

CURSO DE GESTIÓN DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES

2 – LA TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LAS REDES INTELIGENTES

2.3 – Los vehículos eléctricos y los sistemas de almacenamiento en las redes inteligentes

Junio 2014

TECNALIA es el primer centro de investigación aplicada de España y uno de los más importantes de Europa, con cerca de 1.500 personas, una facturación de 110 millones de euros y más de 4.000 clientes.

**Una apuesta única,
una oportunidad,
un reto.**



IDEAS QUE CREAN VALOR

Inspiring Business



VALORES

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| 1 COMPROMISO CON EL FUTURO | 4 CREATIVIDAD EFICAZ |
| 2 VISION DE NEGOCIO | 5 FLEXIBILIDAD |
| 3 TENACIDAD INVESTIGADORA | 6 CONECTIVIDAD |



7 DIVISIONES DE NEGOCIO

- | |
|-----------------------------------|
| 1 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE |
| 2 ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE |
| 3 ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN |
| 4 ICT-EUROPEAN SOFTWARE INSTITUTE |
| 5 INDUSTRIA Y TRANSPORTE |
| 6 SALUD |
| 7 SERVICIOS TECNOLÓGICOS |



PRESENCIA EN EL MUNDO



IDEAS QUE CREAN VALOR

"TECNALIA transforma el Conocimiento en PIB para mejorar la calidad de vida de las Personas, creando oportunidades de negocio en las Empresas"



NUESTRA ACTIVIDAD EN CIFRAS

DOCUMENTO EDITADO EN FEBRERO DE 2014

CIENTO DIEZ MILLONES

DE EUROS DE INGRESOS



PRIMERA ORGANIZACIÓN PRIVADA
ESPAÑOLA EN RETORNOS ECONÓMICOS,
PROYECTOS APROBADOS Y
LIDERADOS EN EL VII PROGRAMA
MARCO EUROPEO

1^a



EXPERTOS
EN PLANTILLA

1.500

TRABAJANDO
POR UN OBJETIVO
COMÚN:

GENERAR OPORTUNIDADES
DE NEGOCIO A TRAVÉS
DE LA INVESTIGACIÓN
APlicada.



4 EJES DE UNA OFERTA AL SERVICIO DE LA EMPRESA



En TECNALIA estamos organizados en 7 Divisiones de Negocio totalmente interconectadas entre sí. La cooperación funciona gracias a la transversalidad de equipos, proyectos y clientes que colaboran entre sí aunando experiencia y compromiso. Nuestro mayor valor reside en un equipo de más de 1.500 expertos orientados a transformar el conocimiento en PIB para mejorar la calidad de vida de las personas creando oportunidades de negocio en las empresas.

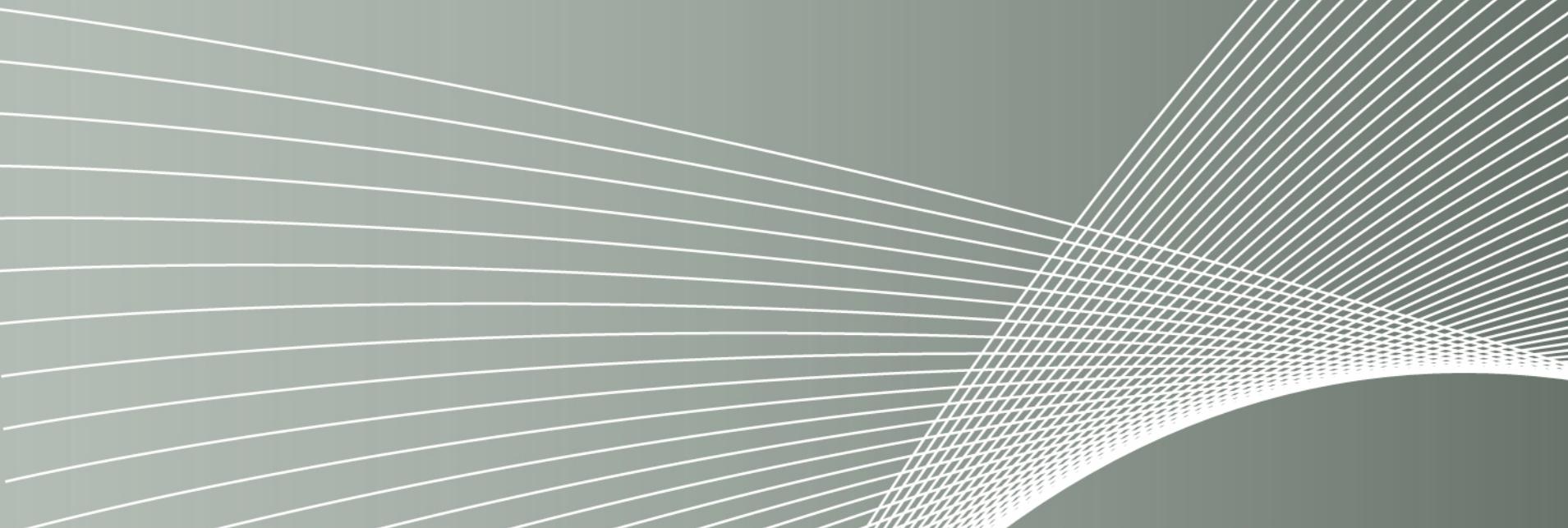
Tenemos un compromiso con el futuro, con la sociedad, con el planeta y con nuestro entorno y esta responsabilidad orienta nuestros valores y refuerza nuestra actividad.

Qué conozco bien

- ✓ El mundo de la red eléctrica, el consumo eléctrico, el no consumo eléctrico, las tecnologías de T&D y de generación eléctrica.
- ✓ Tecnologías de futuro, I+D en energía, especialmente en el sector eléctrico.
- ✓ Indirectamente, todo lo relacionado con la energía.
- ✓ Algo de economía y de regulación

Qué NO conozco bien

- ✓ Detalle de tecnología química y electroquímica
- ✓ Los detalles de otros usos de energía primaria que no estén relacionados con la electricidad.
- ✓ El mundo del transporte
- ✓ El cambio climático así como técnicas y políticas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

- 
- 1. El sistema eléctrico y el almacenamiento de energía**
 - 2. Tecnologías**
 - 3. Aplicaciones**
 - 4. Mercado del almacenamiento de energía**
 - 5. Conclusiones**
 - 6. El vehículo eléctrico**



We Need a Battery Miracle. Bill believes that creating large scale batteries to store energy is a critical problem to solve if solar and wind energy are to become mainstream.

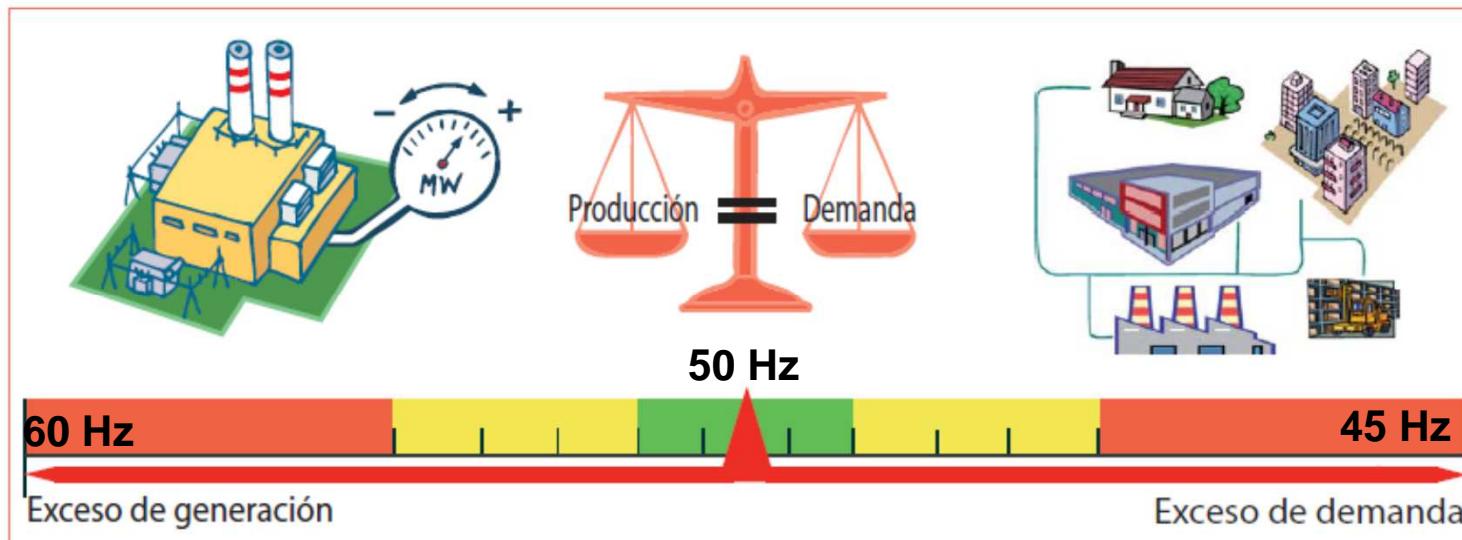


Por dinero te digo lo que quieras. Que hay mucho mercado..., que es la solución para los problemas de la humanidad..., o que no tiene futuro y no vale para nada...



El almacenamiento es un **elemento importante** para las redes eléctrica del futuro, aunque **competirá con otras tecnologías**. Presenta un mercado difícil de prever, que depende de muchos factores, y además **requiere desarrollo tecnológico**.

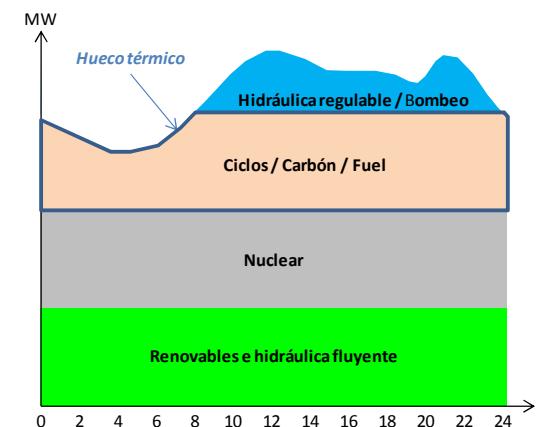
1. El sistema eléctrico



Fuente: www.ree.es

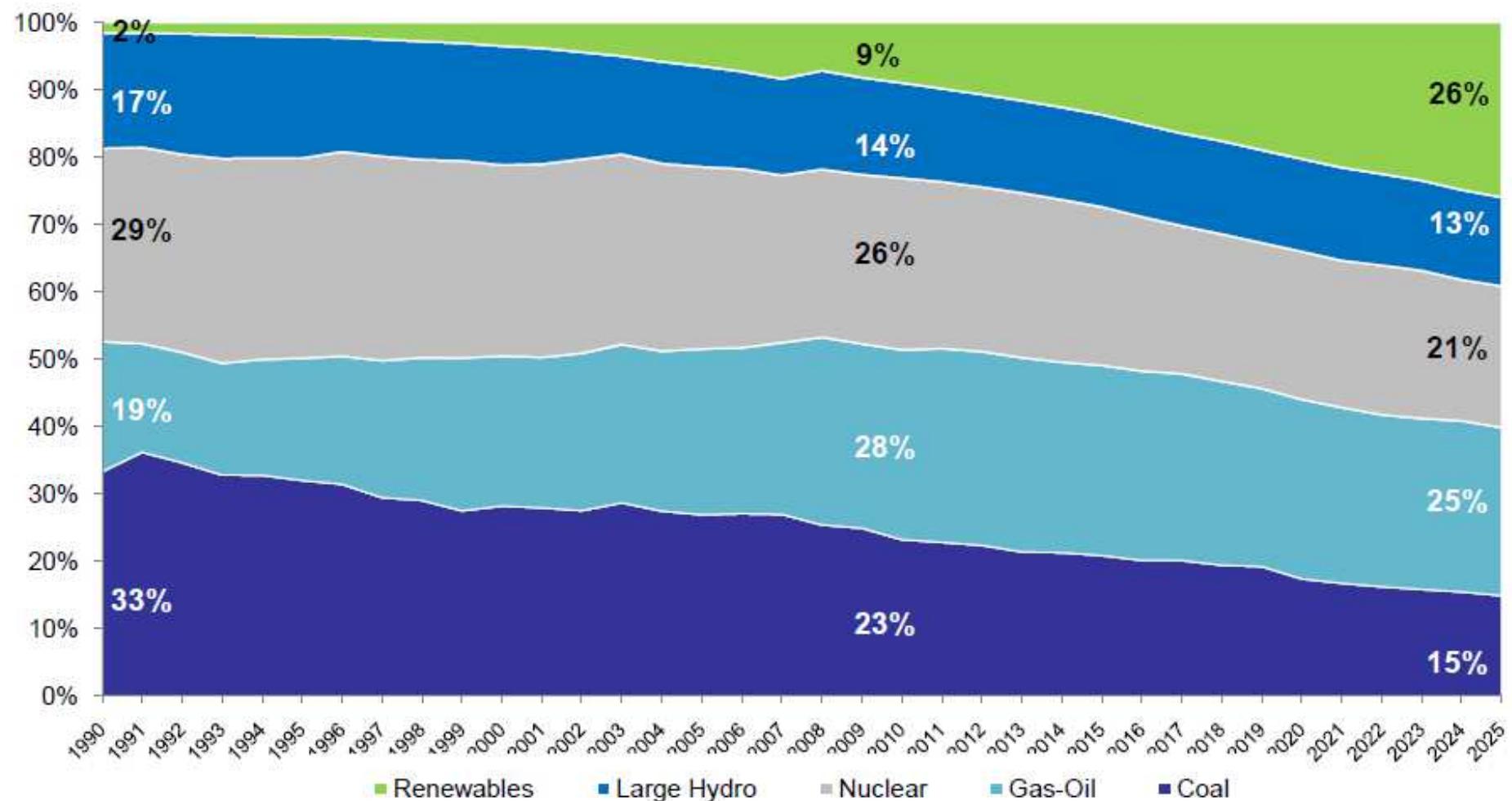
Principio de operación del sistema eléctrico: mantener en todo momento el balance entre generación y consumo de energía.

- Previsión de las curvas de demanda
- Generación programable
- Reservas de generación (primaria, secundaria y terciaria)

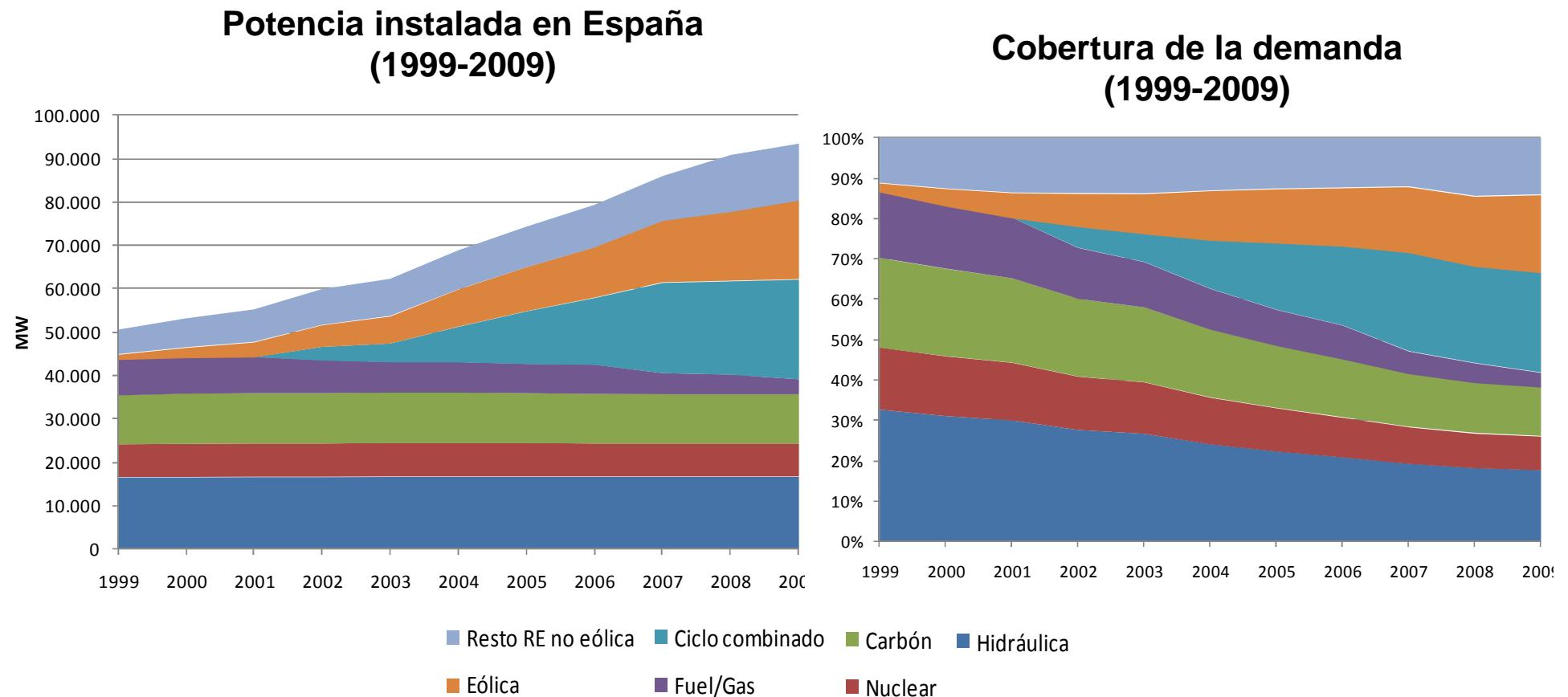


1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa

Penetración de energías renovables en Europa (1990-2025)



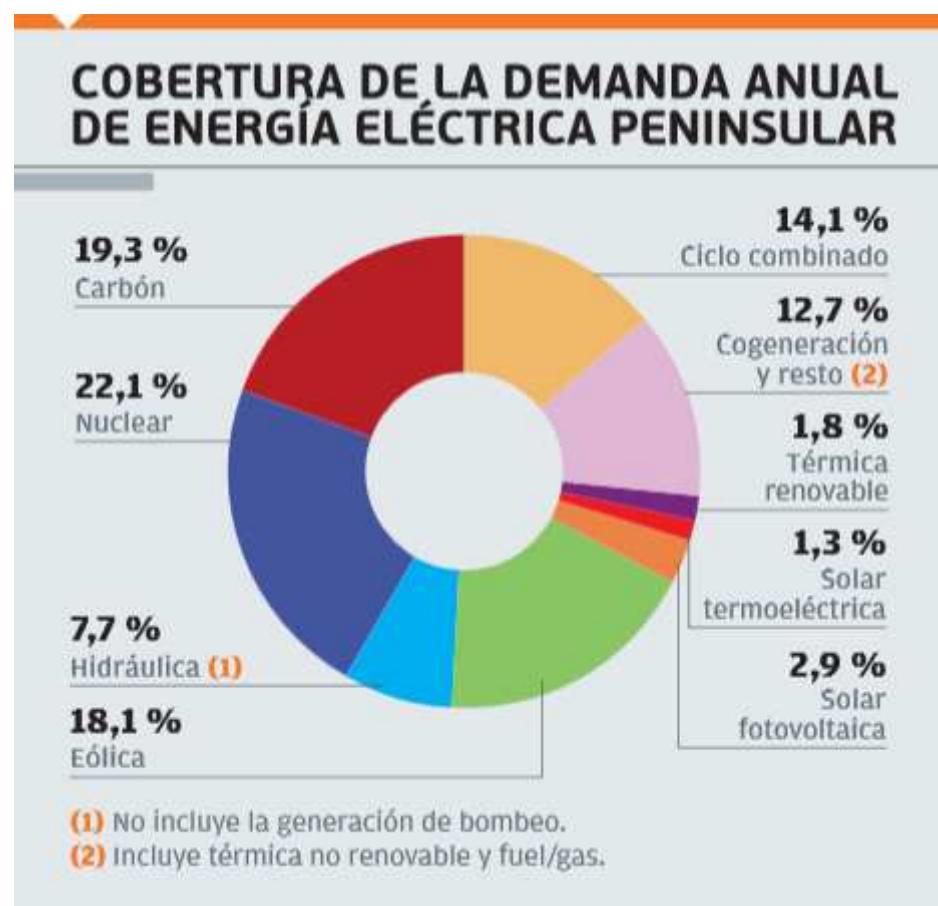
1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa



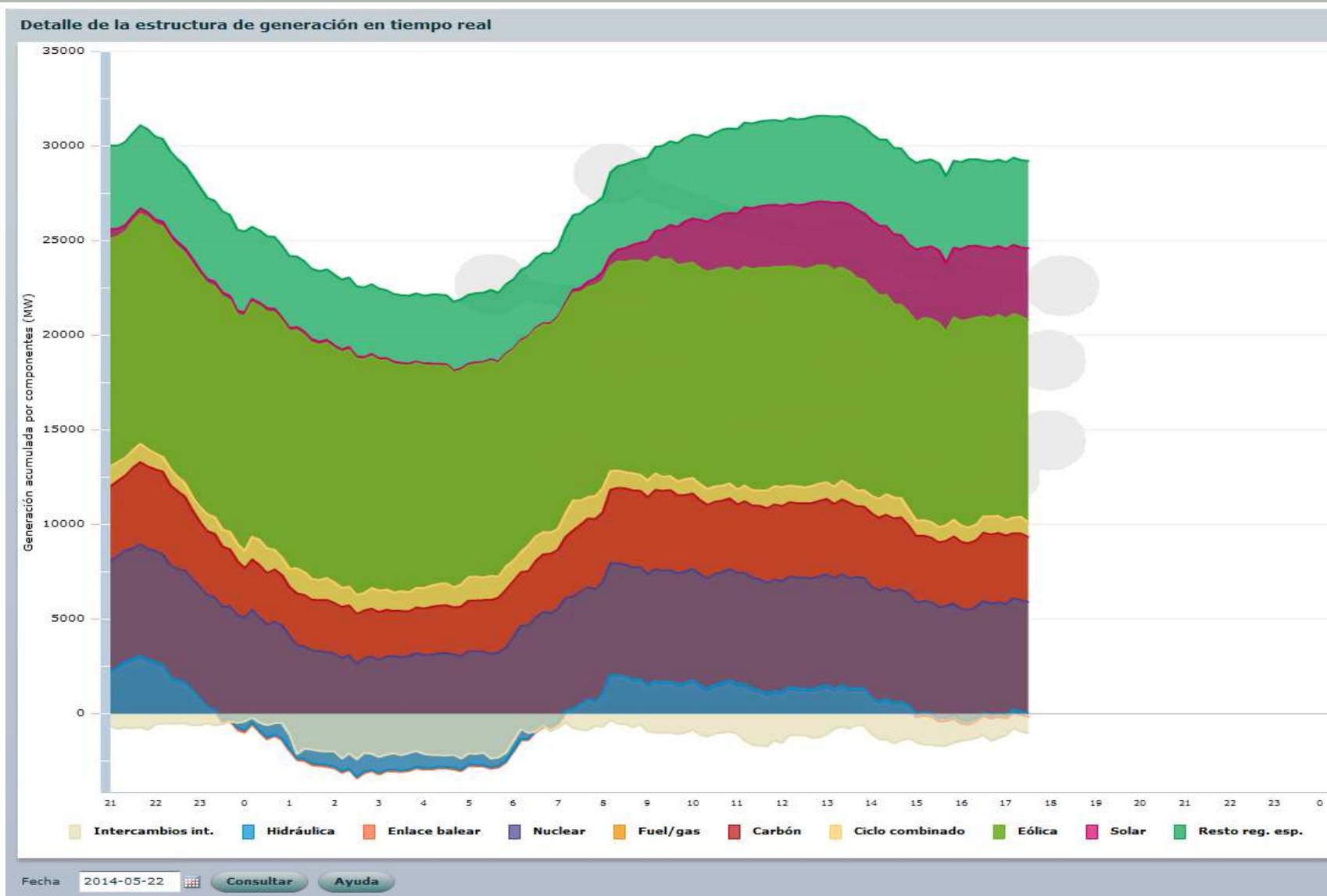
Fuente:REE

1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa

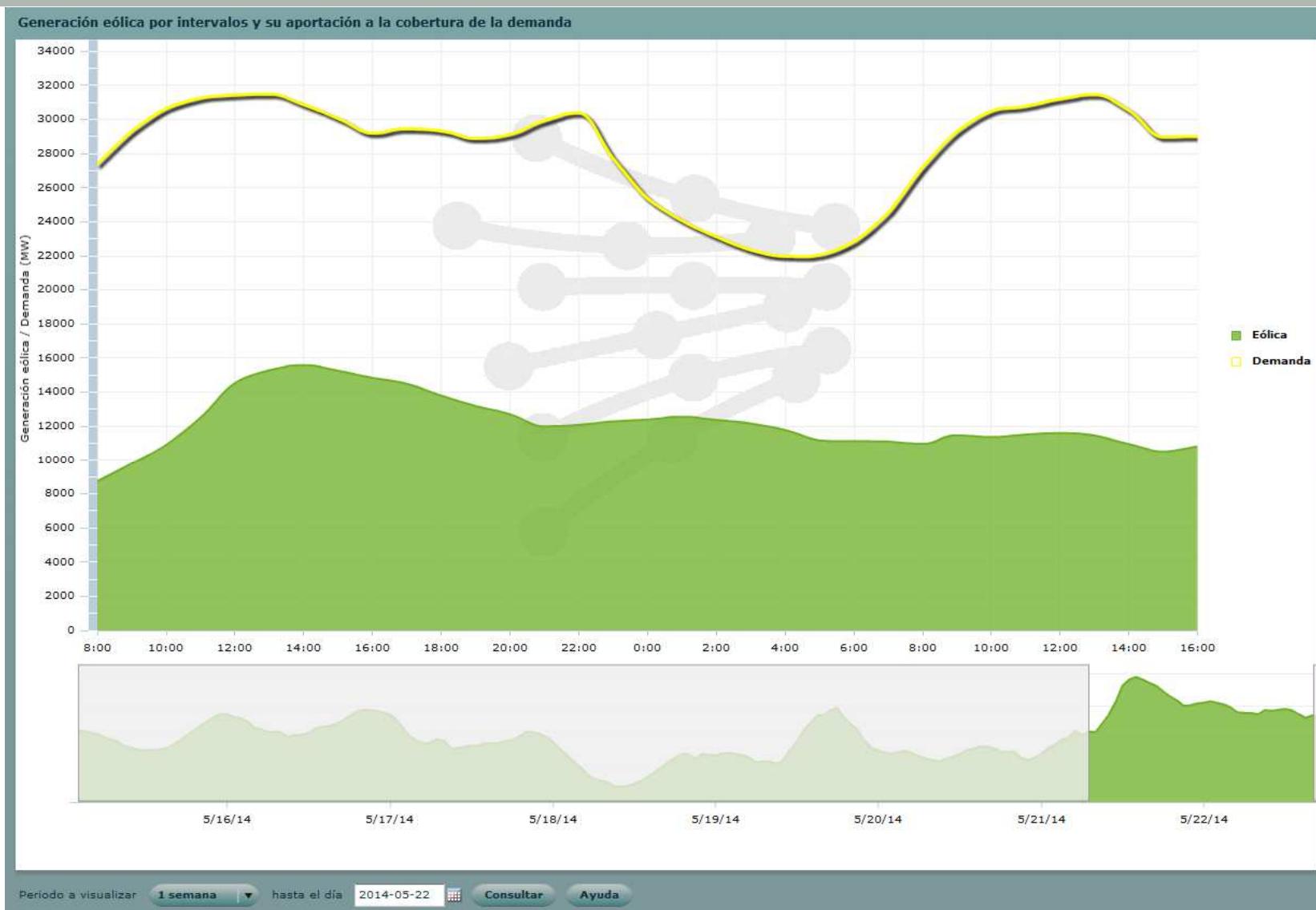
REE (www.ree.es): Avance Informe de operación del sistema eléctrico. Año 2012



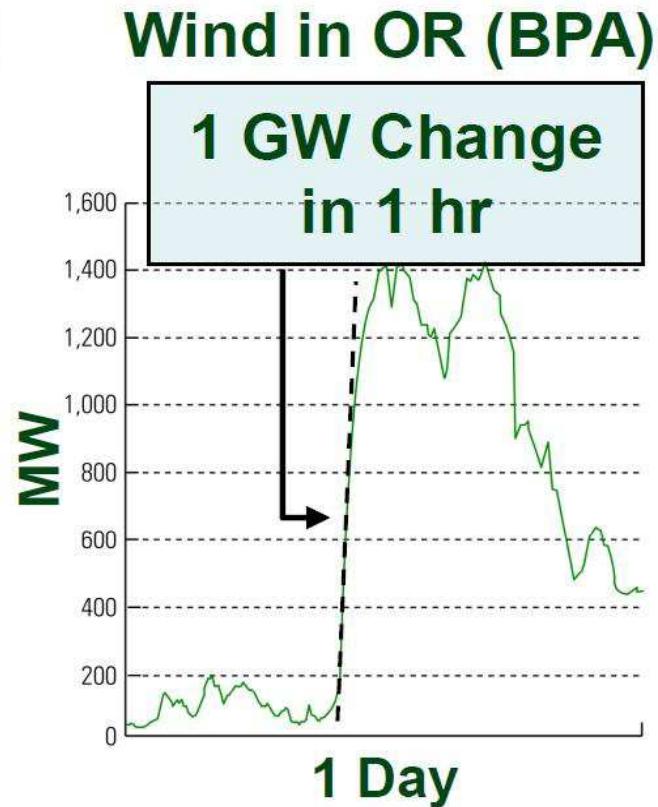
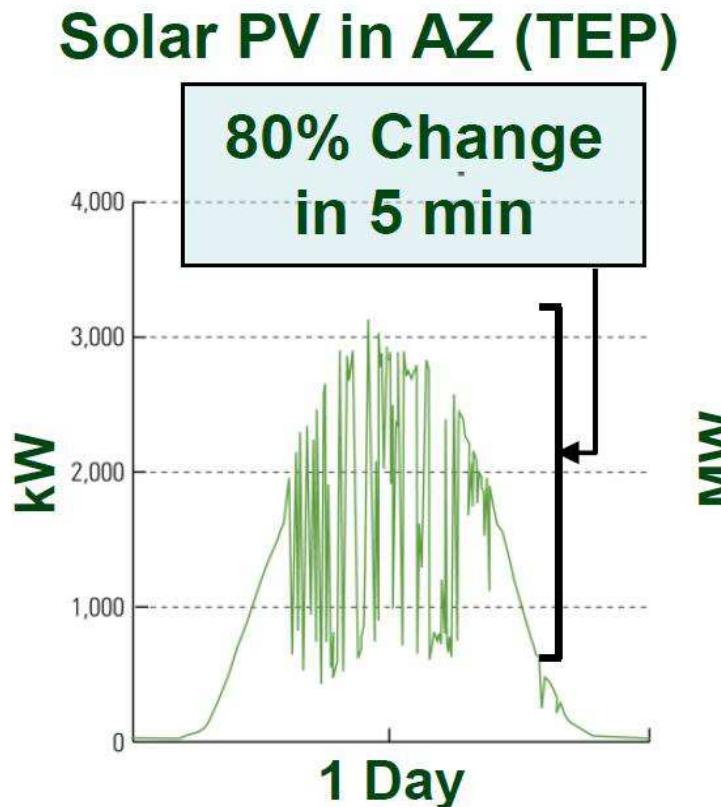
1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa



1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa



1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa

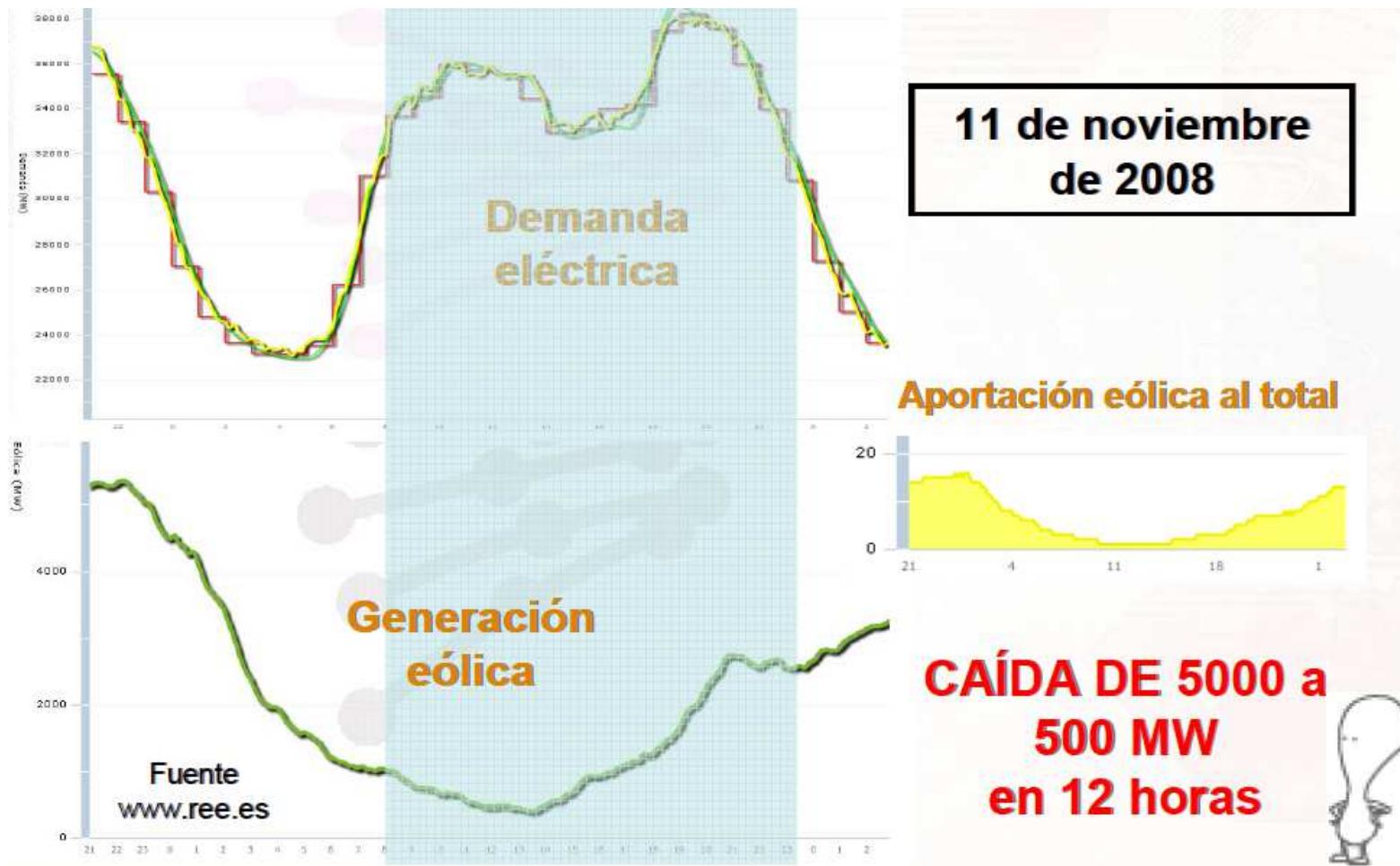


Problem:
Minutes-to-Hours Changes in Power

Fuente: ARPA

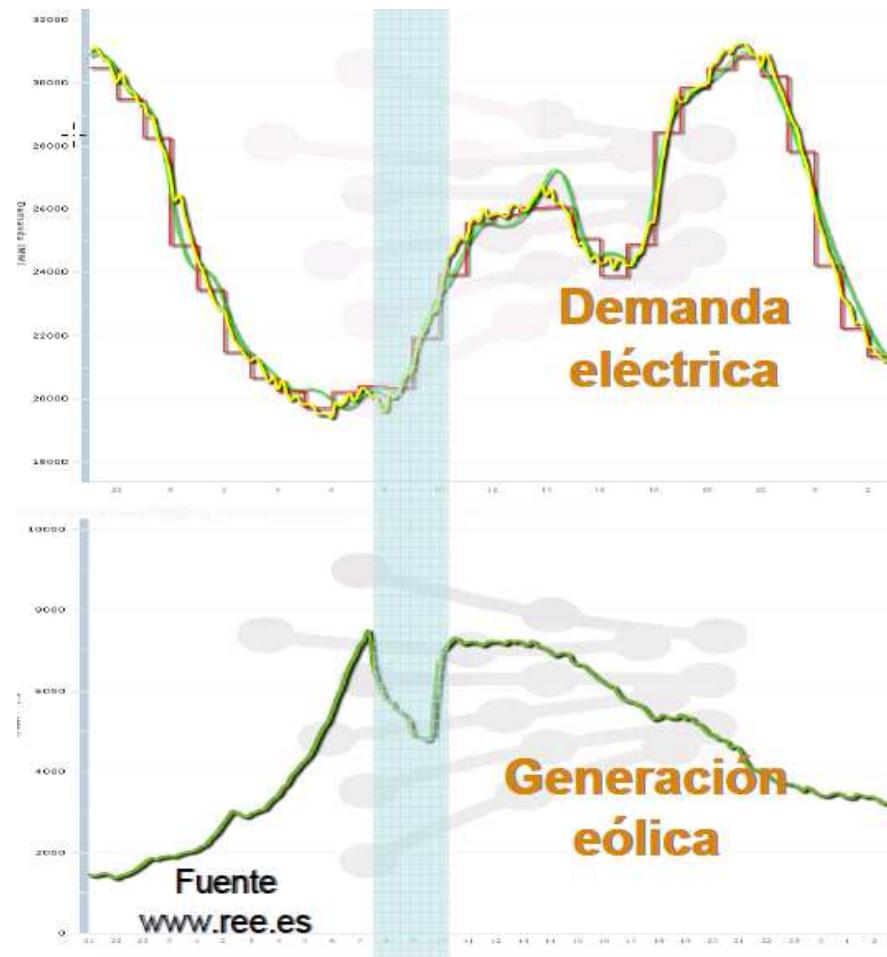
1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa

La adaptación de la demanda no está garantizada



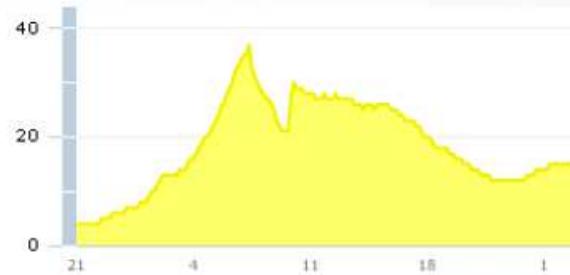
1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa

La adaptación de la demanda no está garantizada



2 de noviembre de
2008

Aportación eólica al total

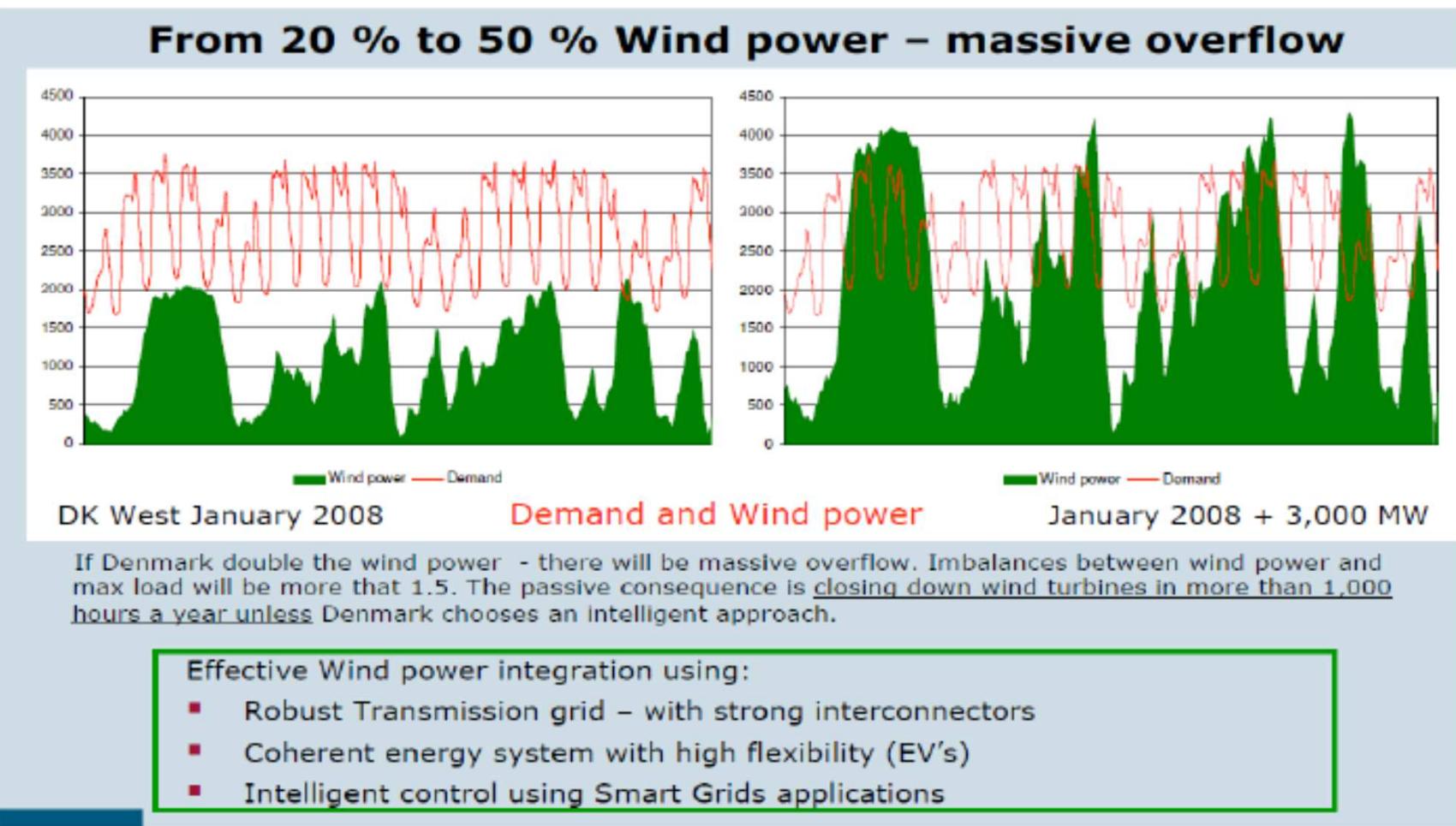


DESCONEXIÓN

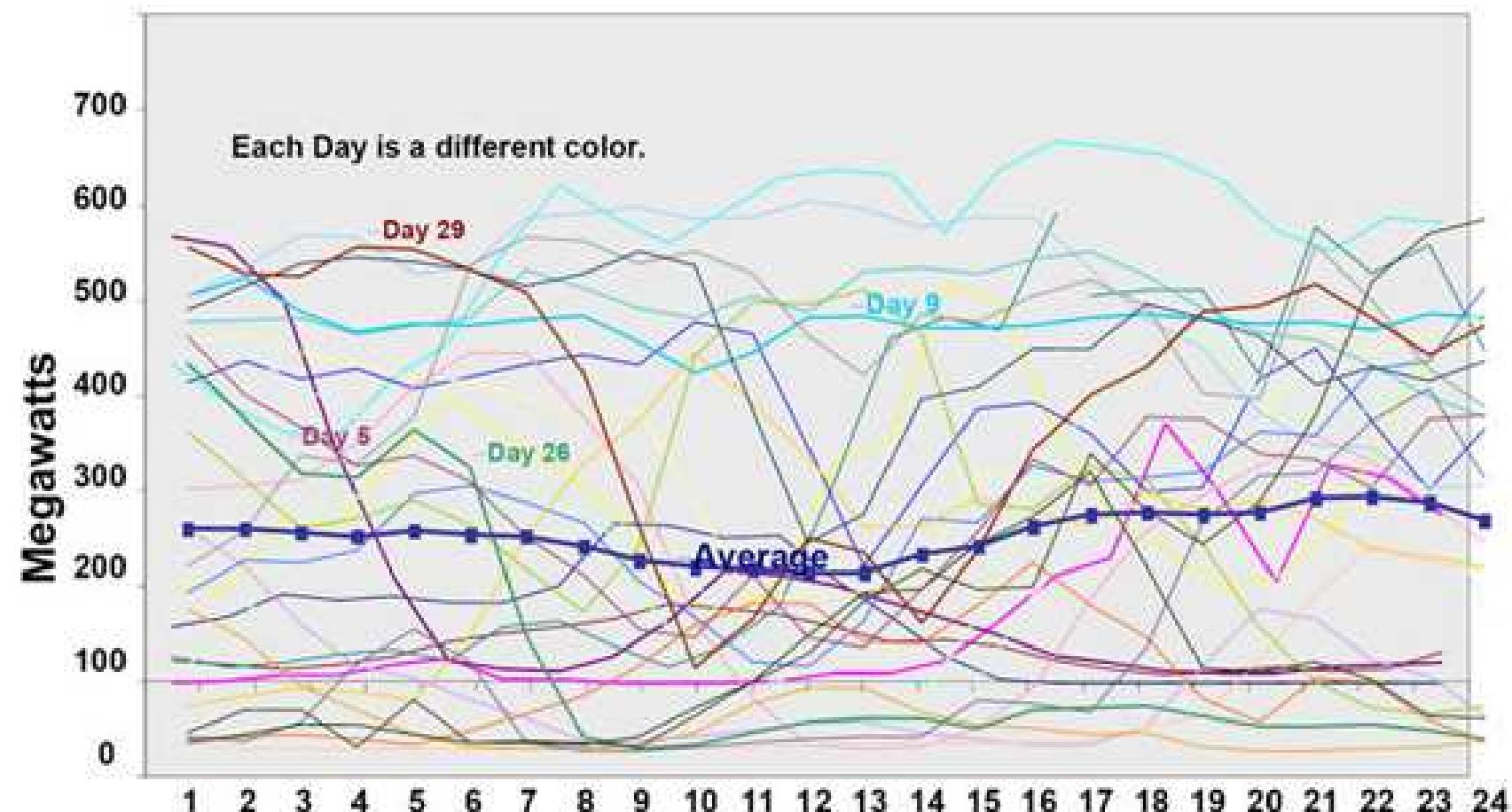


1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa

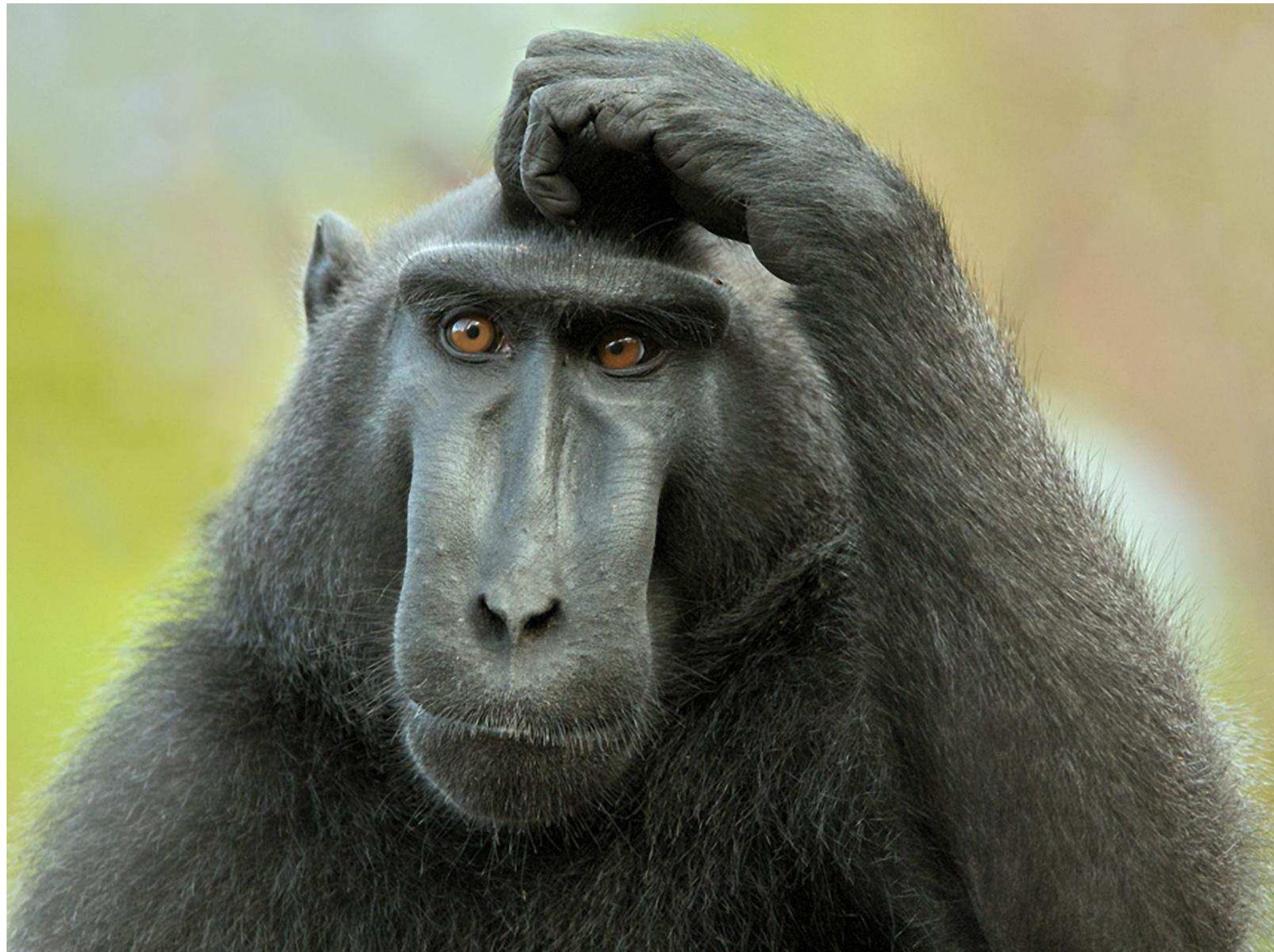
El caso Danés



Generación predecible, pero no **gestionable**

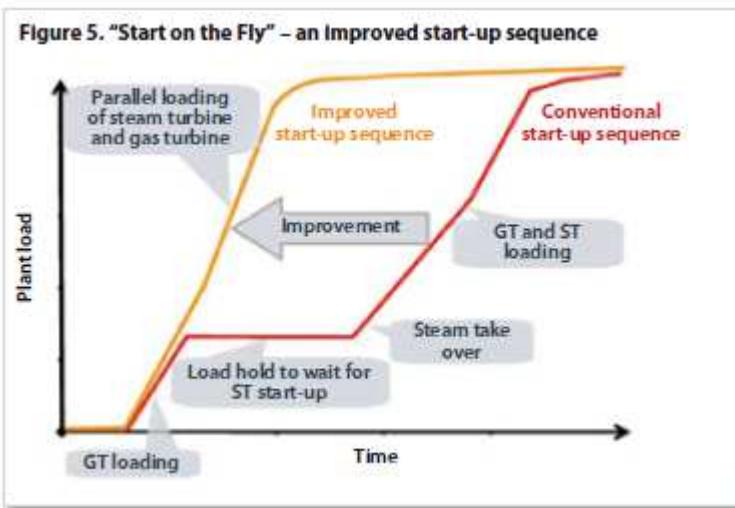


Fuente: NREL

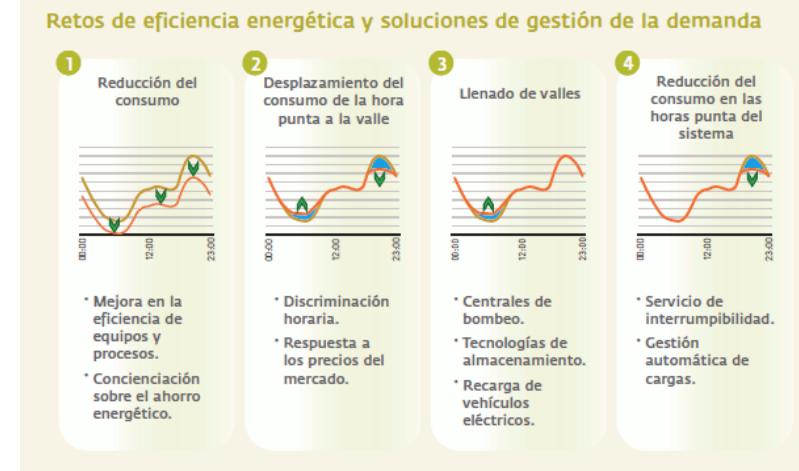


1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa

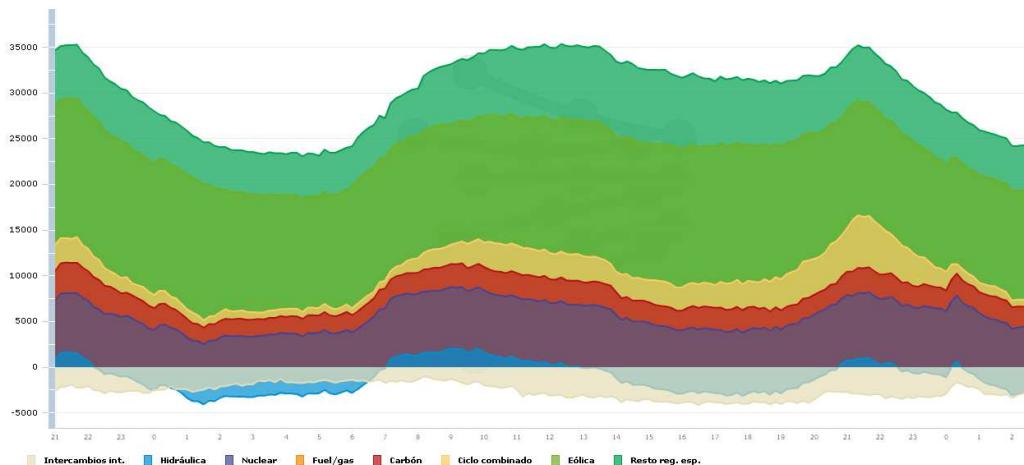
generación flexible



gestión de la demanda

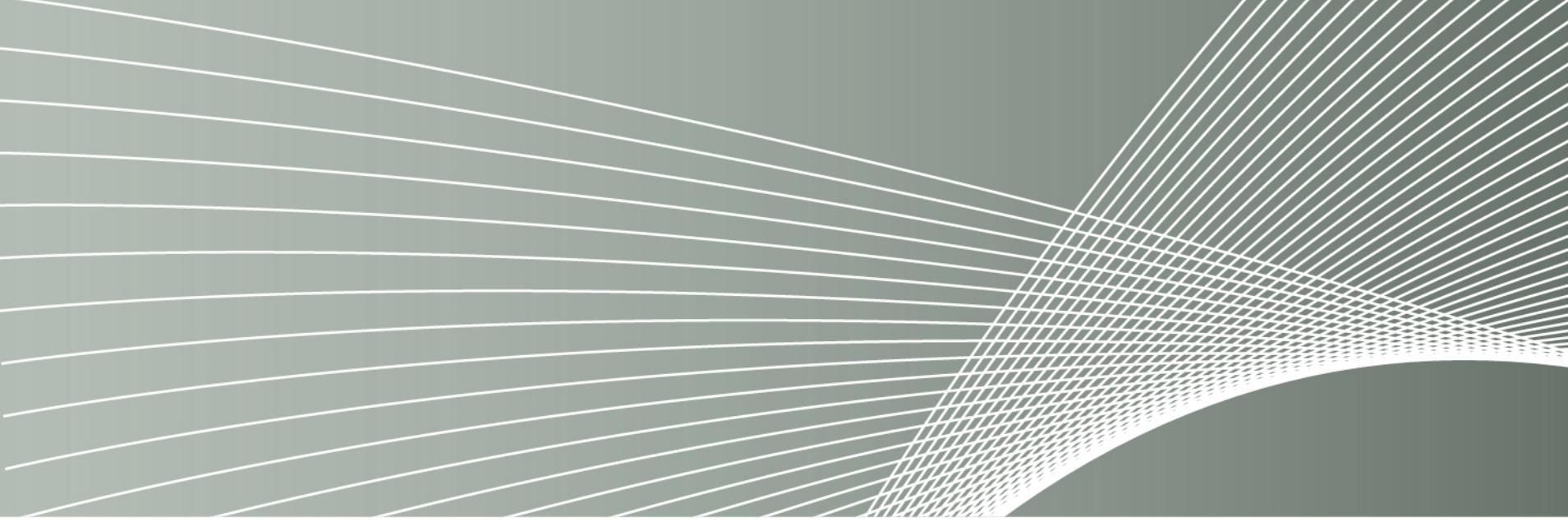


Interconexión internacional



1. El sistema eléctrico: la energía en España y en Europa



- 
- 1. El sistema eléctrico y el almacenamiento de energía**
 - 2. Tecnologías**
 - 3. Aplicaciones**
 - 4. Mercado del almacenamiento de energía**
 - 5. Conclusiones**
 - 6. El vehículo eléctrico**

2.- Tecnologías: Clasificación

- **Bombeo hidráulico**
- **CAES**
- **Volantes de inercia**

MECÁNICO

- **Plomo-Acido**
- **Ni-Cd**
- **Litio-Ión**
- **NaS**
- **Flujo**
- **H₂**

ELECTROQUÍMICO

- **Supercondensadores**
- **SMES**

ELECTROSTÁTICO

- **Calor**
- **Frio**

TÉRMICA

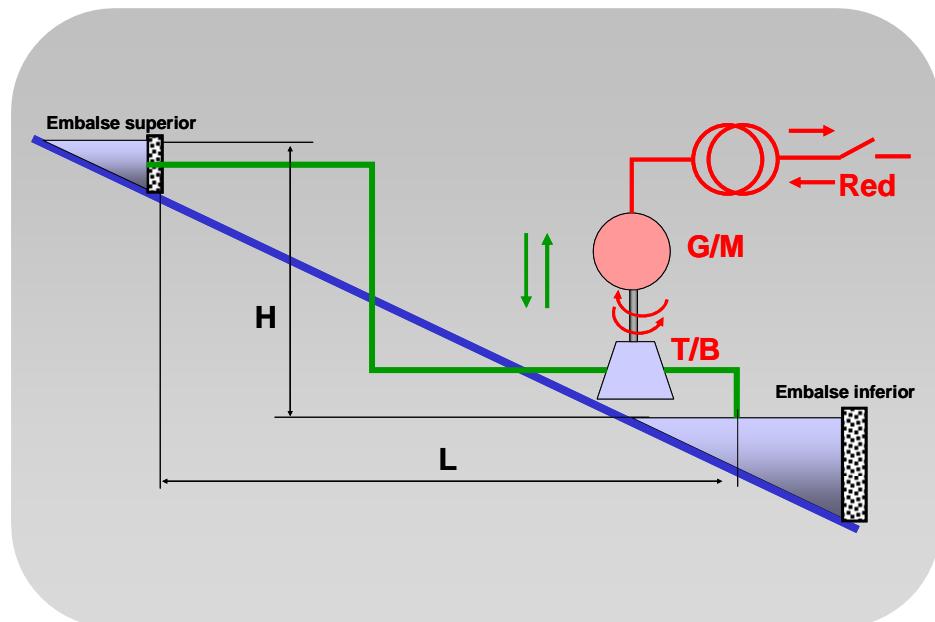
2.- Tecnologías: Bombeo hidráulico

Principio y características

Almacenamiento mecánico de energía en forma de agua embalsada, que bombeada desde un embalse inferior a un embalse superior.

$$E(kWh) = \frac{V(m^3) \cdot g \cdot H(m)}{3600} = 0.002725 \cdot V \cdot H$$

- Supone el 99% del almacenamiento a nivel mundial
- ✓ Tecnología muy madura
- ✓ Potencia y energía son parámetros independientes
- ✓ Respuesta rápida
- ✗ Depende de la orografía del terreno
- ✗ Impacto medioambiental elevado
- ✗ CAPEX muy elevado



Parámetros

Eficiencia: 70-75 %	★
Potencia: 100 – 1000 MW	★
Energía: 500 -15000 MWh	★
Vida útil: > 30 años	★
Coste Inversión: 600- 2000 \$ /kW	★
LCOE: 0,05 – 0,15 \$/kWh	★

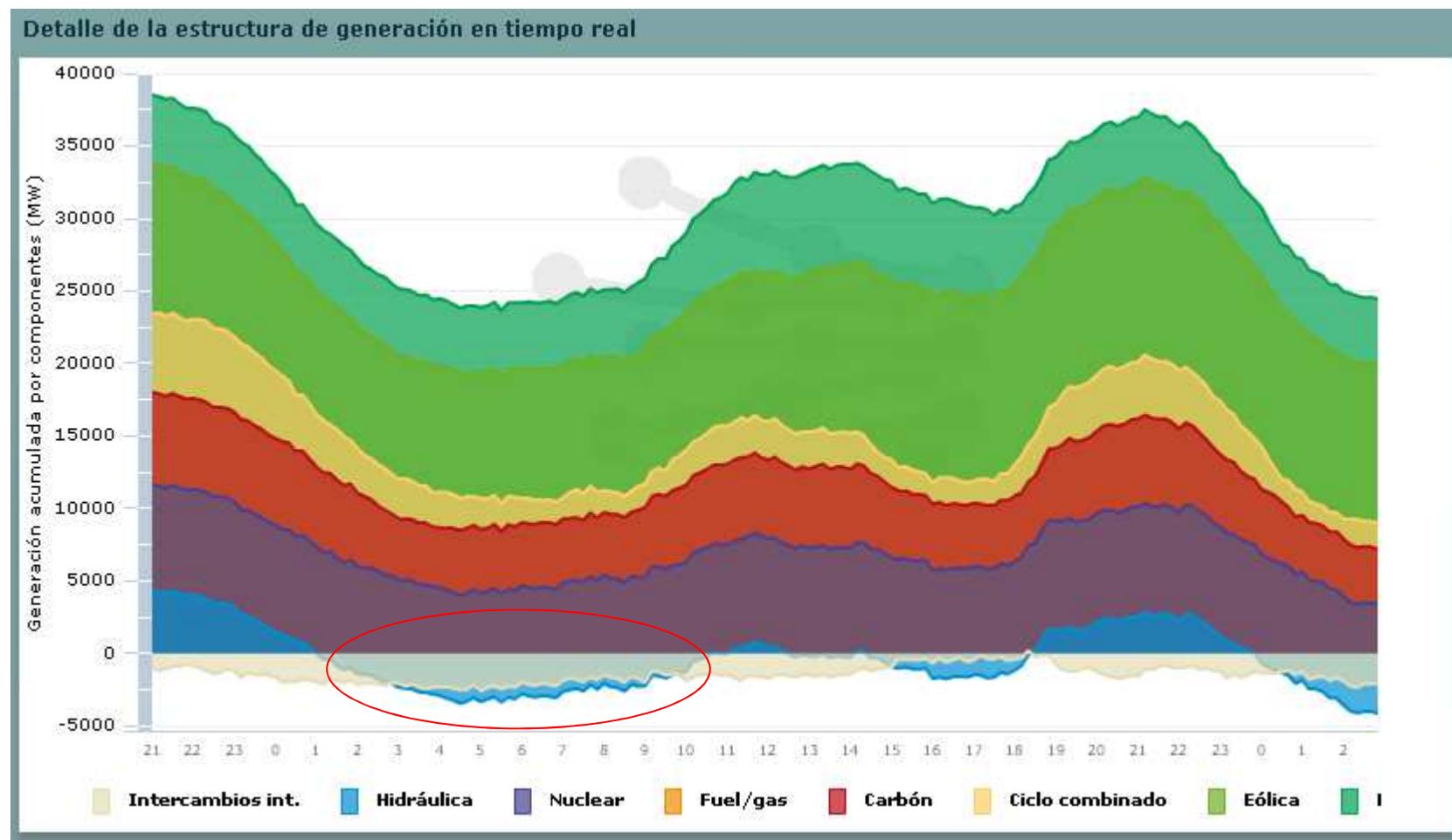
2.- Tecnologías: Bombeo hidráulico



Pumped storage station. Pennsylvania, USA

2.- Tecnologías: Bombeo hidráulico

Estructura de generación 5/02/2012 (Fuente REE)



2.- Tecnologías: Bombeo hidráulico

Market Perspectives:

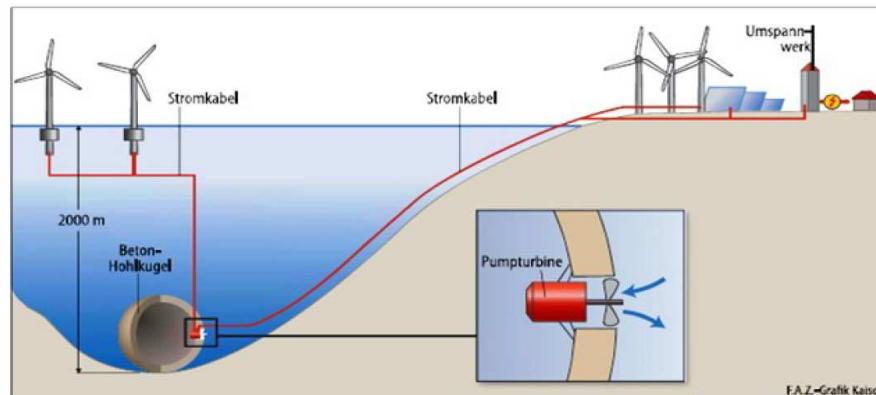
- Europe: repowering and conversion of hydroelectric power stations. PHS capacity additions are expected to reach 18 GW between 2011 and 2025 (Source IPHS), for an actual capacity of 30 GW

Main Barriers

- Site restriction
- High Environmental impact
- High initial capital investment

New trends

- Variable speed machines.
- Ocean PHS (use of the sea as lower reservoir)
- Artificial offshore islands (inverse pump hydro)
- Underground and underwater pumped hydro.



Source: StEnSea



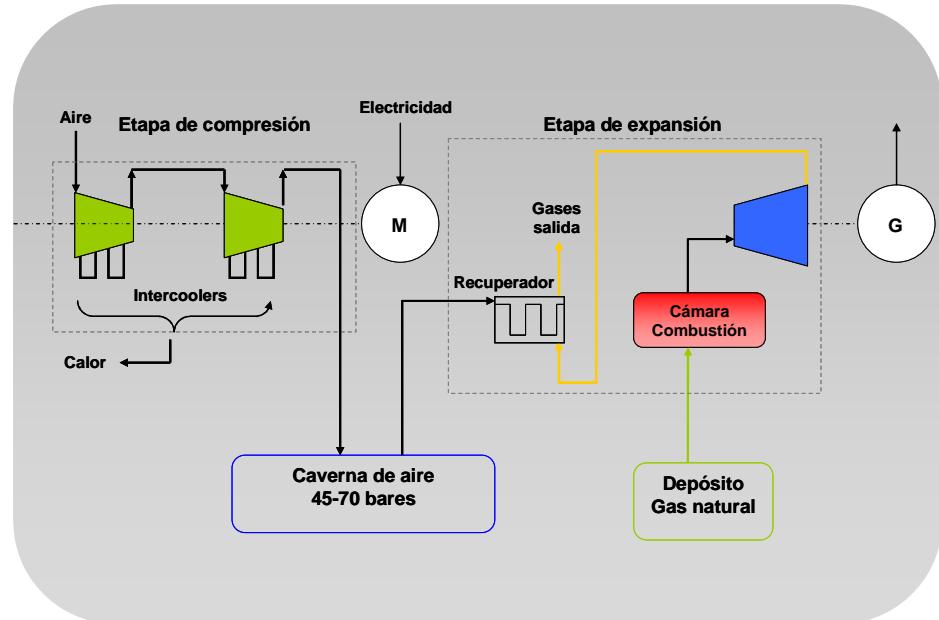
Source: Kema

2.- Tecnologías: CAES (Compressed Air Energy Storage)

Principio y características

Almacenamiento mecánico de energía. Se emplea energía eléctrica para comprimir y almacenar aire en depósitos naturales (cavernas, minas,...). Para volver a generar energía se extrae el aire y se expande a través de una turbina de combustión.

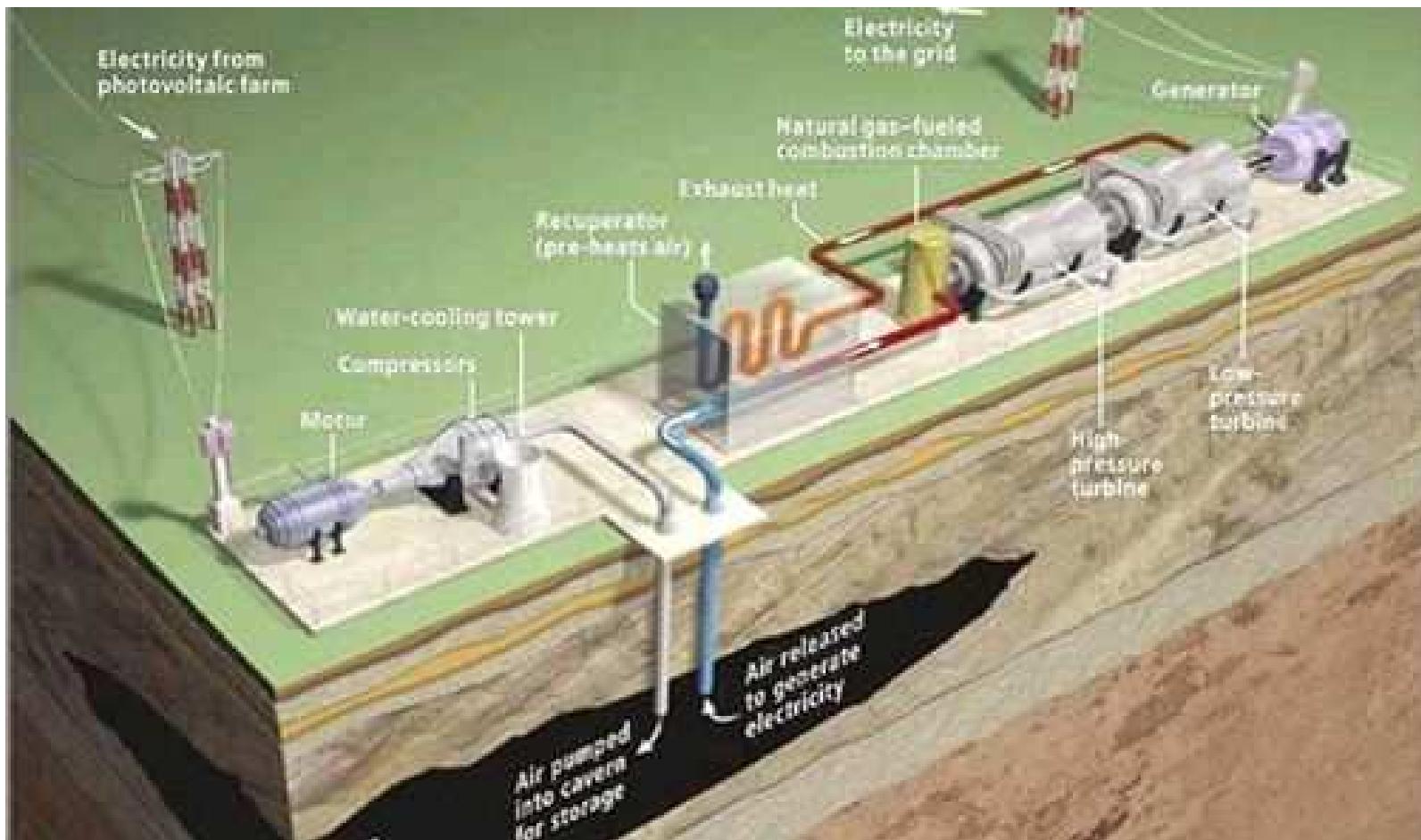
- Existen 2 instalaciones en el mundo
- Existen nuevos conceptos en desarrollo, para aumentar la eficiencia del ciclo
- ✓ Potencia y energía son independientes
- ✓ Requiere gas natural (CAES convencional)
- ✗ Baja densidad de energía
- ✗ Dependen de la presencia de formaciones geológicas
- ✗ Eficiencia del ciclo



Parámetros

Eficiencia global: 50 %	★
Potencia: 50 – 500 MW	★
Energía: 100 -1500 MWh	★
Vida útil: > 25 años	★
Coste: 800 -1.000 \$/kW (50-150 \$/kWh)	★
LCOE: 0,10-0,20 \$/kWh	★

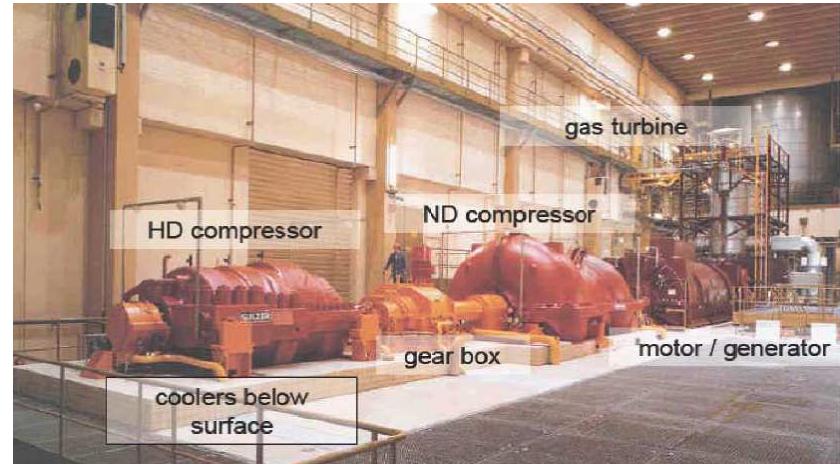
2.- Tecnologías: CAES



2.- Tecnologías: CAES

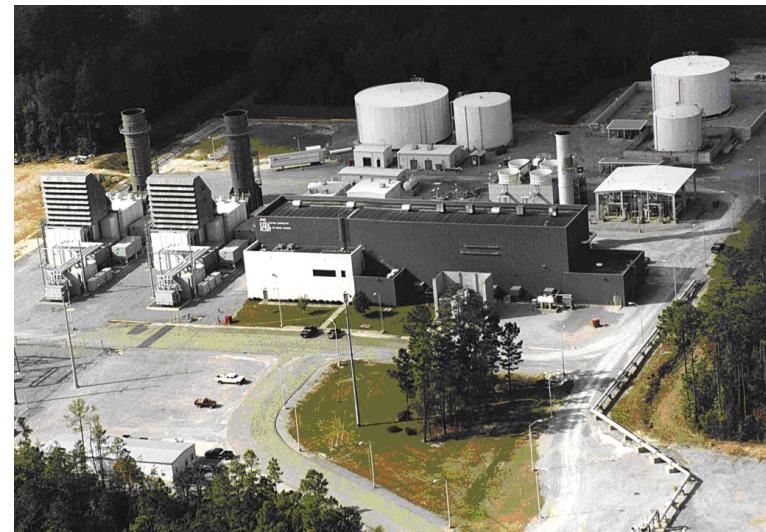
Huntorf (Alemania) 1978

- Reserva de emergencia, evitar mercados caros
- 321 MW – 2 horas
- 310.000 m³ / 46 - 72 bar
- 41,2 % de eficiencia



McIntosh (EEUU) 1991

- Gestión de picos
- 110 MW – 26 horas
- 500.000 m³ / 45 – 76 bar
- 53,8 % de eficiencia



2.- Tecnologías: CAES

Main companies:

- Dresser Rand
- General Electric
- Alstom
- Sustain X (isothermal CAES)
- General Compression
- Air liquid (LAS)
- Highview Power Storage (LAS)

Main Barriers

- Need of caverns
- NG consumed
- Viability dependent on NG price
- Low round trip efficiency (50%)
- Cost increases with size reduction

Technology trends

- Above-ground CAES
- Mini-CAES
- Adiabatic CAES
- Isothermal CAES
- Liquid Air Storage (LAS)



Sustain X: isothermal CAES

2.- Tecnologías: Flywheel

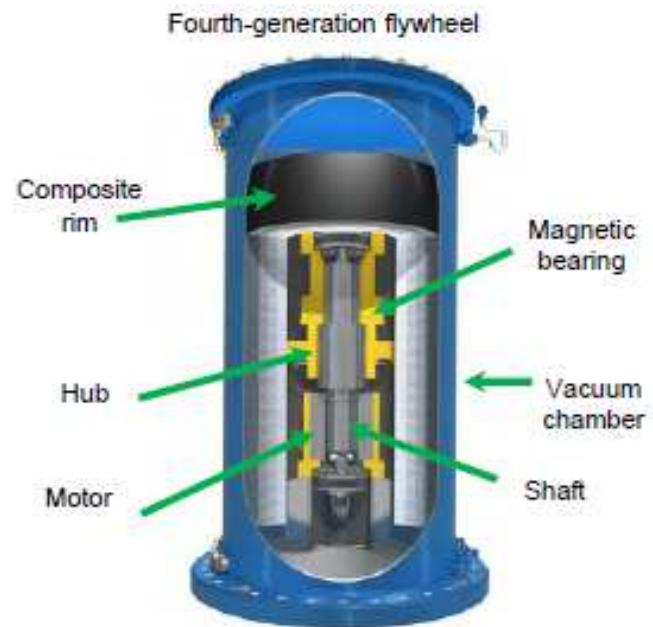
Principio y características

Almacenamiento mecánico energía en forma de energía cinética (masa girando a gran velocidad)

$$E(kWh) = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2 \left\{ \begin{array}{l} J = \text{Momento de Inercia} \\ \omega = \text{Velocidad angular} \end{array} \right.$$

- Método de almacenamiento muy antiguo (torno de alfarero)
- Disco de metal (8.000 rpm) o composite (60.000 rpm) que gira en un cámara de vacío.

- ✓ Elevada densidad de potencia
- ✓ Elevada velocidad de respuesta
- ✓ Alta eficiencia
- ✓ Muchos ciclos de vida
- ✗ Baja densidad de energía
- ✗ Precio



Parámetros

- Eficiencia: 70-75%
- Potencia: 0,1-20 MW
- Energía: 0,1-2 MWh
- Vida útil: >20.000 ciclos
- Coste: 1000-2000\$/kW (4000-8000 \$/kWh)
- LCOE: 0,10-0,25 \$/kWh



2.- Tecnologías: Flywheel



Stephentown, NY, EE.UU. Planta 20 MW, 1,67 MWh,

- 200 Flywheels (100 kW / 0,83 kWh)
- Beacon Power
- 10 % del mercado del area de regulación

2.- Tecnologías: Flywheel

Main companies:

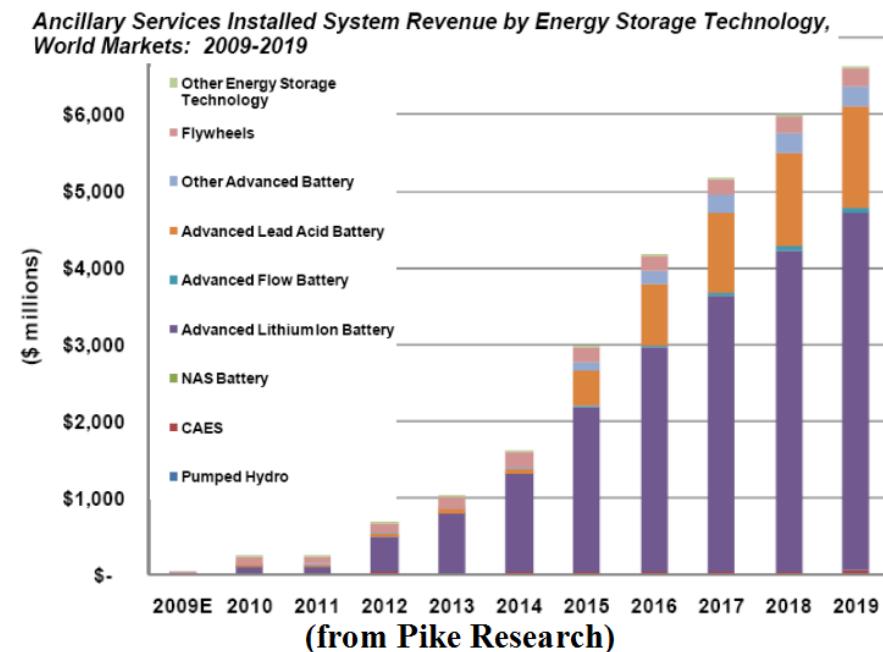
- Beacon Power (Go to bankruptcy in 2011, acquired by Rockland Capital LLC in 2012)
- Active Power
- Caterpillar (UPS market)
- Temporal Power

Market Perspectives:

- USA market growth for frequency regulation was expected before Beacon bankruptcy, but now is in doubt
- European market is limited to the UPS sector, special industrial requirements.

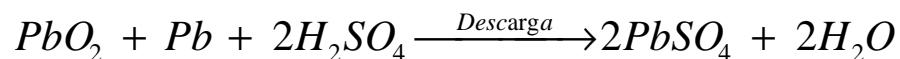
Main Barriers

- Low energy density.
- Expensive due to the high precision engineering required, containers, etc.
- Not always monetizable apps.



2.- Tecnologías: Batería Plomo Ácido

Principio y características



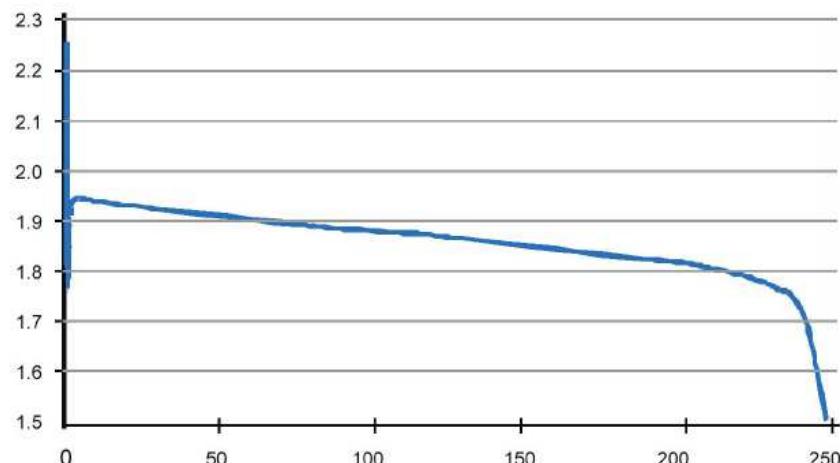
- Celda: 2,1 V (1,8-2 V)
- Varios tipos: abiertas, selladas, de gel, etc.
Baterías avanzadas de Plomo
- Muy empleadas para SAIs o como backup
- Capacidad de la batería relacionada con la potencia de descarga (Ley de Peukert)
- ✓ Tecnología madura y de bajo coste
- ✗ Baja densidad de energía y potencia
- ✗ Pequeño rango de T^º de trabajo
- ✗ Corta vida útil. Los ciclos de vida dependen de la profundidad de descarga
- ✗ Requieren mantenimiento



Parámetros

Eficiencia: 70-85 %	★
Potencia: 0,1 – 10 MW	★
Energía: 0,1 – 20 MWh	★
Vida útil: 500-1.000 cycles	★
Coste: 300-800 \$/kW (150-300 \$/kWh)	★
LCOE: 0,25-0,35 \$/kWh	★

2.- Tecnologías: Batería Plomo Ácido



Chino-Sur de California (EEUU)

- Gestión de energía en una subestación
- 10 MW / 40 MWh

2.- Tecnologías: Batería Plomo Ácido

Main companies (Advanced Pb):

- Exide
- Ecoul (Ultrabattery)
- FIAMM
- Axion Power

Main Barriers

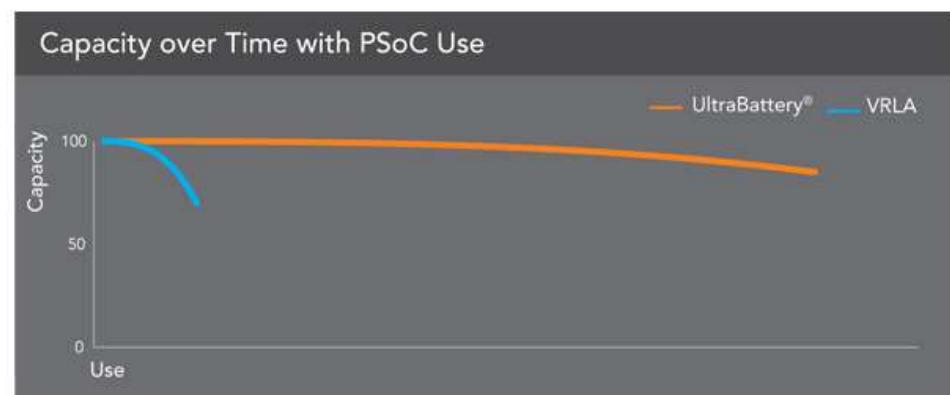
- Low life cycle
- Environmental issues

Market Perspectives:

- Enormous market in the backup and UPS sector. Tradition market of Pb-Acid batteries.
- Huge market is forecast for Advanced Pb-Acid batteries, if it is achieved a life extension at competitive costs. (Ike Research forecasts \$6.8 billion market value in 2020).

Technology trends

- Advanced Pb-Acid batteries : Life extension through the use of new materials.
- Hybrid Pb-Acid + Supercapacitor batteries: a supercapacitor electrode composed of carbon is combined with the lead-acid battery negative plate in a single cell to better regulate the flow of energy.

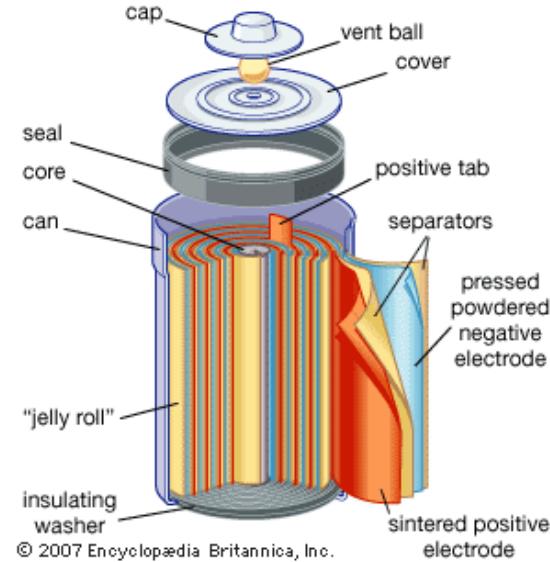


2.- Tecnologías: Batería Ni-Cadmio

Principio y características

Batería de electrodo positivo de Níquel y negativo de Cadmio.

- Celda: 1,2 V (0,9 -1,5V)
- Existen varios tipos, portátiles, estacionarias, selladas.
- Buen comportamiento en amplio rango de temperaturas
- Están siendo sustituidas por las de Ni-MH.
- Aplicación tradicional como UPS
- ✓ Mayor densidad de energía, vida útil y menor mantenimiento que las de Pb-Acido
- ✗ El Cadmio es muy tóxico, están prohibidas para muchas aplicaciones.
- ✗ Autodescarga (5-10% mensual)
- ✗ La vida depende del uso (efecto memoria)



Parámetros

Eficiencia: 70-75 %	★
Potencia: 0,1 – 10 MW	★
Energía: 0,1 – 20 MWh	★
Vida útil: 500-1000 ciclos	★
Coste: 500-1500 \$/kW (150-500 \$/kWh)	★
LCOE: 0,25-0,35 \$/kWh	★

2.- Tecnologías: Batería Ni-Cadmio



Fairbanks (Alaska)

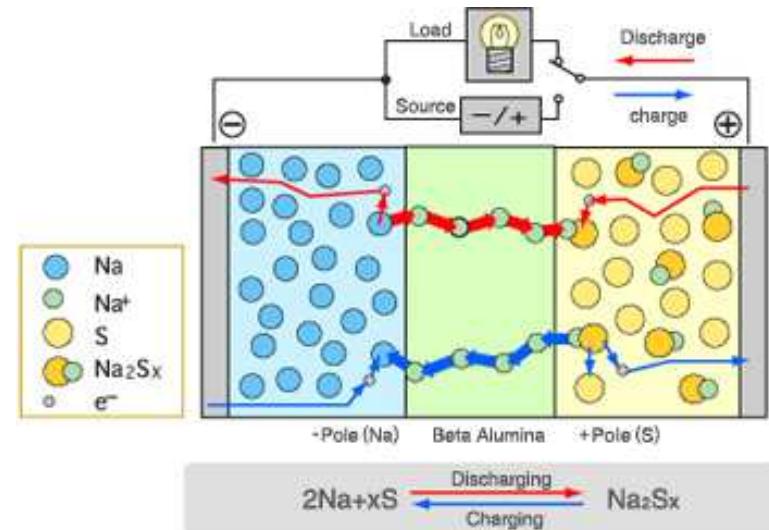
- Mayor Instalación de baterías de el mundo (Ni-Cd)
- 40 MW – 7 minutos / 26MW – 15 minutos
- Reserva frente a cortes en la red: 82 eventos en 2006

2.- Tecnologías: NAS

Principio y características

Batería de alta temperatura (300 °C). Consta de dos electrodos líquidos (Na y S fundidos) separados por un electrolito sólido de beta alumina que permite el paso de iones de sodio Na^+ .

- Celda: 2,1 V
- Tecnología desarrollada originalmente para automoción. Desarrollada para aplicaciones estacionarias por NGK Insulators (Japón)
- Es la tecnología de baterías más implantada para aplicaciones de red. Más de 174 instalaciones en 6 países.
- ✓ Elevada densidad de potencia y energía
- ✓ Bajo mantenimiento
- ✓ Muchos ciclos
- ✗ Problemas con aislamiento térmico
- ✗ Riesgo de incendios (2011 el primero)



Parámetros

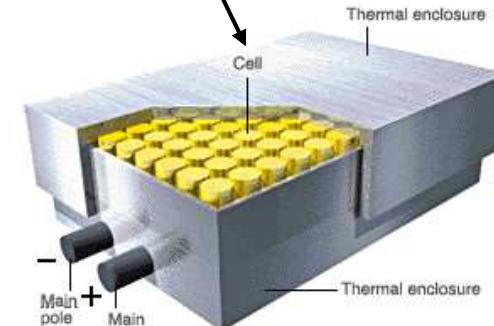
Eficiencia: 75-80 %	★
Potencia: 1 - 10 MW	★
Energía: 1 - 70 MWh	★
Vida útil: 4.500 ciclos	☆
Coste: 2000-3000 \$/kW (300-400 \$/kWh)	☆
LCOE: 0,08-0,2 \$/kW	☆

2.- Tecnologías: NaS



Parque eólico Rokkasho (abril 2008)

- Aerogeneradores: 54MW (1.5MW x 34)
- NaS: 34MW (2MW x 17)
- Objetivo: ofrecer una generación constante y ajustada a las previsiones.



50 kW, 360 kWh

2.- Tecnologías: NAS

Main companies:

- NGK – Sales increase expected after 2011 fire event.
- Ceramatec
- EaglePicher Technologies, Inc

Installations:

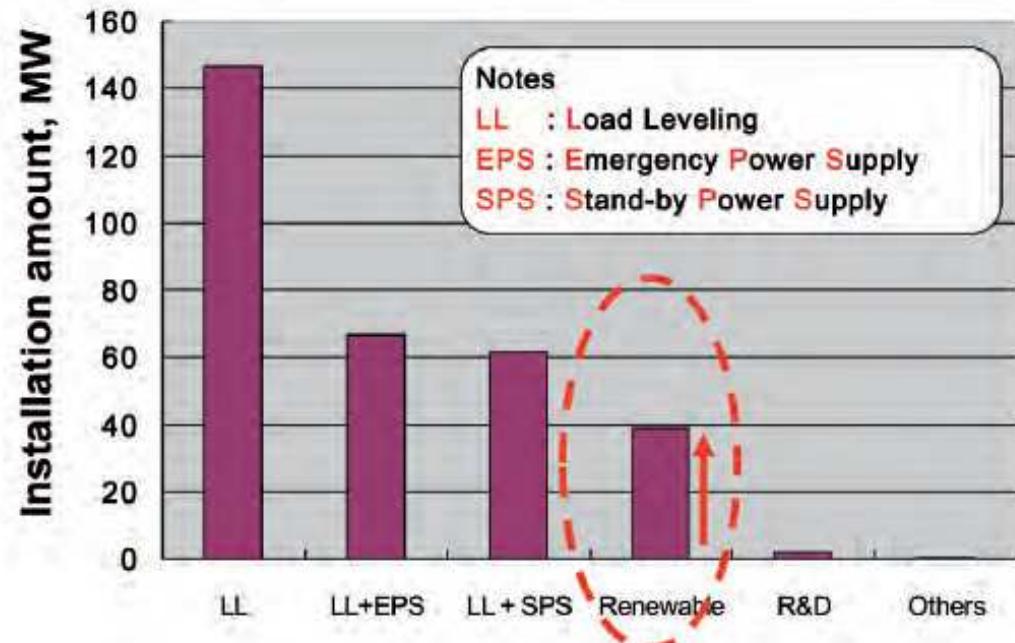
- 305 MW in 174 locations (in 2011)

Market Perspectives:

- 2012- 2013: 65 M€ projected sales
- Cost reduction expected, mainly linked to scale economy

Main Barriers

- Fire risk (Tsukuba Plant fire incident)
- No important properties improvement are expected.
- Main competitor is nowadays Li-Ion batteries

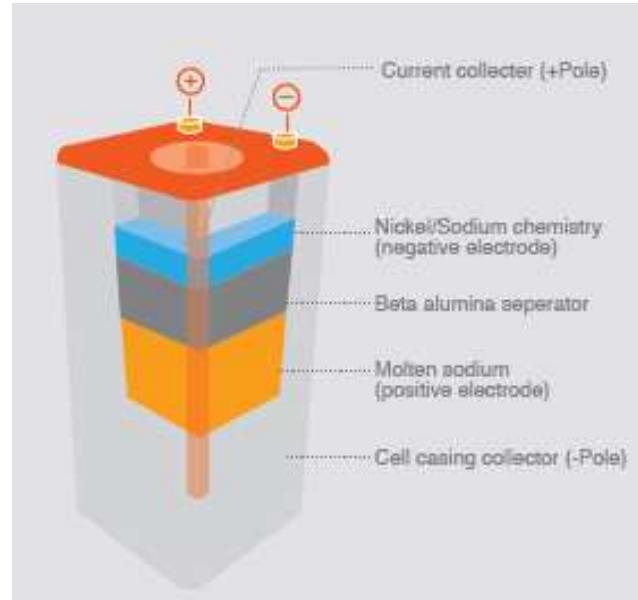


2.- Tecnologías: Sodium Nickel Chloride

Basis and characteristics

This battery chemistry consists of a nickel chloride cathode, a beta alumina separator and a liquid sodium anode. The operating temperature of the cell is between 250 °C and 350°C.

- Cell: 2,2-2,7 V
- Originally developed for the automotive sector.
- Known as Zebra batteries
- ✓ Competitive cost.
- ✓ Non toxic material, 100% recyclable.
- ✓ Long calendar life.
- ✗ Safety concerns.
- ✗ Heating may be required



Parameters

Efficiency: 80-85 %

App range: 0,1-1 MW (0,1-2 MWh)

Life Cycle: 4500 cycles

CAPEX: 150-300 \$/kW (110-240\$/kWh))

LCOE: 0,05-0,15 \$/kWh



2.- Tecnologías: Sodium Nickel Chloride



1,2 Mwh x 3 Hours

- 20 feet ISO container
- Stackable for transport
- Easy access to the battery
- Modular concept
- Safe design against earthquake
- Available from Q3 2012

TLC Central Office (Nashville)

- Energy Back Up
- 256 Units, 48V 80 Ah, ~1MWh

2.- Tecnologías: Sodium Nickel Chloride

Main companies:

- FIAMM SoNick (previously MESDEA)
- General Electric (Durathon batteries, factory opened in 2012), \$100 million invested.



Main Barriers

- Fire risk (Tsukuba Plant fire incident)
- No important properties improvement are expected.
- Main competitor is nowadays Li-Ion batteries for automotive sector and NaS for stationary applications

Market Perspectives:

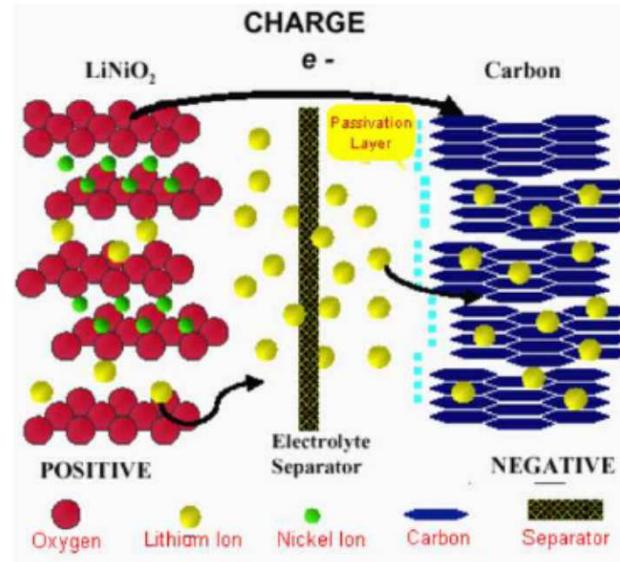
- Automotive sector: Loosing positions against Li-Ion
- Stationary sector: increasing market driven by competitive costs: UPS, power sector.
- Important share of energy storage market forecasted (15 % of market in 2017, Lux research)

2.- Tecnologías: Baterías de Li-Ión

Principio y características

Baterías recargables de intercambio de iones de Litio (Li+). Existen diversas químicas: LiFePO, Li-Polímero, Li(NiCoAl)O₂, LiMn₂O₄, etc

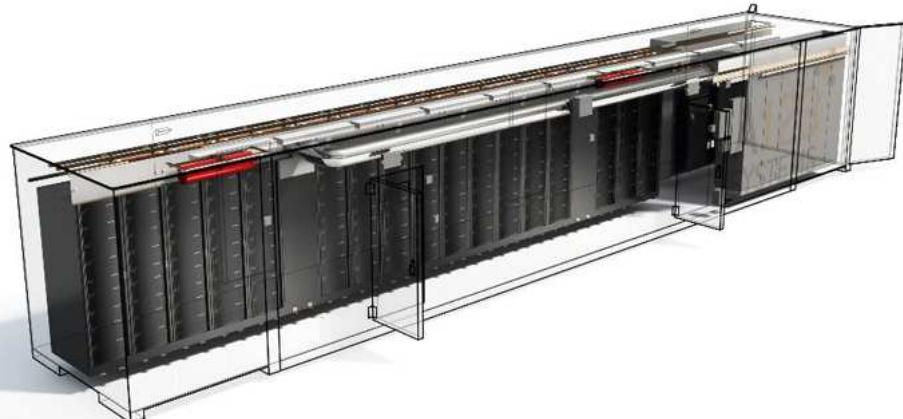
- Celdas: 3,2-3,9 V, cilíndricas o prismáticas
- La tensión de la celda depende del estado de carga
- Tecnología impulsada por el vehículo eléctrico y la electrónica de consumo
- ✓ Gran densidad de energía y potencia
- ✓ Larga vida útil
- ✗ Se requieren circuitos electrónicos (BMS) para optimizar la vida útil y permitir un uso seguro
- ✗ Ciclos de vida dependientes del uso
- ✗ Coste alto



Parámetros

Eficiencia: 85-95 %	★★
Potencia: 0,1 – 20 MW	★★
Energía: 0,1-20 MWh	★★
Vida útil: 2.000-4.000 ciclos	★★
Coste: 400-1500 \$/kW (500–1500 \$/kWh)	★☆
LCOE: 0,25-0,35 \$/kWh	★☆

2.- Tecnologías: Baterías de Li-Ión



Parque eólico Laurel Mountain, West Virginia. EE.UU. 2011

- Promovido por AES Corporation. Baterías de A123 Systems
- 32 MW durante 15 segundos
- 1,3 millones de celdas de Li-Ión
- Regulación de frecuencia y suavizado de generación eólica

2.- Tecnologías: Baterías de Li-Ión

Main companies:

Europe:

- SAFT, Leclanché

USA:

- Altairnano, A123 (after bankruptcy filed in 2012, bought in 2013 by Wanxiang America), Boston Power

Japan:

- Toshiba, Panasonic, GS Yuasa

Korea:

- LG Chem, Samsung KOKAM

China:

- BYD Electric, Winston Batteries (Thundersky), etc

Main Barriers

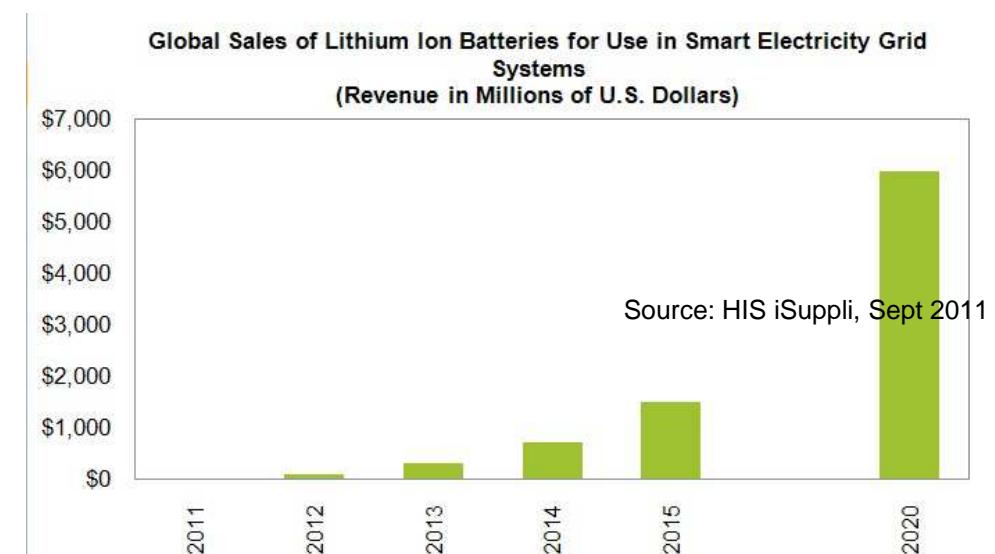
- High price
- Fire risk for certain applications
- Doubts on life performance, more demonstration projects data is needed

Installation

- Growing number of Li-Ion battery systems for RREE grid integration.

Market Perspectives:

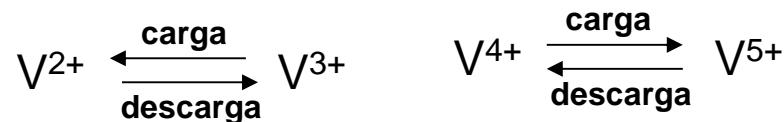
- It's agreed a huge potential market share.
- Many competitors are expected.
- Main drivers slowing down (electric vehicle)



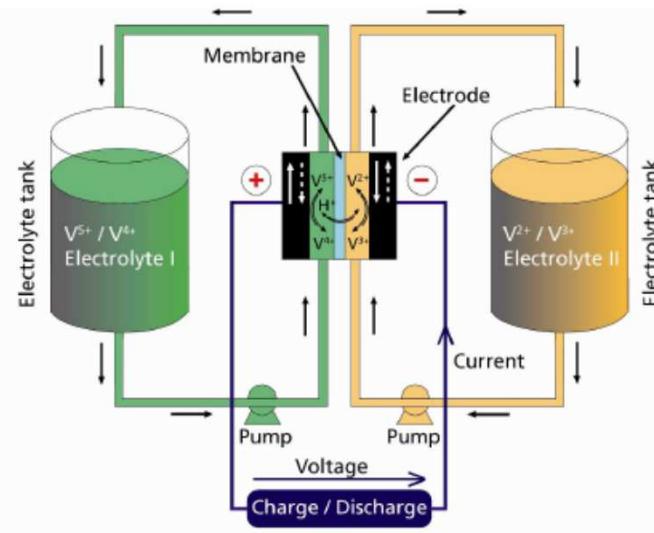
2.- Tecnologías: Baterías de Flujo (VRB)

Principio y características

Almacenamiento químico de energía en electrolitos líquidos que contienen especies electroactivas.



- Constituidas por un stack de celdas (determina la potencia) y por 2 tanques de electrolito (determinan la energía).
- Celda 1,5 V
- Capacidad de escalado.
- ✓ Potencia y energía son independientes
- ✓ Elevado número de ciclos de vida
- ✗ Baja densidad de energía
- ✗ Sistemas complejos
- ✗ Alta variación de tensión con el SOC.



Parámetros

Eficiencia: 70 - 80 %	★
Potencia: 0,1 - 10 MW	★
Energía: 0,1 - 40 MWh	★
Vida útil: 3.000 - 10.000 ciclos	★
Coste: 600-1.500 \$/kW (350-800 \$/kWh)	★
LCOE: 0,15-0,25 \$/kWh	★



2.- Tecnologías: Baterías de Flujo (VRB)



State Grid Corporation of China – Hebei, October 2012

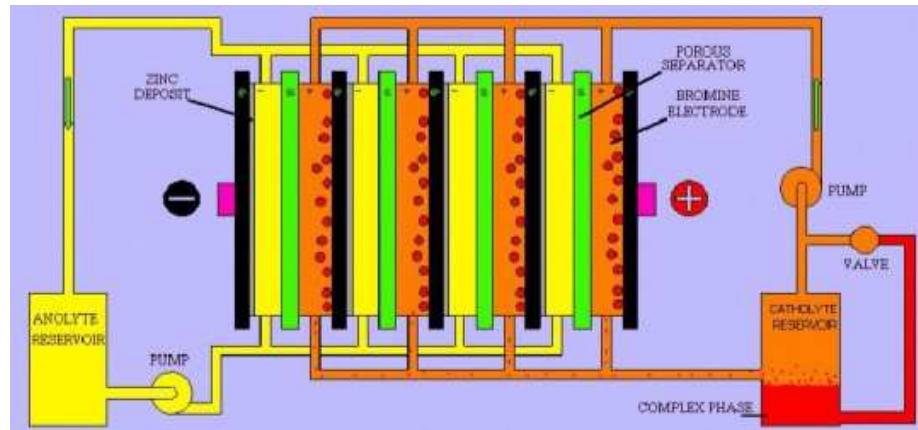
- 2000 kW, 8000 kWh, Prudent Energy
- Word largest renewable integration demo

2.- Tecnologías: Baterías de Flujo (ZBr)

Principio y características

Es un tipo de batería de flujo en la que los electrolitos son soluciones acuosas de bromuro de zinc ($ZnBr_2$)

- Intercambio de Zn^{2+} y Br^- .
- Celdas de 1,8 V
- No hay independencia total entre potencia y energía.
- ✓ Flexibilidad: modularidad y escalabilidad
- ✓ Densidad de energía superior a las VRB
- ✓ Coste relativamente Bajo
- ✗ Naturaleza corrosiva del Bromo, que ataca a los componentes de la batería.
- ✗ Peligro de contaminación interna de la batería.
- ✗ Necesidad de mantenimiento.



Parámetros

- Eficiencia: 70-75 % ★
- Potencia: 0,1 – 10 MW ★
- Energía: 0,1 -40 MWh ★
- Vida útil: 2000-5000 ciclos ★
- Coste: 700-2500\$/kW (150-1000 \$/kWh) ★
- LCOE: 0,15-0,25 \$/kWh ★



2.- Tecnologías: Baterías de Flujo (ZBr)



Módulos ZBr del orden de MW

- VRB (Módulos de 7 kW)
- RedFlow (Módulos de 5kW/10kWh)

2.- Tecnologías: Baterías de Flujo

VRB

Main companies:

- Cellstrom (now Gildemeister)
- Prudent Energy
- Ashlawn Energy
- RedT
- Cellenium Company Ltd

Main Barriers

- High price
- Low energy density. Scalability technical problems
- Up to know, not many large systems tested.

ZnBr₂

Main companies:

- RedFlow Limited
- ZBB Energy Corporation
- Premium Power Corporation

Main Barriers

- High price
- Low energy density
- Scalability problems
- Crossover contamination

Redox Flow Batteries market perspectives:

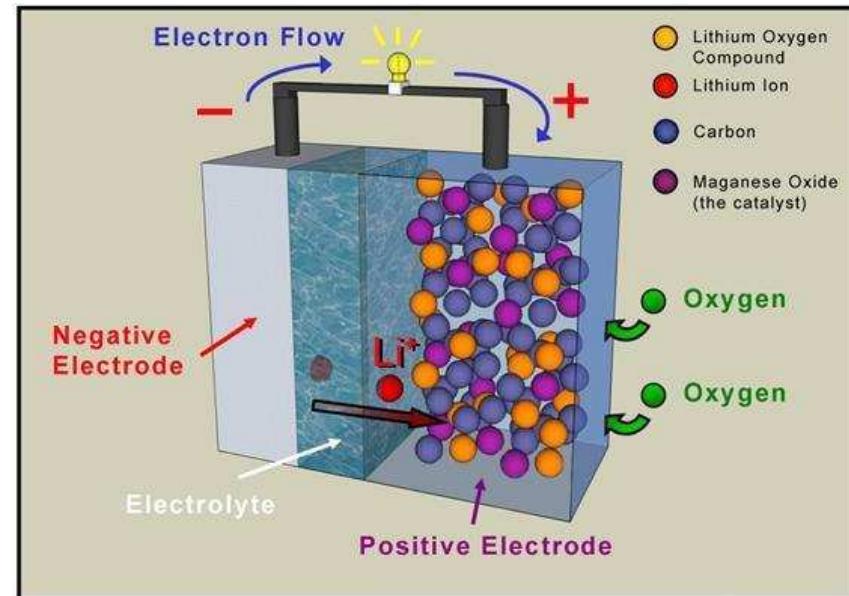
- Are suppose to play an important role in the medium-long term market, nevertheless up to now they haven't demonstrate a proper large scale economic industrialization.
- An important market share predicted (33% to VRB and 19% to ZnBr₂ in 2017, Lux research)

2.- Tecnologías: Metal air Batteries

Basis and characteristics

Base on the coupling of a reactive metal anode to an air electrode, thus providing a battery with an inexhaustible cathode reactant.

- A variety of metals have been considered for use: Li, Zn, Mg, Na, Fe.
- Some are already commercial as primary batteries (Zn-Air).
- Zn-Air is one of the most developed ones (EOS).
- ✓ High energy density.
- ✓ Low cost.
- ✓ Non toxic.
- ✓ Long calendar life.
- ✗ Limited number of life cycles, up to now only primary batteries were developed.
- ✗ Many technical barriers.
- ✗ Limited charge and discharge power.



Expected parameters

Efficiency: 50-80 %

App range: 0,1-10 MW (0,1-40 MWh)

Life Cycle: 1000-10000 cycles

CAPEX: 150-300 \$/kWh

LCOE: 0,02-0,15 \$/kWh



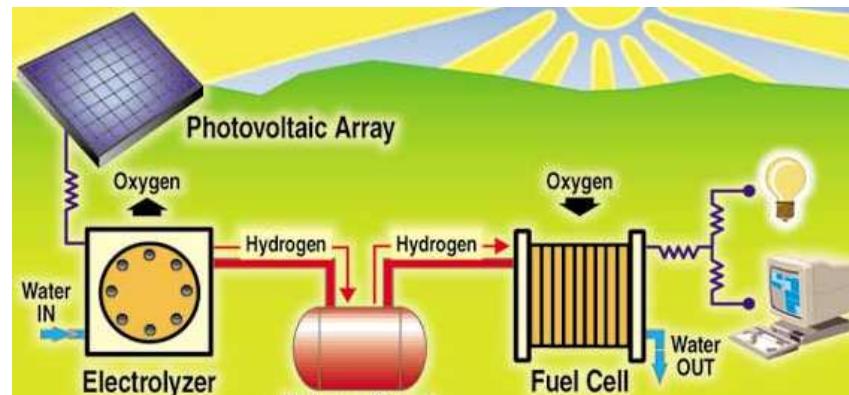
2.- Tecnologías: Hidrógeno

Principio y características

Producción de H_2 por electrólisis durante los periodos con exceso de energía. Generación de energía eléctrica a partir de hidrógeno mediante una pila de combustible.

- El sistema esta formado por muchos equipos: electrolizador, compresor, tanques de H_2 y pila de combustible.

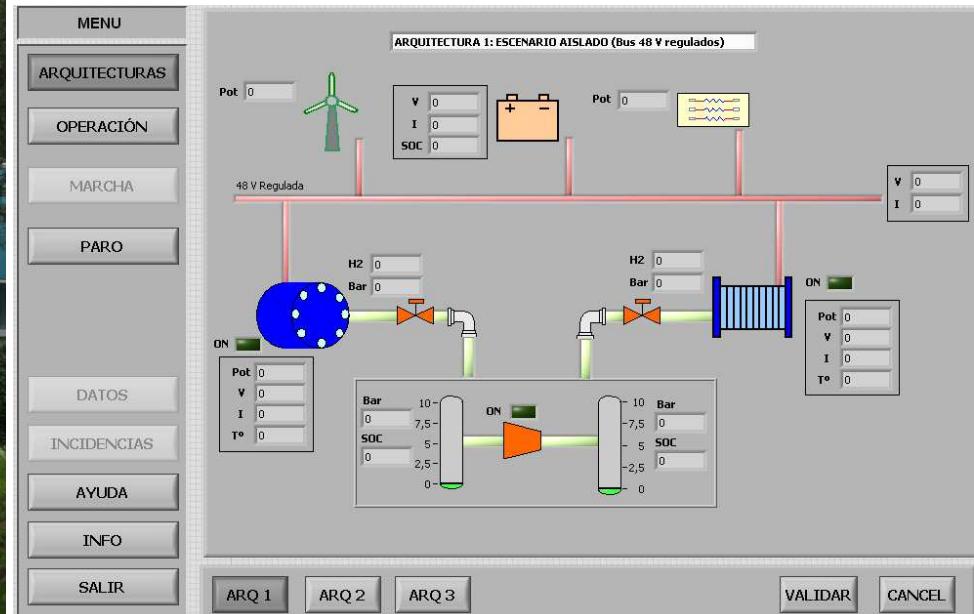
- ✓ Almacenamiento masivo de energía
- ✓ Potencia y energía son independientes
- ✓ Valorización del H_2 , como un combustible limpio para otros usos.
- ✗ Baja eficiencia
- ✗ Elevado coste capital
- ✗ Instalaciones grandes y complejas



Parámetros

Eficiencia global: 25-35%	★
Potencia: 0,1-10 MW	★
Energía: 0,1-40 MWh	★
Vida útil: 2000-5000 ciclos	★
Coste: 700-2500\$/kW (150-1000 \$/kWh)	★
LCOE: 0,15-0,25 \$/kWh	★

2.- Tecnologías: Hidrógeno



HIDROTEC: Instalación de almacenamiento de H₂ para EERR

- Pila de Combustible PEM 6 kW
- Electrolizador Alcalino 30 bares 6 kW
- Banco de baterías Pb-Acido 48 V / 600 Ah
- Almacenamiento de H₂ a 30 y 200 bar

2.- Tecnologías: Hidrógeno

Main Companies

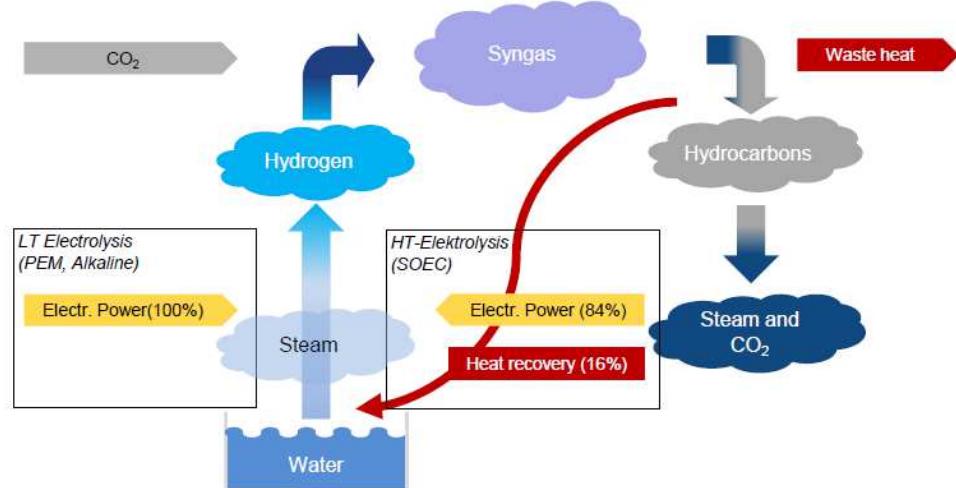
- Most of technology developers are small-medium size companies: Ballard, hydrogenics, etc
- Many changes during the last 10 years: start-ups, acquisitions, bankruptcies,

Market

- Historically driven by automotive sector, nevertheless it has lost positions against battery driven vehicles.
- Cogeneration
- Other niche markets: forklifts, UPS

Technology trends:

- Power to Gas, produce hydrogen by means of electricity, it is called to play an important role in the German power system.



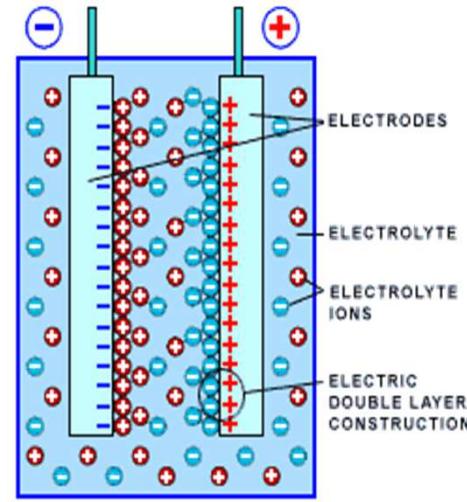
2.- Tecnologías: Supercondensadores

Principio y características

La energía se almacena en el campo eléctrico existente entre dos conductores

$$E = \frac{1}{2} C \cdot V^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} C = \text{Capacidad} \\ V = \text{Tensión} \end{array} \right. \quad C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$$

- Celdas de 2,2 V y 2.600 F
- Elevados valores de capacidad (miles de Faradios). Emplean electrodos de carbón activo con elevada superficie útil.
- Aplicaciones en tracción: frenado regenerativo en trenes y ascensores
- ✓ Elevada densidad de potencia
- ✓ Elevado número de ciclos de vida
- ✓ Amplio rango de T^º de funcionamiento
- ✗ Baja densidad de energía
- ✗ Requieren circuito de equilibrado



Parámetros

Eficiencia global: 90-98 %

Potencia: : 0,1-10 MW

Energía: 0,01 - 0,1 MWh

Vida útil: > 50.000 ciclos

Coste: 100-300 \$/kW (300-2000 \$/kWh)

LCOE: 0,02-0,2 \$/kWh



2.- Tecnologías: Supercondensadores



HECO SuperCap Demo (2006), parque eólico de Lalamilo

- Supercaps de Maxwell e inversor de S&C Electric
- 800 Vcc de tensión
- 640 supercondensadores
- 260 kW / 10 sec

2.- Tecnologías: Supercondensadores

Main companies:

- MAXWELL
- EPCOS
- ELIT
- ELTON
- NESSCAP

Technology trends:

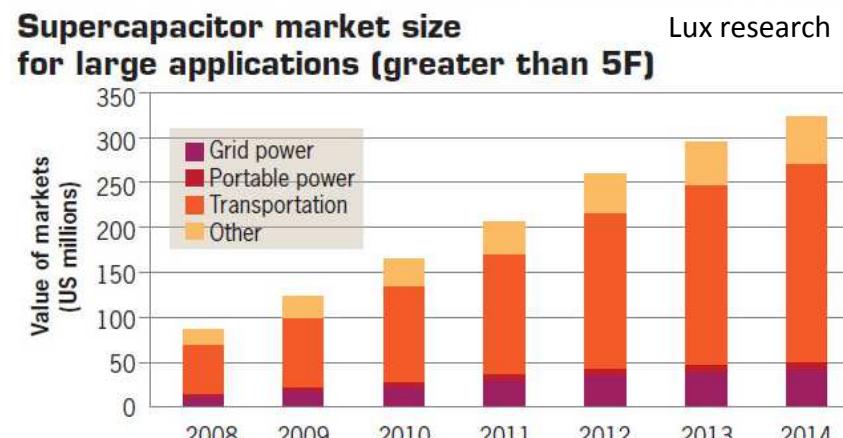
- Hybridation with Lead-Acid batteries
- Rapidly advancing supercaps technology, improving price/performance ratio

Main Barriers

- High price
- Low energy density
- Increasingly competitive batteries

Market

- Main market perspectives are in traction sector applications:
 - Regenerative braking on board and off board: elevator, trains, trams,...
 - Burst power
 - Train catenary stabilization
- Growing market, 25% annual growth in the 2009-2015 period (source:Global Ultracapacitor Market Analysis & Forecasts to 2015)



2.- Tecnologías: SMES - Bobinas superconductoras

Principio y características

La energía se almacena en el campo magnético de una corriente que fluye en una bobina superconductora.

$$E = \frac{1}{2} L \cdot I^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} L = \text{Inductancia} \\ I = \text{Corriente} \end{array} \right.$$

- Son bobinas con elevada inductancia mediante el empleo de superconductores.
- Bajas temperaturas de funcionamiento 5-100 K.

✓ Rendimiento elevado del orden 95%

✓ Respuesta muy rápida

✓ Vida útil independiente del DOD

✗ Requerimientos de refrigeración criogénica

✗ Costes de los superconductores

Parámetros

Eficiencia global: > 97 %

Potencia: 0,1-10 MW

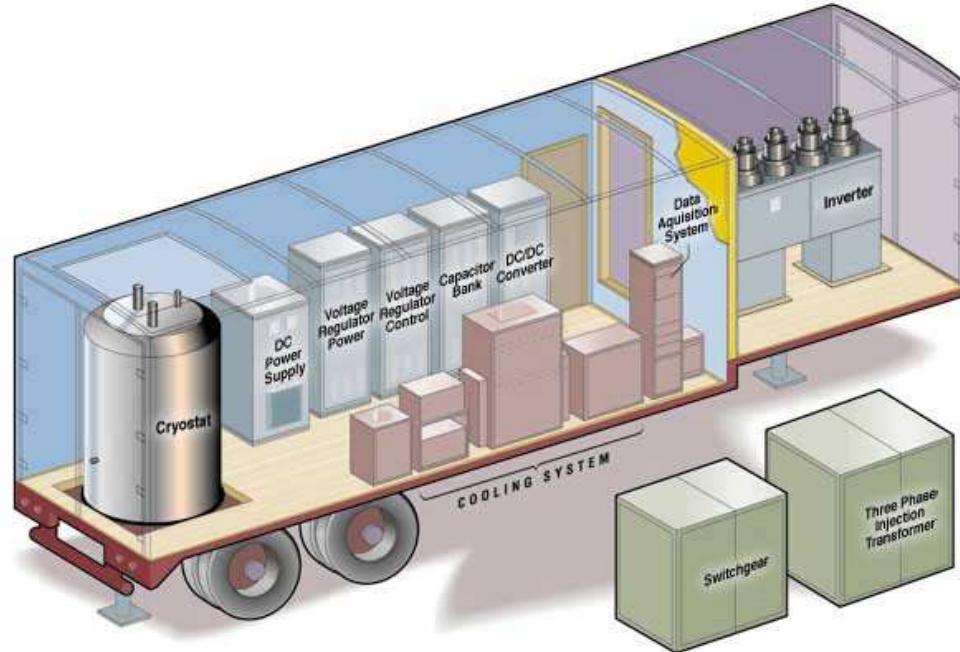
Energía: 0,001-0,05 MWh

Vida útil: >10.000 ciclos

Coste: 200-300\$/kW(1000-10000 \$/kWh)



2.- Tecnologías: SMES - Bobinas superconductoras



- D-SMES American Superconductor (EE.UU.). SMES 3 MW / 0,83 kWh
- Northern Wisconsin (EE.UU.). Año 2000, 6 unidades 3 MW / 0,83 kWh. Calidad de suministro y compensación de potencia reactiva

2.- Tecnologías: SMES - Bobinas superconductoras

Main companies:

- AMSC (America Superconductor), abandoned the activity on SMES

Technology trends:

- LIQHYSMES: Initiative lead by KIT, Germany. It basically combines and SMES with liquid hydrogen energy storage

Main Barriers

- Few demonstration
- High price due to the HTS cost and cryogenic system
- Very low Maturity
- Low energy density
- System complexity
- Limited market

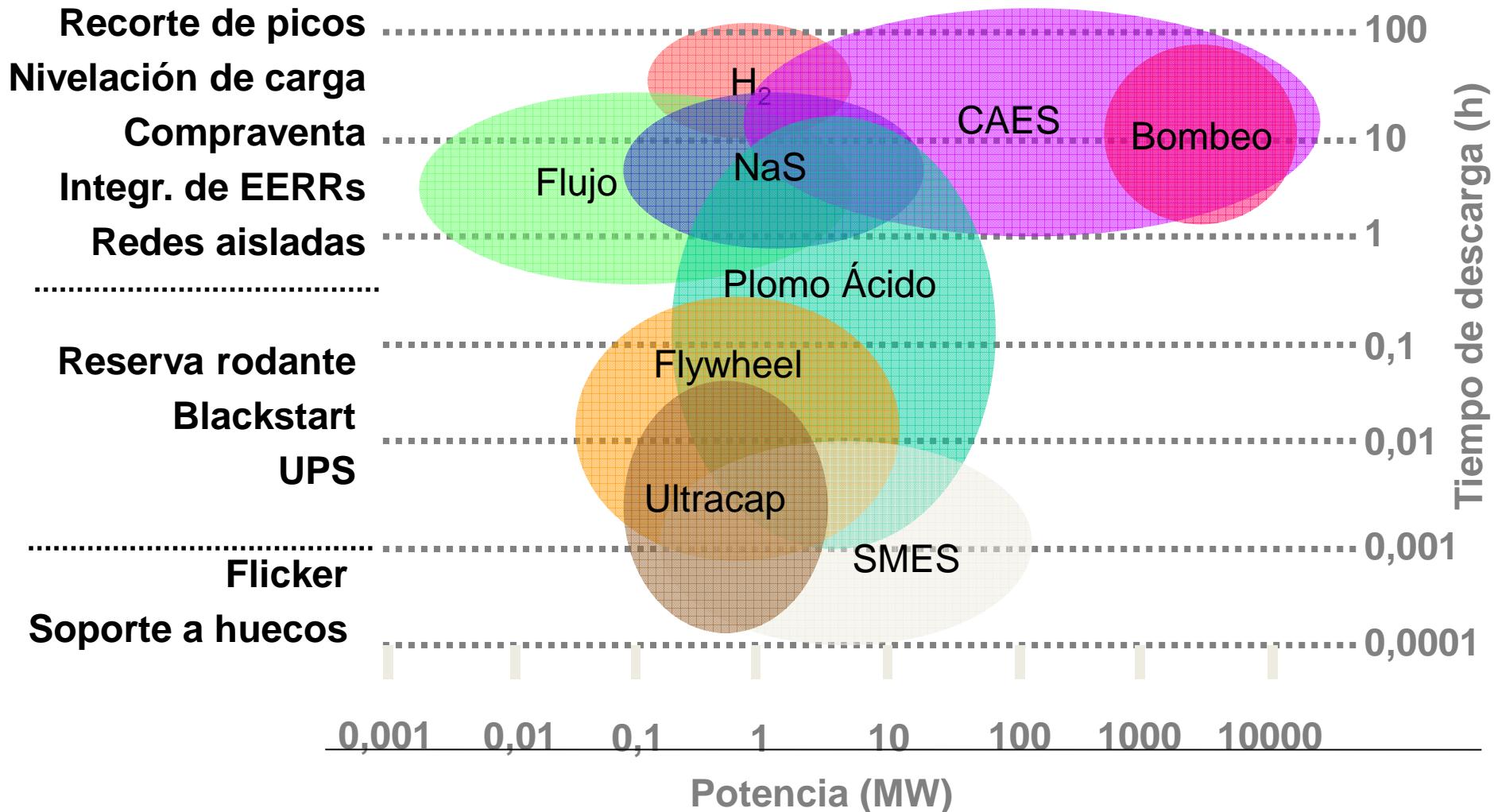
Market Perspectives:

- Power Quality market at industrial user level.
- Market restricted to high power/energy rate applications
- Expect market volume is not significant

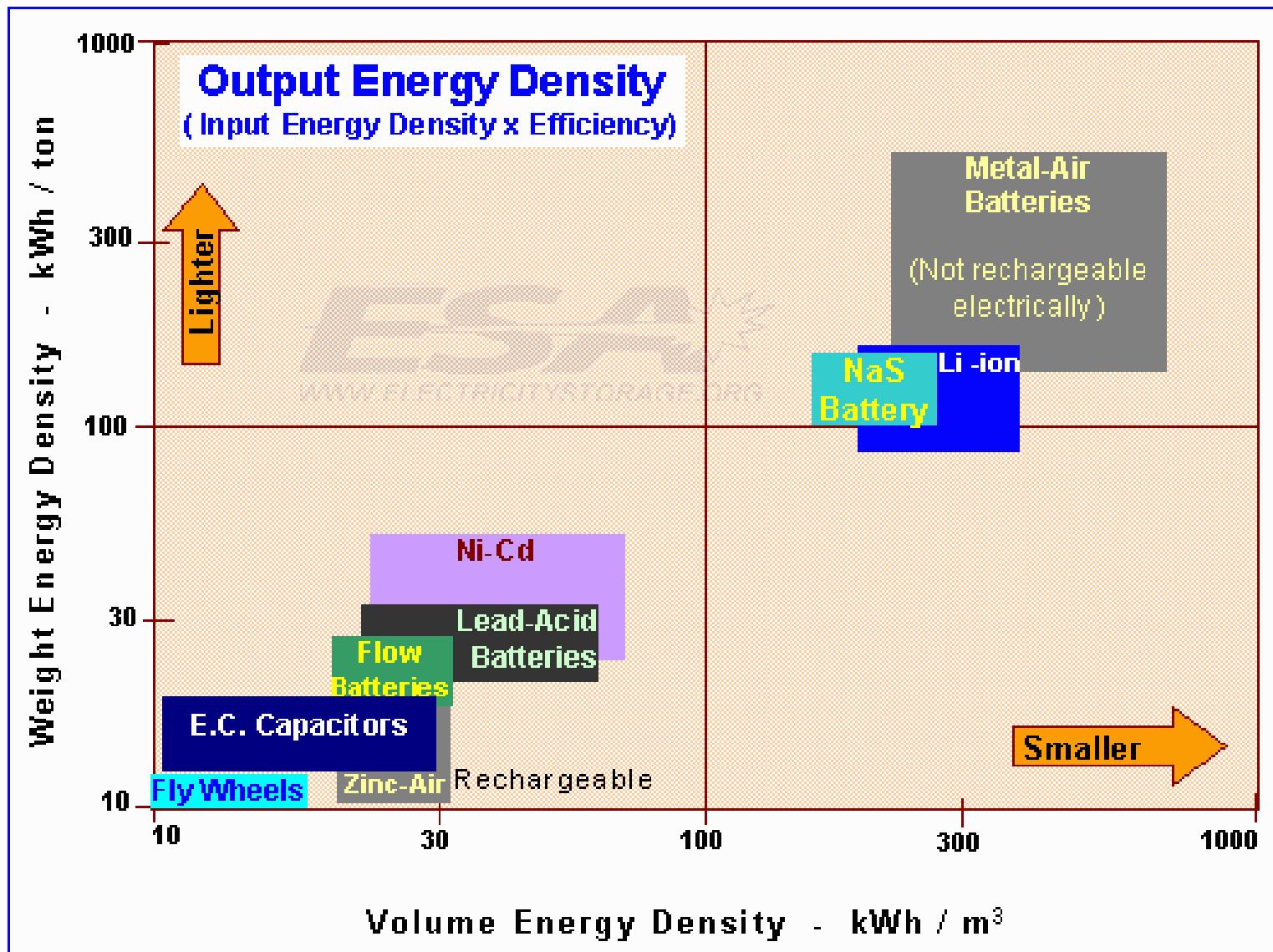
2.- Tecnologías: Comparativa - Parámetros claves

Parameter	Unit	Description
CAPEX	€/kWh or €/kW	Capital cost per installed capacity and/or power
OPEX	€/kWh or %/year	Operation and maintenance expenses
LCOE	c€/kWh	Levelized Cost of Energy
DOD	%	Depth of discharge, as % of the total capacity
Cycle life	---	Number of cycles at a defined DOD
Calendar life	Years	
Eficiency	%	Round trip efficiency
Time response	kW/s	System dynamic behaviour, ramping capacity
Self-discharge	%/month	Energy losses while the energy is stored
Capacity range	a < MWh < b	Range of energy scalability or typical application
Power range	a < MW < b	Range of power scalability or typical application
Maturity	---	Technical maturity and reliability
Security	---	Safe operation issues of the energy storage system

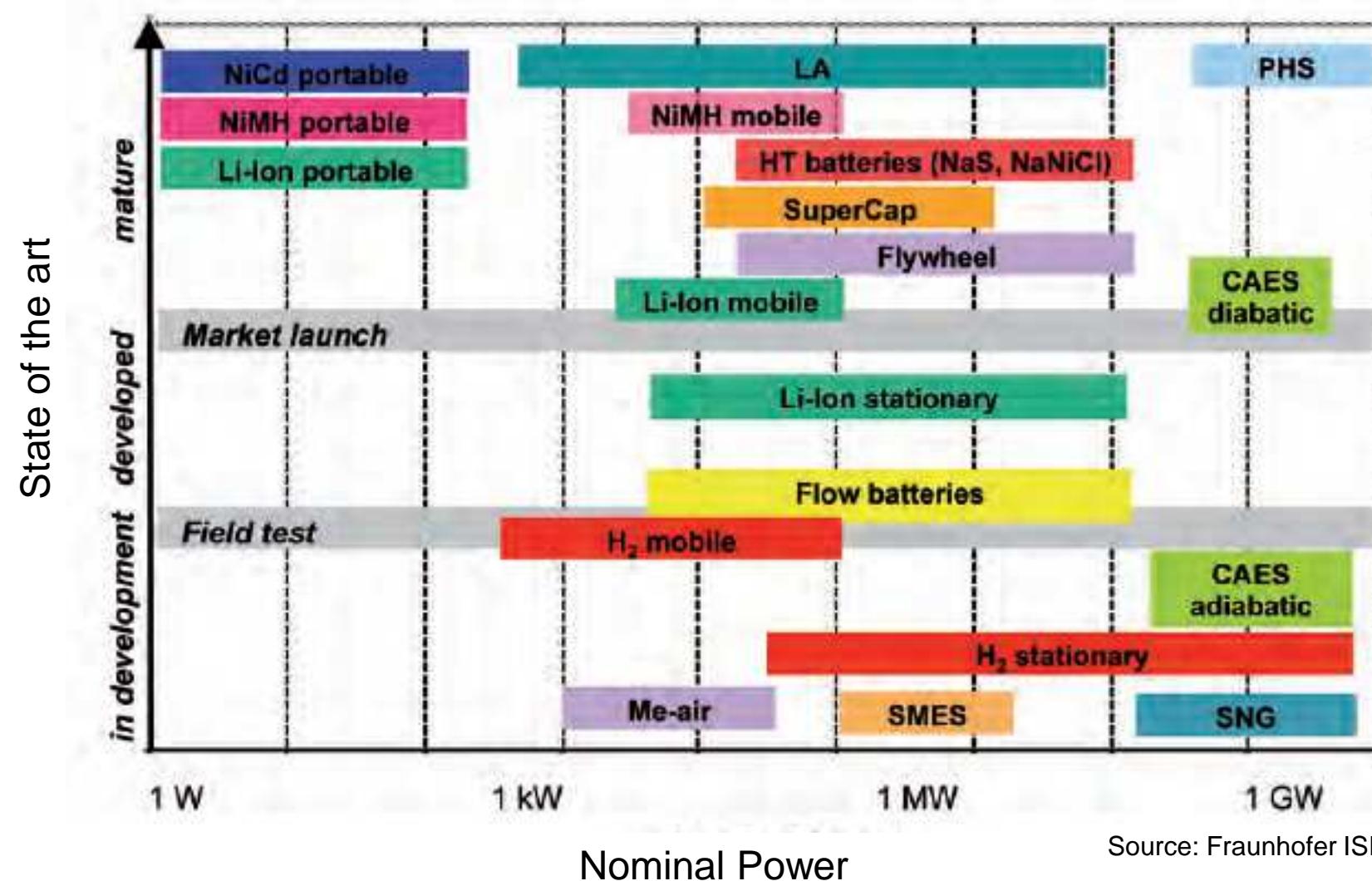
2.- Tecnologías: Comparativa - Rango de aplicación



2.- Tecnologías: Comparativa - Densidad de potencia y energía

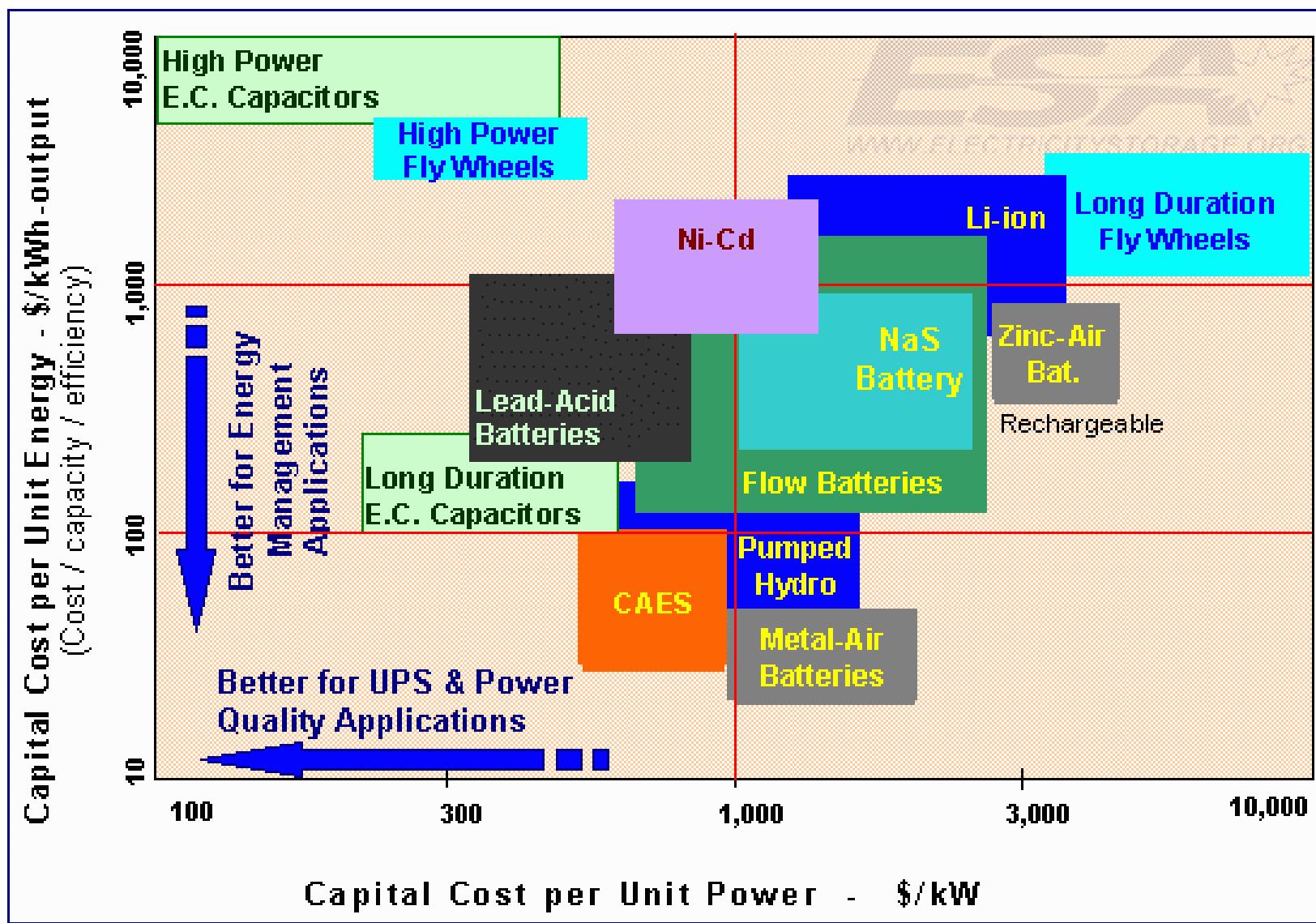


2.- Tecnologías: Comparativa

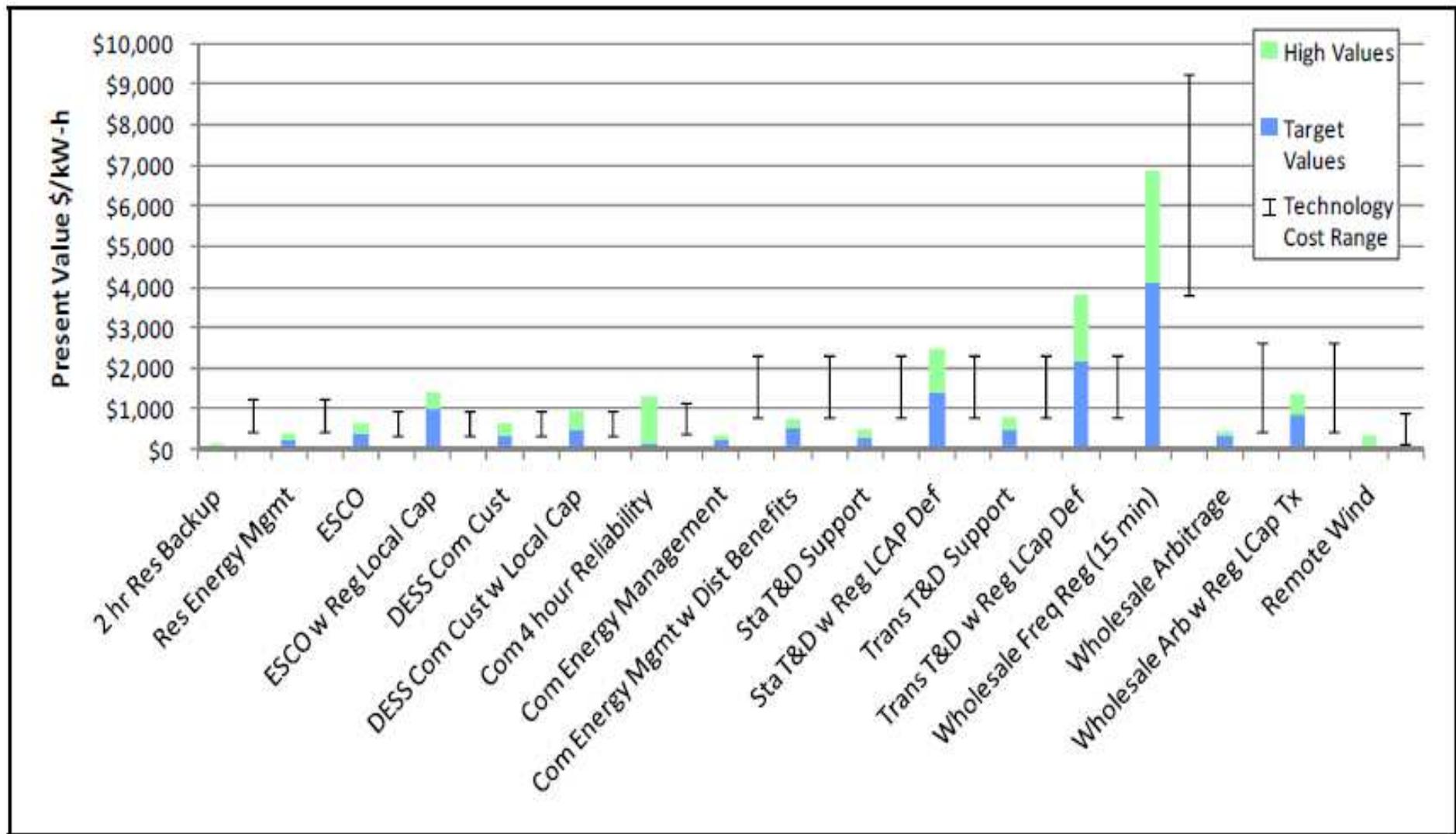


Source: Fraunhofer ISE

2.- Tecnologías: Comparativa



2.- Tecnologías: Comparativa



Electricity Energy Storage Technology Options– EPRI 2010

Angel Díaz Gallo - TECNALIA

Curso Accenture-Enerclub: Gestión de redes eléctricas inteligentes
Madrid, 4 de Junio de 2014

2.- Tecnologías: Comparativa - Potencia instalada

Pumped Hydro

127,000 MW
~1,500,000 MWh

over 99 % of the total storage capacity

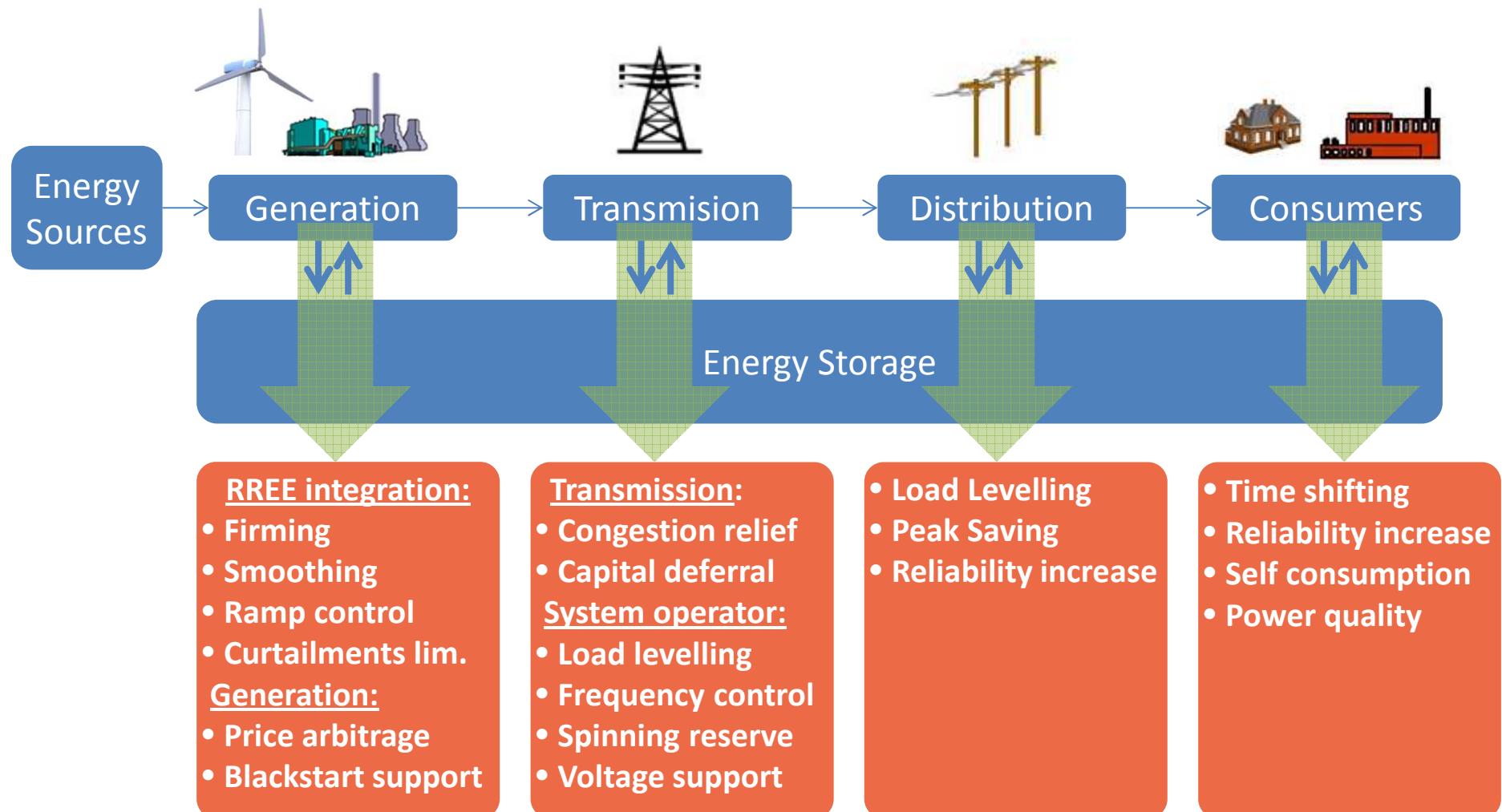
Source: Fraunhofer, EPRI, DOE,

- Compressed Air Energy Storage
440 MW 3,730 MWh
- Sodium Sulphur Battery
316 MW 1,900 MWh
- Lithium Ion Battery
~70 MW ~17 MWh
- Lead Acid Battery
~35 MW ~70 MWh
- Nickel Cadmium Battery
27 MW 6,75 MWh
- Flywheels
<25 MW <0,4 MWh
- Redox Flow Battery
<3 MW <12 MWh

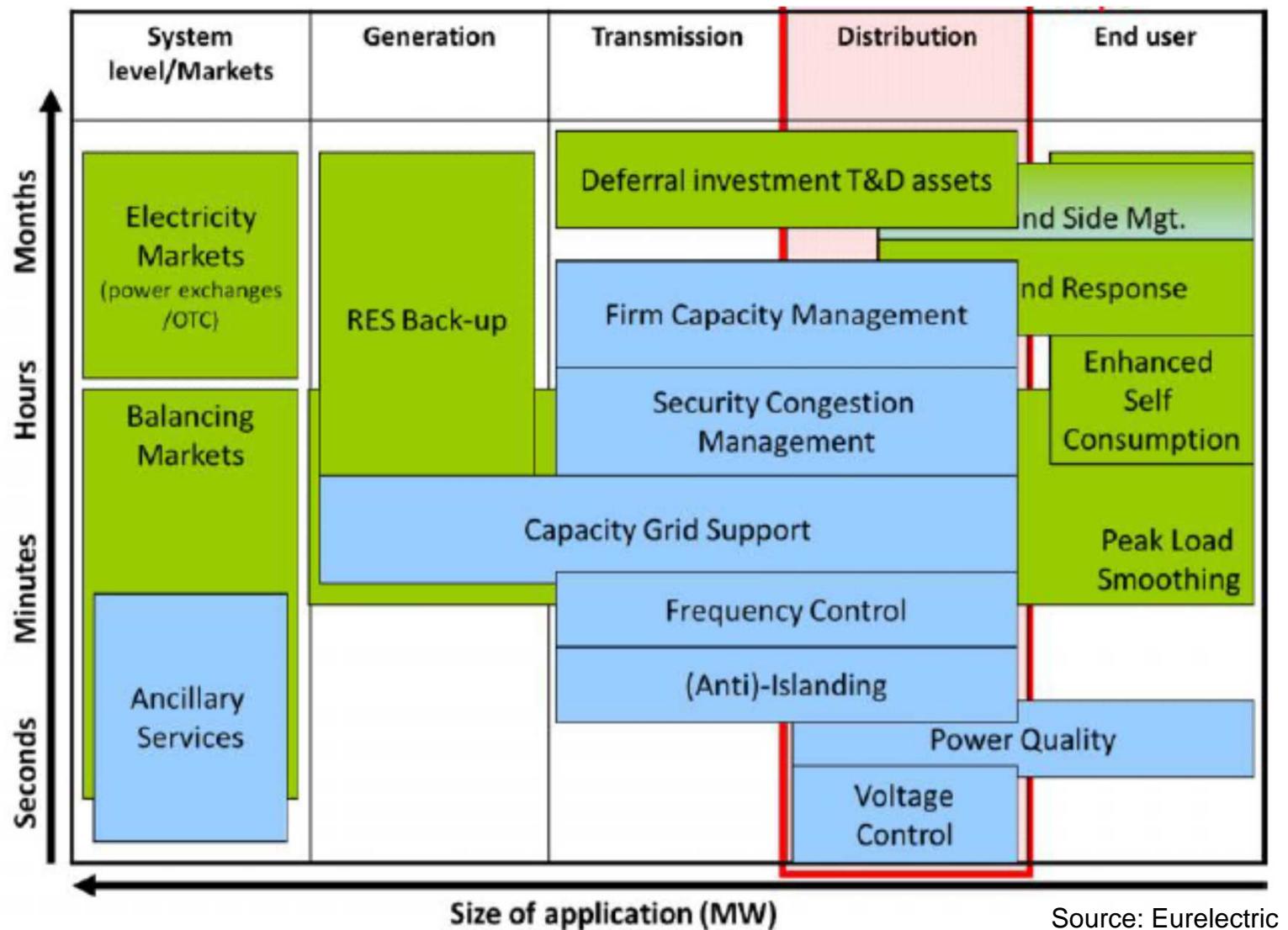
Last years, Li-Ion batteries have experimented and important increase on installed capacity and in the number of installations

1. El sistema eléctrico y el almacenamiento de energía
2. Tecnologías
- 3. Aplicaciones**
4. Mercado del almacenamiento de energía
5. Conclusiones
6. El vehículo eléctrico

3.- Aplicaciones

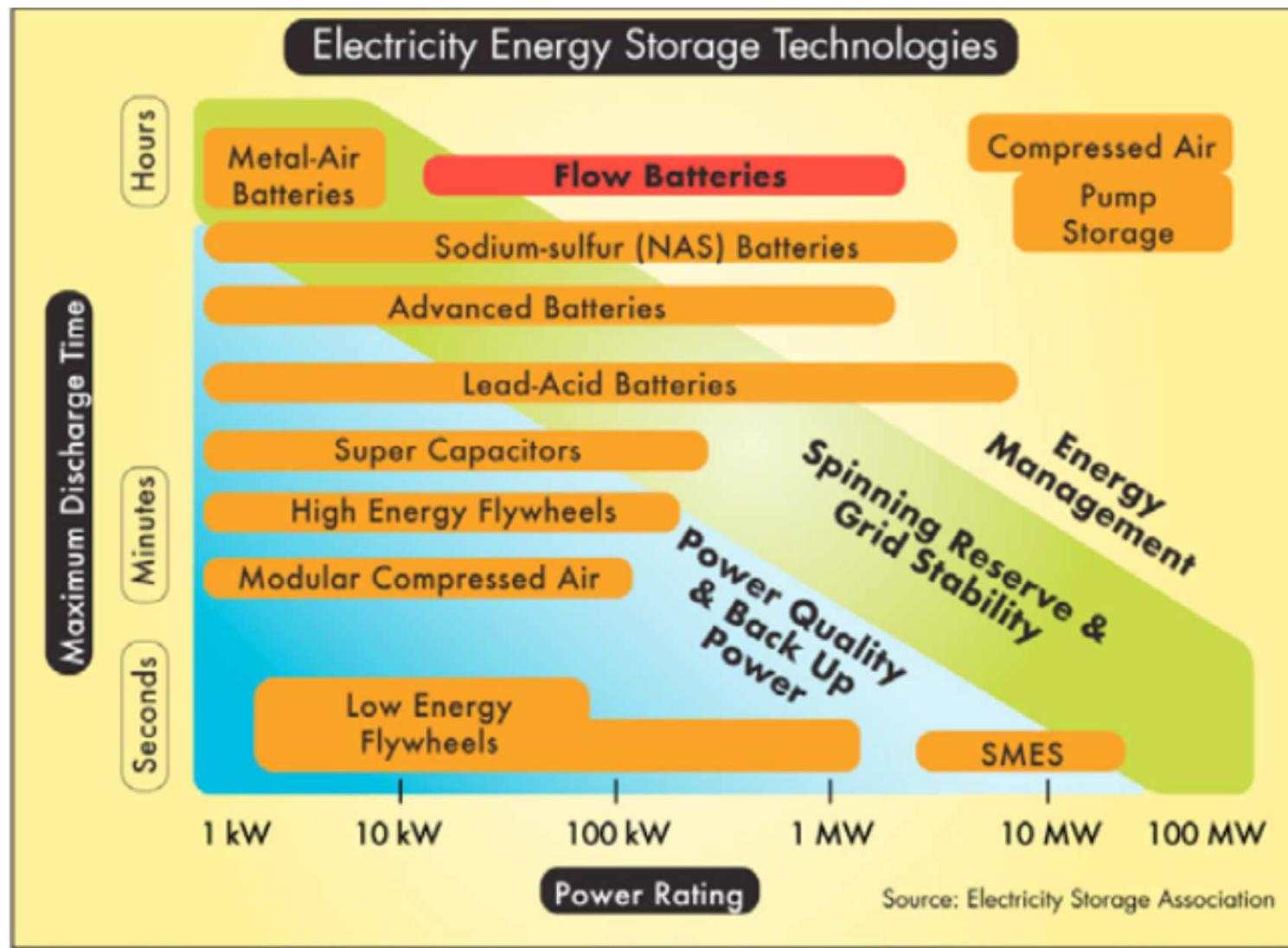


3.- Aplicaciones

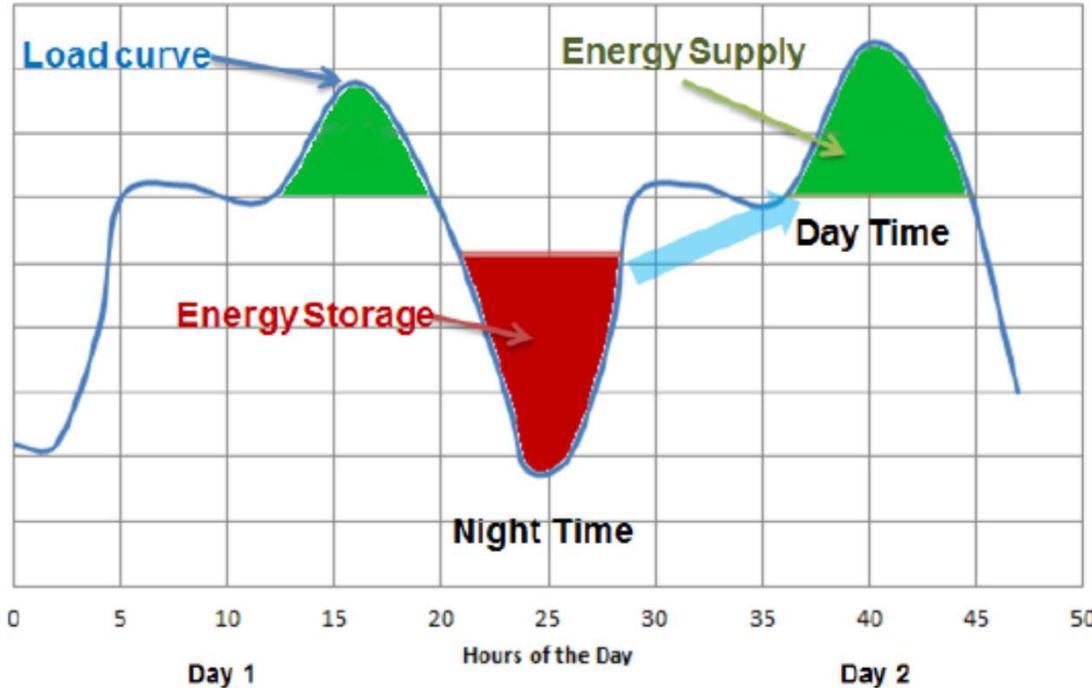


Source: Eurelectric

3.- Aplicaciones

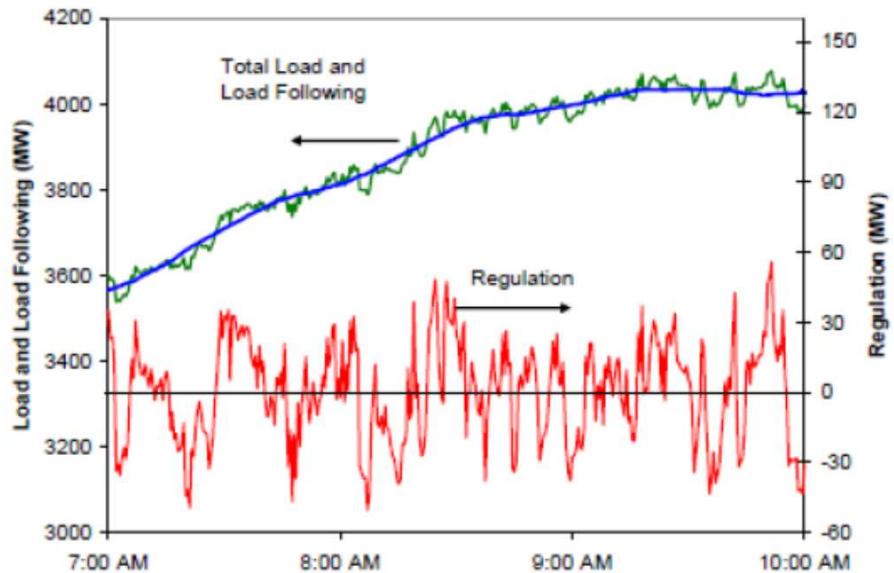
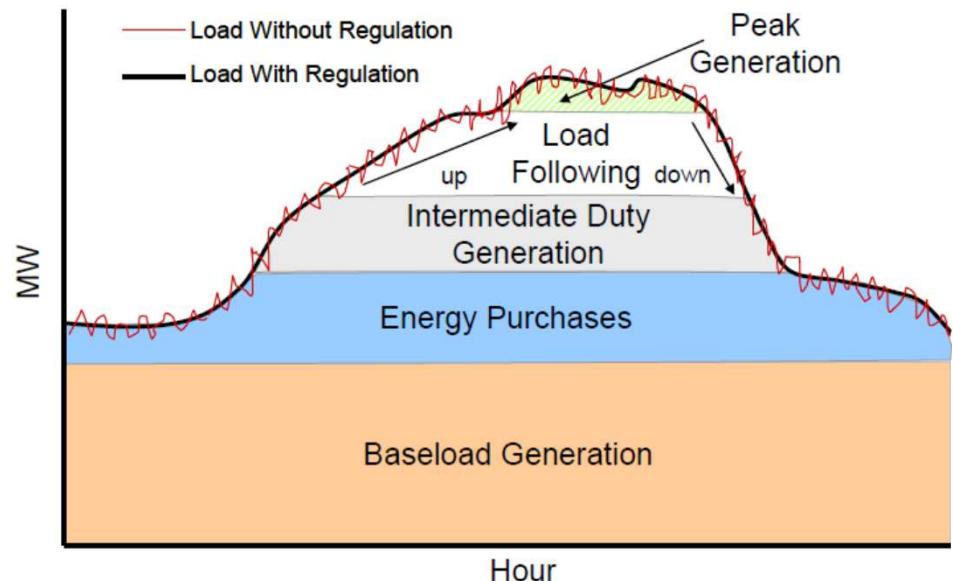


3.- Aplicaciones: Aplanamiento curva generación



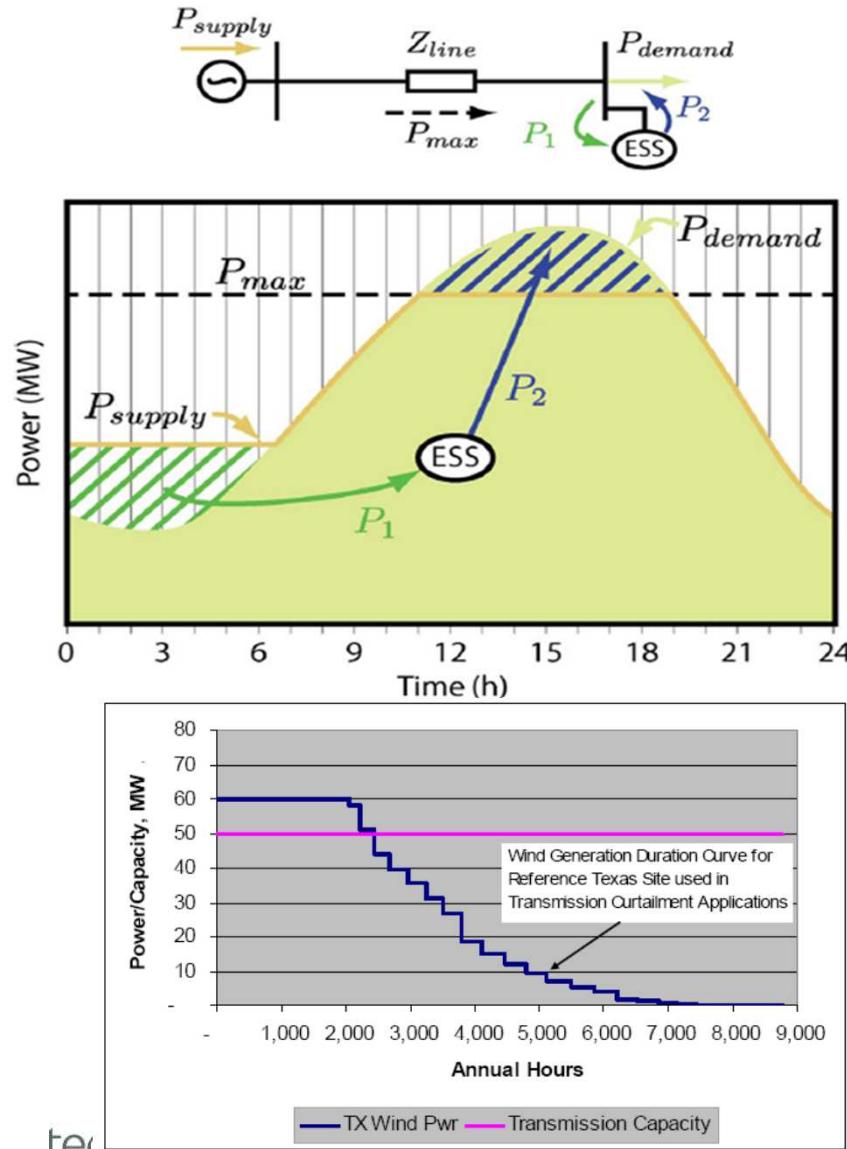
- ✓ Desplazamiento de generación ➤ 0,1-100 MW
- ✓ Aplanamiento curva de generación ➤ 1-1000 MWh
- ✓ Optimización de coste de generación e inversión ➤ 500 ciclos/año
- ✓ Arbitraje de precios

3.- Aplicaciones: Regulación de frecuencia



- ✓ Regulación de frecuencia
 - ✓ Servicios complementarios
 - Reg. Primaria
 - Reg. Secundaria
 - ✓ Reserva de potencia
 - ✓ Blackstart
- 0,1-100 MW
 - 0,1-100 MWh
 - >5000 ciclos/año

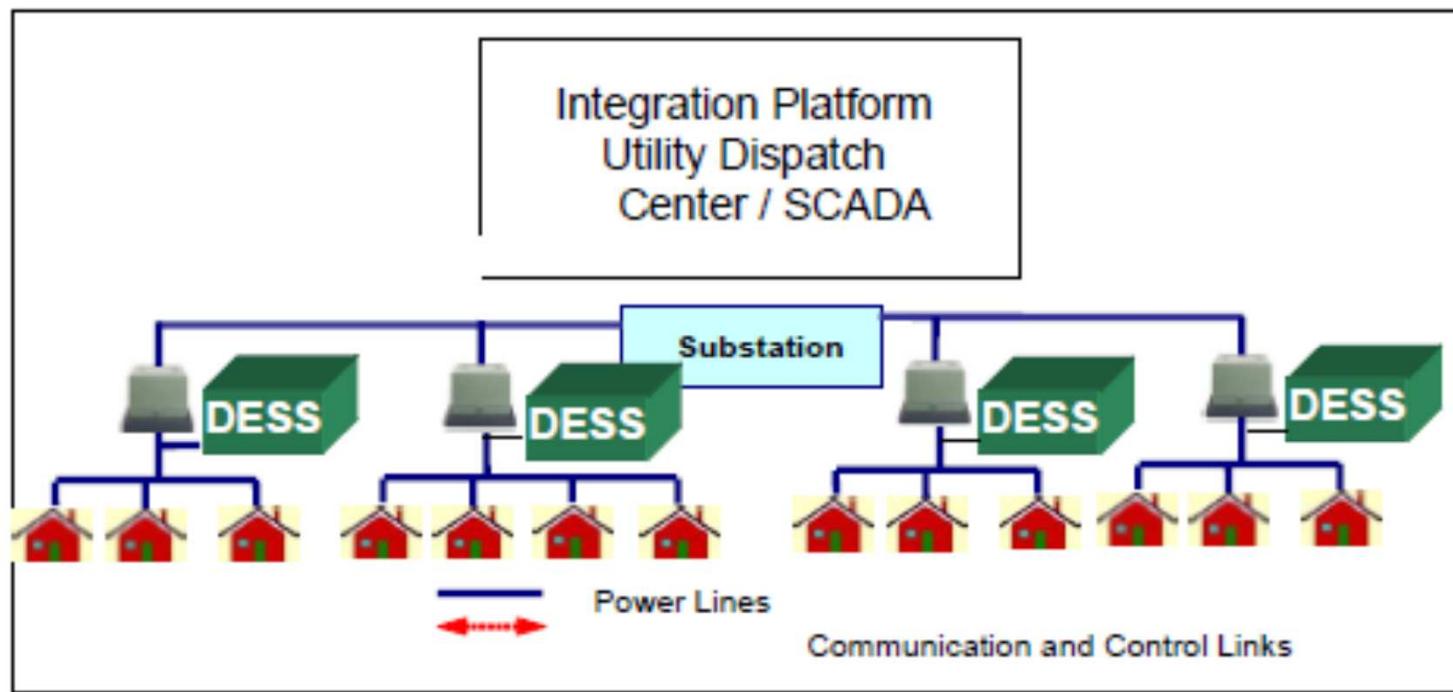
3.- Aplicaciones: Desplazamiento de energía



- ✓ Dimensionamiento óptimo de líneas (Potencia media).
- ✓ Aplazamiento de inversiones (Repotenciación de líneas).
- ✓ Control de Tensión / Reactiva.
- ✓ Muy interesante para evacuación de parques de EERR.

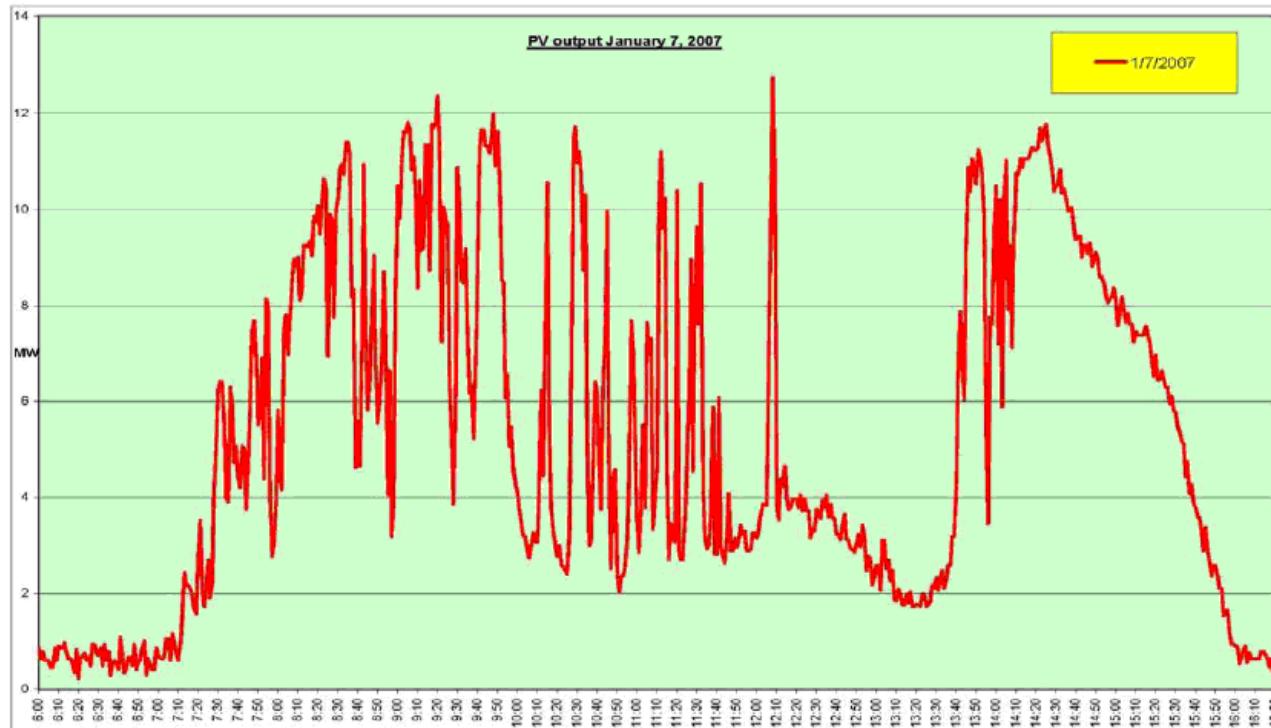
- 0,1-100 MW
- 0,1-100 MWh
- 500 ciclos/año

3.- Aplicaciones: Almacenamiento distribuido y gestión de renovables locales



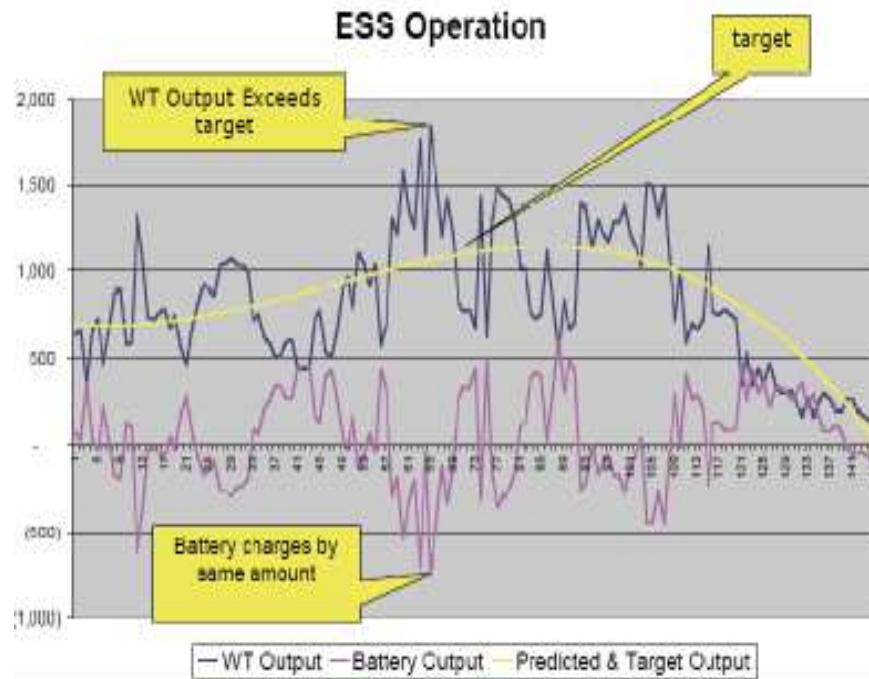
- ✓ Gestión local de renovables
- ✓ Mejora calidad del suministro eléctrico:
 - Armónicos, desequilibrios de tensión, factor de potencia.
 - Continuidad del suministro ante interrupciones.

3.- Aplicaciones EERR: Suavizado de generación

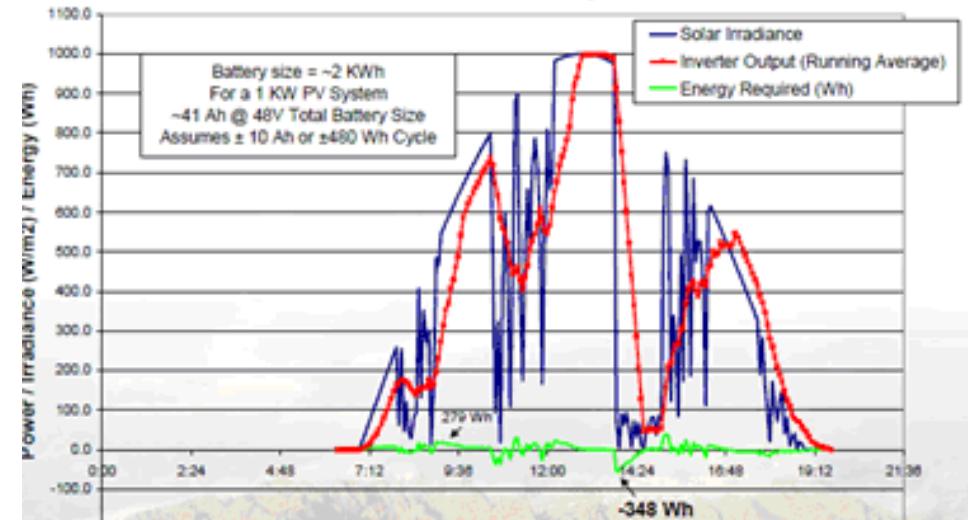


- ✓ Suavizado de rampas ➤ 0,1-10 MW
- ✓ Rachas de viento / paso por nube ➤ 0,1. MWh
- ✓ Carácter estocástico del recurso ➤ > 1.000 ciclos/año

3.- Aplicaciones EERR: Suavizado de generación

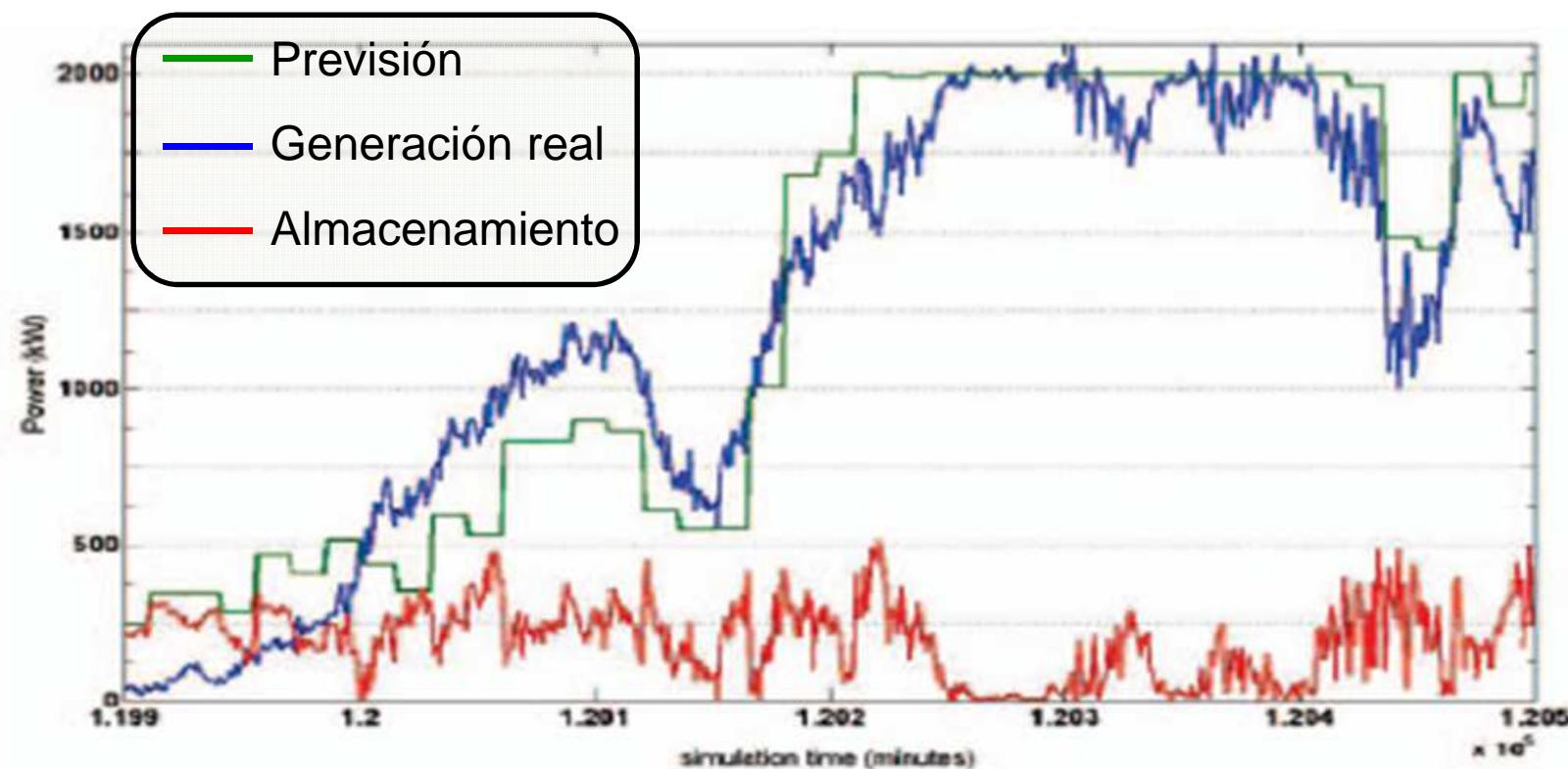


✓ Suavizado parque eólico



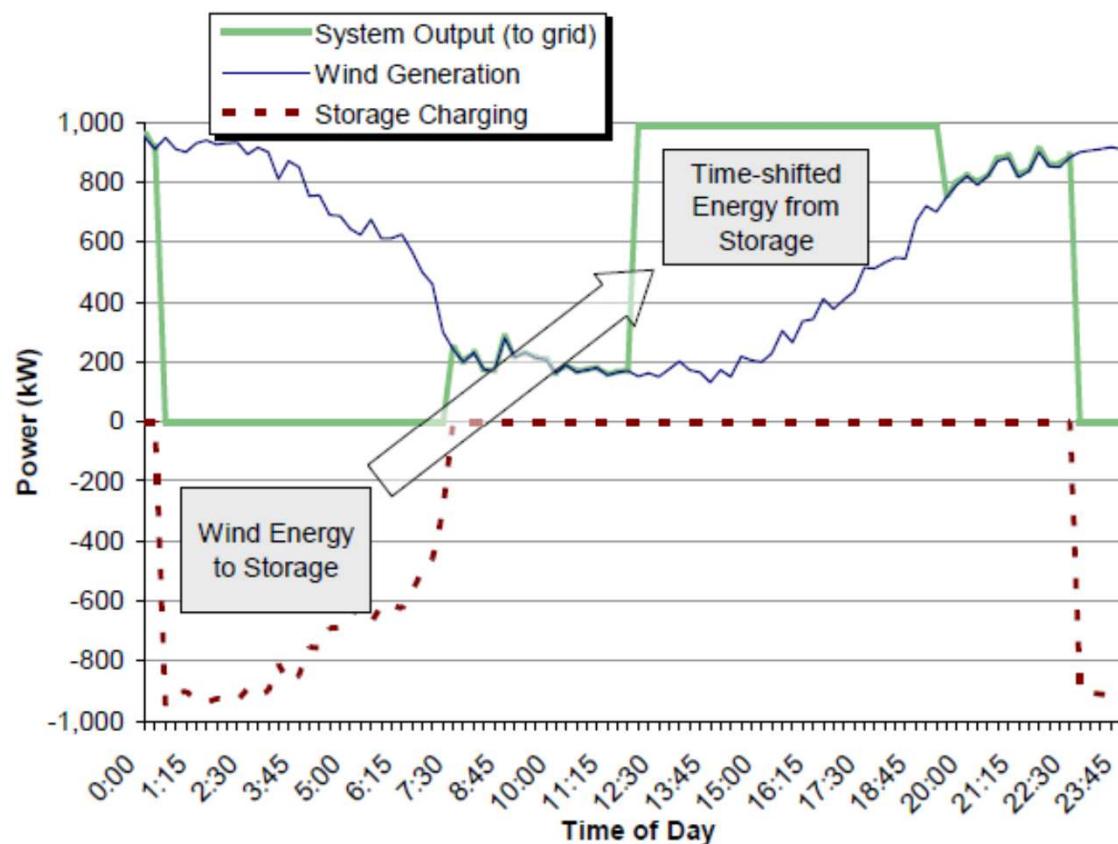
✓ Suavizado parque PV

3.- Aplicaciones EERR: Suavizado de generación



- ✓ Evitar penalizaciones ➤ 0,1-1 MW
- ✓ Facilita la participación en el mercado ➤ 0,1-1 MWh
- ✓ Mejora la operación del sistema ➤ Varios ciclos diarios

3.- Aplicaciones EERR: Desplazamiento energía



- 0,1-10 MW
- 0,025-2,5 MWh
- 200 - 300 ciclos/año

- ✓ Adecuación de la generación a demanda
- ✓ Arbitraje de precios
- ✓ Almacenamiento a gran escala

3.- Aplicaciones EERR: Regulación de frecuencia

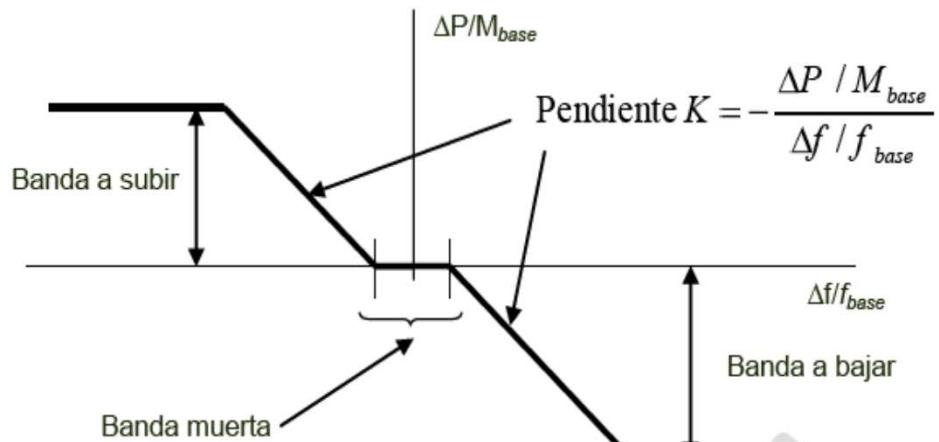


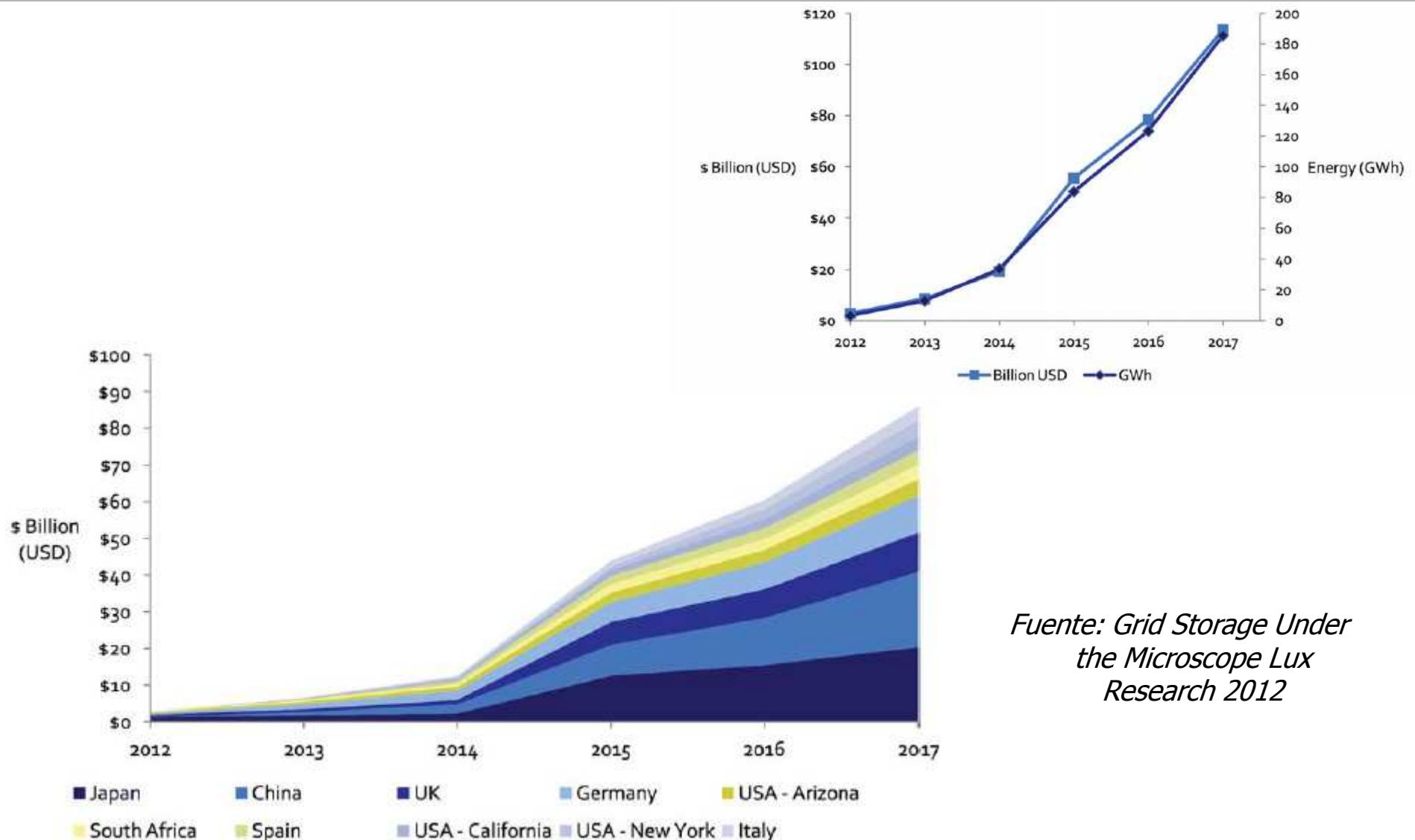
Figura 8.3.3.1. Incremento unitario de potencia activa en función del desvío unitario de la frecuencia.

- 0,1-10 MW
- 0,025-2,5 MWh
- Varios ciclos diarios

- ✓ La normativa de conexión a red para energías renovables exige (borrador PO12.2). 20% de la potencia a subir o a bajar.
- ✓ La regulación de frecuencia da un gran valor añadido, permite ofrecer servicios complementarios y además mejora la penetración de renovables.

- 1. El sistema eléctrico y el almacenamiento de energía**
- 2. Tecnologías**
- 3. Aplicaciones**
- 4. Mercado del almacenamiento de energía**
- 5. Conclusiones**
- 6. El vehículo eléctrico**

4.- Mercado de Almacenamiento de energía

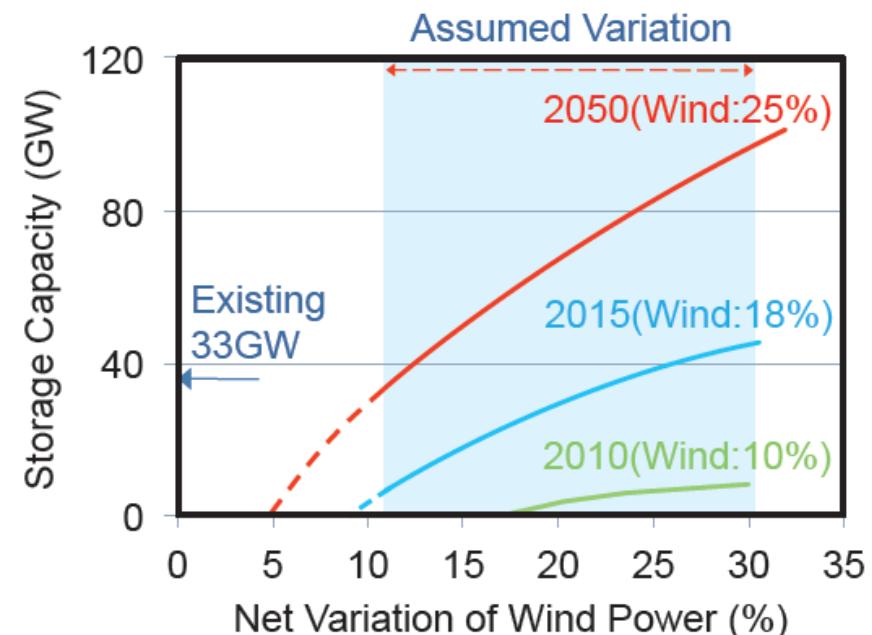


Fuente: Grid Storage Under the Microscope Lux Research 2012

4.- Mercado de Almacenamiento de energía

Global Market: \$500B	
BCG:	\$400B ¹
Piper Jaffray:	\$600B ²
Worldwide, the energy storage market is forecasted to grow over the next five years at a CAGR of:	40-55% ³
Lux Research:	\$64B/year ⁴

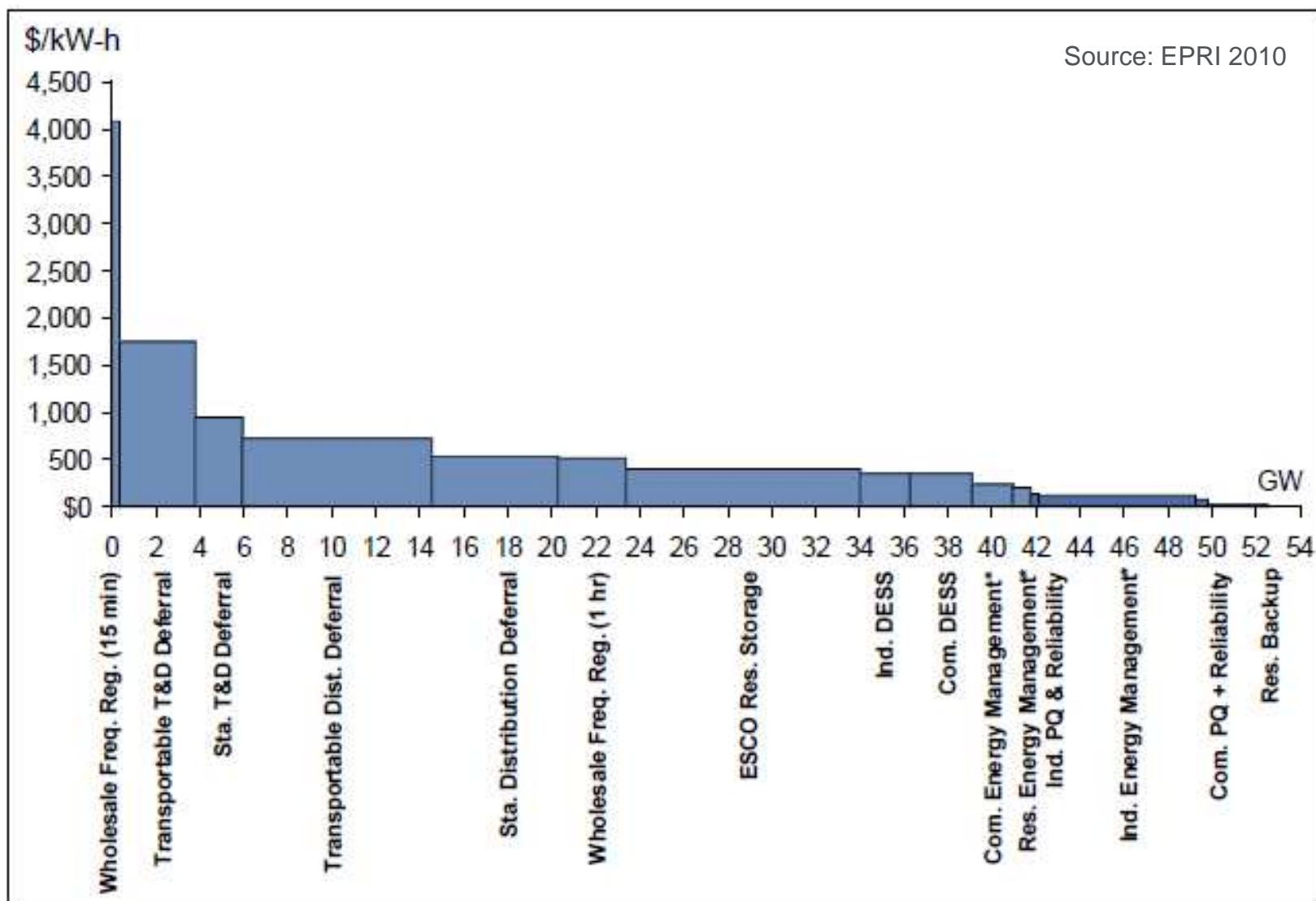
Storage needs in the EU as a function of Wind penetration (IEA)



Market volume is heavily dependent on:

- Renewables energies share growth
- Energy storage cost reduction
- Other solutions implementation

4.- Mercado de Almacenamiento de energía



- 1. El sistema eléctrico y el almacenamiento de energía**
- 2. Tecnologías**
- 3. Aplicaciones**
- 4. Mercado del almacenamiento de energía**
- 5. Conclusiones**
- 6. El vehículo eléctrico**

5.- Conclusiones

Mercado creciente, en el rango de los 100 b\$ en 2020

Barreras:

- Coste
- Desarrollo regulatorio

Market drivers:

- Aumento de la penetración de energías renovables
- Electrificación rural en países en desarrollo y mejora de red en grandes países (USA, Australia, Brasil, etc).
- Islas
- Autoconsumo

Retos tecnológicos:

- Reducción de coste,
- Extensión de vida útil

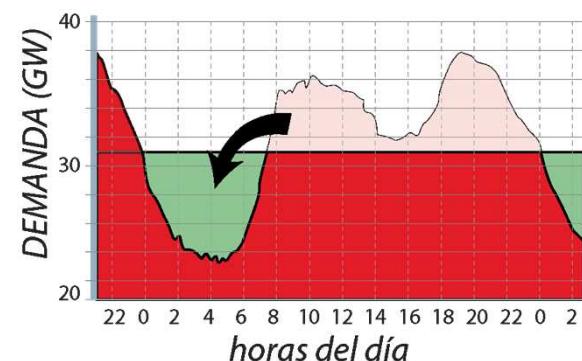
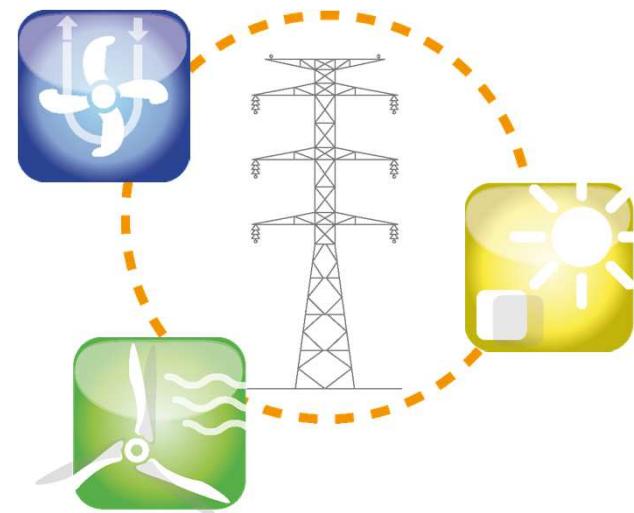
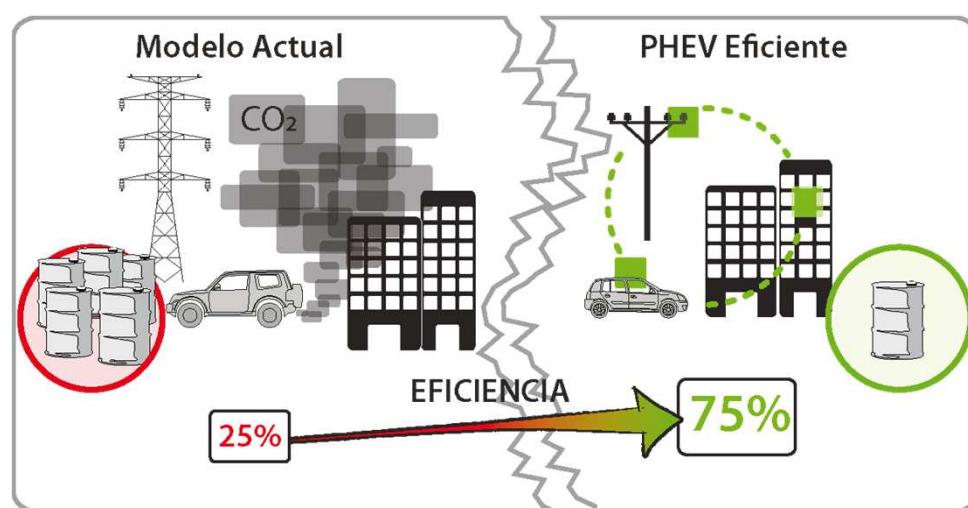


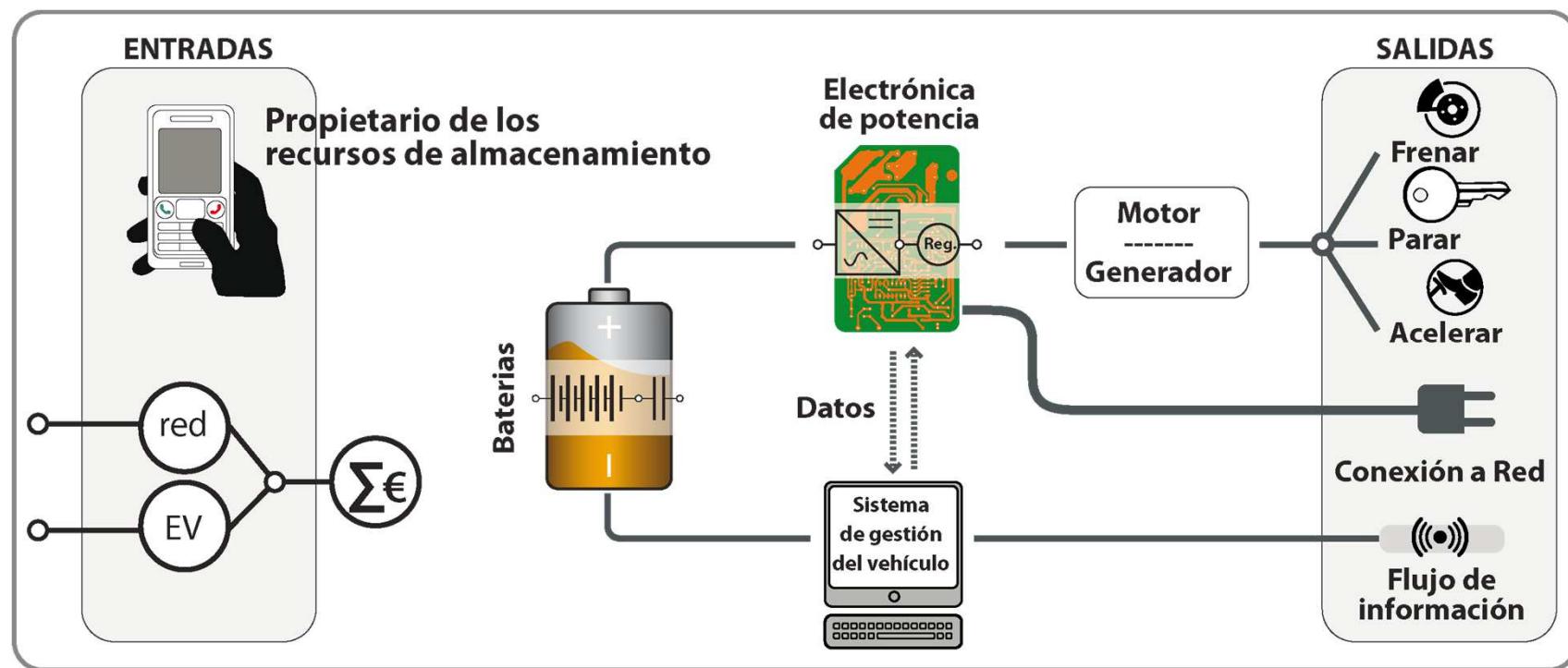
Almacenamiento y Vehículo Eléctrico

tecnalia
innovación

Posibles Beneficios

RÁPIDA RESPUESTA A CARGAS VARIABLES
NIVELACIÓN DE LA CURVA DE DEMANDA
APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES
APORTE DE FLEXIBILIDAD Y ROBUSTEZ AL
SISTEMA
OPTIMIZACIÓN DE LAS
INFRAESTRUCTURAS
VENTA DE SERVICIOS A LA
RED
ARBITRAJE DE ENERGÍA
INCREMENTO DE LA
EFICIENCIA
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂

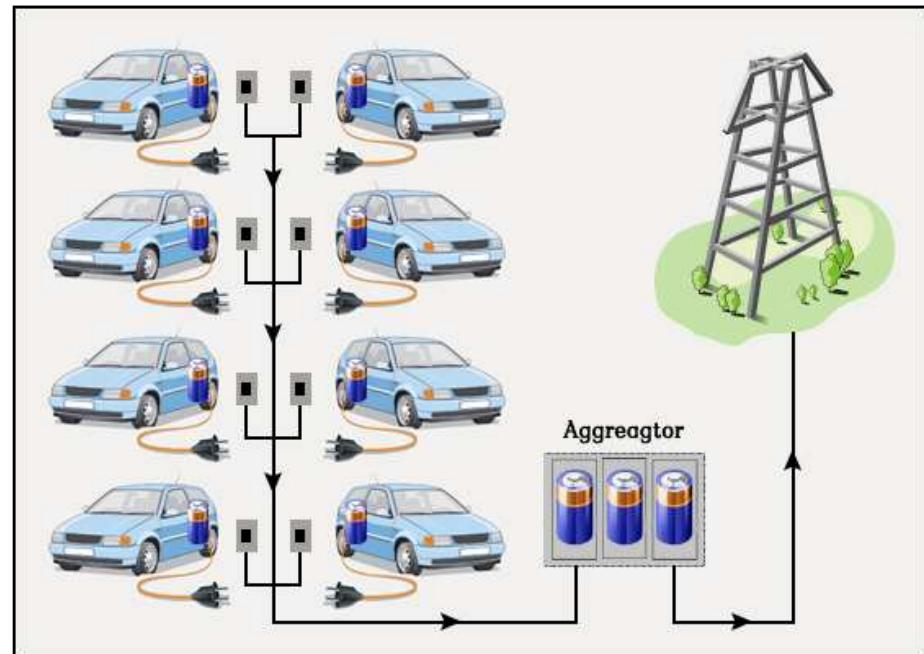




Principio y características

Almacenamiento de energía distribuido en varios vehículos, pero que se operan de forma conjunta.

- Requiere de puntos de recarga con capacidad bidireccional.
- Concepto de agregador: figura que gestionan un número determinado de puntos de recarga.
- ✓ El coste de inversión es muy reducido, ya que se emplean baterías con otra función principal.
- ✗ La capacidad de potencia y energía disponible tienen un carácter estocástico.
- ✗ Puede afectar a las prestaciones del vehículo y a la vida útil de sus baterías.
- ✗ Necesidad de desarrollar medios de pago



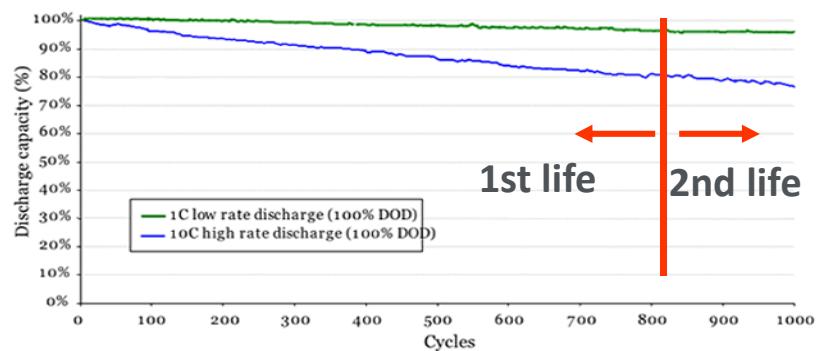
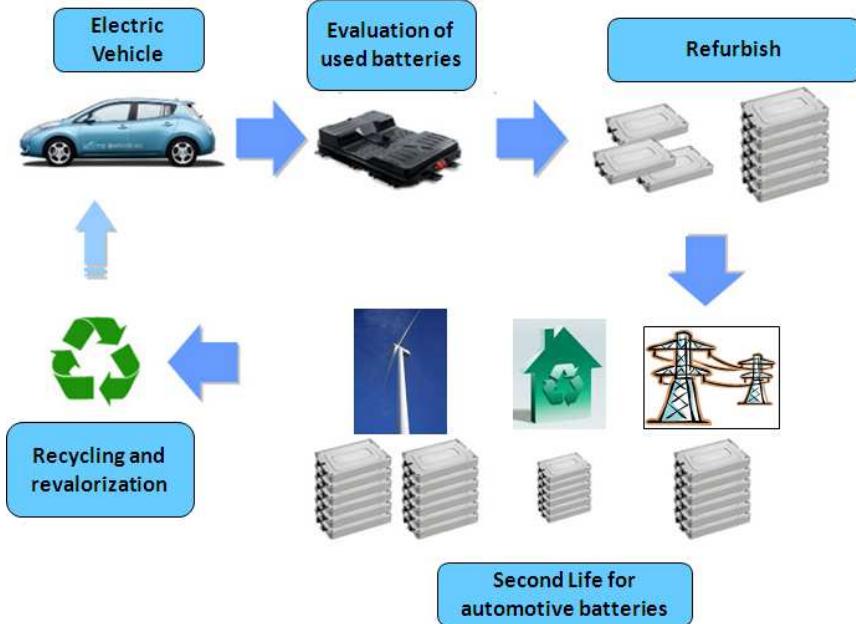
Lithium-ion V – Second Life

Basis and characteristics

Li-Ion automotive battery that have already completed its useful life for traction sector could be used for stationary applications.

The battery is supposed to end its automotive after 20% loss of its initial capacity.

- Improves the business case for the electric vehicle and for the stationary applications.
- One of the main markets could be focused in household applications and self consumption,
- ✓ Low cost, the price of these batteries will be determined by the stationary market, as the value after their first use is nowadays zero.
- ✗ Doubts on reliability.
- ✗ Second life market depends on the electric vehicle market.





**muchas gracias
por su atención**

Junio 2014

Angel Díaz Gallo

angel.diaz@tecnalia.com

Director of Smart Grids and Storage Business Area

TECNALIA