



# ALMACENAMIENTO

ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS

## RESUMEN EJECUTIVO

**GIA**

Grupo Interplataformas  
de Almacenamiento



# AGRADECIMIENTOS

Han participado en la elaboración de este documento:

## **Coordinadores:**

*Luis Manuel Santos Moro (EDP),  
Enrique Morgades Prat (CIRCE/FUTURED),  
Lucía García Gómez (Colaboradora EDP)*

## **Grupo de Regulación:**

*Enrique Morgades Prat (CIRCE/FUTURED)  
Luis Miguel Lou (CIRCE), Luis Manuel Santos Moro (EDP), María Luisa Soria García-Ramos (M2F), Cristina Gómez Simón (REE), Moisés Labarquilla y Eduardo Collado (UNEF).*

## **Grupo de Integración:**

*Raquel Garde Aranguren (CENER)  
Aitor Milo (IK4-Ikerlan), José Ángel Alzola (Tecnalia), Beatriz Ruiz Castelló (Jofemar), Eduardo López González (INTA), Miguel Ángel Pérez (Zigor), Francisco José Pérez Nieto (Inabensa), Luis Fontán Agorreta (CEIT), Anabel Soria Esteve (ITE), Milan Prodanovic (IMDEA Energía), Pablo Fontela (Endesa), Luis Fernandez Beites (ETSII/UPM), Cristina Gómez Simón (REE).*

## **Grupo de Almacenamiento Electroquímico:**

*Jesús Palma del Val (Instituto IMDEA Energía)  
Patricio Peral (Albufera Energy Storage), Lola Maldonado, Cristina Luengo y José Castellanos (CIC Energigune), Francisco Trinidad (Exide), Cristina Flox y Juan Ramón Morante (Fundació Institut de Recerca en Energía de Catalunya - IREC), Miguel Bengoechea y Óscar Miguel (IK4-CIDETEC), Aitor Milo y Unai Viscarret (Ikerlan S. Coop.), Maddi Sánchez y Carlos Zuazo (IK4-Tekniker), María del Mar García Maestre (Instalaciones Inabensa S.A), Rafael Moliner (Instituto de Carboquímica - CSIC), Eduardo López González (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial - INTA), María Rivas Ardisana (ISASTUR) Beatriz Ruiz Castelló (JO-FEMAR), Christophe Aucher (LEITAT), María Luisa Soria García-Ramos (M2F/SERNAUTO), Manuela González*

*Vega (Universidad de Oviedo - Grupo de investigación en baterías y nuevos sistemas de almacenamiento de energía), Raquel Ferret (ZIGOR).*

## **Grupo de Almacenamiento Químico:**

*Juan Ramón Morante (Fundació Institut de Recerca en Energía de Catalunya - IREC)  
Cristina Flox y Juan Ramón Morante (Fundació Institut de Recerca en Energía de Catalunya - IREC).*

## **Grupo de Almacenamiento Térmico:**

*Ana Lázaro Fernández (Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón - Universidad de Zaragoza)  
Belén Zalba Nonay (Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón - Universidad de Zaragoza), Álvaro Campos Celador y Aitor Urresti (Universidad del País Vasco), José A. Almendros Ibañez (Universidad Castilla La Mancha), Jesús M. Goiri y Lola Maldonado (CICenergiGUNE), Lluisa Cabeza y Laia Miró (Universidad de Lleida), Jesús Esarte (Fundación CETENA-CEMITEC), José González-Aguilar (Instituto IMDEA Energía), Stefan Remke (SOLCESS).*

## **Grupo de Almacenamiento Mecánico:**

*Luis García-Tabarés Rodríguez (CIEMAT)  
Carlos Tobajas Guerra (ADIF), Marcos Lafoz Pastor (CIEMAT), Iñigo Extaniz (TEKNIKER), Francisco Pérez Nieto y Javier Marín (INABENSA), Francisco Díaz (IREC), María Luisa Soria García-Ramos (M2F/SERNAUTO), Francisco Blázquez García, Giovanna Cavazzini, Jesús Fraile Ardanuy, Carlos Platero Gaona, Juan Ignacio Pérez Díaz y José Ángel Sánchez Fernández (Universidad Politécnica de Madrid).*

## **Grupo de Almacenamiento Magnético:**

*Xavier Granados (ICMAB-CSIC)  
Xavier Obradors y Teresa Puig (ICMAB-CSIC), Josep López-López (Universidad Politécnica de Cataluña) Alfredo Álvarez García (Universidad de Extremadura).*

*En cursiva aparecen los líderes de cada Grupo de Almacenamiento.*

# Tabla de conte

06

## I. INTRODUCCIÓN

07

## II. GRÁFICO POTENCIA-ENERGÍA

08

## III. GRÁFICO DE COSTES DE LAS TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO

10

### 1. CONCLUSIONES GRUPO DE REGULACIÓN

- Consideración del almacenamiento de energía desde el punto de vista regulatorio
- Estado actual en España, Europa y el resto del mundo
- Instalaciones de demostración y proyectos de I+D+i
- Aspectos regulatorios de las tecnologías inmaduras

14

### 2. CONCLUSIONES GRUPO DE INTEGRACIÓN EN RED Y APLICACIONES

- Aplicaciones del almacenamiento de energía
- Estrategias de operación y electrónica de potencia
- Impacto en las redes de los sistemas de almacenamiento de energía
- Retos para la integración en red

19

### 3. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO ELECTROQUÍMICO

- Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level* (TRL)
- Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento electroquímico
- Retos para el desarrollo de las tecnologías
- Impacto ambiental
- Hibridación con otras tecnologías

24

### 4. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO QUÍMICO

- Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level* (TRL)
- Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento químico
- Retos para el desarrollo de las tecnologías
- Impacto ambiental
- Hibridación con otras tecnologías

29

### 5. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO

- Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level* (TRL)
- Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento térmico
- Retos para el desarrollo de las tecnologías
- Impacto ambiental
- Hibridación con otras tecnologías

34

### 6. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO MÉCANICO

- Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level* (TRL)
- Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento mecánico
- Retos para el desarrollo de las tecnologías
- Impacto ambiental
- Hibridación con otras tecnologías

40

### 7. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO MÁGNETICO

- Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level* (TRL)
- Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento magnético
- Retos para el desarrollo de las tecnologías
- Impacto ambiental
- Hibridación con otras tecnologías

## ANEXOS

46

### AI. Escala TRL

47

### AII. Análisis del estado de patentes

- Almacenamiento electroquímico
- Almacenamiento Químico
- Almacenamiento Térmico
- Almacenamiento Mecánico
- Almacenamiento Magnético

56

### AIII. Resumen de capacidades y proyectos en España

57

### AIV. Entidades participantes

61

### AV. Glosario de términos

## LISTADO DE TABLAS

1. Grado de madurez tecnologías almacenamiento electroquímico **20**
2. Retos a superar por las tecnologías de almacenamiento electroquímico **22**
3. Principales impactos ambientales tecnologías almacenamiento electroquímico **23**
4. Posibilidades de hibridación con otras tecnologías **23**
5. Grado de madurez de las tecnologías de almacenamiento químico **25**
6. Costes actuales y estimados de las tecnologías de almacenamiento químico **26**
7. Retos para el desarrollo de las tecnologías de almacenamiento químico **27**
8. Impactos ambientales generados por las tecnologías de almacenamiento químico **28**
9. Grado de madurez de las tecnologías de almacenamiento térmico, ejemplos en función de la aplicación **30**
10. TRL de las tecnologías de almacenamiento cinético y potencial **35**
11. Costes de generación de las tecnologías de almacenamiento mecánico **36**
12. Retos a superar por las tecnologías de almacenamiento mecánico **37**
13. Madurez de la tecnología SMES **41**
14. Relación de capital invertido por unidad de energía respecto a su relación a la potencia instalada **42**
15. Correspondencia de los TRL con el entorno, tipo y fase del proyecto **46**
16. Principales países generadores de patentes por tecnología de almacenamiento electroquímico **47**
17. Principales países generadores de patentes por tecnología de almacenamiento químico **50**
18. Principales países generadores de patentes por tecnología de almacenamiento térmico **52**
19. Principales países generadores de patentes por tecnología de almacenamiento mecánico **54**
20. Principales productores de patentes de almacenamiento magnético **55**

## LISTADO DE FIGURAS

1. Costes de inversión por unidad de potencia y energía convencionales **07**
2. Propuesta de costes de inversión por unidad de potencia y energía según las conclusiones del GIA **07**
3. Costes de inversión por unidad de potencia y energía convencionales **08**
4. Propuesta de costes de inversión por unidad de potencia y energía según las conclusiones del GIA **08**
5. Evolución esperada del coste de la energía almacenada en función de la potencia total **09**
6. Costes de inversión por unidad de potencia recuperada y energía **09**
7. Distribución de las diferentes aplicaciones **15**
8. Principales problemas específicos para la integración en red de los sistemas de almacenamiento **16**
9. Impacto en las redes de los sistemas de almacenamiento **17**
10. Costes de operación por tecnologías **21**
11. Tecnologías de almacenamiento térmico **29**
12. Costes de las principales tecnologías de almacenamiento térmico **31**
13. Retos a superar por las tecnologías de almacenamiento térmico **32**
14. Resultado de la evaluación con el Ecoindicador 99 de una fachada ventilada sin y con PCM (Gracia *et al.* 2014) **33**
15. Hibridación de tecnologías térmicas de almacenamiento de calor **33**
16. Principales impactos ambientales de las tecnologías de almacenamiento mecánico **38**
17. Posibilidades de hibridación de las tecnologías de almacenamiento mecánico **39**
18. Principales retos a los que se enfrentan las tecnologías de almacenamiento magnético **43**
19. Impacto ambiental de las tecnologías de almacenamiento magnético **44**
20. Número de patentes por tecnología de almacenamiento electroquímico **49**
21. Número de patentes por tecnología de almacenamiento químico **51**
22. Número de patentes por tecnología de almacenamiento térmico **53**
23. Número de patentes por tecnología de almacenamiento mecánico **54**
24. Número de patentes de almacenamiento magnético **55**
25. Número de proyectos por tecnologías en España **56**

# I. INTRODUCCIÓN

El almacenamiento de energía está llamado a ser uno de los factores clave en la nueva sociedad, en especial en lo que a las redes eléctricas inteligentes se refiere, para dar soporte a los nuevos retos sociales a los que ésta se enfrenta. Este hecho está recogido en el Documento de Visión 2030 de FutuRed.

La Comisión Europea, en el programa Horizon 2020 de investigación y desarrollo, reconoce la relevancia futura del almacenamiento y prevé realizar un esfuerzo importante en el marco de las Smart Grids para desarrollo de tecnologías de almacenamiento. En el SET Plan de 2007, ya se reconocía la necesidad de avanzar en la rentabilidad del almacenamiento como un reto a superar por la UE en la década 2007-2017. Posteriormente, la *European Energy Research Alliance* lanzó en 2011 un *Joint Programme de Energy Storage* para apoyar el desarrollo de proyectos en este ámbito.

Sin embargo, a nivel nacional, no hay ninguna iniciativa que aglutine a los actores relevantes en el sector del almacenamiento energético, siendo necesario coordinar a las diferentes entidades que lo conforman, ya que éste tendrá un papel cada vez más relevante, aunque sin crear una nueva Plataforma.

En este marco, nace el Grupo de Interplataformas de Almacenamiento-GIA. El GIA está formado por diversas entidades que por su actividad están relacionadas de alguna forma con el almacenamiento de energía. Conforman el grupo entidades públicas y privadas del

ámbito empresarial y de la investigación. Se conjugan así los intereses de todos los sectores implicados.

Este documento pretende resumir las principales conclusiones obtenidas durante el desarrollo del trabajo del Grupo de Interplataformas de Almacenamiento, que se compone a su vez de 7 subgrupos de trabajo en función de sus objetivos:

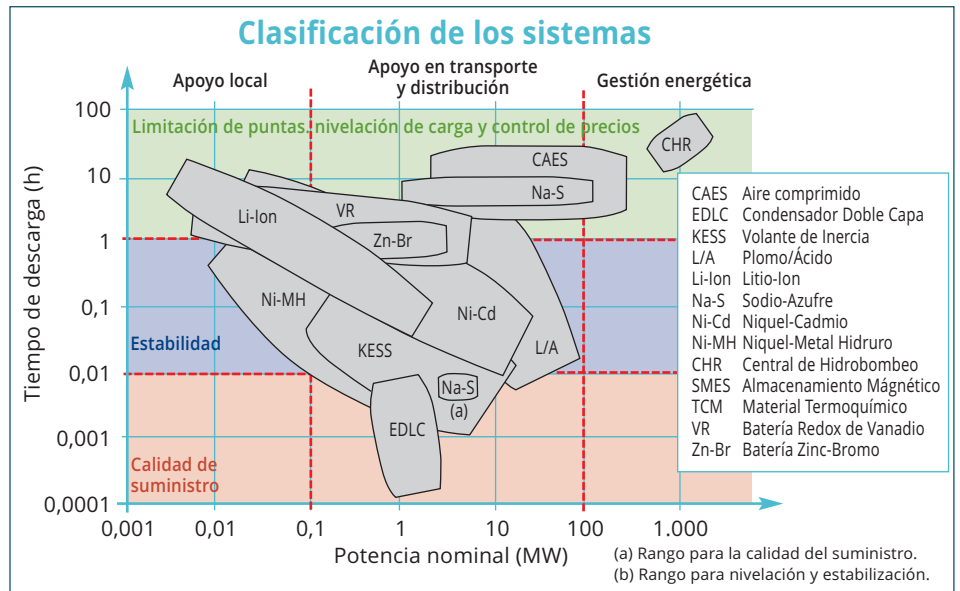
- **Subgrupo de Regulación:** donde se contemplan los aspectos regulatorios del almacenamiento de energía tanto en España, como en Europa y el resto del mundo.
- **Subgrupo de Integración en red y aplicaciones:** en este capítulo se recogen los aspectos necesarios para integrar el almacenamiento en la red.
- **Subgrupos de tecnologías existentes:** en estos grupos se han estudiado las distintas tecnologías existentes desde un punto de vista crítico, definiendo sus costes operativos y los principales retos a superar para ser tecnologías competitivas en el futuro. Estos grupos son:
  - Almacenamiento Electroquímico
  - Almacenamiento Químico
  - Almacenamiento Térmico
  - Almacenamiento Mecánico
  - Almacenamiento Magnético

A lo largo de este documento, se describirán brevemente las principales conclusiones de cada uno de los capítulos.

# II. GRÁFICO POTENCIA-ENERGÍA

En general, el gráfico potencia-energía se ajusta bien a los datos disponibles y que se pueden observar en la Figura 1. No obstante, se pueden sugerir algunos cambios para algunas tecnologías a fin de actualizar tanto los tiempos de descarga como los valores de potencia nominal.

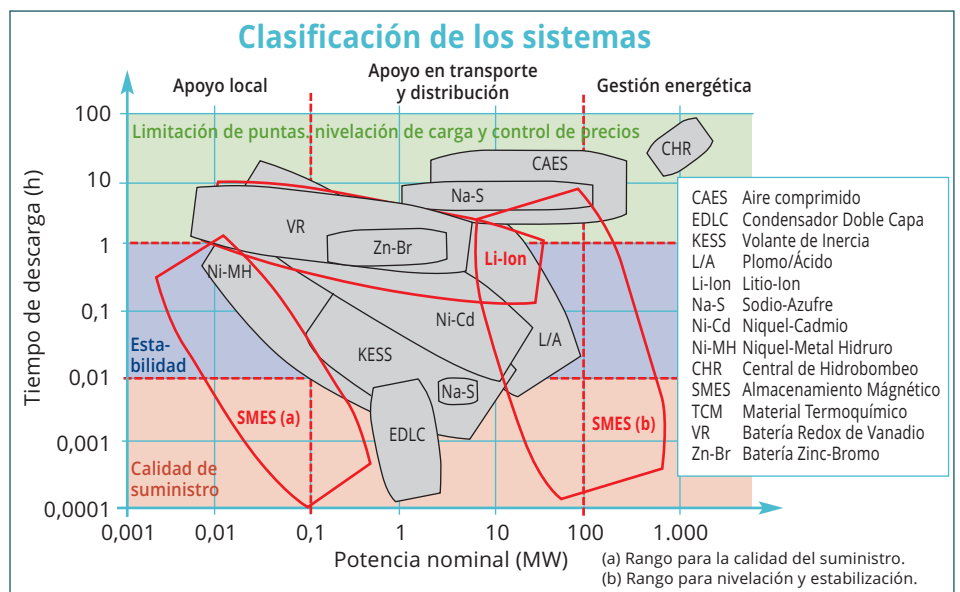
Figura 1. Costes de inversión por unidad de potencia y energía convencionales.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Electricity Storage Association. www.electricitystorage.org.

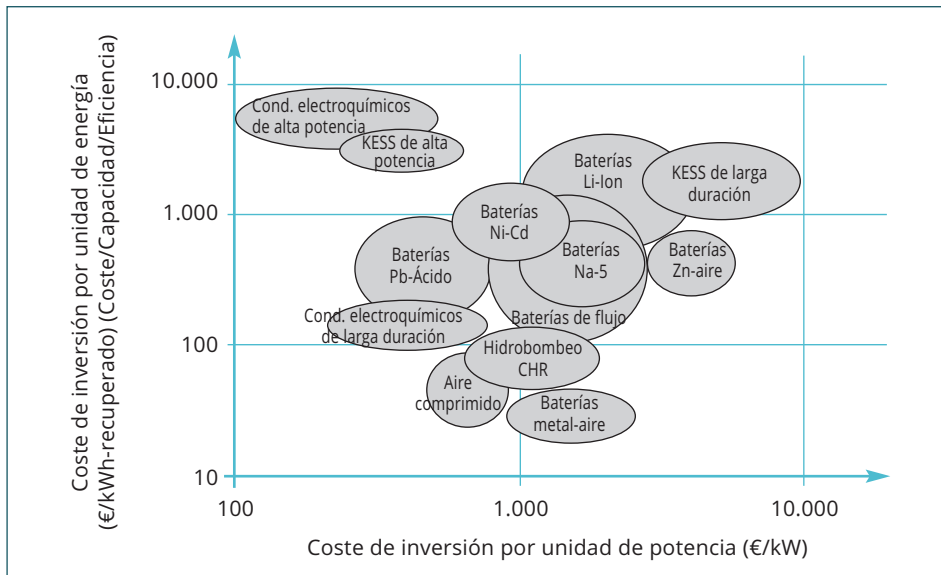
Debe tenerse en cuenta que estos datos no son exactos, sólo orientativos, ya que dependen tanto de la tecnología empleada como del diseño de la instalación, pero desde nuestro punto de vista, se ajusta más a la realidad actual lo indicado en la Figura 2.

Figura 2. Propuesta de costes de inversión por unidad de potencia y energía según las conclusiones del Grupo de Interplataformas de Almacenamiento.



Fuente: EElaboración propia a partir de los datos compilados durante el trabajo del GIA

# III. GRÁFICO DE COSTES DE LAS TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO

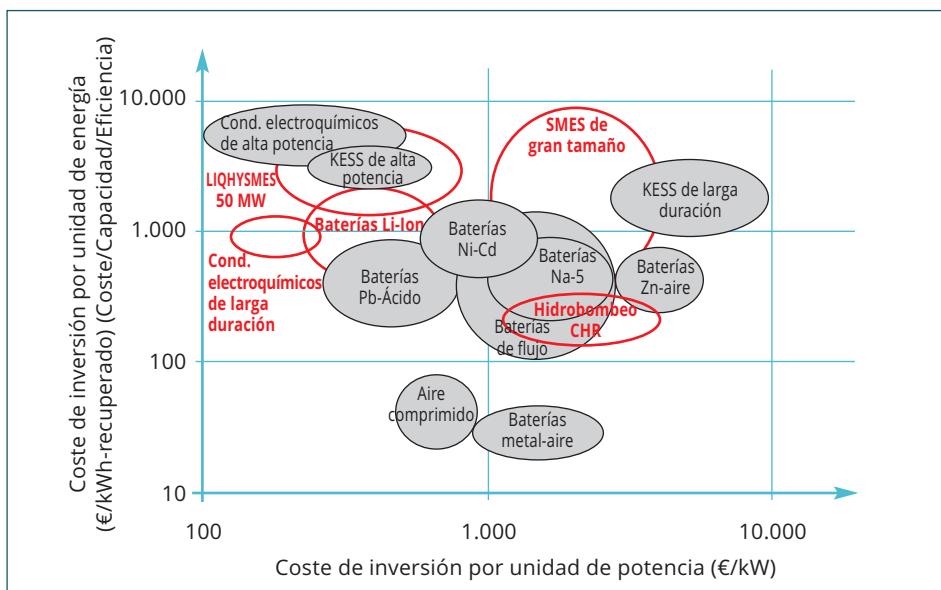


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Electricity Storage Association. www.electricitystorage.org.

Durante el desarrollo de los trabajos del GIA también se revisaron los gráficos de costes para las distintas tecnologías de almacenamiento.

Aunque los costes de las tecnologías se corresponden en general, razonablemente bien con otros ya conocidos y recogidos en otros documentos, como el de la Figura 3.

Figura 3. Costes de inversión por unidad de potencia y energía convencionales.



Tras nuestro estudio, parece que es necesario reubicar la posición de algunas de las tecnologías, dando lugar al gráfico de la Figura 4.

Figura 4. Propuesta de costes de inversión por unidad de potencia y energía según las conclusiones del Grupo de Interplataformas de Almacenamiento.

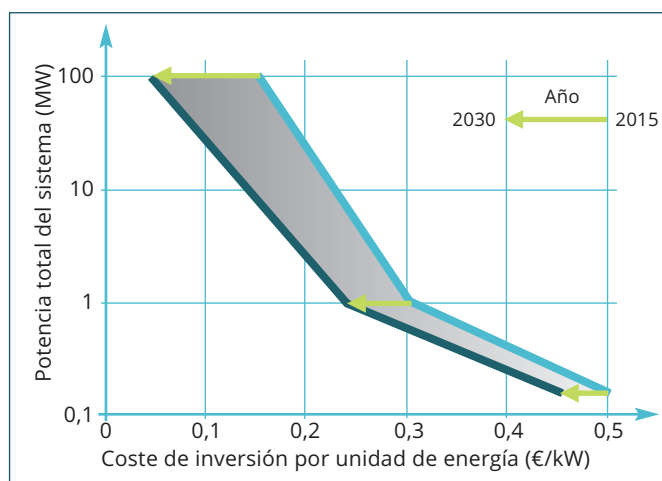
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos compilados durante el trabajo del GIA.



Existen dos casos particulares, el almacenamiento químico y térmico, que no pueden ser representados en las figuras 4 y 5.

En el caso del almacenamiento químico, dado que muchas de sus tecnologías están en un TRL inferior a 8, es prematuro definir los costes de inversión. Los datos disponibles están lejos de ser representativos incluso para hacer una estimación. Por ello, la Figura 5 muestra la evolución esperada del coste de la energía almacenada (KWh) en función de la potencia total estimada para los diferentes sistemas de almacenamiento químico.

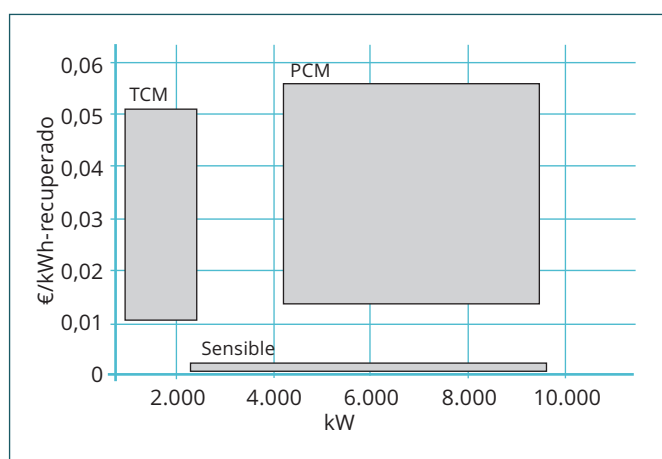
Figura 5. Evolución esperada del coste de la energía almacenada en función de la potencia total.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos compilados durante el trabajo del GIA.

Para el almacenamiento térmico Figura 6, el producto final no es energía eléctrica, sino que se encuentra sujeto a la única posibilidad de proveer una demanda térmica, siendo especialmente favorable su integración en aquellas fuentes térmicas fluctuantes y no coincidentes con su demanda térmica. En el caso del almacenamiento térmico, el tiempo de carga y descarga y la potencia térmica no dependen del tipo de sistema, sino del diseño del equipo en concreto para que se consiga la transferencia de calor más rápida o menos según sea la demanda de la aplicación.

Figura 6. Costes de inversión por unidad de potencia recuperada y energía.



Fuente: Elaboración propia a partir de Energy Storage Technologies – Characteristics, Comparison, and Synergies, in Transition to Renewable Energy Systems.

En el caso de los sistemas termoquímicos, en los que también entra en juego la transferencia de masa y las condiciones de operación, los tiempos de carga y descarga pueden variar significativamente, en la mayoría de los sistemas demostrativos las potencias son menores y tiempos más largos que en los de almacenamiento por calor latente.

# 1. CONCLUSIONES GRUPO DE REGULACIÓN

## 1.1. Introducción

A día de hoy el desarrollo de regulación para sistemas de almacenamiento eléctrico se encuentra en una etapa inicial y no son muchos los países que incluyen medidas al respecto, viéndose el almacenamiento desprovisto de un marco favorable para su desarrollo y despliegue. Gran parte de los progresos en esta materia se han llevado a cabo a partir de planes de implementación en la red, siendo especialmente ambicioso el que se está llevando a cabo en California, o mediante la financiación de estos sistemas ya sea acoplados a otra tecnología o no, donde cabe destacar los casos de Alemania y Japón.

Estados Unidos es el país con la regulación más avanzada, mientras que ciertos países asiáticos están haciendo avances significativos en esta materia, ya sea por las restricciones de sus sistemas eléctricos o por sus ambiciosas metas de cara al futuro mercado de almacenamiento eléctrico. Por otro lado, Alemania destaca de entre los países europeos en el desarrollo de regulación, debido en gran parte al alto grado de energía renovable que debe incorporar al sistema.

## 1.2. Situación regulatoria en España

Los sistemas de almacenamiento de energía no están recogidos en el marco regulatorio español, a excepción del bombeo hidráulico, considerado un sistema de generación convencional, y el almacenamiento térmico asociado a plantas solares térmicas. No obstante, todas las plantas de generación y consumo necesitan estar registradas con un código para poder operar. En las islas Canarias existe una mayor iniciativa de almacenamiento respaldada por la ley 17/2013 en la que se recoge que el operador del sistema será el titular de las nuevas instalaciones de bombeo cuando su finalidad sea bien la garantía del suministro, bien la seguridad del sistema, bien la integración de energías renovables no gestionables.

En 2010 (Decreto-Ley 6/2010) aparece la figura de “Gestor de carga del sistema como proveedores de servicios de recarga” que crea un nuevo agente que, siendo consumidor está habilitado para la reventa de energía eléctrica para la recarga del vehículo eléctrico. Aunque el RD 647/2011 contempla que el gestor de carga facilite la integración de la generación en régimen especial, el RD 1699/2011 establece que no podrá intercalarse ningún elemento de almacenamiento eléctrico desde el circuito de generación del titular de la instalación hasta el equipo de medida, aunque pueden ser autorizadas por las comunidades autónomas en el caso de que no vieran a la red según el REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión) guía ITC BT 40. Con la modificación del

Real Decreto se exceptúa de la prohibición de intercalar elementos de consumo entre la instalación de generación y su equipo de medida a los servicios auxiliares de generación y a las instalaciones de acumulación.

Dicha modificación fue consecuencia del recientemente aprobado RD 900/2015 por el que se regula el autoconsumo. Este Real Decreto permite finalmente la instalación de elementos de acumulación en las instalaciones de autoconsumo cuando dispongan de las protecciones establecidas en la normativa de seguridad y calidad industrial que les aplique y se encuentren instaladas de tal forma que compartan equipo de medida que registre la generación neta o equipo de medida que registre la energía horaria consumida. Es importante señalar que hasta que no se apruebe la citada norma de seguridad y calidad industrial, los elementos de acumulación se instalarán de tal forma que compartan equipo de medida y protecciones con la instalación de generación.

Actualmente se distinguen dos modalidades de autoconsumo. Por un lado la modalidad de suministro con autoconsumo, cuya potencia máxima contratada será de 100 kW. Bajo esta modalidad no se tiene permitido vender la electricidad sobrante a la red, por lo que el equipo de almacenamiento de energía podría ser usado únicamente para regular la energía generada y/o demandada de la red para minimizar el coste de la electricidad. Sin embargo, para la modalidad de producción con autoconsumo (aplicable cuando se disponga de instalaciones

de producción eléctrica inscritas en el registro administrativo) si está acogido a retribución específica podrá recibir la contraprestación económica correspondiente por vertido de electricidad a la red, de manera que se podrían aplicar modelos de negocio para el almacenamiento teniendo en cuenta la venta de energía.

Al estar el almacenamiento asociado al autoconsumo, los propietarios deberán hacer frente a un cargo transitorio por energía autoconsumida (hasta que sean aprobados los cargos correspondientes). Tan solo los consumidores acogidos a la modalidad de suministro con autoconsumo conectados en baja tensión y con potencia contratada igual o menor a 10 kW estarán exentos de dicho pago (además de los sistemas eléctricos de la Comunidad Autónoma de Canarias, las Ciudades de Ceuta y Melilla, y las instalaciones de cogeneración con producción de energía eléctrica). Por último, este RD impide el autoconsumo compartido entre varios usuarios, por lo que los elementos de almacenamiento eléctrico deberán ser utilizados por un único consumidor final.

### 1.3. Situación regulatoria en Europa

Actualmente, no existe un marco regulatorio común para el almacenamiento aunque sí se han establecido prioridades tecnológicas para su desarrollo en el corto y largo plazo. Los estándares existentes a día de hoy hacen referencia a los ensayos de baterías por el desarrollo del vehículo eléctrico. Algunos Estados Miembro han avanzado en el marco regulatorio, siendo los más relevantes:

#### Reino Unido

---

Mediante arreglos transitorios se ha permitido la entrada del almacenamiento en el mercado de capacidad.

#### Alemania

---

El almacenamiento está exento de tasas por consumo eléctrico y conexión a la red pudiéndose beneficiar de subvenciones (usuarios residenciales) y de las tarifas ventajosas de las energías renovables. Sólo pueden formar parte del mercado de ajustes.

#### Suecia

---

Pese a ciertas incertidumbres y restricciones, los participantes del mercado eléctrico pueden operar sistemas de almacenamiento para cubrir pérdidas, prevenir sobrecargas, vender energía, etc.

#### Italia

---

DSOs y TSOs pueden construir y operar baterías siempre y cuando sea la manera más eficiente de solucionar un problema.

### 1.4. Situación regulatoria en el resto del Mundo

Se resumen los principales aspectos regulatorios de los países más implicados en el desarrollo del almacenamiento. No obstante, existen otros países que han tomado medidas a menor nivel como subvenciones, incentivos o regulaciones específicas para algunos dispositivos.

#### EEUU

---

Se han modificado reglas y tarifas del mercado permitiendo participar al almacenamiento de forma competitiva. Además, algunos estados han incluido leyes para favorecer su desarrollo.

#### Puerto Rico

---

Ha establecido la obligación de incorporar almacenamiento a los nuevos proyectos de energía renovable.

#### China

---

Lanzó una guía técnica para la conexión de estos sistemas que complementa los programas de financiación de tecnologías de almacenamiento.

#### Japón

---

Promueve el almacenamiento principalmente mediante incentivos y ha desarrollado unos requisitos técnicos que se deben cumplir para su aprobación.

## Corea del Sur

---

Ha lanzado un ambicioso plan en materia de almacenamiento que incluye ayudas e incentivos, certificación de sistemas, revisión del sistema de precios, etc.

## 1.5. Aspectos regulatorios de las tecnologías inmaduras

Falta un marco regulatorio específico para las tecnologías inmaduras, por ello las instalaciones piloto se rigen por la normativa general. Los puntos más relevantes para el almacenamiento son:

- Falta de regulación para la operación de determinadas tecnologías de acumulación.
- Dificultades/Restricciones en obtención de permisos, licencias y autorizaciones.
- Obstáculos al uso de redes de distribución y transmisión.
- Falta de políticas y normas que impongan estándares uniformes, que eviten costes adicionales de interconexión a redes de distribución.

## 2. CONCLUSIONES GRUPO DE INTEGRACIÓN EN RED Y APLICACIONES

La conexión de las fuentes renovables, no predecibles, a las redes eléctricas ha incrementado el nivel de stress al que se ven sometidas. La intermitencia de la producción de origen renovable, se ha sumado a la ya de por sí alta variabilidad del consumo, incrementando la problemática de su gestión y operación. A medida que los niveles de integración de estas fuentes aumentan, también lo harán las necesidades de nuevos sistemas capaces de mantener la estabilidad de las redes. En este contexto, el almacenamiento es una potente herramienta para la operación del sistema a la hora de integrar renovables, aunque no sólo en estos casos. La generación intermitente requiere mantener una potencia de back up que en muchas ocasiones no tiene la respuesta rápida que el almacenamiento sí puede aportar.

### 2.1. Aplicaciones del almacenamiento de energía

La Figura 7 muestra una distribución de las diferentes aplicaciones del almacenamiento de energía en función del usuario final y capacidad (Energía y Potencia).

Esta ordenación permite establecer una primera aproximación de las tecnologías más adecuadas para cada caso, a la vez que sirve como punto de partida para analizar la posibilidad de combinar varios servicios con un mismo dispositivo de almacenamiento.

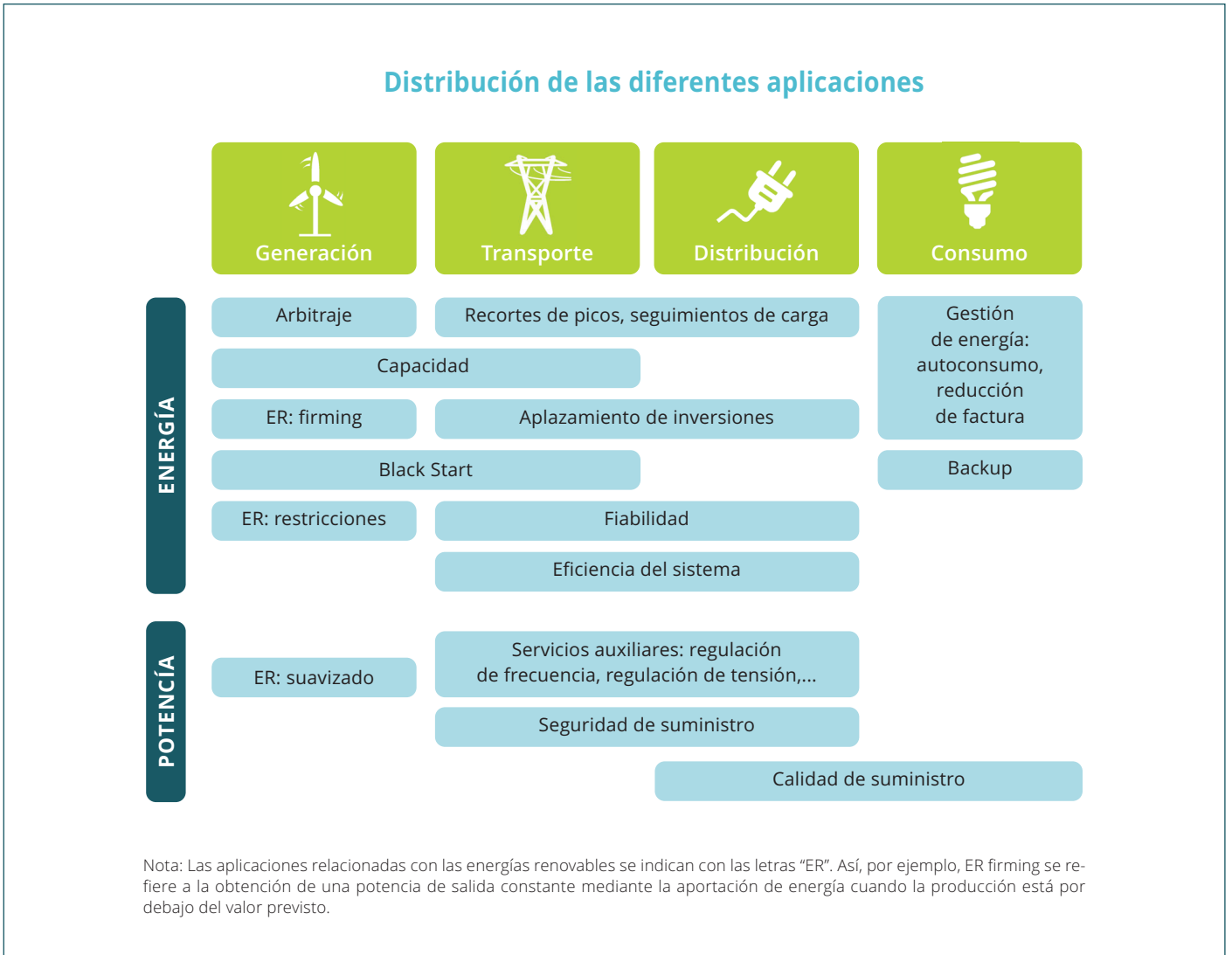


Figura 7. Distribución de las diferentes aplicaciones.

## 2.2. Estrategias de operación y electrónica de potencia

Tanto las estrategias de operación como la electrónica de potencia influyen en la integración y el uso del almacenamiento. Sin embargo, existen otros aspectos complementarios que deben considerarse en los análisis:

### HARDWARE DE POTENCIA

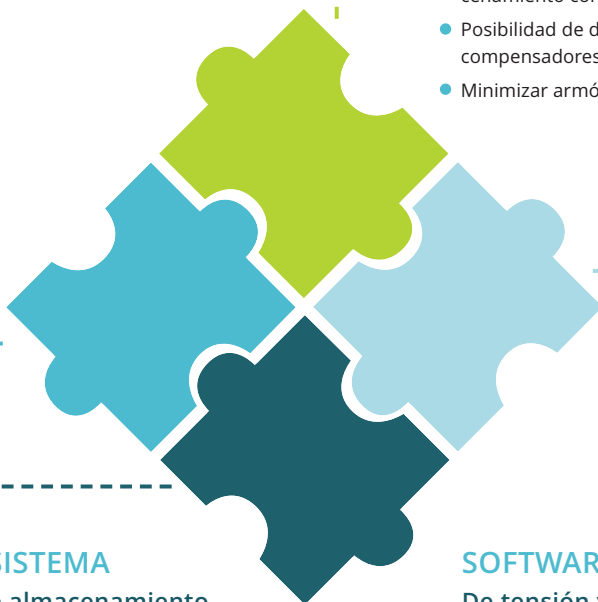
#### Topologías de los sistemas de electrónica de potencia

- Rendimiento, coste, mantenimiento y disponibilidad de los sistemas de electrónica de potencia
- Necesidad de nuevos desarrollos y topologías de convertidores para que el almacenamiento avance

### AFECCIÓN A LA CALIDAD DE LA RED

#### Efecto de la electrónica sobre ésta

- Sistemas de sincronización con red para que las desviaciones no impacten en la señal de referencia de la red
- Posibilidad de controlar remotamente los equipos de almacenamiento con consignas de potencia
- Posibilidad de utilizar convertidores de potencia como compensadores de energía reactiva
- Minimizar armónicos



### FUNCIONALIDADES DEL SISTEMA

#### Versatilidad de los sistemas de almacenamiento

- Estrategia de control a seguir para que el almacenamiento participe en el mercado de energía a la vez que sirve de apoyo a la red principal
- Los sistemas de almacenamiento pueden prestar distintos servicios energéticos

### SOFTWARE DE CONTROL

#### De tensión y frecuencia de la red

- Uso de sistemas de almacenamiento con electrónica de potencia para controlar la estabilidad de tensión y frecuencia de red fundamentalmente en redes de distribución y microrredes
- Operación on/off-grid

Figura 8. Principales problemas específicos para la integración en red de los sistemas de almacenamiento.



## 2.3. Impacto en las redes de los sistemas de almacenamiento de energía

La existencia de un sistema de almacenamiento en la red puede, en algunos casos, suponer un reto para la integración. En otros, aporta importantes beneficios. Se desglosa el impacto en cuatro grupos:

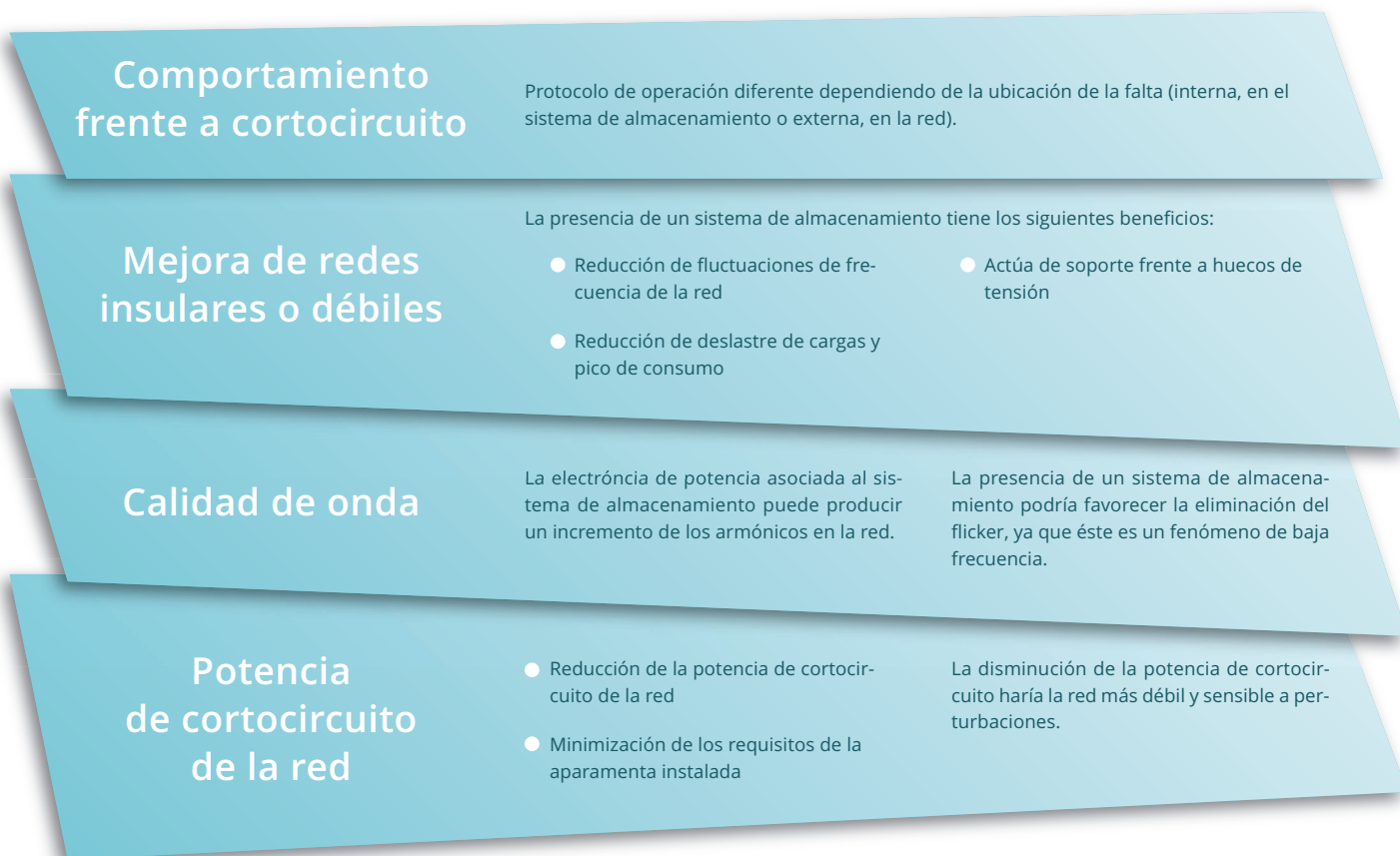


Figura 9. Impacto en las redes de los sistemas de almacenamiento.

## 2.4. Retos para la integración en red

Los principales retos a superar para conseguir la integración de las tecnologías de almacenamiento en la red son:

1

Aspectos económicos y regulatorios.

3

La mayor interoperabilidad de los sistemas de almacenamiento con la red, por su bidireccionalidad, aporta gran potencial para equilibrar la red pero a su vez la hace más compleja. Esto implicará nuevas estrategias de gestión de la energía que dependerán de las tecnologías de almacenamiento seleccionadas y de la capacidad instalada.

2

Deben ser considerados como una solución mixta (complementados por otras soluciones, por ejemplo, generación flexible) para asegurar la flexibilidad del sistema.

4

Se deberán conocer una serie de parámetros críticos antes de instalar estos sistemas en red, como por ejemplo, máxima potencia, huella (peso y dimensiones) o sistemas de seguridad, etc.

### 3. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO ELECTROQUÍMICO

Todas las tecnologías de almacenamiento electroquímico de energía tienen características comunes como son: eficiencia elevada y una autodescarga considerable, comparada con otras formas de almacenamiento como hidráulico o químico. Esto los hace muy útiles en sistemas de almacenamiento a corto plazo que requieran cargas y descargas frecuentes. Por otro lado, su coste está más condicionado por la capacidad que por la potencia, ya que están más limitados por la cantidad de energía que almacenan que por la rapidez con la que pueden entregarla. Dentro de esta categoría se engloban las siguientes tecnologías: Baterías de plomo, de níquel, de sodio de baja o alta temperatura, de ión litio, de litio-azufre, metal-aire, de flujo y los condensadores electroquímicos.

(\*) <http://www.navigantresearch.com/newsroom/energy-capacity-of-advanced-batteries-for-utility-scale-energy-storage-applications-will-grow-71-percent-per-year-through-2023>.

### 3.1. Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level (TRL)*

No todas estas tecnologías tienen el mismo grado de madurez, representado por el TRL. Algunas, como las baterías de plomo, son tecnologías comerciales maduras, mientras que la tecnología de las baterías de sodio-ion, por ejemplo, se encuentra en fase de laboratorio. La Tabla 1, muestra el TRL estimado para cada una de las tecnologías.

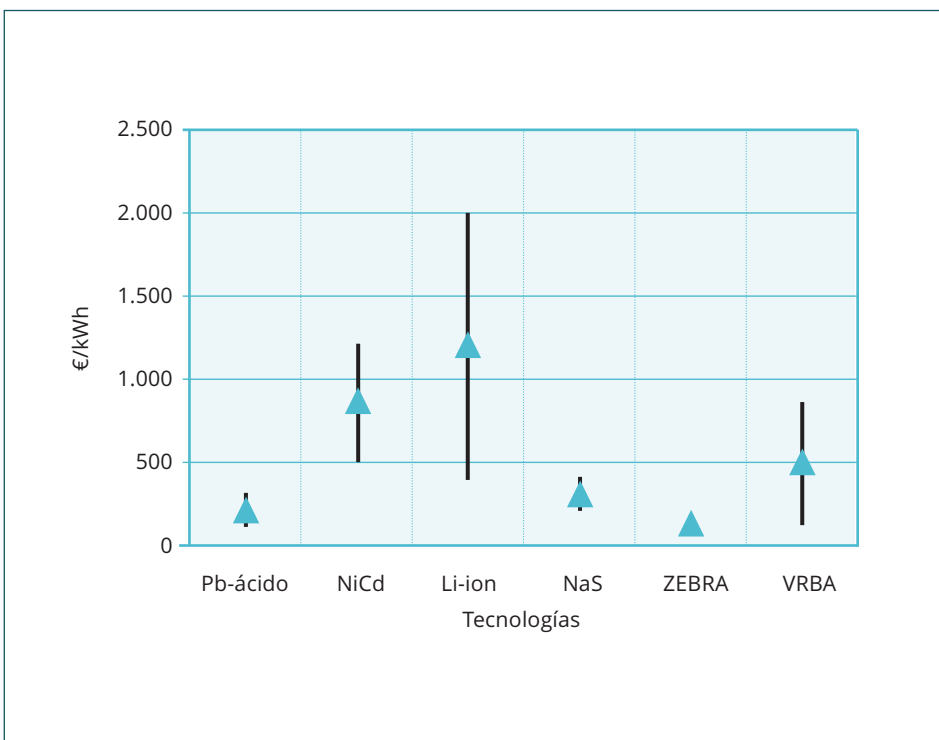
Tabla 1. Grado de madurez tecnologías almacenamiento electroquímico.

Tecnología	Estado actual	TRL
Baterías de plomo	Tecnología comercial madura	9
Baterías de níquel	Tecnología comercial madura	9
Baterías de sodio	NaS - Demostración a gran escala	8
	ZEBRA - Demostración a pequeña escala	6 - 7
	Na-ion - Laboratorio	2 - 3
Baterías de ión litio	Aplicaciones para electrónica portátil - Tecnología comercial	9
	Aplicaciones a gran escala - Demostración	7 - 8
	Materiales avanzados - Laboratorio y pequeños prototipos	2 - 3
Baterías de litio-azufre	Demostración	5 - 6
Baterías de metal-aire	Li-aire recargable y Al-aire recargable - Laboratorio	2 - 3
	Zn-aire recargable - Prototipo	4 - 5
Baterías de flujo	Vanadio - Demostración	7
	Zn-Br - Demostración	5 - 6
	Otras	3 - 4
Condensadores electroquímicos	EDLC - Tecnología comercial temprana	8 - 9
	Híbridos - Prototipo	4 - 5
País líder en generación de patentes	Japón con compañías líderes en casi todas las tecnologías (Tabla 15)	

### 3.2. Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento electroquímico

Según K. Bradbury,<sup>1</sup> los costes de las principales tecnologías de almacenamiento electroquímico que han alcanzado suficiente grado de madurez como para ser evaluadas se muestran en la Figura 10. Dentro de las tecnologías representadas se muestran las baterías ZEBRA (sodio-cloruro de níquel) y las VRB (baterías redox de vanadio).

Figura 10.  
Costes de operación por tecnologías



### 3.3. Retos para el desarrollo de las tecnologías

En la hoja de ruta desarrollada por la EASE y a la EERA<sup>2</sup> se incluyen los retos y objetivos tecnológicos para las baterías y supercondensadores. Estos objetivos y retos se resumen en la Tabla 2. Aunque no recogidas en esta tabla, el principal reto tecnológico de las baterías Na-S sería reducir la temperatura de operación.

Tabla 2. Retos a superar por las tecnologías de almacenamiento electroquímico.

Tecnología	Situación actual	Objetivo 2020-2030	Objetivo 2050
Li-ion (energía)	Max. (Co based) 241 kWh/kg - 535 Wh/L; 500 ciclos Safe (LFP based) 130 Wh/kg - 300 Wh/L 500 ciclos; -20 +60 °C 500-1000 €/kWh; 0,25€/kWh/ciclo	180-350 Wh/kg; 350-800 Wh/L Safe; >10000 ciclos -20 +70 °C 200 €/kWh; 0,10 €/kWh/ciclo	>350 Wh/kg >800 Wh/L; Safe >10000 ciclos -20 +70 °C <200 €/kWh
Li-ion (potencia)	50-90 Wh/kg; 105-190 Wh/L 3 kW/kg; 10000 cycles -10 +60 °C; >1000 €/kWh	80-95 Wh/kg; 170-200 Wh/L >5 kW/kg; Safe >15 años; -20 +70 °C; 20 €/kW	>100 Wh/kg; 220 Wh/L 10 kW/kg; Safe; >15 años; -20 +70 °C; <20 €/kW
Baterías de flujo redox	(Vanadio) 10-20Wh/kg - 15-20Wh/L 10-20 años; >10000 ciclos +10 +40 °C (Zn-Br) 50-60 Wh/kg; >2000 ciclos Coste Servicio 0,10 €/kWh 400 €/kWh; 600 €/kW	VBr 2ª generación 20-40 Wh/kg >100 °C rango Temp. Coste Servicio 0,07 €/kWh 120 €/kWh; 300 €/kW	Coste Servicio 0,03 €/kWh 70 €/kWh 200 €/kWh
Sistemas Metal-aire	700 Wh/kg (Polyplus) Pobre ciclo de vida	>500 Wh/kg 3000 ciclos; 300-500 €/kWh	500-1000 Wh/kg; 10000 ciclos; 100 €/kWh
Na-ion		Descenso esperado en coste batería -40%	
Li-S	350 Wh/kg - 35° Wh/L (Sion Power) 4-6% / autodescarga mensual 60-100 ciclos; -40 +25 °C	500 Wh/kg 3000 ciclos <350 €/kWh	600 Wh/kg 10000 ciclos 200 €/kWh

### 3.4. Impacto ambiental

Los principales impactos ambientales se recogen en la Tabla 3.

*Tabla 3.* Principales impactos ambientales tecnologías almacenamiento electroquímico/electroquímico.

Tipo	Origen de riesgos ambientales
Baterías de plomo	Toxicidad del plomo, pero tasa reciclado elevada (>90%)
Baterías de níquel	Toxicidad del cadmio, pero tasa de reciclado elevada
Baterías de sodio	No relevantes. Temperaturas elevadas en algunos casos
Baterías de ion litio	Reacciones violentas del Li. Tasa reciclaje baja (40%)
Baterías de flujo	Riesgo de fugas de líquidos corrosivos
Baterías de metal-aire	Presencia Metales muy reactivos: Li, Na...
Condensadores electroquímicos	Toxicidad del acetonitrilo como disolvente

### 3.5. Hibridación con otras tecnologías

Las oportunidades de hibridación se podrían orientar a dimensionar un dispositivo para satisfacer las necesidades de potencia y el otro las de energía a la vez que se combinan sistemas de respuesta rápida y lenta. Estas posibilidades se resumen en la Tabla 4.

*Tabla 4.* Posibilidades de hibridación con otras tecnologías.

Tecnologías orientadas preferentemente a almacenar energía	Tecnologías de alta potencia, respuesta rápida y elevado número de ciclos
Baterías de sodio-azufre	Condensadores electroquímicos
Baterías de flujo	Baterías de ión litio de alta potencia (p. ej. ánodo de titanato y cátodo de espinela)
Baterías de ión litio de alta densidad de energía	Volantes de inercia
Baterías de litio-azufre	Baterías avanzadas de Plomo - Carbono

## 4. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO QUÍMICO

La energía en sus diversas formas puede ser transformada y almacenada en energía química mediante procesos que dan como resultado moléculas químicas que mantienen en sus enlaces químicos la energía entregada. Una de las mayores ventajas de esta forma de energía es que puede ser fácilmente transportada con el propio transporte de las moléculas a la vez que su densidad energética - gravimétrica o volumétrica- pueden ser muy elevadas, alrededor de los 10.000 Wh/kg para la gasolina, valor muchísimo mayor que el correspondiente a otros sistemas de almacenamiento de energía. Estos compuestos químicos abren diversas opciones para la recuperación de la energía contenida en ellos. Una de ellas es su transformación, de nuevo, en energía eléctrica. Otra opción sería su transformación en energía térmica.

Entre las más comúnmente empleadas se encuentran el hidrógeno ( $H_2$ ) y el metano ( $CH_4$ ), participando también en las reacciones el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el agua ( $H_2O$ ).



## 4.1. Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level (TRL)*

Dentro de las tecnologías de almacenamiento químico existen tanto tecnologías maduras, como es el caso de los electrolizadores alcalinos, como tecnologías en

fase temprana de desarrollo, como los sistemas de fotosíntesis artificial. Además, dentro de cada tipo de tecnología pueden darse distintos grados de desarrollo. La Tabla 5 muestra el grado de madurez de las principales tecnologías.

Tabla 5. Grado de madurez de las tecnologías de almacenamiento químico.

Tecnología de almacenamiento químico	Estado actual	TRL
Electrolizadores alcalinos	Tecnología comercial madura	9
Electrolizadores PEM	Demostración	7-9
Electrolizadores SOEC	Prototipo-Demostración a pequeña escala	4-7
Co-electrolizadores	Prototipo-Demostración a pequeña escala	4-7
Metano sintético metanación	Prototipo-Demostración a gran escala	4-8
Biometano	Prototipo-Demostración a gran escala	4-8
Fotosíntesis Artificial Sistemas foto electro catalíticos PEC para H <sub>2</sub>	Prototipo-Demostración a pequeña escala	4-6
Fotosíntesis Artificial Sistemas foto electro catalíticos PEC para combustibles solares. Refinería Solar	Prototipo-Demostración a pequeña escala	4-6
Fotosíntesis Artificial Sistemas Termo Solares para combustibles solares	Laboratorio-Demostración a pequeña escala	3-6
Electricidad a Líquidos (Power to Liquid)	Prototipo-Demostración a pequeña escala	4-6
Electricidad a Gas (Power to Gas)	Demostración	6-8
País líder en generación de patentes	Japón con 14 patentes seguido muy de cerca por Francia con 13 (Tabla 16)	

## 4.2. Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento químico

La Tabla 6 muestra los costes de cada tecnología por Kg de H<sub>2</sub> y m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> generado.

Tabla 6. Costes actuales y estimados de las tecnologías de almacenamiento químico.

Tecnología	precio c€/ kWh H <sub>2</sub> (2015)	precio c€/kWh CH <sub>4</sub> (2015)	precio c€/ kWh H <sub>2</sub> (2030)	precio c€/ kWh CH <sub>4</sub> (2030)
Electrolizadores alcalinos	9-12		<0,8	
Electrolizadores PEM	10-13		<0,9	
Electrolizadores SOEC	11-15		<0,9	
Co-electrolizadores	n.d.			<15
Metano sintético Metanación		25-32		<15
Biometano	25-32		<15	
Fotosíntesis Artificial Sistemas foto electro catalíticos PEC para H <sub>2</sub>	12-18		<0,8	
Sistemas Fotosíntesis Artificial foto electro catalíticos PEC para combustibles solares Refinería Solar	n.d.			<2,2 (MeOH)
Sistemas Fotosíntesis Artificial Termo Solares para combustibles solares	n.d.			<3,4(MeOH)
Electricidad a Gas (Power to Gas)		35-45		<0,22
Electricidad a Líquidos (Power to Liquid)	n.d.			<2,2 (MeOH)

### 4.3. Retos para el desarrollo de las tecnologías

El principal reto al que se enfrentan estas tecnologías es incrementar la vida media de los equipos. Otros retos a superar se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7. Retos para el desarrollo de las tecnologías de almacenamiento químico.

Tecnología	RETOS		
Electrolizadores alcalinos	Incremento eficiencia 70%	Incremento vida media >15 años	Reducir costes mantenimiento
Electrolizadores PEM	Incremento eficiencia 70%	Incremento vida media >15 años	Reducir costes mantenimiento
Electrolizadores SOEC	Eficiencia >85%	Incremento vida media	
Co-electrolizadores	Control CO/H <sub>2</sub>		
Metano sintético Metanación	Aumentar vida media catalizador	Aumentar resistencia a la pureza CO <sub>2</sub>	
Biometano	Aumentar vida media catalizador		
Fotosíntesis Artificial Sistemas foto electro catalíticos PEC para H <sub>2</sub>	Escalado a sistemas producción industrial	Incremento vida media	
Sistemas Fotosíntesis Artificial foto electro catalíticos PEC para combustibles solares. Refinería Solar	Escalado a sistemas producción industrial	Incremento vida media	
Sistemas Fotosíntesis Artificial Termo Solares para combustibles solares	Escalado a sistemas producción industrial		
Electricidad a Gas (Power to Gas)	Mejores prestaciones en los catalizadores	Incremento vida media	
Electricidad a Líquidos (Power to Liquid)	Mejores prestaciones en los catalizadores	Incremento vida media	

## 4.4. Impacto ambiental

A continuación se resumen en la Tabla 8 los principales impactos ambientales generados por las tecnologías de almacenamiento químico.

Tabla 8. Impactos ambientales generados por las tecnologías de almacenamiento químico.

Tipo	Origen de riesgos ambientales
Electrolizadores alcalinos	Trabajo en medio básico
Electrolizadores PEM	
Electrolizadores SOEC	Reciclaje componentes
Co-electrolizadores	
Metano sintético	Metanación
Biometano	Recuperación catalizadores
	Utilización de recursos biogénicos y residuos
Fotosíntesis Artificial	
Sistemas foto electro catalíticos PEC para H <sub>2</sub>	Trabajo en medio de pH extremos. Recuperación y reciclaje de elementos electrocatalizadores
Fotosíntesis Artificial	
Sistemas foto electro catalíticos PEC para combustibles solares. Refinería Solar	Utilización de superficie terrestre
Fotosíntesis Artificial	
Sistemas Termo Solares para combustibles solares	Utilización y ocupación de superficie terrestre
Electricidad a Gas (Power to Gas)	
Electricidad a Líquidos (Power to Liquid)	Recuperación catalizadores

## 4.5. Hibridación con otras tecnologías

Las tecnologías de almacenamiento químico son combinables, complementarias o alternativas a:

- Combustibles sintéticos: ya que se emplean productos básicos para obtener otros más complejos. Reutilización de CO<sub>2</sub>.
- Gestión de redes eléctricas: las redes de gas natural, por ejemplo, son básicas para almacenar/distribuir el hidrógeno o el gas metano sintético.
- Al almacenamiento de combustibles fósiles mediante inyección en gaseoductos.
- Hidrogeneras por reformado, en las que se evitan emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 5. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO

Los sistemas de almacenamiento de energía térmica permiten almacenar energía de forma eficiente, posibilitando el uso de energías renovables o focos térmicos más favorables cuya disponibilidad no es constante en el tiempo, tales como el calor residual, la energía solar o el frío ambiente. Las tecnologías de almacenamiento térmico se representan en el esquema de la Figura 11.

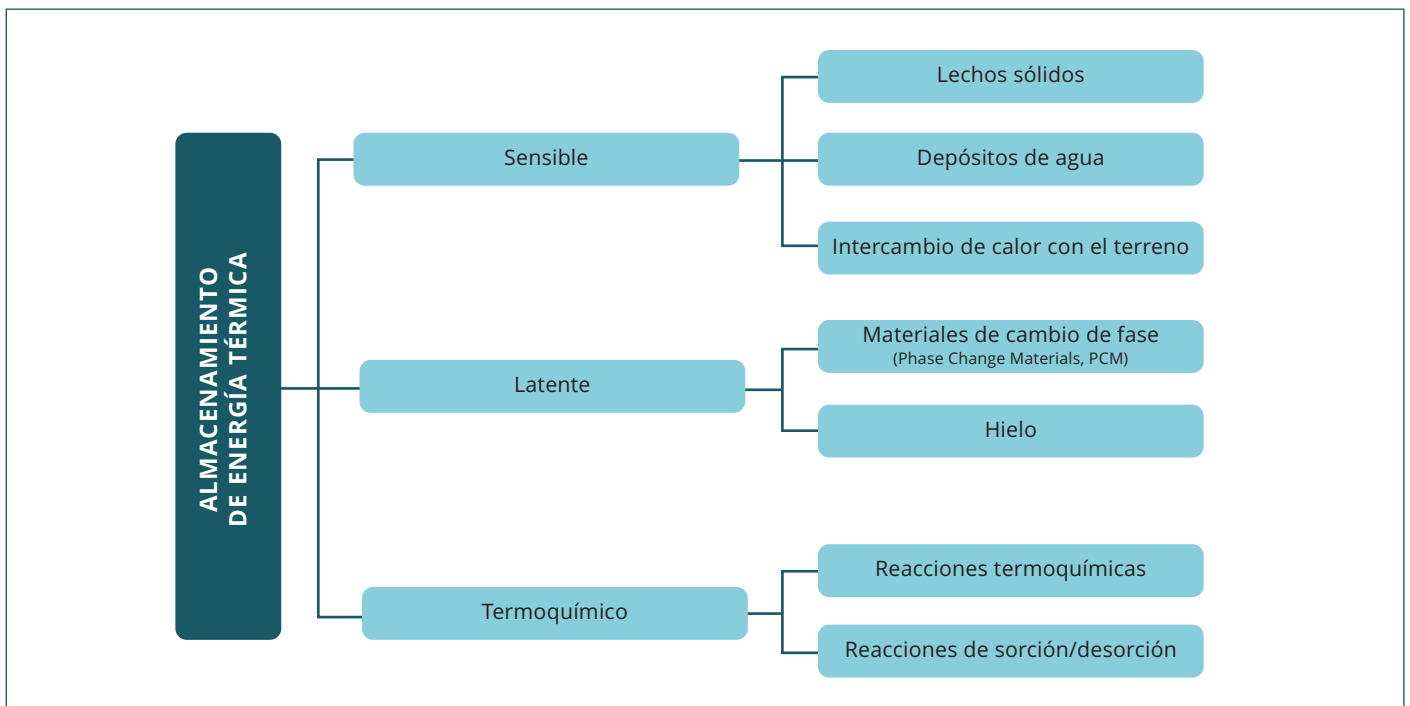


Figura 11. Tecnologías de almacenamiento térmico.

## 5.1. Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level* (TRL)

El grado de madurez de las tecnologías no depende únicamente de la tipología de almacenamiento térmico de que se trate, si no que existe fuerte dependencia de la aplicación. La Tabla 9 muestra el grado de madurez de cada una de las tecnologías de almacenamiento térmico.

Tabla 9. Grado de madurez de las tecnologías de almacenamiento térmico, ejemplos en función de la aplicación.

TRL	Tecnología	Ejemplos de aplicaciones
9	Sensible	Depósitos de agua para aprovechamiento de la energía solar térmica mediante almacenamiento térmico tanto diurno como estacional. Sistemas de intercambio de calor con el terreno a baja temperatura (<40 °C). Sólidos refractarios para la industria de vidrio y metalúrgica o para calefacción doméstica. Sales fundidas para plantas termosolares.
	Latente	Hielo para refrigeración de edificios comerciales aprovechando tarifas valle, trigeneración o disminuyendo la potencia a instalar de la máquina enfriadora o seguridad térmica en salas de servidores informáticos. PCM para la protección térmica de productos sensibles como transporte de sangre, órganos o arte entre otros
	Termoquímico	TCM para regulación de temperatura en productos sensibles
6-8	Sensible	Sistemas de intercambio de calor con el terreno a baja temperatura (40-90 °C)
	Latente	Depósitos de agua mejorados con la incorporación de PCM para aprovechamiento de la energía solar PCM para plantas termosolares e incorporación de PCM en elementos de construcción y para aplicaciones de refrigeración de grandes edificios
3-4	Latente	PCM para calefacción y refrigeración, para producción de frío industrial o solar cooling y como sistema de regulación de la temperatura en paneles fotovoltaicos
	Termoquímico	TCM para plantas termosolares y para almacenamiento estacional de energía solar para calefacción
0-2	Sensible	Sensible a alta temperatura (>1000°C)
	Termoquímico	TCM para calefacción y refrigeración y para transporte de energía térmica

País líder en generación de patentes: Japón es líder en las tecnologías de almacenamiento por calor latente y sensible, en el caso de materiales termoquímicos es líder Francia (Tabla 18)

## 5.2. Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento térmico

Los costes de las principales tecnologías de almacenamiento térmico se muestran en la Figura 12.

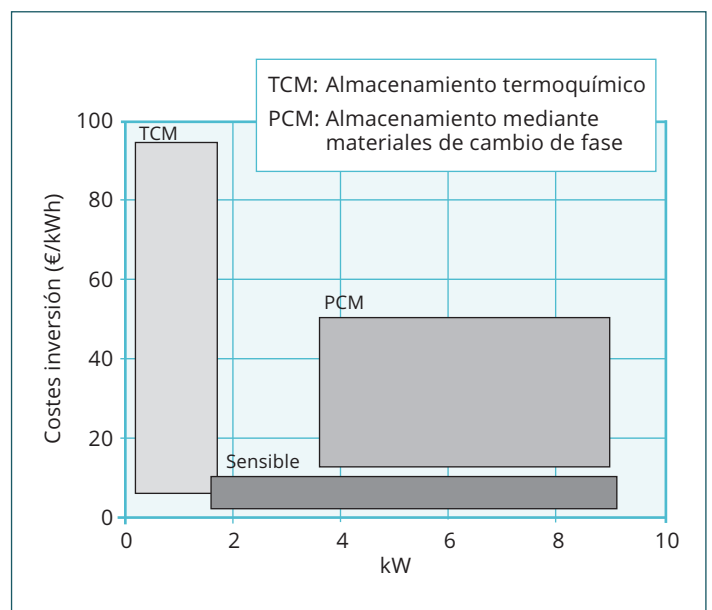


Figura 12. Costes de las principales tecnologías de almacenamiento térmico.

### 5.3. Retos para el desarrollo de las tecnologías

Los principales retos que deben superar estas tecnologías para su implantación en el corto-medio plazo se resumen en la Figura 13.<sup>3</sup>

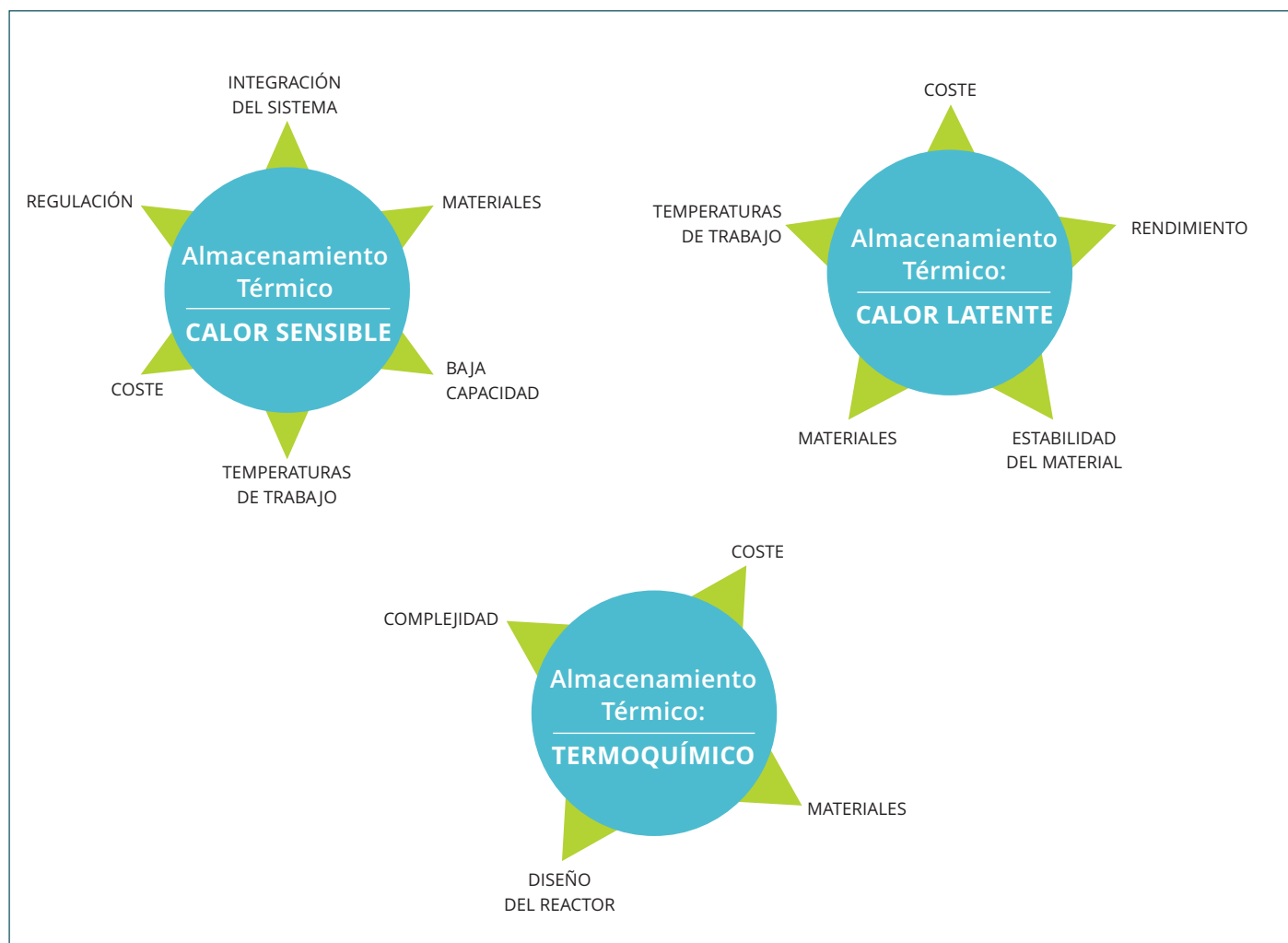


Figura 13. Retos a superar por las tecnologías de almacenamiento térmico..



### 5.4. Impacto ambiental

Aunque cualquier sistema de almacenamiento de energía conlleva cierto coste ambiental, en la mayoría de los casos la instalación de un sistema de almacenamiento de energía térmica puede suponer una reducción en el tamaño de otras máquinas generadoras de calor o frío a la vez que un aumento de la eficiencia del sistema. En el caso de intercambio de calor con el terreno o intercambio en lechos sólidos, el coste medioambiental puede considerarse mínimo. En el segundo caso, se está estudiando el reciclado de residuos como la escoria en este tipo de sistemas. Para el caso de materiales de cambio de fase, existen estudios que cuantifican el impacto ambiental utilizando el método de análisis de ciclo de vida en los que se compara una fachada ventilada (VDSF) con PCM y sin PCM (REF).<sup>4</sup> Los resultados se muestran en la Figura 14.

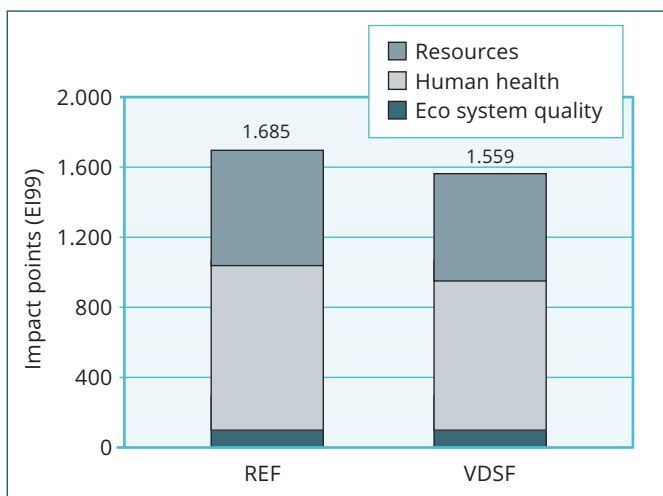


Figura 14. Resultado de la evaluación con el Ecoindicador 99 de una fachada ventilada sin y con PCM (de Gracia et al. 2014).

### 5.5. Hibridación con otras tecnologías

Las tecnologías de almacenamiento térmico tienen gran potencial de hibridación con otras tecnologías, especialmente aquellas de disponibilidad intermitente o estacional (como la energía solar) con rendimientos muy dependientes de factores externos. La mayor ventaja del almacenamiento térmico es que no son necesarias transformaciones por lo que no existe pérdida de eficiencia en aquellos procesos en los que la demanda energética sea en forma de calor y pueda utilizarse una fuente térmica. La Figura 15 ilustra este hecho.

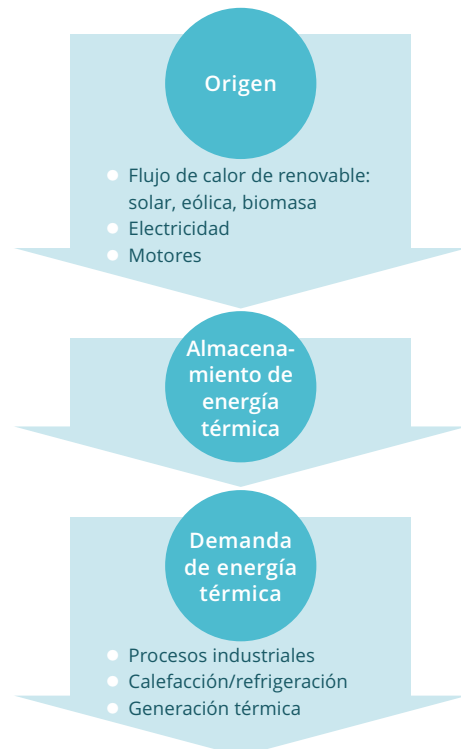


Figura 15. Hibridación de tecnologías térmicas de almacenamiento de calor.

## 6. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO MECÁNICO

Dentro de este capítulo se consideran dos tecnologías: almacenamiento en forma de energía mecánica cinética de rotación, comúnmente conocido como almacenamiento en volantes de inercia (en adelante KESS) y el almacenamiento en energía mecánica potencial de grandes masas de agua, que se conoce como hidrobombeo (en adelante CHR). Los KESS almacenan energía cinética en un volante de inercia movido por una máquina eléctrica que a su vez está accionada por un convertidor de potencia. Los CHR se basan en bombear agua de un depósito superior a otro inferior almacenando la energía en forma de energía potencial en el agua.

## 6.1. Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level* (TRL)

Para los KESS, el TRL depende de la tecnología en la que se basan, tal y como se muestra en la Tabla 1. Para el caso de las CHR, aunque existen tecnologías con distintos grados de desarrollo, se puede considerar que globalmente, el grado de madurez de la tecnología es de TRL 9.

Tabla 10. TRL de las tecnologías de almacenamiento cinético y potencial.

Tipo	Elemento	Tipo	TRL
KESS	Volante (Incluye rodamientos)	Metálico + Cojinetes Cerámicos (Volantes Lentos)	9
		Material Compuesto + Cojinetes Magnéticos (Volantes Rápidos)	< 7
	Máquina Eléctrica	Homopolares De Reluctancia Síncronas de Imanes Permanentes	<7
	Convertidor de Potencia	Máquina → Definido por el tipo de Máquina Red → Convertidor bidireccional de conexión a red	9
CHR		Accionamientos eléctricos basados en máquinas síncronas; máquinas de inducción con accionamientos de velocidad variable; sin accionamientos de velocidad variable	9

País líder en generación de patentes: Japón con casi 40 patentes (Tabla 18)

## 6.2. Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento mecánico

Se considera que las aplicaciones en las que los sistemas KESS pueden competir son aquellas en las que el tiempo de descarga es inferior a una hora. La Tabla 11 recoge los costes actuales para dos aplicaciones. En términos de energía, estos costes son muy superiores a los que deberían ser sus valores objetivo. En el caso de la aplicación de potencia, estos están más ajustados. En cuanto a las CHR, en términos de potencia esta tecnología es la más viable económicamente en este momento. En el caso de los costes en términos de energía éstos dependen fuertemente del emplazamiento.

Tabla 11. Costes de generación de las tecnologías de almacenamiento mecánico.\*

Costes actuales de los KESS por aplicación <sup>5</sup>	€/kWh	€/kW
Regulación de frecuencia	7.358-8.302	1.840-2.075
Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)	9.434-66.038	236-755
Costes de las CHR <sup>6</sup>	€/kWh	€/kW
Centrales de bombeo reversibles	50,94-547 (agua dulce) 243-524 (agua salada)	1.415-5.660

(\*) Cambio dólar/euro 1,06 \$/€. Día 19/03/2015.

### 6.3. Retos para el desarrollo de las tecnologías

Se describen a continuación los principales retos a superar por las tecnologías. La Tabla 12 los desglosa por componentes.

Tabla 12. Retos a superar por las tecnologías de almacenamiento mecánico.<sup>7, 8 y 9</sup>

KESS-Elemento		Retos
Volante (Incluye rodamientos)	LENTOS	Costes fabricación volantes de alta resistencia, Desarrollo de sistemas de aliviado de peso
	RAPIDOS	Fabricación con materiales compuestos, Integración de cojinetes con la máquina, Sistemas alimentación cojinetes magnéticos
Máquina Eléctrica	Refrigeración del rotor, Funcionamiento en vacío, Esfuerzos mecánicos en partes móviles, Incremento densidad de potencia, Sistemas de detección de posición o sistemas "sensorless"	
Convertidor de Potencia	Elevadas frecuencias de conmutación, Trabajo a tensiones elevadas, Velocidad sistemas de control	
Otros	Desarrollo de carcasas o sistemas económicos de contención	
CHR-Elemento		Retos
Turbina	Solucionar problemas de las oscilaciones de presión a baja carga, Ampliar rango funcionamiento estable, Reducir fugas de lubricantes, Reducir mortalidad de peces a su paso por la turbina	
Máquina Eléctrica	Reducir inercia del rotor, Mejorar procedimientos de arranque, Mejorar aislamiento eléctrico y las protecciones, Desarrollar sistemas de protección frente a huecos de tensión (en instalaciones de velocidad variable)	
Planta Completa	Desarrollar sistemas de control de potencia activa (en instalaciones de velocidad variable), Implementación en centrales hidroeléctricas convencionales, Evaluar la solución del hidrobombeo subterráneo y con agua de mar, Apoyo a la generación renovable	

## 6.4. Impacto ambiental

Los principales impactos de estas tecnologías se resumen en la Figura 16.<sup>5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19</sup>

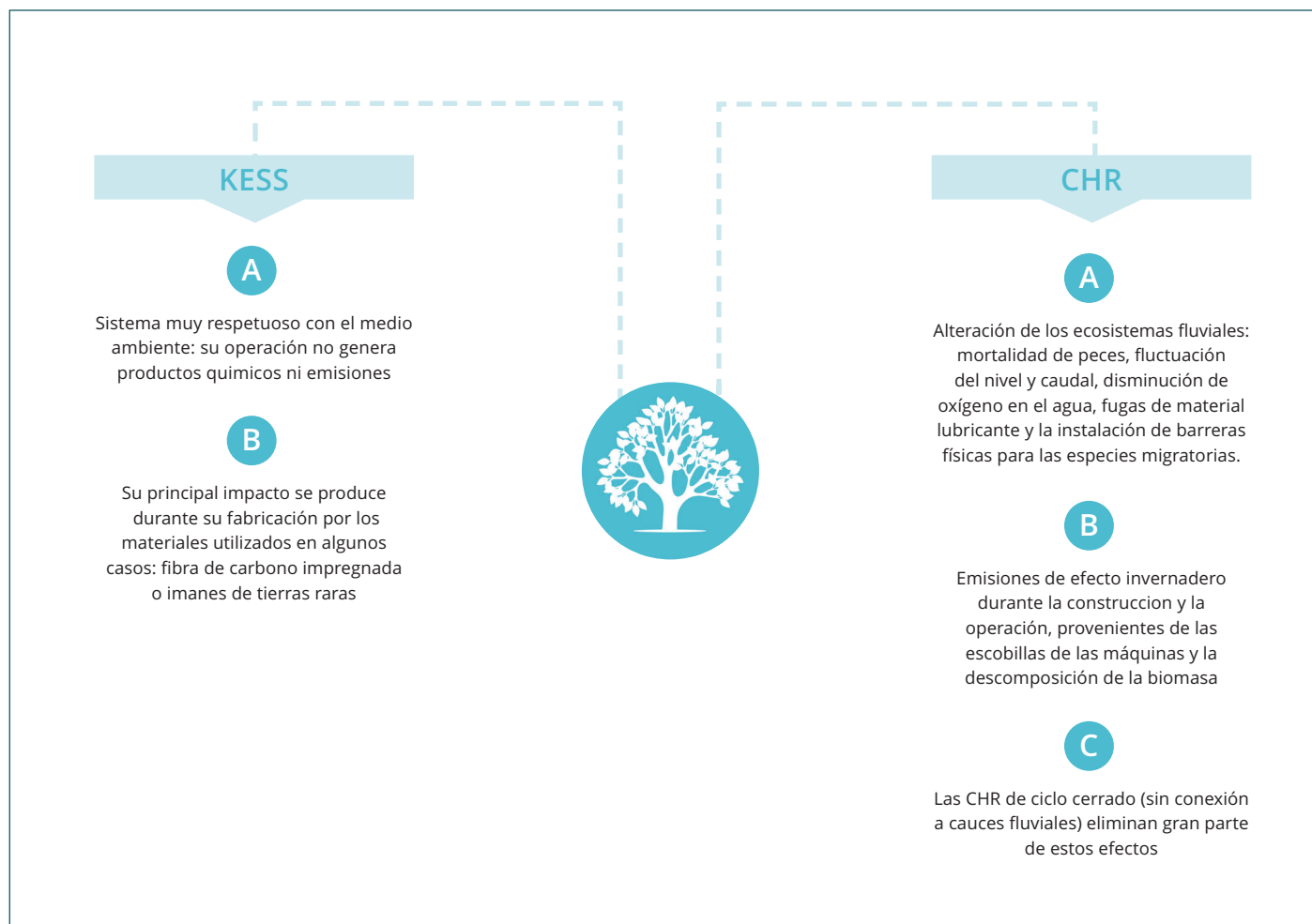


Figura 16. Principales impactos ambientales de las tecnologías de almacenamiento mecánico.

## 6.5. Hibridación con otras tecnologías

Las posibilidades de hibridación con otras tecnologías se resumen en la Figura 17.

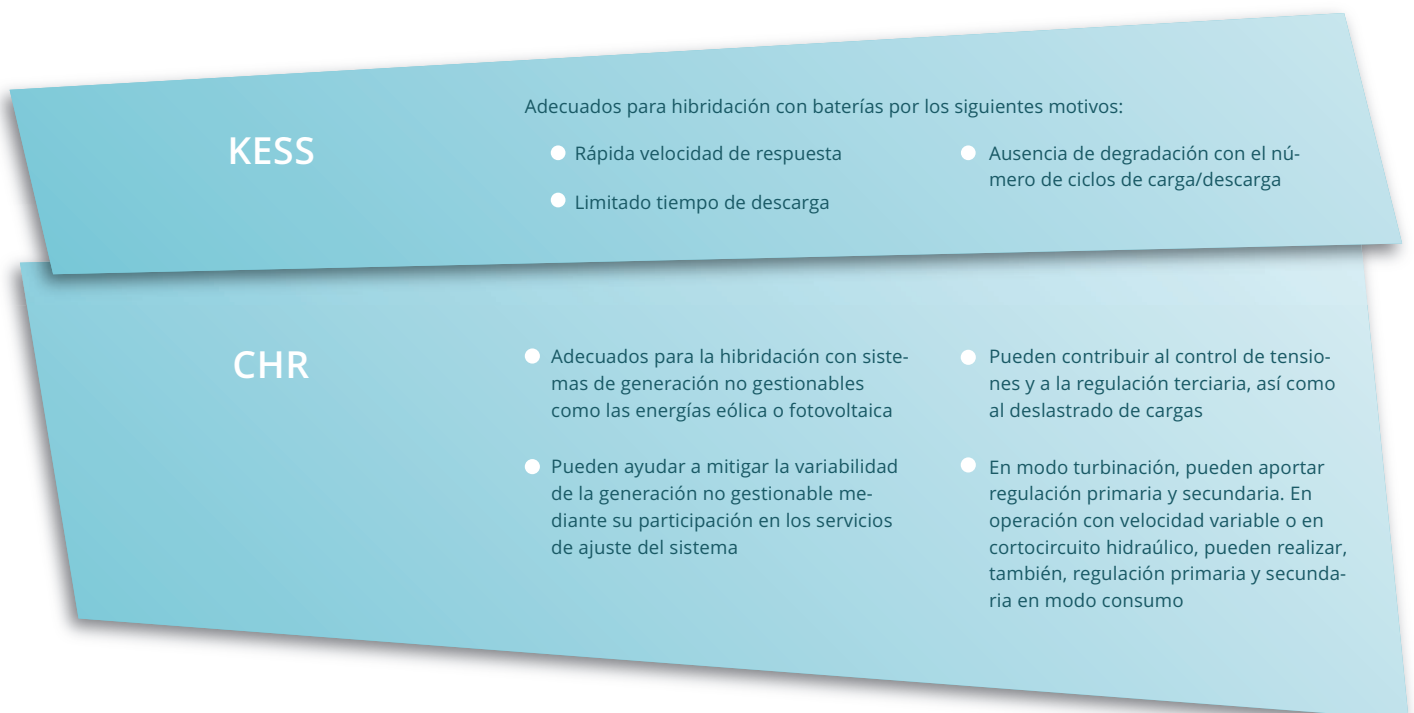


Figura 17. Posibilidades de hibridación de las tecnologías de almacenamiento mecánico.

## 7. CONCLUSIONES GRUPO DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO

El almacenamiento magnético se basa en establecer un campo magnético en una bobina Superconductora. La viabilidad de un sistema de estas características, capaz de mantener la corriente de excitación sin suministrar de forma continua energía en una bobina, está determinada por la existencia de conductores sin resistencia eléctrica. La aparición de materiales superconductores permite la construcción de bobinas con una alta densidad corriente capaz de producir campos magnéticos con una elevada densidad de flujo y con muy bajo consumo energía siendo la clave de almacenar con eficiencia cantidades relevantes de energía: El sistema SMES (*Superconducting Magnetic Energy Storage*). Los elementos básicos del sistema SMES son: Una bobina superconductora, un sistema criogénico para mantener el estado superconductor, un sistema electrónico de control y protección de la bobina y la electrónica de potencia que permite el acoplo a la red tanto para almacenar energía como para retornarla.



## 7.1. Madurez de las tecnologías o *Technology Readiness Level (TRL)*

Dentro de la tecnología SMES se pueden encontrar superconductores de baja y de alta temperatura crítica, con distintos TRL tal y como se muestra en Tabla 13.

Tabla 13. Madurez de la tecnología SMES.

Tecnología	Estado actual	TRL
Superconductores de baja temperatura crítica.	Más sistemas realizados y ensayados en la red. Energía acumulada hasta 20 MJ. Sistemas comerciales y portátiles. Tecnología de criogenia basada en helio. Aplicación en calidad de la red y nivelación a escala media.	9
Superconductores de alta temperatura crítica.	Sistemas desarrollados y ensayados hasta 2.5MJ. Aplicación en calidad de la red y militar. Tecnología basada refrigeración por conducción, sin gases ni líquidos criogénicos. sistemas autónomos.	5
País líder en generación de patentes: Japón con 14 patentes (Tabla 19)		

## 7.2. Costes de las diferentes tecnologías de almacenamiento magnético

El coste de inversión los sistemas SMES está relacionado esencialmente con la tecnología usada y con su función. La experiencia existente es mayoritariamente en los sistemas dedicados a Calidad del Suministro, capaces de actuar hasta 20s, basados en superconductores de baja temperatura aunque se han realizado estudios económicos sobre sistemas en fase de diseño. Para sistemas de baja temperatura operativos y diseñados sobre la base de potencias entre la decena y el centenar de MW, se asume un coste de aproximadamente 1.890 €/MW,\* y <sup>6</sup> menor en algunas unidades construidas con energías almacenadas del orden de 15 kWh. En los sistemas híbridos con hidrógeno líquido<sup>20</sup> LIQHYSMES, además de utilizar superconductores de

alta temperatura crítica y mantenerse a -253 C, los elementos de criogenia se comparten, creándose una simbiosis que repercute en el precio. Tomando los resultados publicados, en la hipótesis de potencias de 200 MW y 50 MW y considerando solamente los costes de inversión correspondientes al SMES, los costes de la unidad se sitúan en 307 €/kW y 196 €/kW, respectivamente, con una capacidad de almacenamiento de 10 GJ. El coste por kWh de energía almacenada en un ciclo, con una potencia de descarga de 50 MW, se sitúa en unos 3491 €/kWh. La relación Coste de energía recuperable por unidad de potencia, se muestra en la Tabla 14, donde se recoge además el coste de los sistemas híbridos con hidrógeno líquido, LIQHYSMES.

Tabla 14. Relación de capital invertido por unidad de energía respecto a su relación a la potencia instalada.

Costes actuales por tecnología	€/kWh* y <sup>21</sup>	€/kW
LIQHYSMES (50 MW)	850-7.550	189-849
SMES gran tamaño	377-9.434	377-4.150

(\*) Cambio dólar/euro 1,06 \$/€. Día 19/03/2015.

### 7.3. Retos para el desarrollo de las tecnologías

Los retos a los que se enfrenta esta tecnología se engloban dentro de los siguientes grupos: materiales, criogenia, bobinas, integración en red y electrónica. La Figura 18 esquematiza las principales mejoras en cada uno de ellos.



Figura 18. Principales retos a los que se enfrentan las tecnologías de almacenamiento magnético.

## 7.4. Impacto ambiental

El impacto ambiental de los SMES puede englobarse en dos grupos: toxicidad y emisión electromagnética, tal y como se refleja en la Figura 19.



Figura 19. Impacto ambiental de las tecnologías de almacenamiento magnético.

## 7.5. Hibridación con otras tecnologías

La gran potencia de descarga y la rapidez de respuesta hacen del SMES un elemento integrable en el acoplamiento electrónico de cualquier sistema de almacenamiento. Entre sus principales cualidades se encuentran:

- Su característica electromagnética le hace directamente integrable en el sistema electrónico de acoplamiento a la red.
- Regula los procesos de carga-descarga de sistemas más frágiles (electroquímicos).
- Incrementa la funcionalidad de otros sistemas añadiendo la capacidad de regulación de la red.
- Aumenta la velocidad de respuesta de sistemas de alta capacidad.
- Incrementa la vida útil de los sistemas electroquímicos.
- Permite optimizar la capacidad y la potencia de descarga.

# ANEXOS

**AI.** Escala TRL

**AII.** Análisis del estado de patentes

- I. Almacenamiento electroquímico
- II. Almacenamiento Químico
- III. Almacenamiento Térmico
- IV. Almacenamiento Mecánico
- V. Almacenamiento Magnético

**AIII.** Resumen de capacidades y proyectos en España

**AIV.** Entidades participantes

**AV.** Glosario de términos

# AI. ESCALA TRL

Ideada por la NASA y posteriormente adoptada por el nuevo Programa Marco de Investigación (2014-2020), también conocido como H2020, es un método aceptado para medir el grado de madurez de una tecnología. Se consideran nueve niveles que van desde el estado básico de una tecnología hasta el nivel de pruebas con éxito en un entorno real. Concretamente:

**TRL 1:** Idea básica.

**TRL 2:** Concepto o tecnología formulados.

**TRL 3:** Prueba de concepto.

**TRL 4:** Validación a nivel de componentes en laboratorio.

**TRL 5:** Validación a nivel de componentes en un entorno relevante.

**TRL 6:** Validación de sistema o subsistema en un entorno relevante.

**TRL 7:** Validación de sistema en un entorno real.

**TRL 8:** Validación y certificación completa en un entorno real.

**TRL 9:** Pruebas con éxito en entorno real.

En la Tabla 15 se esquematiza qué representan cada uno de estos niveles en las distintas áreas que engloba un proyecto.

Tabla 15. Correspondencia de los TRL con el entorno, tipo y fase del proyecto

	Entorno en el que se desarrolla el proyecto	Tipo de proyecto	Fase del proyecto
TRL 9	Entorno real	Innovación	Despliegue
TRL 8			Producto o servicio comercializable Certificaciones pruebas específicas
TRL 7			
TRL 6	Entorno de simulación	Desarrollo	Prototipo/Demostrador Desarrollo tecnológico
TRL 5			
TRL 4	Entorno de laboratorio	Investigación	Prueba de concepto Investigación industria
TRL 3			
TRL 2			
TRL 1			

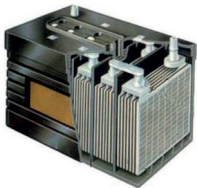

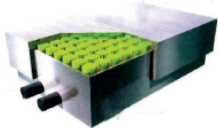

Fuente: Elaboración propia a partir de artículo aparecido en revista Economía Industrial de MINETUR.

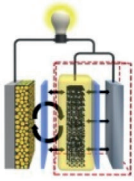
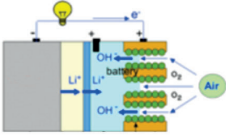
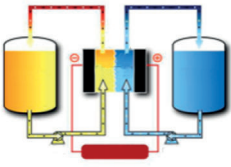
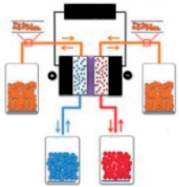
# AII. ANÁLISIS DEL ESTADO DE PATENTES

## II.1. Almacenamiento Electroquímico

Dentro de las tecnologías englobadas en este documento, se han identificado las principales compañías investigadoras. Se indican en la Tabla 1, aquellas que cuentan con mayor número de patentes por cada tecnología:

Tabla 16. Principales países generadores de patentes por tecnología de almacenamiento electroquímico

Tecnología de almacenamiento	Empresa que ostenta la patente	Orden de magnitud	País
 Baterías Plomo-Ácido	Shin Kobe Electric Mach Co. Ltd.	720	Japón
	Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.	546	Japón
	Japan Storage Battery Co. Ltd.	463	Japón
	Yuasa Corp.	232	Japón
	Furukawa Battery Company Ltd.	174	Japón
	PANASONIC Corp.	81	Japón
	Nippon Sheet Glass Co. Ltd.	47	Japón
Globe - Union Inc.	37	EEUU	
 Baterías Níquel	Matsushita Electric Ind. Co. Ltd	237	Japón
	Toshiba Corp.	188	Japón
	Sanyo Electric Co. Ltd.	165	Japón
	Yuasa Corp.	81	Japón
	Toyota Motor Corp.	45	Japón
	Japan Storage Battery Co. Ltd.	44	Japón
	Furukawa Battery Company Ltd.	39	Japón
Sony Corp.	33	Japón	
 Baterías Sodio	NGK Insulators, Ltd.	246	Japón
	Hitachi Ltd.	144	Japón
	Sumitomo Chemical Co. Ltd.	62	Japón
	Tokyo Electric Power Co. Inc.	59	Japón
	Mitsubishi Heavy Ind. Ltd.	45	Japón
	Yuasa Corp.	43	Japón
	Science Univ. Of Tokyo	11	Japón
General Electric Co.	11	EEUU	
 Baterías Litio	Toyota Motor Corp.	329	Japón
	Sony Corp.	248	Japón
	Matsushita Electric Ind. Co. Ltd	233	Japón
	Nissan Motor Co. Ltd.	191	Japón
	Samsung SDI Co. Ltd.	190	Corea
	Hitachi Ltd.	188	Japón
	TDK Corp.	169	Japón
Panasonic Corp.	156	Japón	

Tecnología de almacenamiento	Empresa que ostenta la patente	Orden de magnitud	País
	Samsung SDI Co. Ltd.	69	Corea
	Hyundai Motor Corp.	13	Corea
	Robert Bosch GmbH	9	Alemania
	PolyPlus Battery Co.	8	EEUU
	Oxis Energy Ltd.	6	Reino Unido
	Sion Power Corp.	5	EEUU
	GM Global Technology Operations LLC	4	EEUU
	Nagase Chemtex Corp.	4	Japón
	Tesla Motors Inc.	28	EEUU
	Reveo Inc.	25	EEUU
	Toyota Motor Corp.	25	Japón
	AER Energy Resources Inc.	24	EEUU
	Electric Fuel (EFL) Ltd.	20	EEUU
	REVOLT Technology Ltd.	11	EEUU
	Hitachi Ltd.	10	Japón
	QuantumSphere Inc.	7	EEUU
	Sumitomo Electric Ind. Ltd.	137	Japón
	The Kansai Electric Power Co. Inc.	103	Japón
	Samsung Electronic Co. Ltd.	17	Corea
	Batelle Memorial Institute	14	EEUU
	ENERVAULT Corp	13	EEUU
	Toyobo Co. Ltd.	12	Japón
	Asahi Kasei E materials Corp.	11	Japón
	Sun Catalytix Corp.	7	EEUU
	TDK Corp.	40	Japón
	Matsushita Electric Ind. Co. Ltd	38	Japón
	Samsung Electro-Mechanics Co. Ltd.	33	Corea
	Daihatsu Motor Co. Ltd.	26	Japón
<p>Condensadores electroquímicos</p>	Motorola Inc.	24	EEUU
	NGK Insulators Ltd.	24	Japón
	PANASONIC Corp.	22	Japón
	Sanyo Chem Ind. Ltd.	20	Japón



Dentro de la tecnología ión-Litio, se hace necesario hacer mención a las patentes de la empresa PANASONIC Corp., que han dado lugar a la batería Powewall de TESLA Motors, cuya salida al mercado ha tenido amplio impacto mediático en 2015.

En lo que se refiere al número de patentes, la Figura 20 muestra el número de patentes por tecnología. Se puede comprobar que el mayor número de patentes las acumula la tecnología litio-ion, con más de 9.000 patentes, seguida por las baterías plomo ácido con más de 4.000 y las de níquel con unas 2.000 patentes.

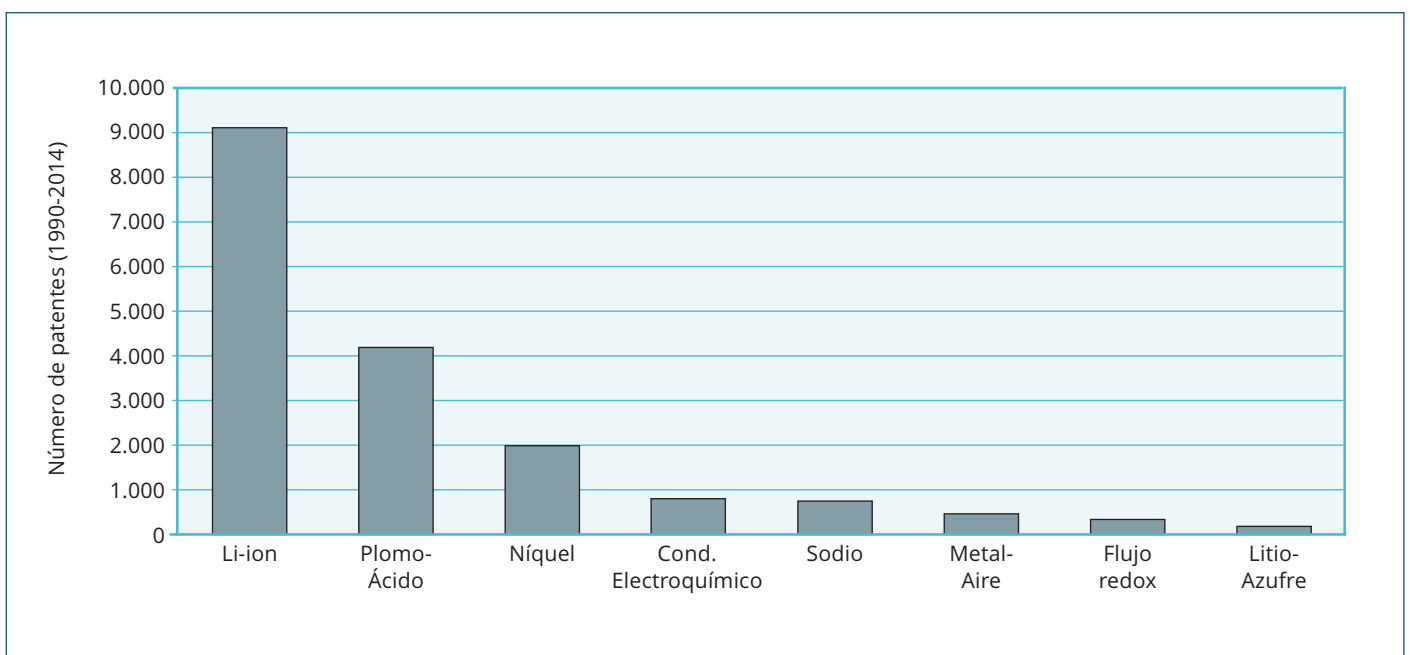
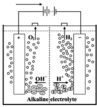
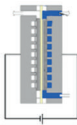
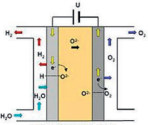
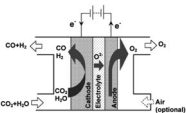
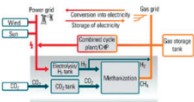
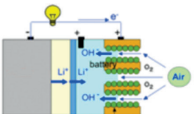


Figura 20. Número de patentes por tecnología de almacenamiento electroquímico.

## II.2. Almacenamiento Químico

Las corporaciones que han registrado más patentes en el ámbito del almacenamiento químico se muestran en la Tabla 17, desglosadas por tecnología.

Tabla 17. Principales países generadores de patentes por tecnología de almacenamiento químico.

	En hidrógeno: electrolizadores alcalinos	Ataway Volker Alan L. Peter Kraus, Dipi William R. Richards Dornier GmbH	1 1 1 1 1	Japón EEUU Alemania EEUU Alemania
	En hidrógeno: electrolizadores PEM	Umicore AG & amp Co. KG Next Hydrogen Corp. Proton Energy Systems Robert Bosch GmbH Siemens AG	9 3 2 2 2	Bélgica Canadá EEUU Alemania Alemania
	En hidrógeno: electrolizadores de alta temperatura	Commissariat Energie Atomique et En. Alt. Toshiba Corp. Ebara Corp. Mitsubishi Heavy Ind. Ltd. Haldor Topsoe AS	7 5 5 2 2	Francia Japón Japón Japón Dinamarca
	En hidrógeno: co-electrolizadores (SOEC)	Commissariat al Energie Atomique Topsoe Fuel CELL Toshiba Corp National Institute for Materials Science Technical University of Denmark	6 5 2 1 1	Francia Noruega Japón Japón Dinamarca
	En metano: Power to Gas	Matsushita Electric Ind. Co. Ltd. Honda Motor Co. Ltd. Toyota Motor Corp. Fuji Electric Co. Ltd. Panasonic Corp.	14 12 11 7 6	Japón Japón Japón Japón Japón
	En combustibles solares: fotosíntesis artificial	The Regents of the Univ. of California Sogang University Research Foundation Masteridea S.A. Nara Institute of Science and Technology Mazda Motor Corp.	2 1 1 1 1	EEUU Korea Chile Japón Japón

Por tecnologías, el número de patentes se muestra en la Figura 21. La tecnología Power to Gas es la que acumula mayor número de patentes, unas 180, seguida muy de lejos por los electrolizadores a alta temperatura con menos de 40 y los electrolizadores PEM con unas 30 patentes.

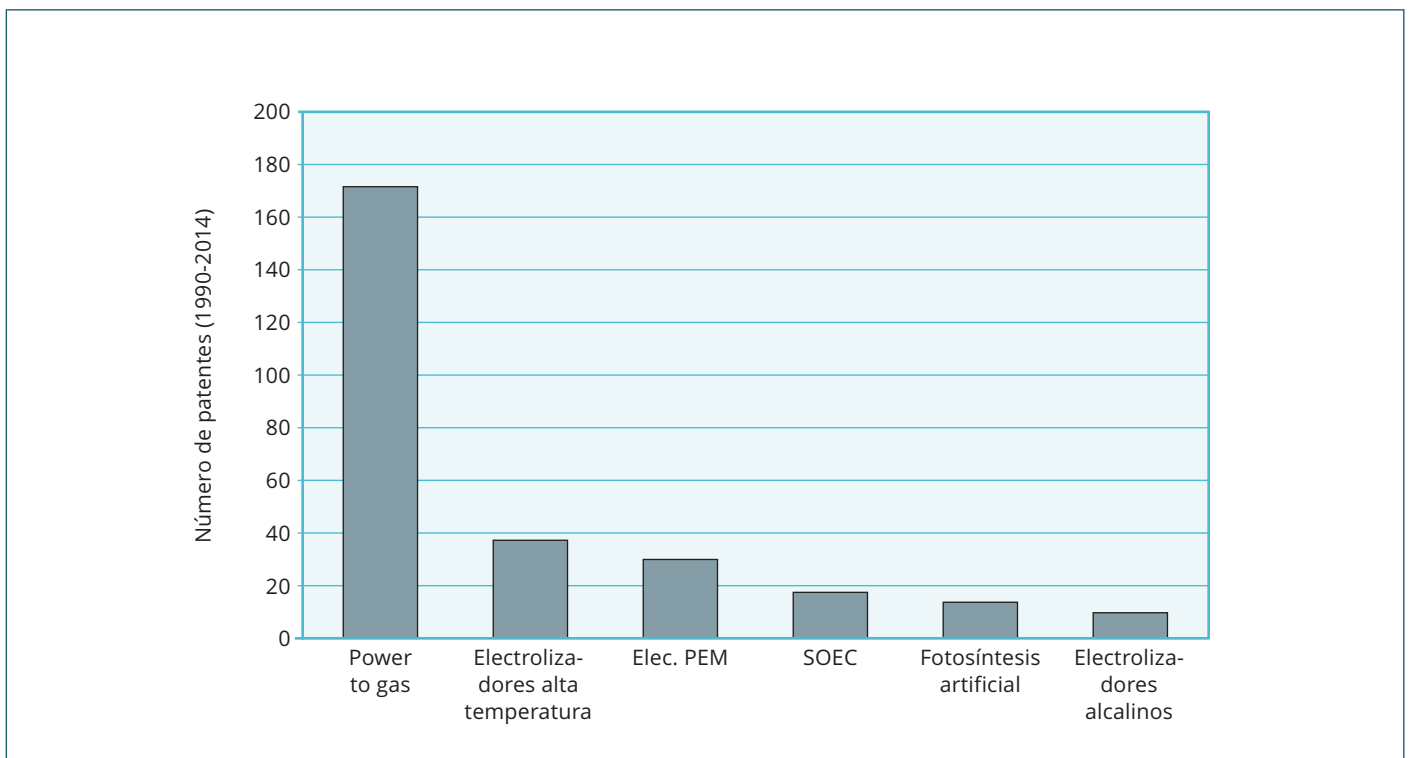


Figura 21. Número de patentes por tecnología de almacenamiento químico.

### II.3. Almacenamiento Térmico

Las principales compañías que cuentan con patentes dentro del grupo de tecnologías de almacenamiento térmico, se muestran en la Tabla 18. Se han agrupado en 3 grandes grupos: almacenamiento de energía mediante calor sensible, calor latente y materiales termoquímicos.

Tabla 18. Principales países generadores de patentes por tecnología de almacenamiento térmico.

	Calor sensible	DINICHI Co. Ltd.	3	Japón
		Nippon Furnace Kogyo Kaisha Ltd.	3	Japón
		NKK Corp.	3	Japón
		Toyota Central R & amp; D Labs Inc.	1	Japón
		Kawasaki Steel Corp.	1	Japón
	Calor latente	Matsushita Electric Works, Ltd.	17	Japón
		Mitsubishi Chemical Corp.	8	Japón
		NOK Corp	7	Japón
		SK Kaken Co. Ltd	5	Japón
		JFE Engineering Corp.	4	Japón
	Materiales termoquímicos	Intervep S.A.	4	Venezuela
		HEVATECH	3	Francia
		Alliance S.A Saint – Vit, FR	2	Francia
		CIEMAT	2	España
		Paul Scherrer Institute	2	Suiza

Dentro del almacenamiento termoquímico, el tercer país productor de patentes es España, a través del CIEMAT que cuenta con 2 patentes. Si se estudia el número de patentes por tecnología, Figura 22, las de calor latente son las que más patentes acumulan con 180, seguidas por las de calor sensible con cerca de 60 y por último las de materiales de cambio de fase con más de 30 patentes.

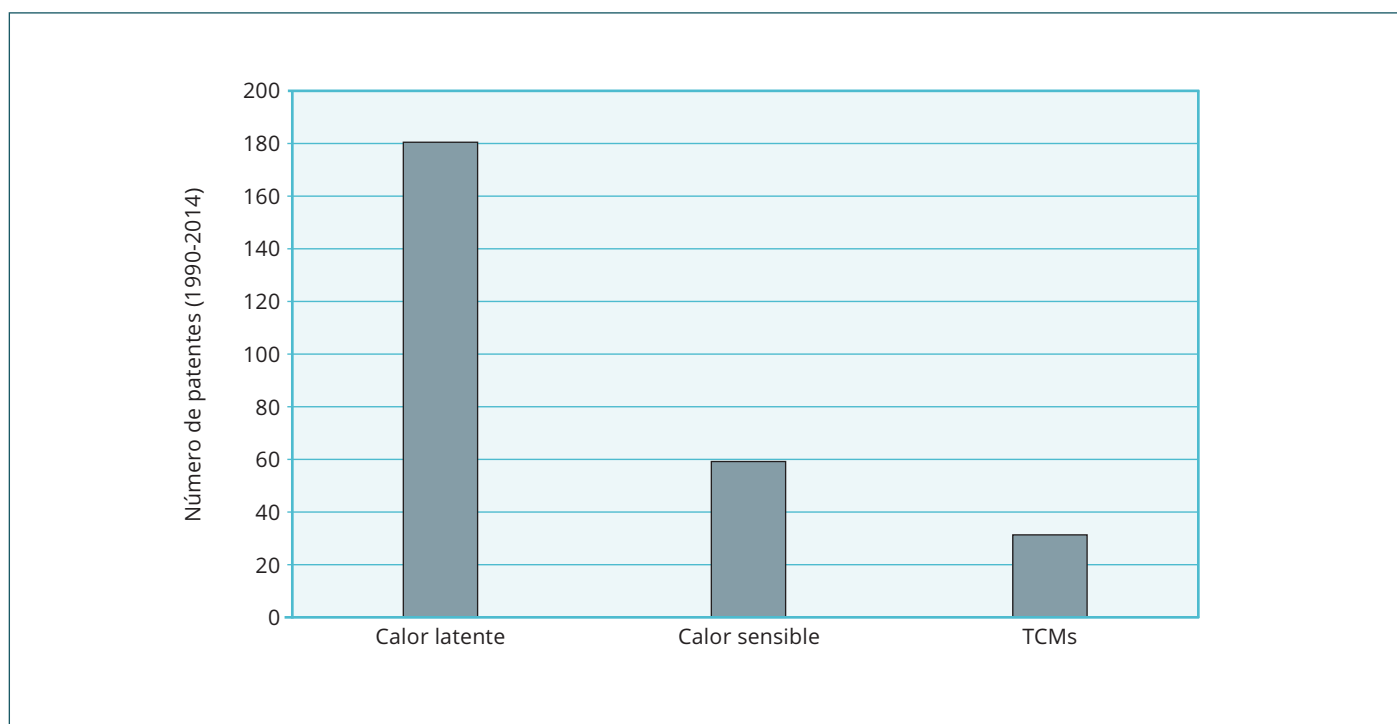


Figura 22. Número de patentes por tecnología de almacenamiento térmico.

## II.4. Almacenamiento Mecánico

Las tecnologías de almacenamiento mecánico estudiadas, son volantes de inercia e hidrobombeo. Dentro de estas categorías, los principales países generadores de patentes se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Principales países generadores de patentes por tecnología de almacenamiento mecánico.

	Volantes de inercia	Active Power, Inc.	12	EEUU
		Mitsubishi Electric Corp.	8	Japón
		RAILWAY TECHNICAL RES Institute	7	Japón
		TOSHIBA Corp.	7	Japón
		IHI Corp.	5	Japón
	Hidrobombeo CHR	Toshiba Corp.	4	Japón
		Electric Power Co. Ltd.	3	Japón
		Tokyo Electric Power Company Inc.	3	Japón
		Mitsubishi Electric Corp.	2	Japón
		William Riley	1	EEUU

En la Figura 23 se representa el número de patentes registradas por tecnologías. Se puede comprobar, cómo la mayor actividad investigadora se ha centrado en el desarrollo de los volantes de inercia (KESS) que acumulan casi 200 patentes, frente a las menos de 50 con las que cuenta la tecnología CHR.

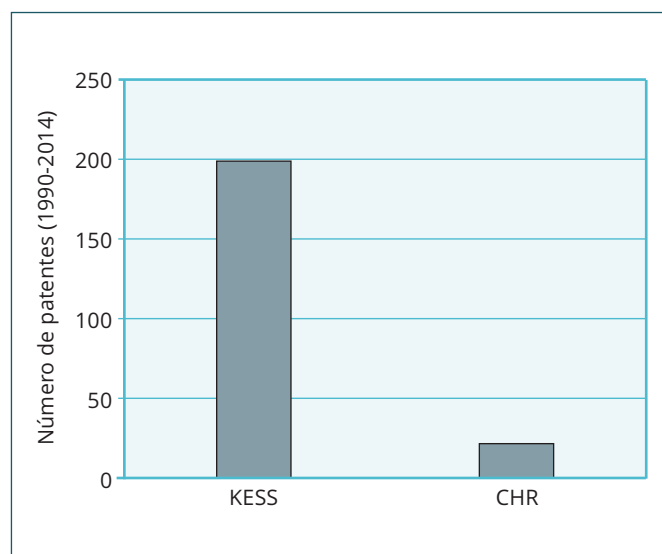
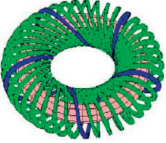


Figura 23. Número de patentes por tecnología de almacenamiento mecánico.

## II.5. Almacenamiento Magnético

Dentro del almacenamiento magnético es Toshiba la principal productora de patentes de superconductores magnéticos, tal y como se recoge en la Tabla 20.

Tabla 20. Principales productores de patentes de almacenamiento magnético.

	SMES	Toshiba Corp.	11	Japón
		ABB AB	3	Suiza
		National Institute for Materials Science	3	Japón
		Westinghouse Electric Corp.	3	EEUU
		Tokyo Electric Power Company Inc.	3	EEUU

El total de patentes registradas es de cerca de 70, tal y como se puede comprobar en la Figura 24.

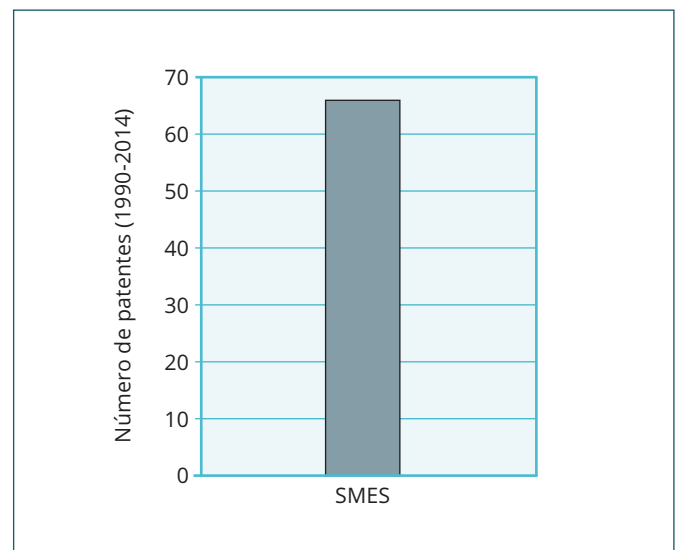


Figura 24. Número de patentes de almacenamiento magnético.

# AIII. RESUMEN DE CAPACIDADES Y PROYECTOS EN ESPAÑA

Durante el desarrollo de los trabajos del Grupo de Interplataformas de Almacenamiento se han identificado 119 proyectos desarrollados por entidades españolas relacionados con las distintas tecnologías de almacenamiento y se han recogido las capacidades de 24 entidades. Estos datos se encuentran disponibles en la

web de Futured ([www.futured.es](http://www.futured.es)), donde cualquier entidad podrá consultar y actualizar estos documentos.

Desglosados por tecnologías, se han detectado los siguientes proyectos:

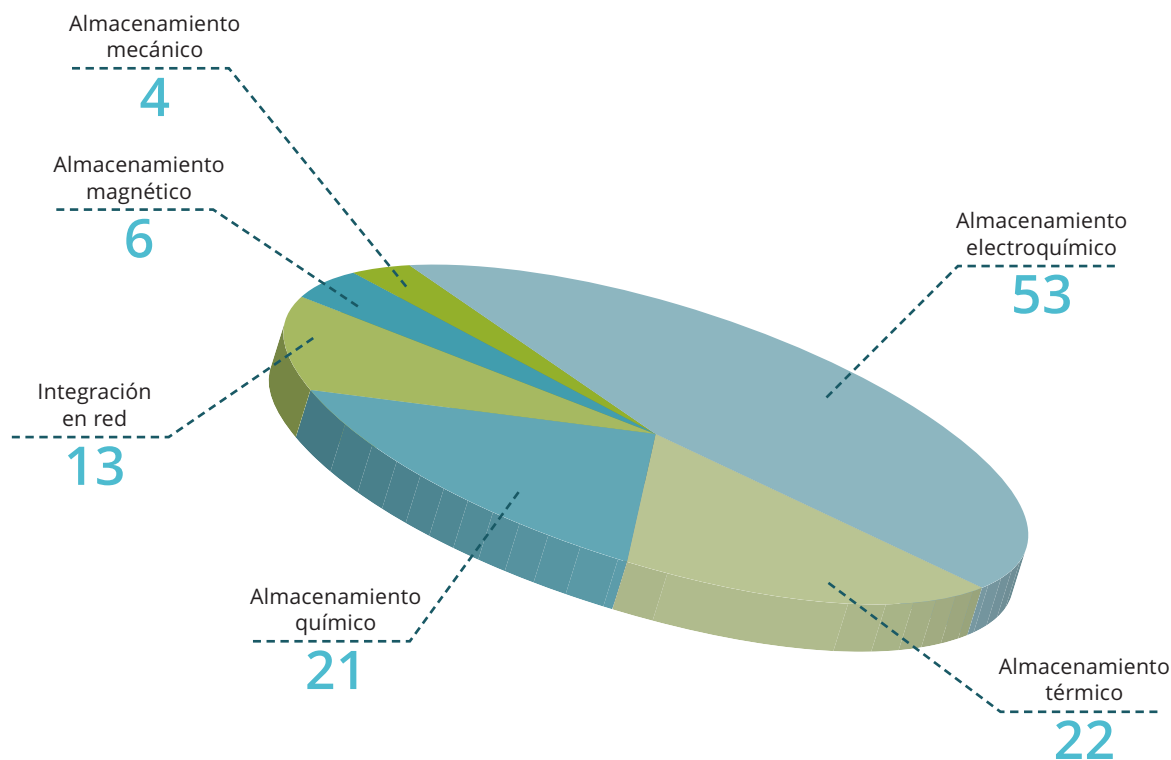


Figura 25. Número de proyectos por tecnologías en España.



# AIV. ENTIDADES PARTICIPANTES

## Coordinadores Grupo de Interplataformas de Almacenamiento (GIA)



## Líderes Grupos de Trabajo



Grupo Regulación



Grupo Integración en red y aplicaciones



Grupo de Almacenamiento Electroquímico



Grupo de Almacenamiento Químico



Grupo de Almacenamiento Térmico



Grupo de Almacenamiento Mecánico



Grupo de Almacenamiento Magnético

Participantes Grupos de Trabajo





# AV. GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>CAES</b>	Aire comprimido
<b>CHR</b>	Central de Hidrobombeo
<b>DSOs</b>	Gestor de Red de Distribución (Distribution System Operator)
<b>EASE</b>	Asociación Europea de Almacenamiento de Energía (European Association for Storage of Energy)
<b>EDLC</b>	Condensador de doble capa electroquímica (Electrochemical Double Layer Capacitor)
<b>EERA</b>	Alianza Europea de Investigación Energética (European Energy Research Alliance)
<b>ER</b>	Energías Renovables
<b>KESS</b>	Sistema de Almacenamiento Cinético
<b>L/A</b>	Lead-acid
<b>Li-Ion</b>	Ion-Litio
<b>LIQHYSMES</b>	Sistemas híbridos con hidrógeno líquido
<b>Na-S</b>	Sodio-Azufre
<b>Ni-Cd</b>	Niquel-Cadmio
<b>Ni-MH</b>	Niquel-Metal Hidruro
<b>PCM</b>	Materiales de Cambio de Fase (Phase Change Materials)
<b>RFB</b>	Batería de flujo redox (Redox flow Battery)
<b>SMES</b>	Sistema de Almacenamiento Magnético
<b>TCM</b>	Material Termoquímico
<b>TRL</b>	Nivel de Madurez Tecnológica (Technology Readiness Level)
<b>TSOs</b>	Gestor de Red de Transporte (Transmission System Operator)
<b>UPS</b>	Sistema de alimentación ininterrumpida
<b>VDSF</b>	Fachada ventilada
<b>VRB</b>	Batería redox de Vanadio (Vanadium Redox Battery)
<b>ZEBRA</b>	Sodio-cloruro de níquel
<b>Zn-Br</b>	Zinc-Bromo

# REFERENCIAS

1. Bradbury, K. "Energy Storage Technology Review", 2010.
2. Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030. Ed. D. Martens. EASE / EERA, 2013.
3. A. Hauer, J.Quinnell and E. Lävemann, Energy Storage Technologies – Characteristics, Comparison, and Synergies, in Transition to Renewable Energy Systems (eds D. Stolten and V. Scherer), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. doi: 10.1002/9783527673872.ch27 (2013).
4. A. Gracia, L. Navarro, A. Castell, D. Boer, L. F. Cabeza, Life cycle assessment of a ventilated facade with PCM in its air chamber, Solar Energy Volume 104, 2014, pages 115–123.
5. Fuente: Elaboración propia a partir de DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA. Akiril, Huff, Currier, Kaun, Rastler, Bingqing, Cotter, Bradshaw, and Gauntlett. Sandia National Laboratories. y Electricity Energy Storage Technology Options. A white paper Primer on Applications, Costs and Benefits. Electric Power Research Institute (EPRI). Diciembre 2010.
6. Fuente: Elaboración propia a partir de BC Hydro, Pumped storage at Mica generating station, Preliminary cost estimate, 2010.
7. EASE/EERA (European Association for Storage of Energy/European Energy Research Alliance), Joint EASE/EERA recommendations for a European energy storage technology development roadmap towards 2030.
8. Houdeline, J.B., Liu, J., Lavigne, S., Laurant, Y. and Balarac, L., Start-up improvement in turbine mode for high head PSP machine, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 15(4), pp. 1-10, 2012.
9. Pérez-Díaz, J.I., Cavazzini, G., Blázquez, F., Platero, C., Fraile-Ardanuy, J., Sánchez, J.A. and Chazarra, M., Technological developments for pumped-hydro energy storage, Technical Report, Mechanical Storage Subprogramme, Joint Programme on Energy Storage, European Energy Research Alliance, 2014a.
10. I. Gyuk. "EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for Transmission and Distribution Applications". U.S. Department of Energy.
11. Sandia report. Long- vs. Short-Term Energy Storage Technologies Analysis. A Life-Cycle Cost Study. A Study for the DOE Energy Storage Systems Program. 2013.
12. Ingram, E.A., Worldwide pumped storage activity, Hydro Review Worldwide, vol. 18(4), 2010.
13. Harby, A. and Bogen, J. Environmental impacts from hydropeaking and mitigation – A case-study of three different Norwegian peaking hydropower plants, in Proc. 2012 HYDRO Conference.
14. UF (Unión Fenosa), Rehabilitación del distribuidor del grupo I en la Central Hidroeléctrica Castrelo, Revista Unión Fenosa, número 114, 2004.
15. Bednarek, A., Undamming rivers: A review of the ecological impacts of dam removal, Environmental Management, vol. 27, no. 6, pp. 803-814, 2001.
16. SHAPES, Seminario para inversores en centrales minihidráulicas, actas, Pamplona, 23 de octubre de 2008.
17. Raadal, H. L., Gagnon, L., Modahl, I. S., Hanssen, O. J., Life cycle greenhouse gas (GHG) emissions from the generation of wind and hydro power, Renewable & Sustainable Energy reviews, vol. 15, pp. 3417- 3422, 2011.
18. Troy, N., Denny, E. and O'Malley, M., The relationship between base-load generation, start-up costs and generation cycling, in Proc. 2008 USAEE/IAEE North American Conference.
19. Yang, C. J. and Jackson, R. B., Opportunities and barriers to pumped-hydro energy storage in the United States, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp. 839-844, 2011.
20. Sander M. "LIQHYSMES -Multi-Functionality Hybrid Energy Storage Systems Incorporating SMES" IEA-HTS-IA-ExCo-Meeting, Lausanne, May 2013.
21. Fuente: Elaboración propia a partir de DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA. Akiril, Huff, Currier, Kaun, Rastler, Bingqing, Cotter, Bradshaw, and Gauntlett. Sandia National Laboratories. y Electricity Energy Storage Technology Options. A white paper Primer on Applications, Costs and Benefits. Electric Power Research Institute (EPRI). Diciembre 2010.





**GIA**

Grupo Interplataformas  
de Almacenamiento

Contacto:

SECRETARÍA TÉCNICA  
DE LA PLATAFORMA FUTURED

C/ Mariano Esquillor Gómez, 15  
50018 Zaragoza (España)

☎ (+34) 976 761 863

☎ (+34) 976 732 078

✉ [secretaria@futured.es](mailto:secretaria@futured.es)

[www.futured.es](http://www.futured.es)

Financiado por:

