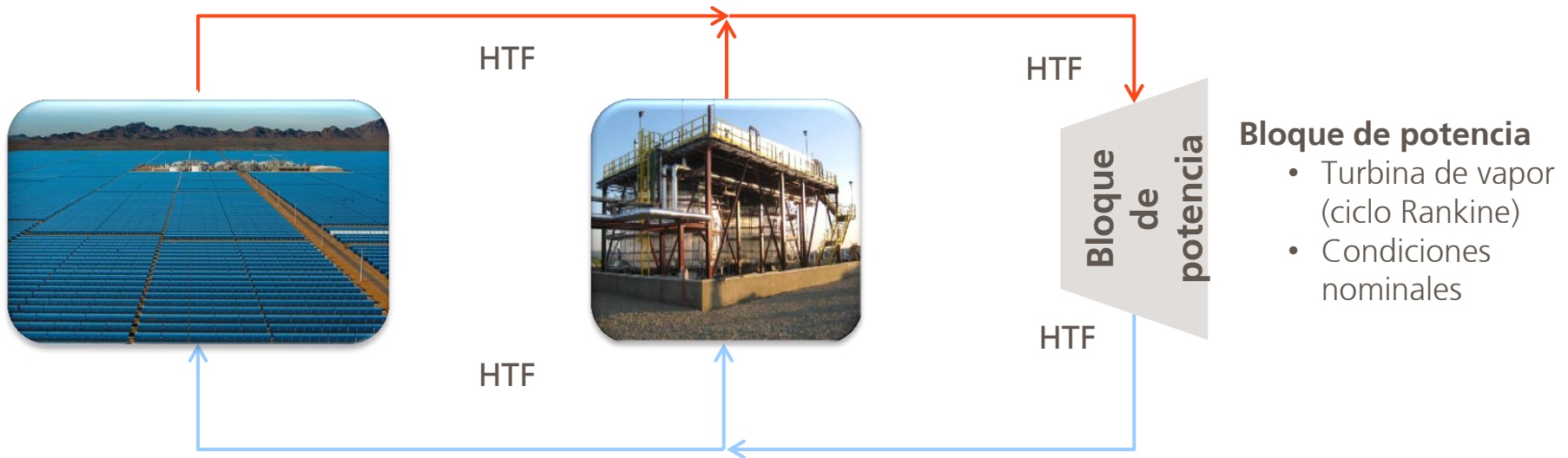
La planta de Abengoa en Arizona Solana, utiliza almacenamiento térmico de energía para gestionar la energía solar para alcanzar los picos APS de invierno



NREL* estima que el valor de la gestionabilidad añade hasta 5 cents/kWh comparado con energía no gestionable

(*) Estudio del NREL "Tradeoffs and Synergies between CSP and PV at High Grid Penetration"

Almacenamiento térmico en centrales solares termoelectricas comerciales



Campo solar

- Sobredimensionado

Sistema de almacenamiento

- Medio de almacenamiento (sales fundidas)
- Directo/indirecto
- Capacidad de almacenamiento (h)

Fluido de transferencia (HTF)

- Aceite térmico (indirecto) o sales fundidas (directo)
- Temperaturas de operación

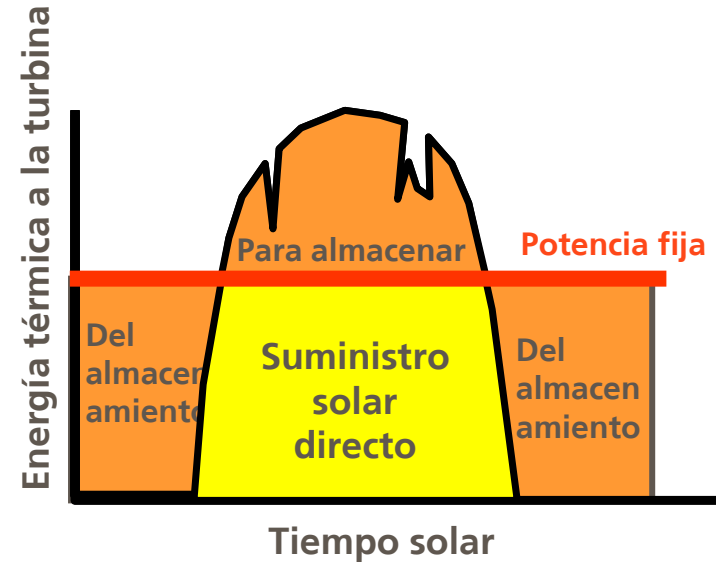
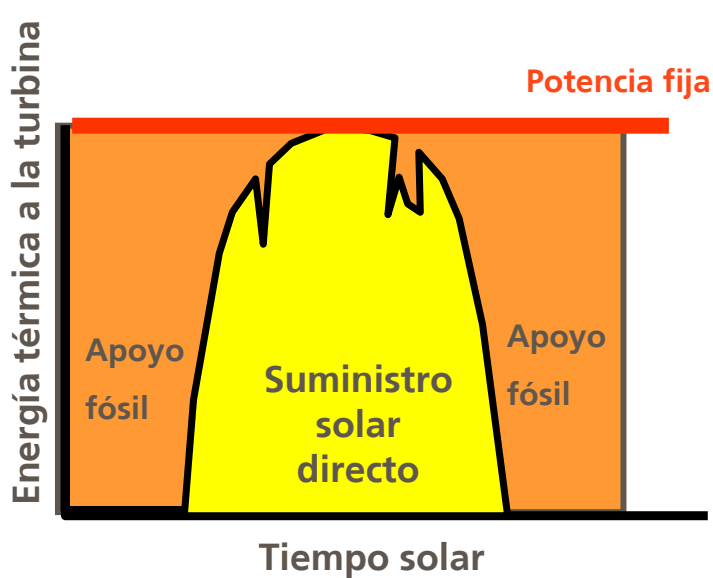
Carga → El campo solar alimenta la turbina y el almacenamiento

Descarga → El almacenamiento debe alimentar el bloque de potencia en condiciones nominales

ABENGOA

Hibridación y almacenamiento en plantas Termosolares

CSP pueden suministrar picos de potencia en periodos estivales cuando la hidroeléctrica y la eólica son más escasas



Almacenamiento en sales fundidas

La energía se almacena en forma de calor sensible

- Existe un cambio de temperatura en el material que almacena la energía → Medio de almacenamiento
- $Q_{\text{SENSIBLE}} = \rho C_p V \Delta T$

La cantidad de calor sensible almacenado depende de:

- El cambio de temperatura: ΔT
- La capacidad térmica del medio: ρC_p [kJ/m³K]
- Cuanto más altos mejor porque se necesita menos material

Posibles medios de almacenamiento en calor sensible:

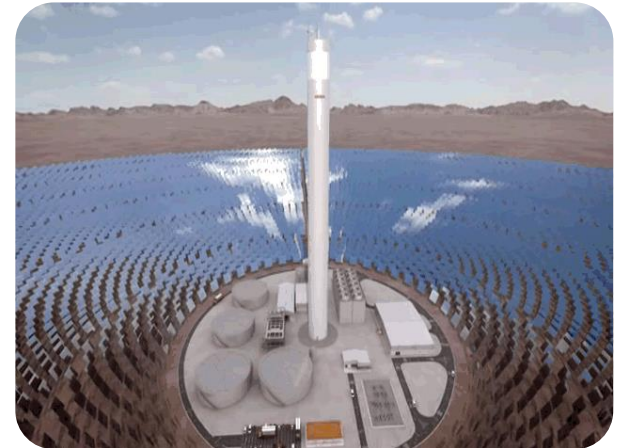
- Agua: $\rho C_p \sim 4200$ kJ/m³K
- Aceites térmicos: $\rho C_p \sim 1900$ kJ/m³ K
- Hormigón: $\rho C_p \sim 2000$ kJ/m³ K
- Sales fundidas: $\rho C_p \sim 2800$ kJ/m³ K → Centrales termosolares



¿Por qué sales fundidas y cuáles se utilizan?

- Mezcla denominada **Sal Solar: wt-60%NaNO₃+40%KNO₃**
- $\rho C_p \sim 2800 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$
- Intervalo de **estabilidad: 240°C-600°C** → Soporta el rango de temperaturas de operación de las centrales termosolares
- **Baja presión de vapor**
- Trabajan a presión atmosférica → Tanques de gran tamaño
- El aceite VP1 NO se puede utilizar → Presión de vapor muy alta
- El agua tampoco: 30bar/230°C; 100bar/311°C
- **Medio seguro:** no explosivo y no contaminante

Utilización a nivel comercial gracias a la experiencia previa demostrada en Solar Two (USA EEUU, 10 MW_e)



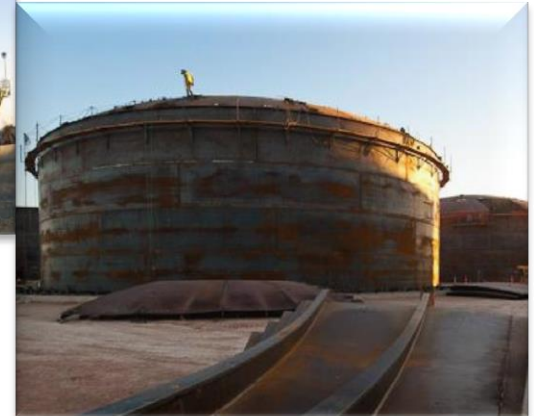
ABENGOA

Ejemplos almacenamiento



Almacenamiento CSIRO:

Almacenamientos cerámicos serán probados para CO₂



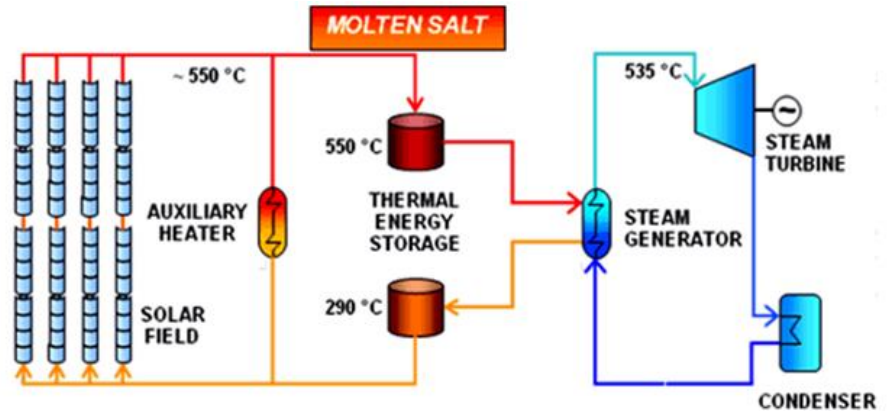
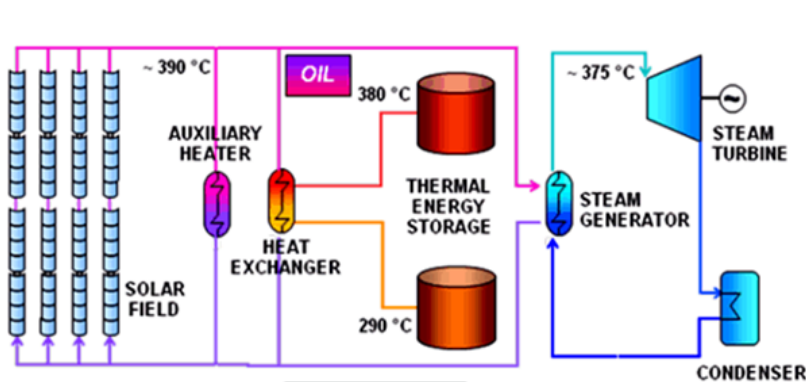
Almacena miento con sales fundidas (MS): la planta piloto de MS ha servido para adquirir la experiencia necesaria para los tanques de almacenamiento de 6h instalados en Solana.



Almacenamiento en vapor:

Almacenamiento de vapor en hormigón empieza a ser validado. El mismo contenedor de hormigón podría utilizarse para sales fundidas.

Almacenamiento en plantas Cilindro parabólico: Sistema de doble tanque



Almacenamiento indirecto

- El fluido de transferencia (HTF) y el medio de almacenamiento son distintos
- HTF: aceite
- Medio de almacenamiento: sal solar
- Es necesario un intercambiador aceite/sal

Almacenamiento directo

- El fluido de transferencia (HTF) es también el medio de almacenamiento: sal solar
- No es necesario un intercambiador aceite/sal
- El fluido siempre pasa por los tanques de almacenamiento

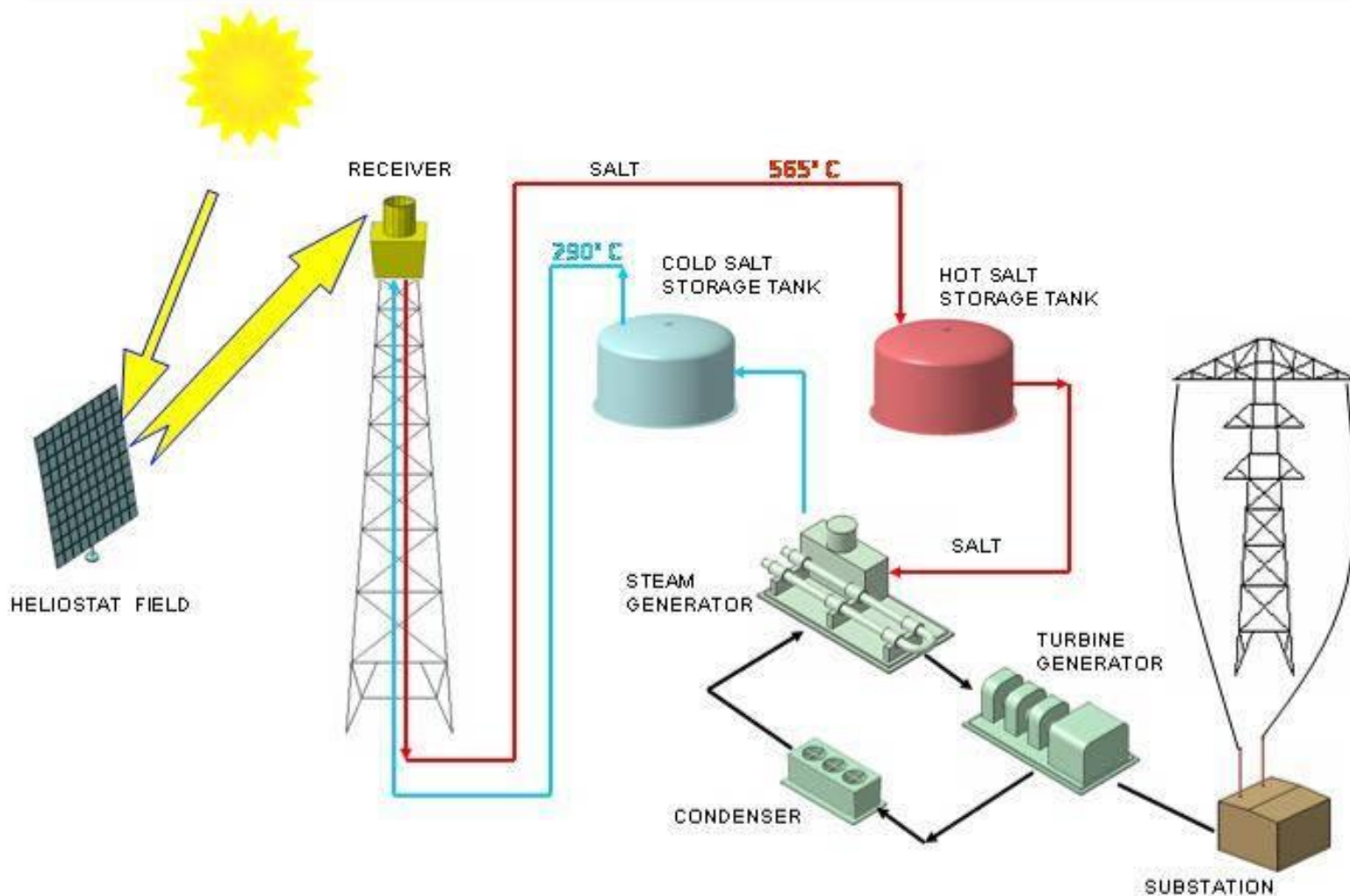
ABENGOA

Solana 280MW + 6h almacenamiento: 7000 hogares



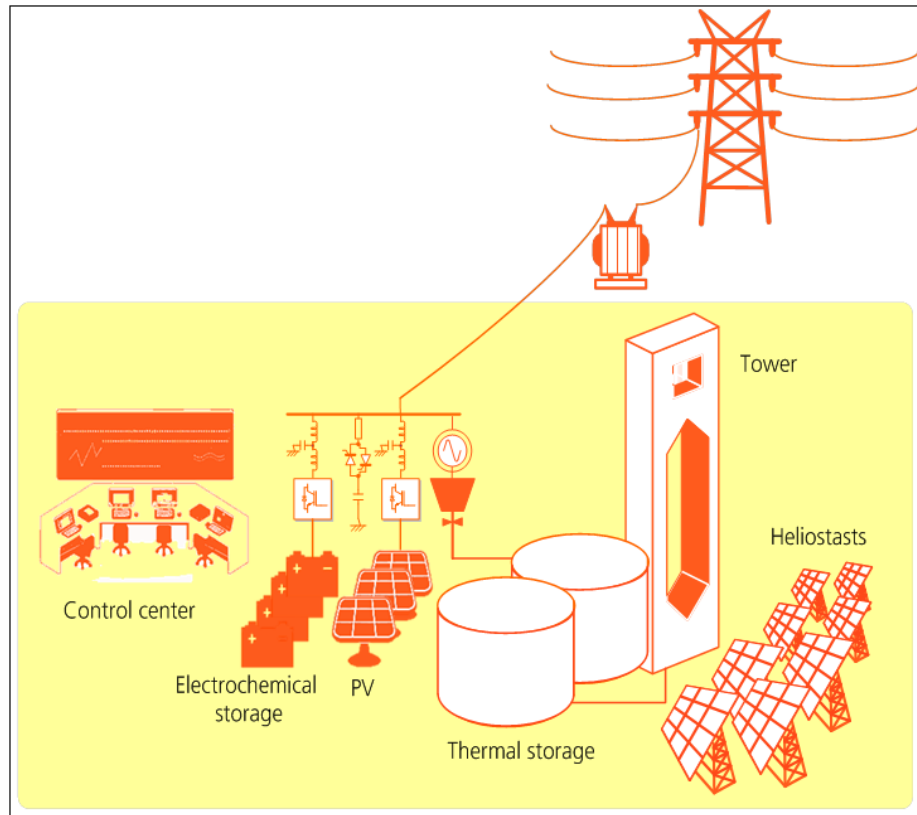
ABENGOA

Esquema de almacenamiento para una Torre



Mejora de la flexibilidad de operación y gestionabilidad de energía

Concepto y diseño avanzado



Sevicios auxiliares

Chile 110MW +17 horas de almacenamiento

Generamos electricidad 24/7

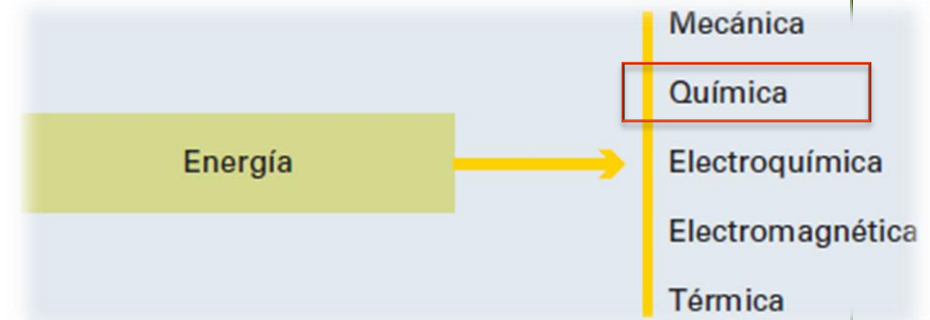


Almacenamiento en Hidrógeno

Soluciones para el Almacenamiento

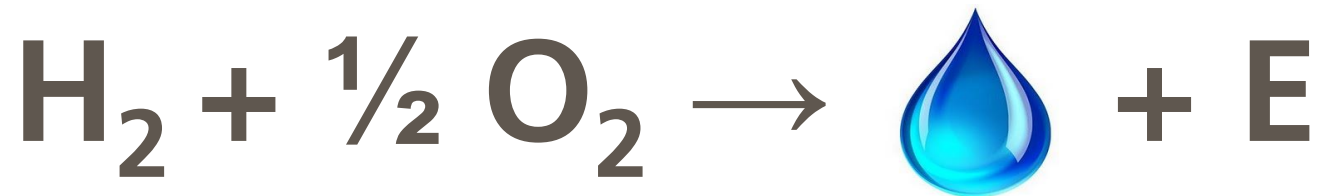


Como solución de almacenamiento de energía, las tecnologías del hidrógeno se contemplan en el marco de los **sistemas químicos**



Hidrógeno como vector energético

El hidrógeno es un gas **combustible**. Puede arder, obteniéndose agua como único residuo. Es, por tanto, un combustible **limpio**, que no emite CO₂ a la hora de su utilización.



No es un recurso, siendo necesario producirlo. Ello supone una ventaja, pudiendo explotarse múltiples vías para su **producción**, permitiendo insistir en la **seguridad** del suministro y en el desarrollo **sostenible**.

El hidrógeno como **vector energético** permite almacenar energía y liberarla cuándo y cómo sea necesaria.

ABENGOA

Hidrógeno como vector energético

Producción de hidrógeno

Producción de energía

A partir de
combustibles

Con agua y energía
(renovable)

Eléctrico (celda de
combustible de baja
 T^a)

Poligeneración (pila
de combustible de
alta T^a)

Technologías

Reformado

Electrolisis

**Pilas de
membrana
electrolítica de
polímero
(PEMFC)**

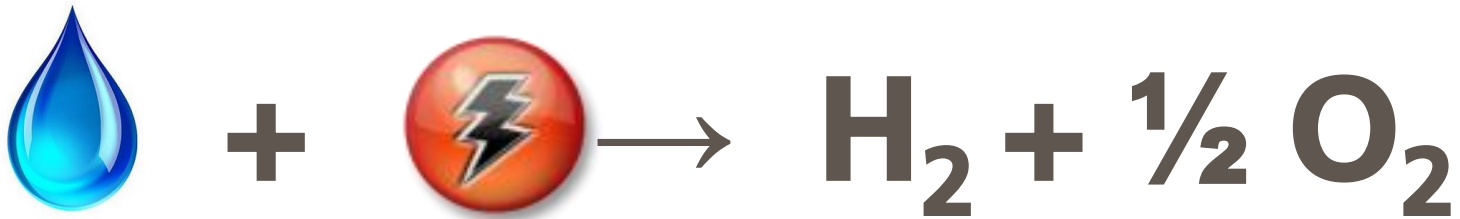
**Pilas de
combustible de
óxido sólido/
carbonatos
fundidos
(SOFC/MCFC)**

Almacenamiento



Hidrógeno para almacenamiento

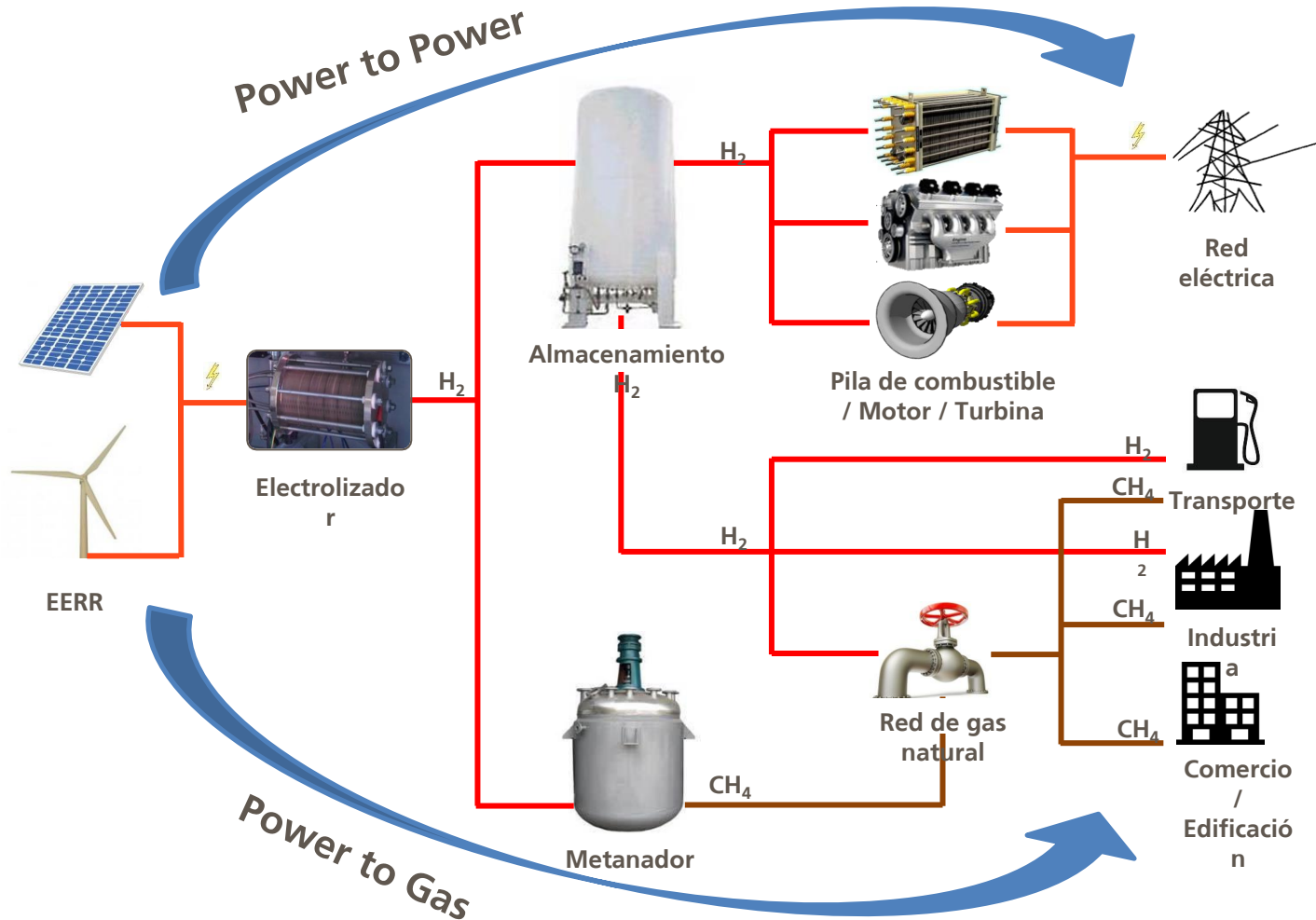
En el proceso de **electrólisis** se produce hidrógeno aplicando corriente eléctrica al agua. Si la electricidad es de origen renovable (solar, eólica, ...), el generado se considera **H₂ limpio**



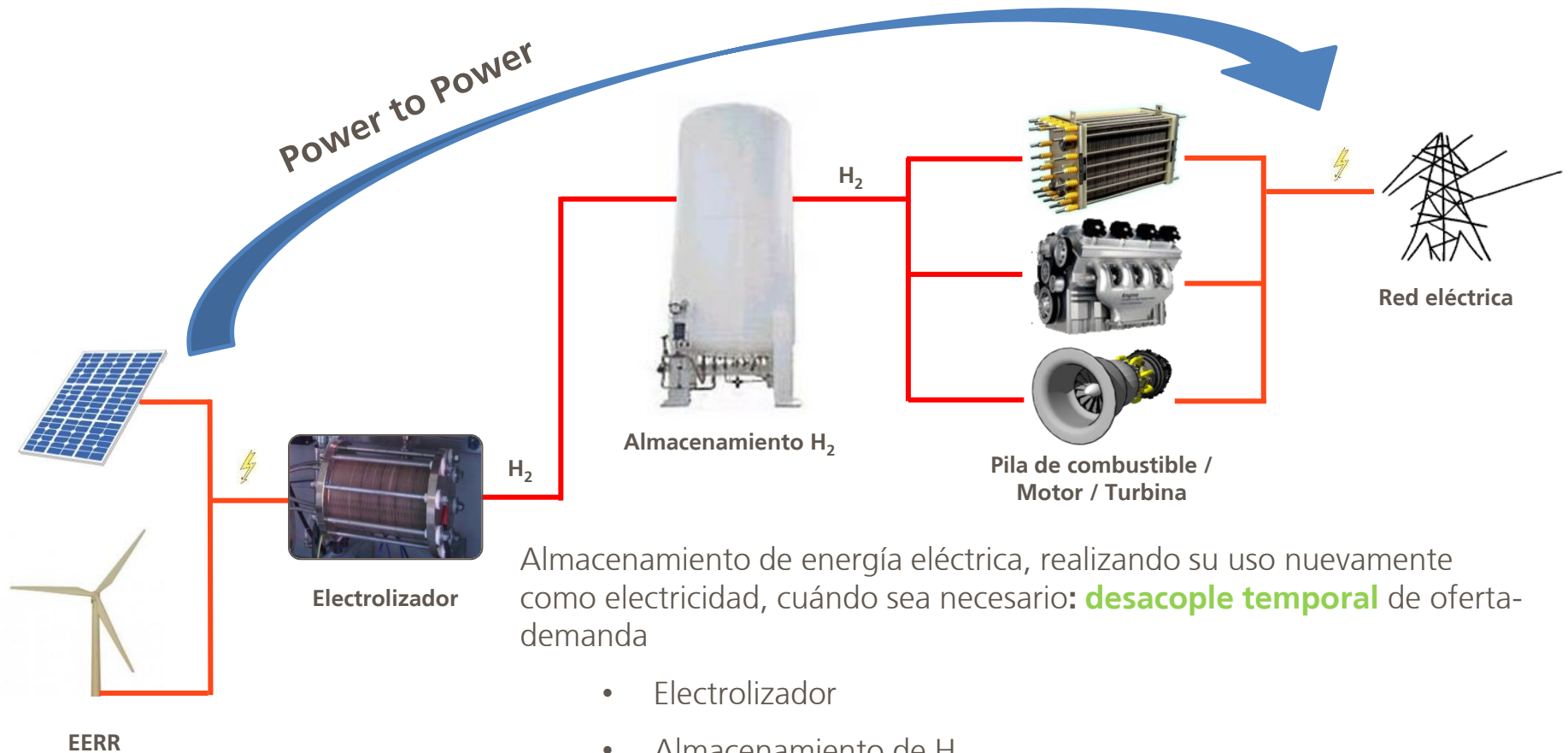
- Existen diferentes **tecnologías**:
 - ✓ Alcalina
 - ✓ PEM (Proton Exchange membrane)
 - ✓ SOEC



Soluciones para el Almacenamiento



Power to Power

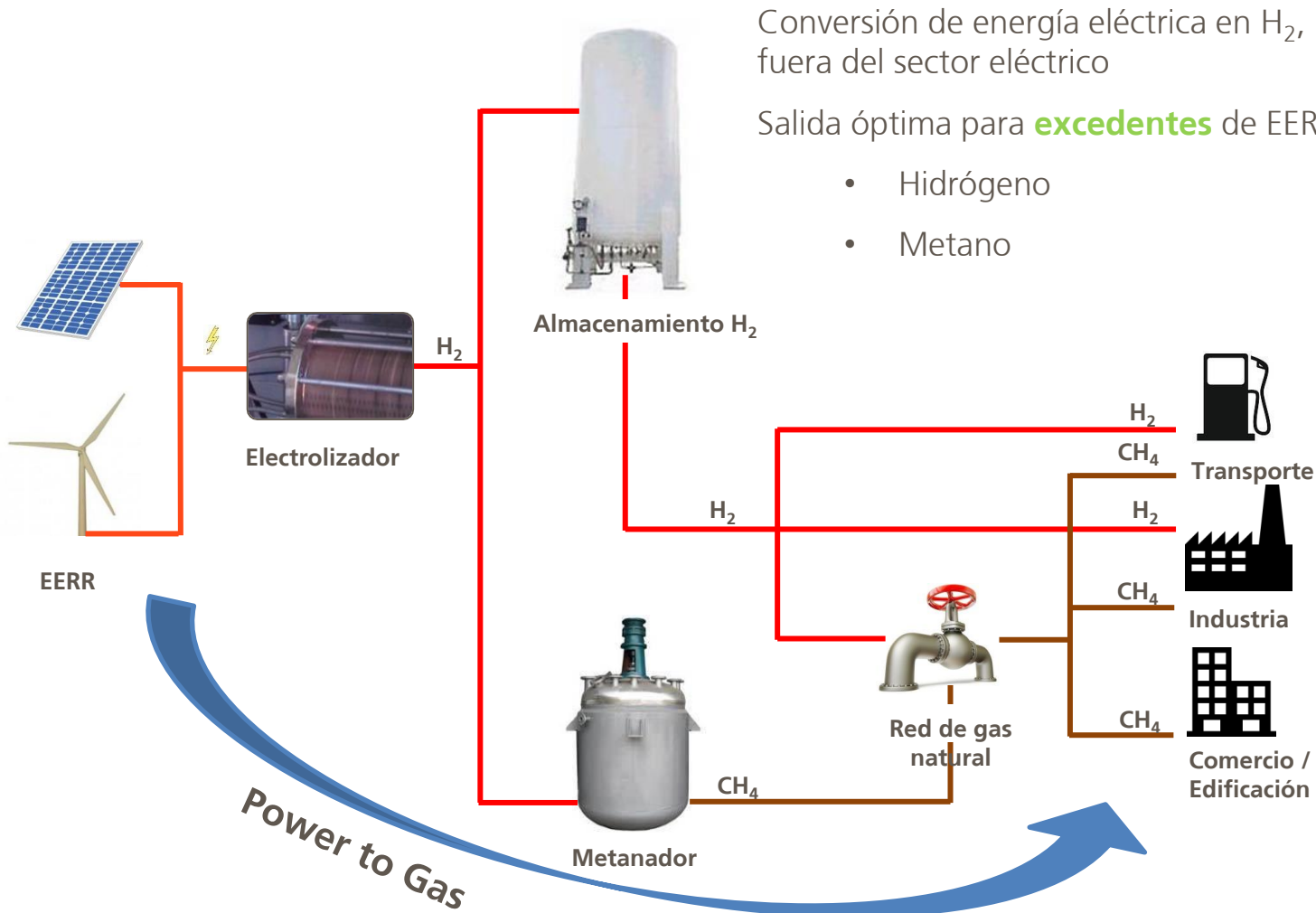


Almacenamiento de energía eléctrica, realizando su uso nuevamente como electricidad, cuándo sea necesario: **desacople temporal** de oferta-demanda

- Electrolizador
- Almacenamiento de H_2
- Pila de combustible o Motor/turbina

Contando con adecuación de potencia eléctrica (I/O)

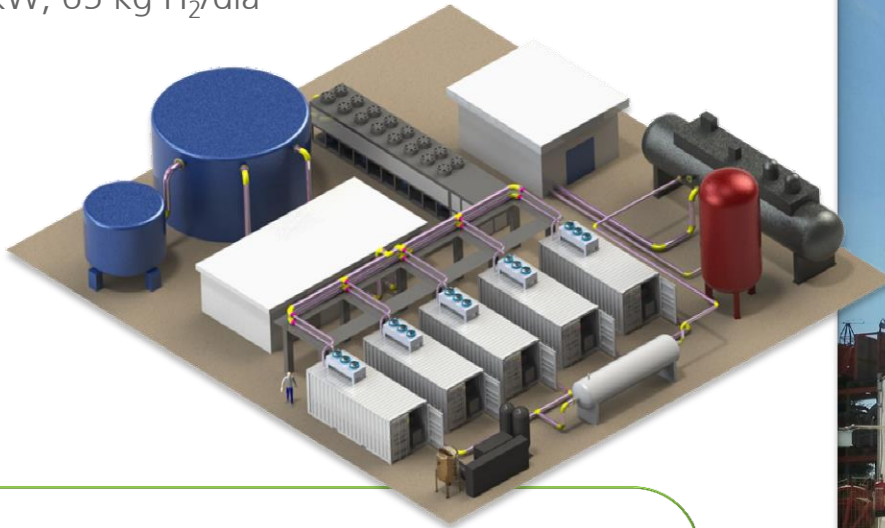
Power to gas



Electrolizador

Sistemas y plantas de producción de H_2 mediante tecnología de electrólisis:

- 6.000 kW, 2.600 kg H_2 /día
- 140 kW, 65 kg H_2 /día



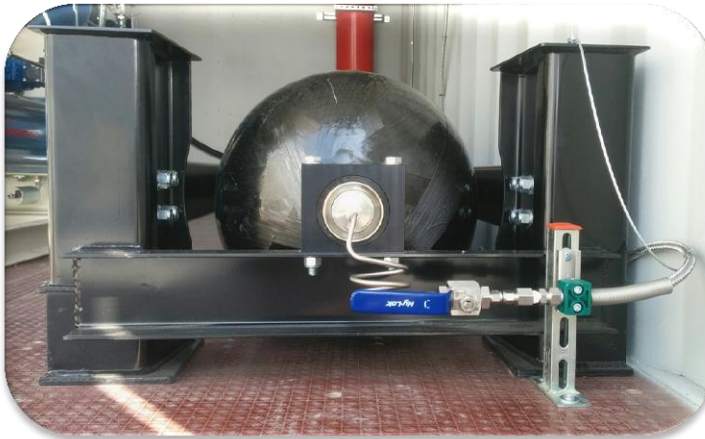
- Eficiencia: acometida, producción
- Modularidad: escalado, transporte, montaje
- Rapidez de respuesta



Almacenamiento de H₂

Se desarrollan sistemas de **hidrógeno comprimido**.

Sistemas de hidrógeno líquido, para grandes requerimientos de almacenamiento de hidrógeno.



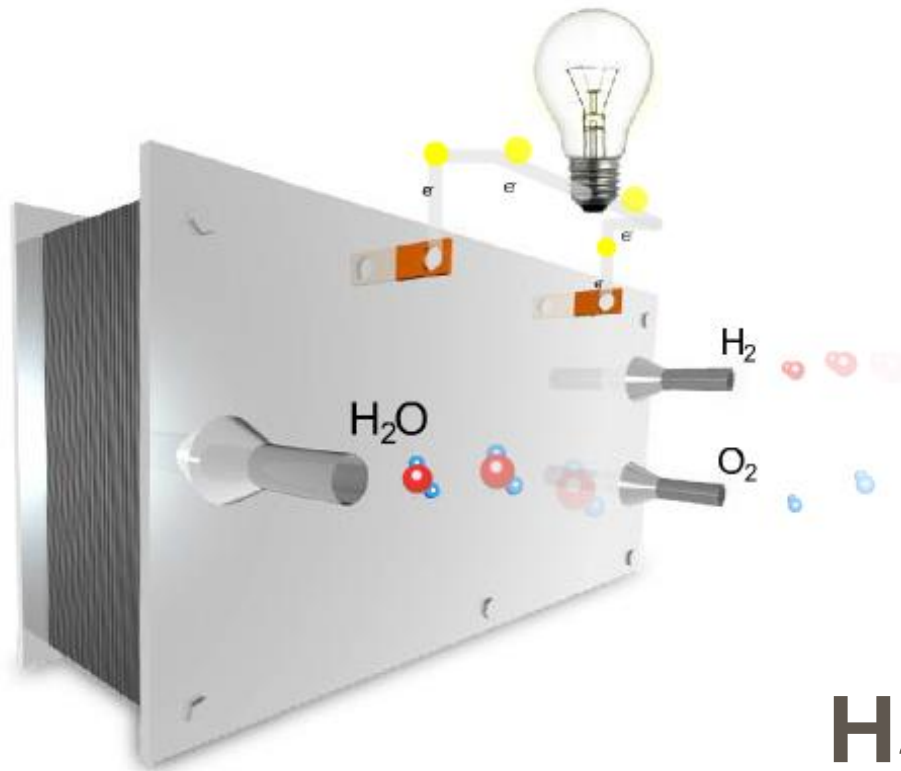
- Presión: consumo, huella
- Pérdidas mínimas

Dentro de soluciones más innovadoras cabe mencionar los sistemas de hidruros metálicos.



Pila de combustible

La **pila de combustible** es el modo más **eficiente** de producir energía eléctrica a partir de un combustible. Convierte directamente su energía química en eléctrica.



Por su propia estructura mecánica, sin partes móviles, es un equipo **fiable**. Por este mismo diseño, es perfectamente **modular** y **escalable**.



Pila de combustible

Existen **diferentes tecnologías** de pila de combustible, capaces de operar a diferentes temperaturas y potencias:

- PEMFC
- SOFC
- MCFC
- PAFC



- Eficiencia: potencia
- Modularidad: escalado
- Rapidez de respuesta

Sistemas y plantas de generación de energía eléctrica con pila de combustible

- 56 kW, PEMFC



Motor y turbina de H₂



- Robustez
- Sin emisiones de CO₂

Otras tecnologías para la generación de energía a partir de hidrógeno:

- Microturbina, 22 kW
- Motor, 5 kW



Eficiencia

Power-to-power



Power-to-gas (blending)



Power-to-gas (methanation)



Power-to-fuel



Note: The numbers denote useful energy; except for gas turbines, efficiencies are based on HHV; the conversion efficiency of gas turbines is based on LHV.

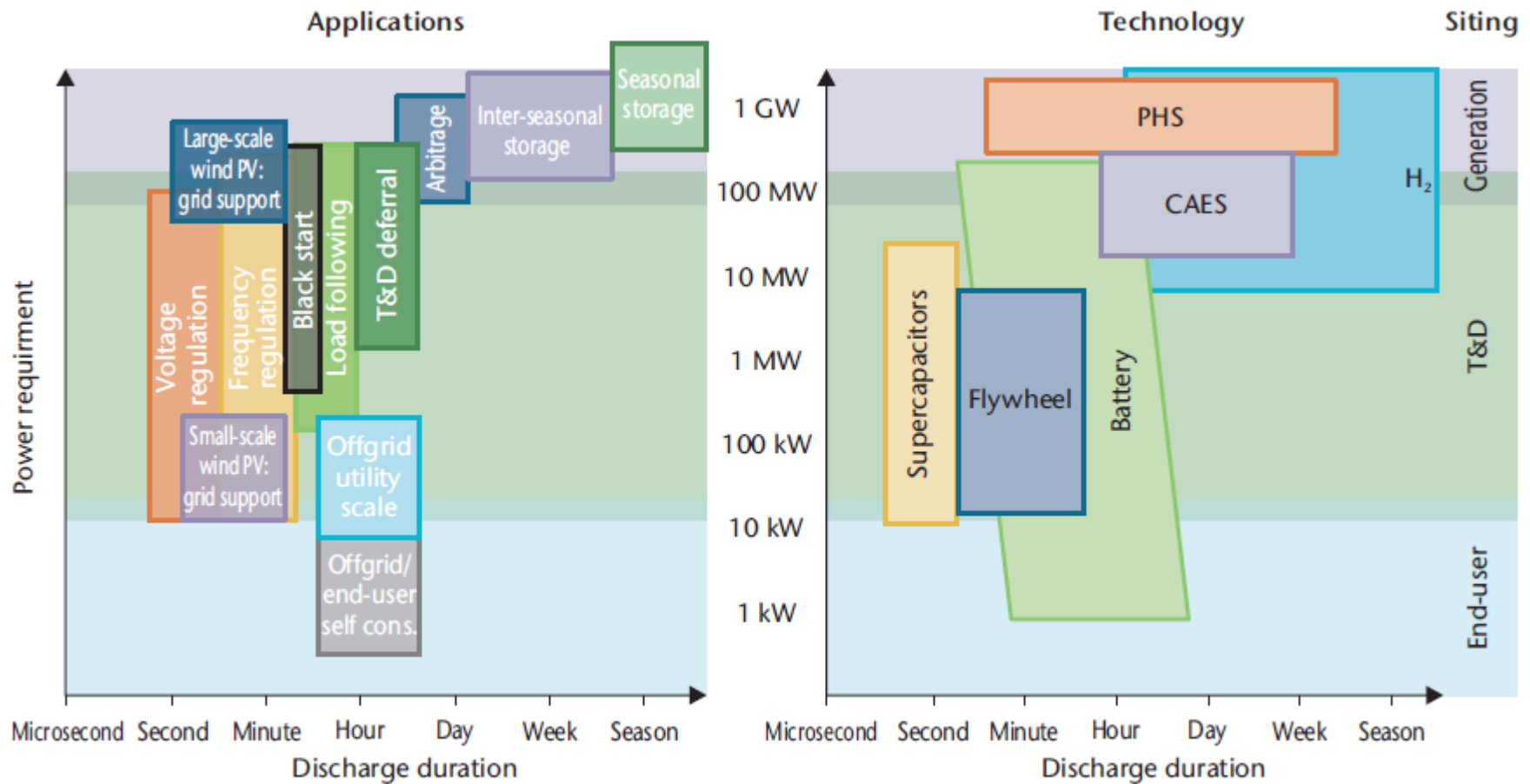
Los equipos individualmente son muy eficientes.

Power to Power requiere varios bloques, lo que penaliza la eficiencia global.

Equipos:

- Electrolizador: >70%
- Almac. de H₂ (compresión): >90%
- Pila de combustible: 50-60%
- Motor/turbina de H₂: 30-35%

Usos de almacenamiento

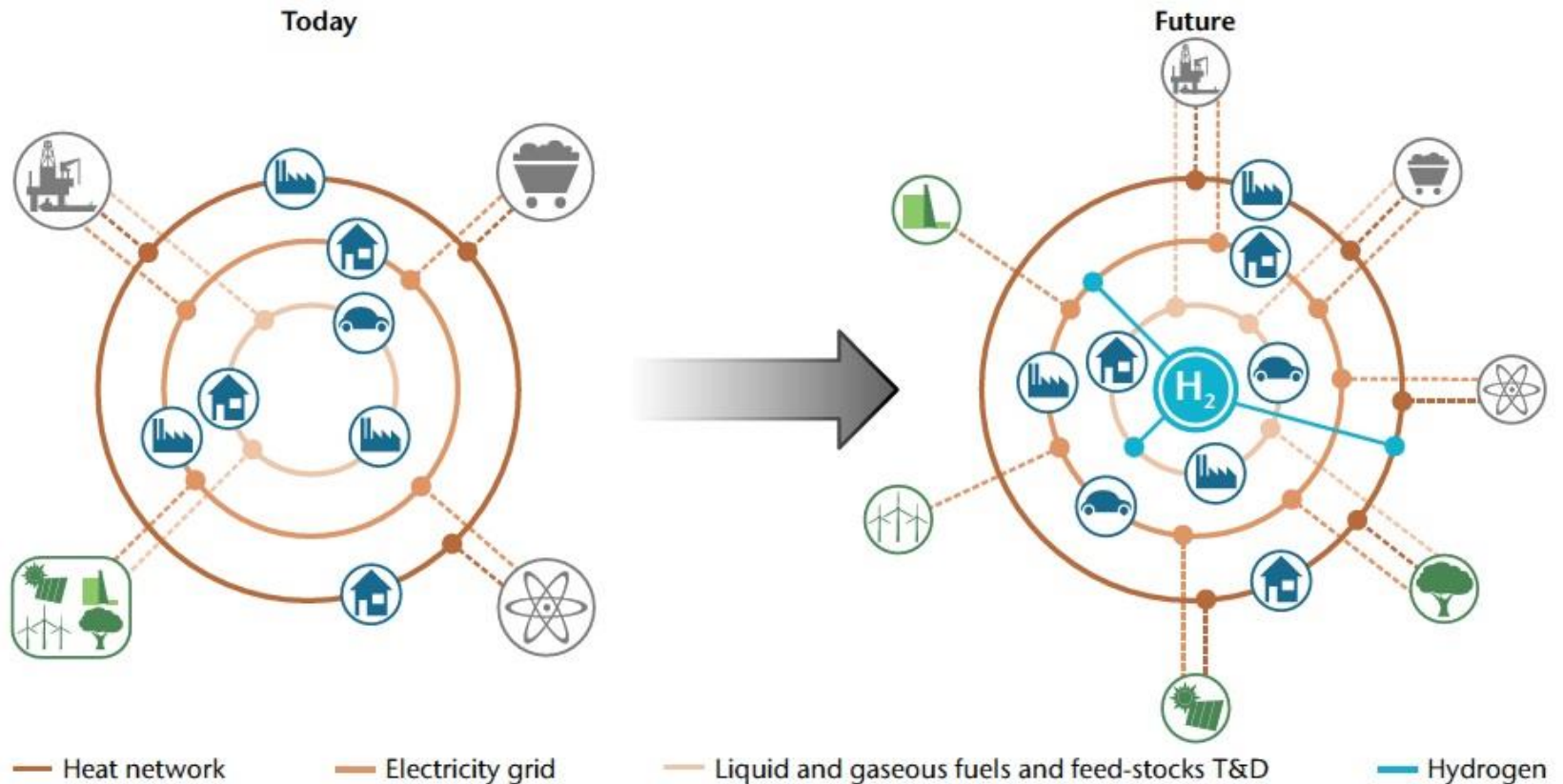


Note: CAES = compressed air energy storage; PHS = pumped hydro energy storage.

Almacenamiento estacional

- Las tendencias señalan al hidrógeno como una solución competitiva en coste (LCOE) para **aplicaciones estacionales de almacenamiento** de EERR
- El hidrógeno no presenta restricciones físicas: es **apto para cualquier localización**
- Para cubrir las **necesidades de arbitraje**, el hidrógeno puede ser competitivo en el caso de precios reducidos de la electricidad
- Los costes de operación del electrolizador dependen en gran medida ($\approx 85\%$) de la electricidad que consume
- El hidrógeno puede permanecer en su depósito de almacenamiento durante días, o incluso meses, sin fugar o perder cualidades

H₂ como vector energético



El hidrógeno permite enlazar las diferentes redes energéticas: electricidad-calor-combustible

Vehículos de H₂

Hidrógeno como combustible para el transporte, promoviendo su **descarbonización**, al sustituir a derivados del petróleo

Un vehículo de pila de combustible es de tipo **eléctrico**



- Autonomía del vehículo: 650 km
- Velocidad máxima: 175 km/h
- Tiempo de recarga del combustible: 3 min
- Almacenamiento de H₂: 2 tanques; 70 MPa; 5,7 wt%
- Pila de combustible: 3,1 kW/L; 114 kW máx.
- Motor eléctrico: 650 V; 113 kW máx.
- Aceleración: 0 a 100 km/h en 9,6 s

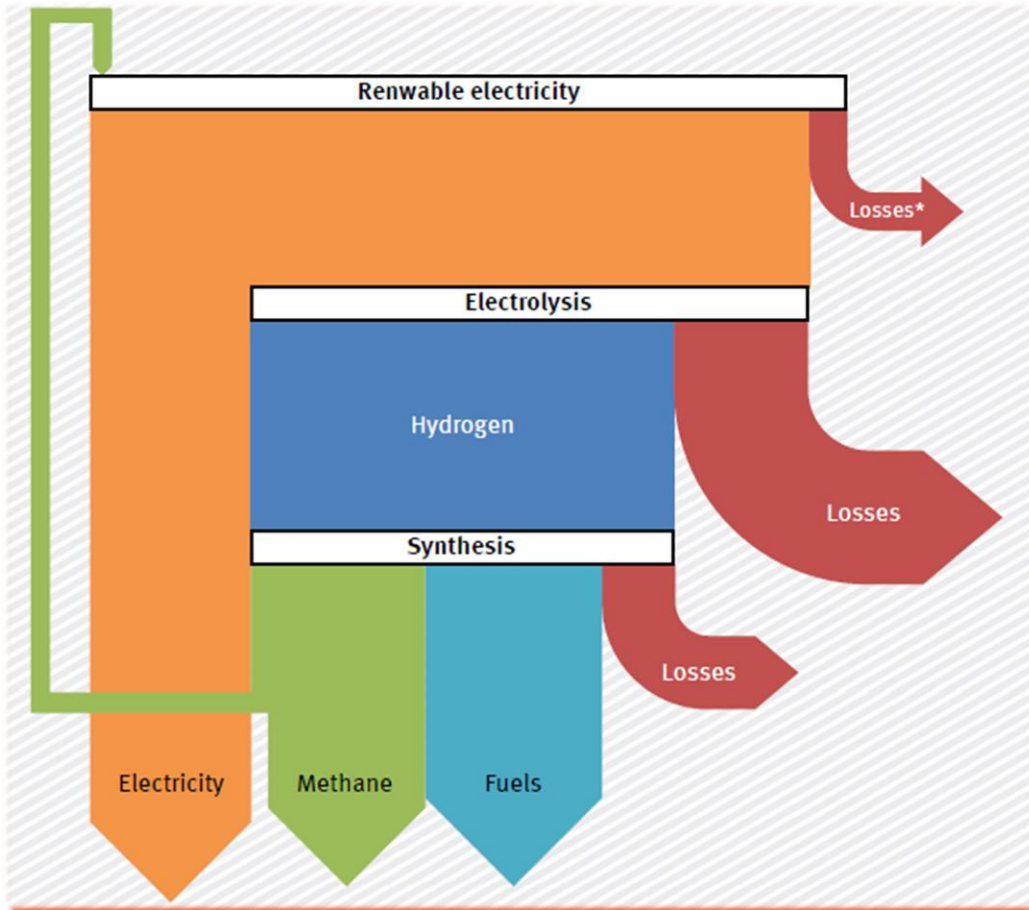
Infraestructura de H₂



- Almacenamiento de H₂
- Compresión (700 bar)
- Dispensador

Se requiere **infraestructura** de suministro de hidrógeno como combustible para el transporte
La operativa de estas estaciones de servicio es igual de **sencilla** que la de las gasolineras convencionales
El **coste** de esta solución de transporte (**TCO**) es comparable al de los vehículos de gasolina

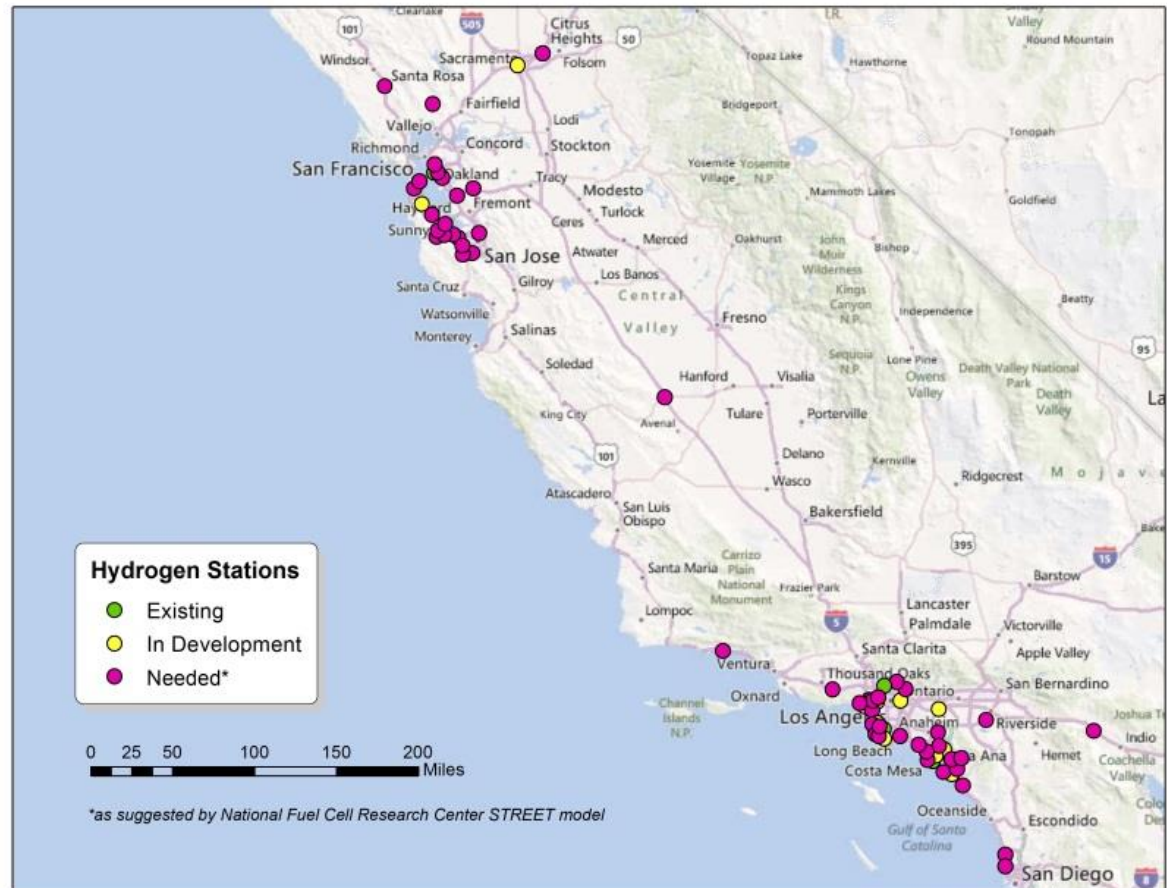
Caso de Alemania



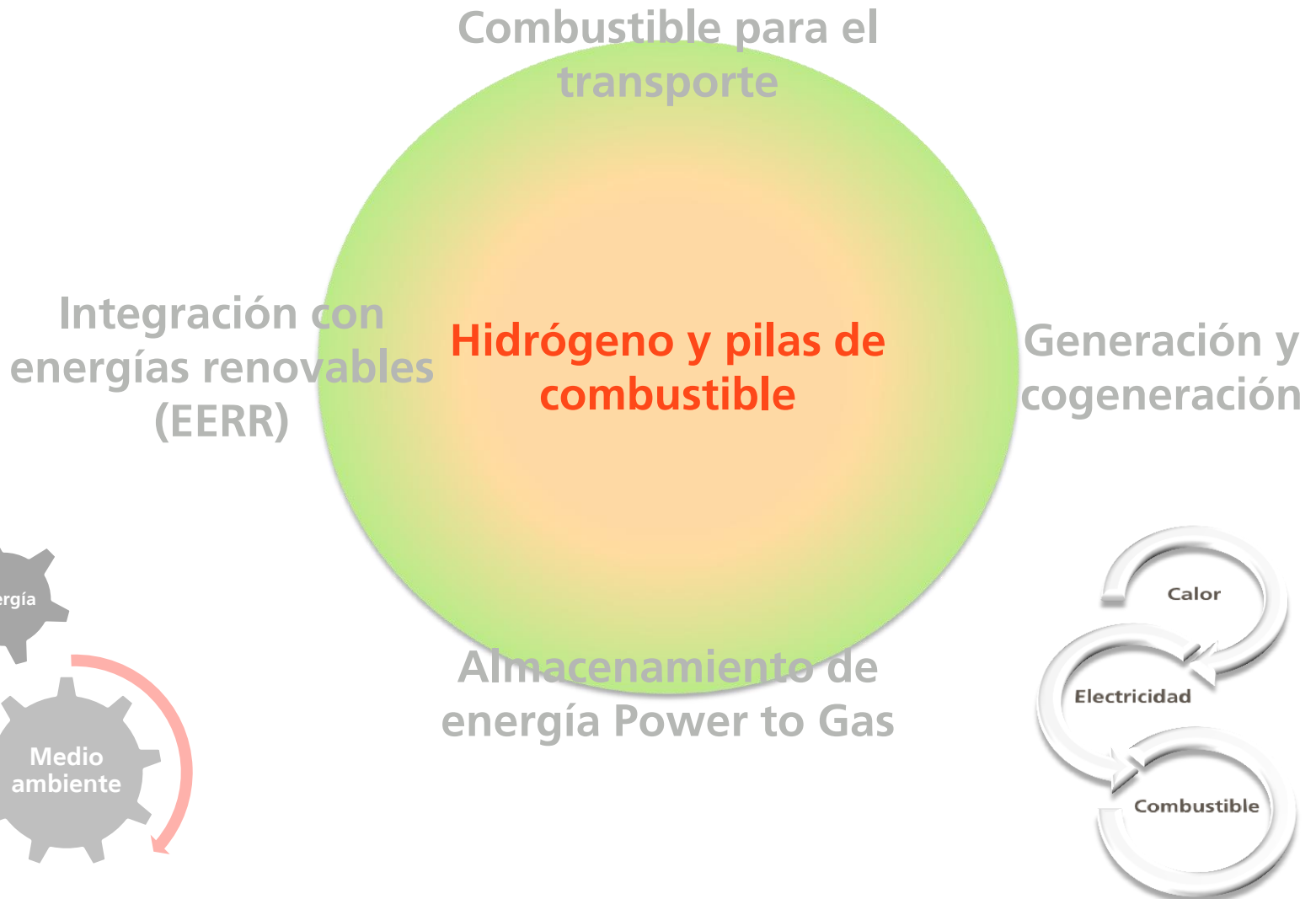
- Doble foco en garantía de la **seguridad** del suministro de energía y reducción de las **emisiones**
- Norte: recursos
- Sur: área industrial
- **Infraestructura** de gas

Caso de California

- Solución a un problema de **polución** ambiental urbana
- Disponibilidad de recursos: **EERR**
- Descarbonización del **transporte**
- Hidrógeno renovable: 33% mín.



Economía del Hidrógeno



ABENGOA

innovative technology solutions for
sustainability

