

Almacenamiento, integración a la red de energías renovables y redes inteligentes

Dra. Raquel Garde (rgarde@cener.com)
San José, Costa Rica, 17-18 Septiembre 2015

Índice

1. Contexto del almacenamiento
2. Integración de Renovables
3. Redes inteligentes
4. Conclusiones

1. Contexto del almacenamiento

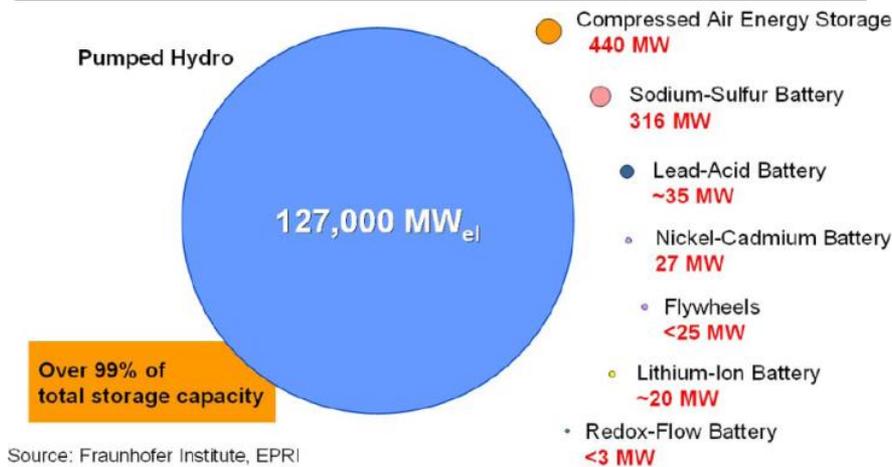
Contexto del Almacenamiento de Energía

- Los sistemas de almacenamiento de energía se han utilizado durante décadas para diferentes aplicaciones:
 - Soporte de la red
 - UPS (telecom, sistemas off-grid,...)
 - Nuevas tecnologías electrónicas (portátiles)
- El desarrollo de las RES y los objetivos europeos de 20/20/20 son los principales drivers del reciente interés por el almacenamiento de energía
- El desarrollo esperado del almacenamiento de energía se producirá junto con una mayor integración de las RES a todas las escalas

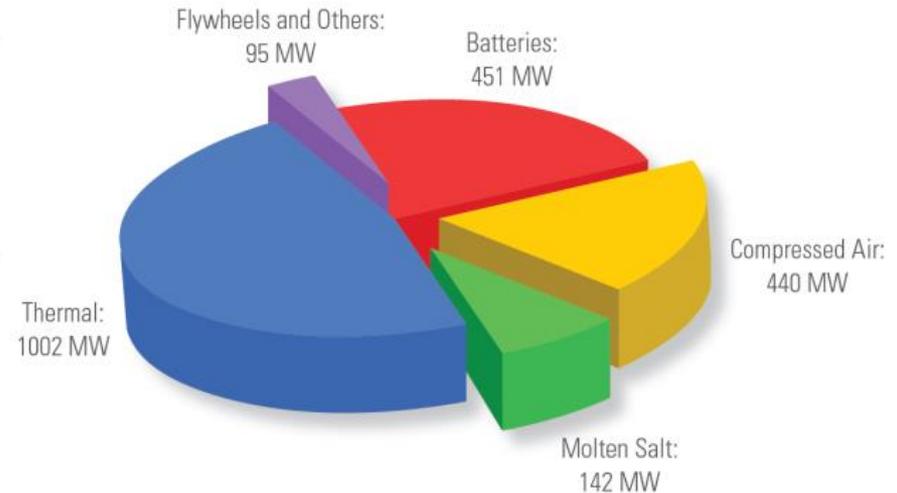
Contexto del Almacenamiento de Energía

- Potencia instalada de almacenamiento eléctrico ~127 GW, > 99% PHES
- Potencia instalada de almacenamiento térmico ~1 GW

Worldwide installed storage capacity for electrical energy



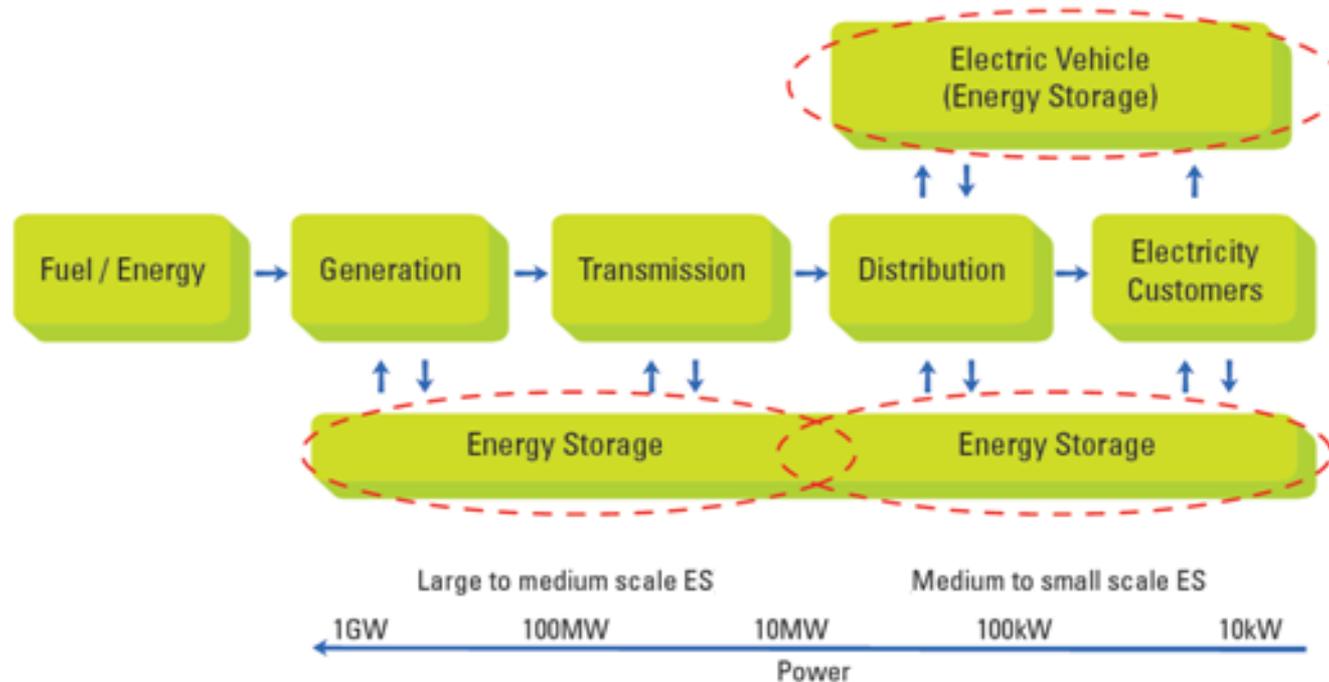
Fuente: EPRI



Fuente: CESA

Contexto del Almacenamiento de Energía

- Debido a la gran diversidad de tecnologías de almacenamiento, su papel en el sector energético está pobremente analizado en los planes hacia la economía de bajo contenido en carbono



Contexto del Almacenamiento de Energía

Tecnologías

- Bombeo hidráulico
- Aire Comprimido (CAES)
- Volantes de inercia
- Supercondensadores
- Superconductores Magnéticos (SMES)
- Baterías Avanzadas
- Baterías de flujo
- Hidrógeno
- Almacenamiento virtual o gestión de la demanda mediante consumos despachables
 - Sistemas de calor y frío
 - Desalinizadoras
 - Hidrógeno (electrolizadores)
 - Vehículos eléctricos

Contexto del Almacenamiento de Energía

¿Qué aporta el almacenamiento de energía?

Menores costes de capital	Puede suministrar o absorber energía en momentos puntuales haciendo un uso más eficiente de la red y reduciendo la necesidad de infraestructuras
Mayor penetración de renovables	Suavizando la variabilidad de las renovables, avanza hacia un sistema eléctrico más verde y sostenible
Fiabilidad	Su rápida respuesta ante incidencias hace la red más robusta

2. Integración de Renovables

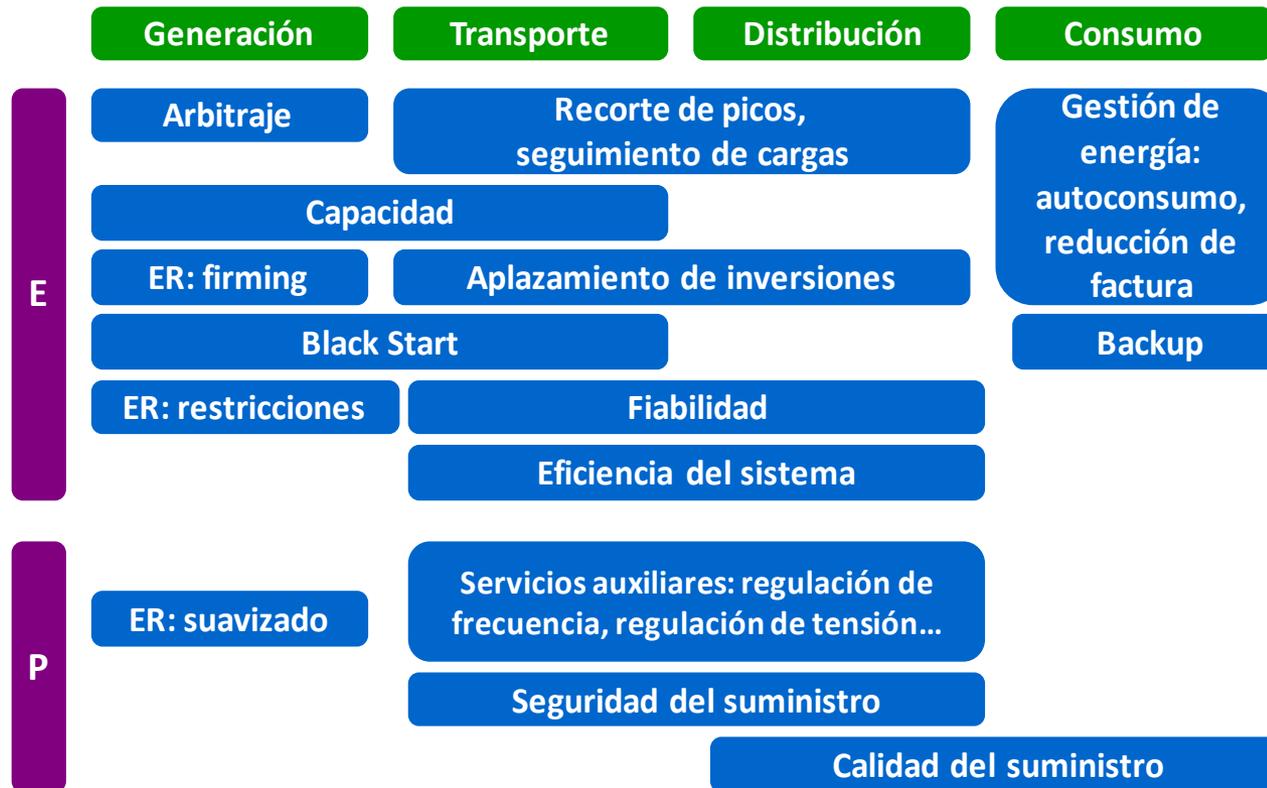
Integración de renovables

Impacto de las renovables en la red

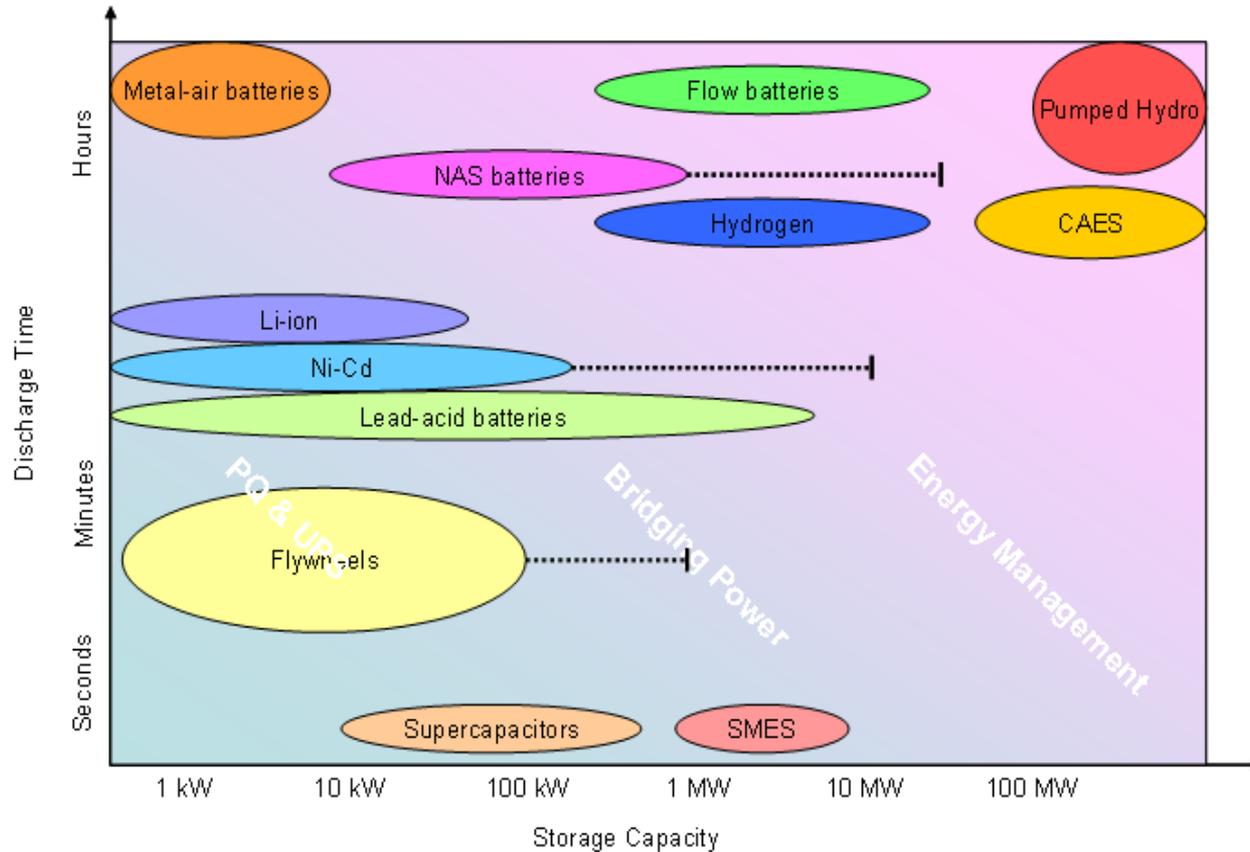
- Dimensiones y capacidad de las infraestructuras energéticas (redes, generación convencional,...)
- Gestión de la red (aspectos operacionales)
 - Fiabilidad
 - Seguridad del suministro
 - Calidad de la energía
 - Despachabilidad
- Aspectos económicos: modificación del mercado

Integración de renovables

Aplicaciones del almacenamiento de energía



Integración de renovables



Aplicaciones de las tecnologías Energía vs Potencia. Fuente: CENER

Integración de renovables

Arbitraje

- El objetivo es la compra y almacenamiento de electricidad cuando la demanda y los costes de energía son bajos y su posterior venta cuando la demanda y los precios son altos, obteniendo así un beneficio económico.
- El parámetro clave es la diferencia de los precios entre los picos y los valles (escenario muy volátil y dependiente de cada mercado particular)
- Contribución clásica del almacenamiento: se almacena durante la noche o cuando hay exceso de renovables y se vierte en horas pico o cuando hay exceso de demanda
- Principales requisitos del almacenamiento:
 - Tamaño: 1 – 500 MW
 - Duración de descarga: <1 h
 - Mínimo nº ciclos/año: 250 +
- Sistemas mas adecuados: PHES, CAES, H2

Integración de renovables

Capacidad

- El almacenamiento de energía proporciona una capacidad de generación utilizable en los picos de consumo que permite reducir las necesidades de reserva convencional de generación, lo que se traduce en un beneficio económico porque se pueden evitar inversiones en plantas de generación.
- La capacidad de almacenamiento en el sistema permite incrementar su flexibilidad y su correcta gestión reduce los costes asociados a los ajustes de la Operación del Sistema.
- Principales requisitos del almacenamiento:
 - Tamaño: 1 – 500 MW
 - Duración de descarga: 2-6 h
 - Mínimo nº ciclos/año: 5-100
- Sistemas mas adecuados: PHES, CAES, H2, baterías de flujo

Integración de renovables

Blackstart

- Los sistemas de almacenamiento pueden utilizarse para suministrar energía para el arranque de las plantas de generación después de una situación de caída generalizada de la red y contribuir así a la recuperación y normalización del suministro.
- Asimismo, el almacenamiento de gran capacidad, varios MWh, puede emplearse como un elemento más de la reposición del servicio del sistema.
- Principales requisitos del almacenamiento:
 - Tamaño: 5 – 50 MW
 - Duración de descarga: 15 min – 1 h
 - Mínimo nº ciclos/año: 10 - 20
- Las tecnologías mas adecuadas dependen del tamaño, para redes de distribución las baterías son una buena opción

Integración de renovables

Integración de renovables

- Los sistemas de almacenamiento pueden suavizar las variaciones temporales de la generación renovable no gestionable, que afectan a la estabilidad del sistema eléctrico y obligan a disponer de otros recursos suficientemente rápidos para compensarlas. Dan lugar a aplicaciones de diferente naturaleza:
 - Suavizado de variaciones de potencia rápidas y frecuentes del orden de segundos.
 - Atenuación de rampas de subida y bajada debidas a fenómenos como paso de nube o cambios bruscos de la velocidad del viento.
 - Firming o gestión de energía para obtener una potencia de salida constante mediante la aportación de energía durante aquellos períodos en los que la producción está por debajo del valor previsto.
 - Ajuste de la generación y la demanda. El objetivo es regular la potencia que genera la planta renovable para equilibrar la generación con la demanda. Los tiempos de actuación pueden ser largos (horas) o cortos para cubrir desequilibrios locales con variaciones de potencia casi instantáneas.

Integración de renovables

Integración de renovables (cont.)

- Seguimiento de predicciones. El uso de sistemas de almacenamiento permite compensar los errores cometidos en las predicciones, aportando mayores beneficios en la venta de electricidad.
- Optimización de la evacuación de la energía, evitando pérdidas por restricciones y sobredimensionamientos en las líneas de evacuación y con ello, reduciendo costes.
- Los requerimientos técnicos son muy variados en función del servicio
- La selección del sistema de almacenamiento mas adecuado debe hacerse para cada caso dependiendo del servicio y de las condiciones de contorno.

Integración de renovables

Regulación de frecuencia y servicios complementarios

- En el sistema eléctrico los desequilibrios instantáneos entre la energía generada y la consumida, la pérdida súbita de generación, de demanda o interrupción de los intercambios internacionales provocan variaciones en la frecuencia de red.
- Se usan mecanismos de regulación con diferentes horizontes temporales según el país. En España se distingue entre:
 - Regulación primaria. Es un servicio obligatorio y no remunerado. Los generadores deben ser capaces de variar su producción en un 1,5% respecto a su valor nominal con un tiempo de respuesta inferior a 30 segundos.
 - Regulación secundaria. Es un servicio remunerado por mecanismos de mercado tanto por capacidad como por energía, con un tiempo de activación de 5 minutos y un horizonte temporal de 15 minutos.
 - Regulación terciaria. Es un servicio de oferta obligatoria remunerado por mecanismos de mercado. Su objetivo es restituir las reservas secundarias que ya se han utilizado y mantener el servicio durante un período de al menos dos horas; su tiempo de activación es de 15 minutos.

Integración de renovables

Regulación de frecuencia y servicios complementarios (cont.)

- Gestión de desvíos. Es un servicio de ajuste que tiene por objetivo adecuar los programas de generación de los mercados diarios e intradiarios a los requisitos de seguridad, fiabilidad y calidad del sistema.
- Principales requisitos del almacenamiento:
 - Tamaño: 10 – 100 MW
 - Duración de descarga: 15 min-2 h
 - Mínimo nº ciclos/año: 20-50
- Sistemas mas adecuados: PHES, CAES, H2, baterías de flujo, baterías avanzadas, volantes de inercia, supercondensadores,...

Integración de renovables

Aplazamiento de inversiones

- Con el paso del tiempo las infraestructuras de transporte y distribución requieren refuerzos y ampliaciones para aumentar su capacidad y en especial para evitar y solventar **congestiones**. La ampliación se hace a 15-20 años vista, lo que resulta en una infrutilización de los sistemas.
- El uso del almacenamiento de energía por ej. en nudos congestionados, permite retrasar estas inversiones y resulta en un uso más eficiente de la red eléctrica a la vez que minimiza el riesgo de que el crecimiento no se produzca.
- Principales requisitos del almacenamiento:
 - Tamaño: 1 – 100 MW
 - Duración de descarga: 1-8 h
 - Mínimo nº ciclos/año: 10-50
- Las tecnologías mas adecuadas dependen del tamaño, para redes de distribución las baterías son una buena opción

Integración de renovables

Control de tensión

- El objetivo es mantener la tensión dentro de unos límites para el funcionamiento normal de la red.
- El control requiere actuar sobre la potencia reactiva por lo que se realiza con bancos de condensadores o inductancias, compensadores síncronos y los generadores de las centrales.
- El control de tensión es especialmente relevante en las redes de distribución y transporte
- El almacenamiento puede sustituir plantas de generación en localizaciones centralizadas o a nivel distribuido en nudos de red y cerca de grandes demandas.
- La electrónica de potencia asociada al almacenamiento que se conecta a la red puede operar como una fuente o sumidero de reactiva proporcionando al sistema esta capacidad.

Integración de renovables

Control de tensión (cont.)

- Principales requisitos del almacenamiento:
 - Tamaño: 1 – 10 MVAR
 - Duración de descarga: NA
 - Mínimo nº ciclos/año: NA
- Sistemas mas adecuados: Baterías, supercondensadores,...

Integración de renovables

Seguimiento de cargas/recorte de picos/suavizado de la curva de demanda

- El sistema eléctrico debe contar con la flexibilidad necesaria para seguir al perfil de la demanda y por ello, los generadores no operan siempre en el punto óptimo y esto incrementa los costes y las emisiones.
- El almacenamiento de energía dota a la red de flexibilidad ya que:
 - proporciona una respuesta rápida, a lo largo del rango de operación
 - maximiza la eficiencia del sistema permitiendo modular la curva de la demanda
 - mejora la integración de energías renovables
- Principales requisitos del almacenamiento:
 - Tamaño: 1 – 100 MW
 - Duración de descarga: 15 min-1 h
 - Mínimo nº ciclos/año: NA
- Sistemas mas adecuados: PHES, CAES, H2, baterías

Integración de renovables

Calidad de suministro

- Existen unos requisitos que deben cumplirse para garantizar la calidad del suministro relacionados con la forma de onda, distorsión armónica, huecos de tensión que tradicionalmente se controlan con filtros, interrupciones de corta duración (hasta varios segundos), variaciones de frecuencia y factor de potencia.
- El almacenamiento se utiliza para evitar que el usuario se vea afectado por incidencias de duración corta que afectan a la calidad de suministro y para garantizar que se cumplen los requisitos mínimos.
- Principales requisitos del almacenamiento:
 - Tamaño: 100 kW – 10 MW
 - Duración de descarga: 10 s – 15 min
 - Mínimo nº ciclos/año: 10 - 200
- Las tecnologías mas adecuadas pueden ser baterías, volantes de inercia, supercondensadores,...

Integración de renovables

Seguridad de suministro

- El almacenamiento de energía puede operar como un sistema de reserva que permite al usuario operar sus cargas con normalidad cuando se produce un corte de energía.
- En redes débiles y aisladas, las tecnologías de almacenamiento pueden aportar una reserva adicional y regulación primaria, contribuyendo así a aumentar su fiabilidad y reducir el riesgo de cortes de suministro.
- La capacidad del almacenamiento es limitada y debe dimensionarse por tanto en función del tiempo y la potencia de servicio deseados.
- Las tecnologías mas adecuadas son las baterías, H2, pequeños sistemas de bombeo,...



Contexto del Almacenamiento de Energía

Table 5 - Applications by Technology Type

Application	Description	CAES	Pumped Hydro	Flywheels	Lead-Acid	NaS	LI-ion	Flow Batteries
Off-to-on peak intermittent shifting and firming	Charge at the site of off peak renewable and/ or intermittent energy sources; discharge energy into the grid during on peak periods	●	●	○	●	●	●	●
On-peak intermittent energy smoothing and shaping	Charge/discharge seconds to minutes to smooth intermittent generation and/or charge/discharge minutes to hours to shape energy profile	○	●	●	●	●	●	●
Ancillary service provision	Provide ancillary service capacity in day ahead markets and respond to ISO signaling in real time	●	●	●	●	●	●	●
Black start provision	Unit sits fully charged, discharging when black start capability is required	●	●	○	●	●	●	●
Transmission infrastructure	Use an energy storage device to defer upgrades in transmission	○	○	○	●	●	●	●
Distribution infrastructure	Use an energy storage device to defer upgrades in distribution	○	○	○	●	●	●	●
Transportable distribution-level outage mitigation	Use a transportable storage unit to provide supplemental power to end users during outages due to short term distribution overload situations	○	○	○	●	●	●	●
Peak load shifting downstream of distribution system	Charge device during off peak downstream of the distribution system (below secondary transformer); discharge during 2-4 hour daily peek	○	○	○	●	●	●	●
Intermittent distributed generation integration	Charge/Discharge device to balance local energy use with generation. Sited between the distributed and generation and distribution grid to defer otherwise necessary distribution infrastructure upgrades	○	○	○	●	●	●	●
End-user time-of-use rate optimization	Charge device when retail TOU prices are low and discharge when prices are high	●	●	○	●	●	●	●
Uninterruptible power supply	End user deploys energy storage to improve power quality and /or provide back up power during outages	○	○	●	●	●	●	●
Micro grid formation	Energy storage is deployed in conjunction with local generation to separate from the grid, creating an islanded micro-grid	○	○	○	●	●	●	●

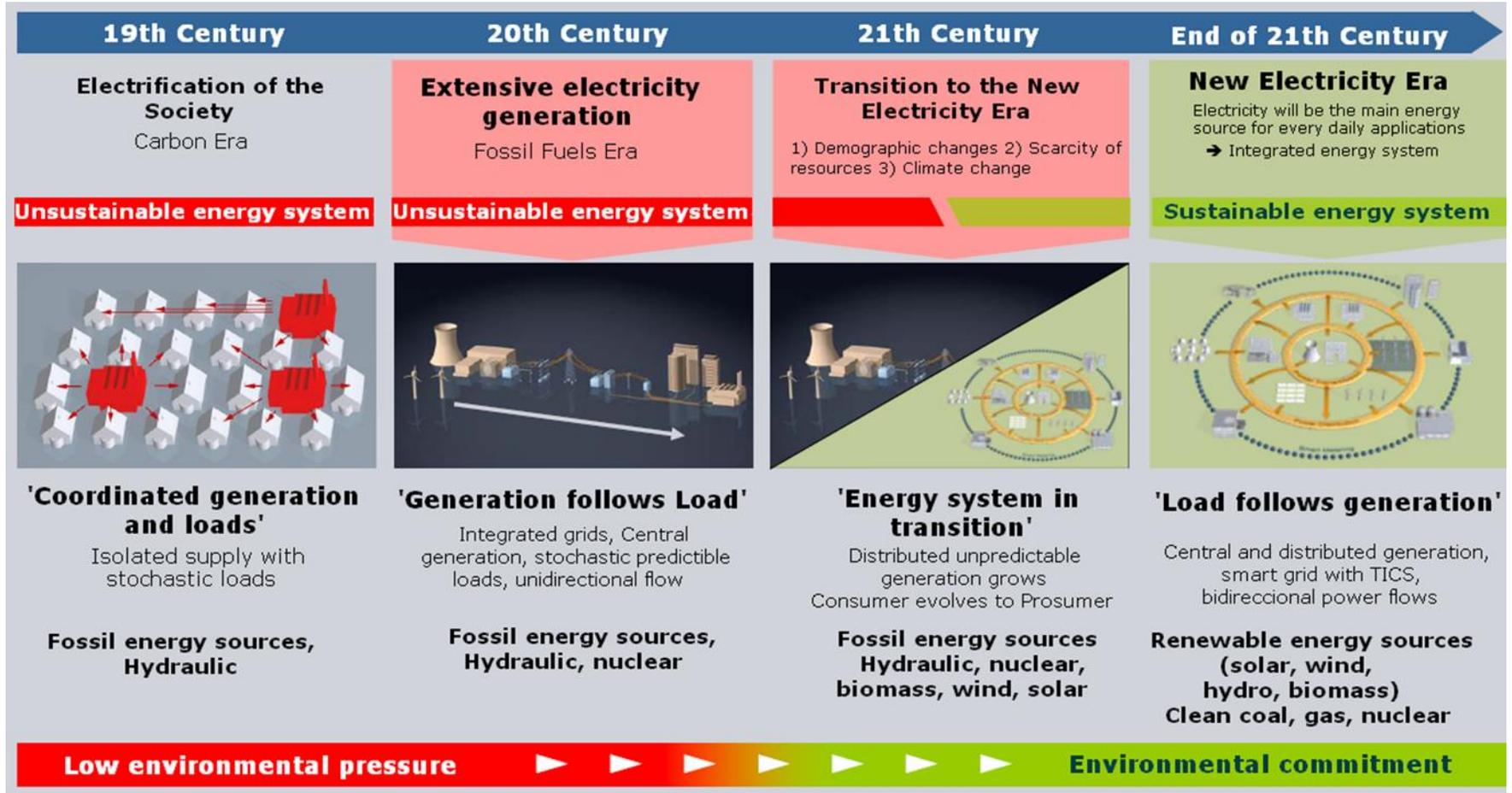
Definite suitability for application ● ; Possible use for application ● ; Unsuitable for application ○

Fuente: EASE/EERA Roadmap

3. Redes inteligentes

Redes inteligentes

Evolución del sistema eléctrico



Redes inteligentes

- El actual sistema eléctrico sigue la cadena en el orden: generación, distribución, transporte y consumo.
- El nuevo modelo energético pretende ser un sistema distribuido.
- Cualquier agente conectado a la red tiene la posibilidad de aportar energía, posibilitando la creación de microgeneradores.
- Este tipo de red permite:
 - disminuir drásticamente las pérdidas por el transporte energético,
 - facilitar la conexión a la red de todo tipo de energías renovables (integración de porcentajes crecientes de energías no gestionables como la eólica o la solar),
 - soportar las capacidades de almacenamiento energético,
 - Soportar la conexión masiva de vehículos eléctricos o híbridos (tanto para cargar como para volcar energía a la red), etc.

Redes inteligentes

La red del futuro debería:

- Permitir la autogestión de incidencias, tratando los errores producidos en la red y asegurando el flujo eléctrico en todos los puntos.
- Estar dotada de resistencia frente a ataques y desestabilizaciones.
- Potenciar la participación activa de los consumidores, incentivando la generación local de energía y la entrega del exceso energético a la red en horas punta.
- Tener capacidad de suministro de energía de calidad adecuada a la era digital, gracias a un mayor número de puntos de generación que permitirá la entrega de diferentes calidades energéticas para cada tipo de aplicación.
- Acomodarse a una amplia variedad de modalidades de generación y almacenamiento, gracias a las microrredes y a la generación energética distribuida.
- Facilitar el florecimiento de mercados, debido a la inclusión de nuevos elementos en la red como el vehículo eléctrico, un mayor número de energías renovables, etc.
- Realizar una optimización más eficiente de sus activos y operación, gracias a la automatización de todos los elementos implicados.

Redes inteligentes

Definición de Red Inteligente según la Plataforma Tecnológica Europea de Smart Grids (Smart Grids: European Technology Platform)

“una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella – generadores, consumidores y aquellos que realizan ambas acciones – con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico.”

Una Smart Grid se basa en el uso de sensores, comunicaciones, capacidad de computación y control, de forma que se mejora en todos los aspectos las funcionalidades del suministro eléctrico.

Redes inteligentes

Beneficios generados por las smart grids

- El despliegue de las redes inteligentes en España puede suponer un incremento del PIB español de entre **+0,20% y +0,35%**, o lo que es lo mismo, entre **2.300 y 3.800 M€ al año**.
- Se estima que el desarrollo de las smart grids genere en torno a 20.000 nuevos puestos de trabajo directos en España, y entre 20.000 y 30.000 nuevos empleos indirectos, lo que resulta en un total de **40.000 a 50.000 puestos de trabajo recurrentes**.
- la importación de combustibles fósiles se vería reducida en **10.800 ktep de energía primaria** (la dependencia energética de España podría bajar 5,3 puntos).
- la dependencia energética del sector eléctrico español disminuiría 12,2 puntos porcentuales.

Redes inteligentes

Beneficios generados por las smart grids (cont.)

- Reducción de **15 Mton de CO2 anuales** (recorte del 3,7% de los niveles de emisiones de CO2 de España en 2020).
- El sistema eléctrico podrá reducir un 15% sus emisiones de CO2 en 2020.
- Las empresas tecnológicas españolas podrían capturar un 3-5% de cuota del mercado estimado en **entre 1.200 y 2.000 M€/año**.
- **La cuantificación de los beneficios para el sistema eléctrico** en su conjunto es de entre **1.100 y 1.800 M€/año**.
- Desplegar un sistema de smart grids en España supondría una inversión de entre **8.500 y 12.000 M€/año**.
- Se estima que el valor presente de los **beneficios directos** derivados del despliegue de las redes inteligentes en España asciende a **19.000 M€**. Si se suman los beneficios indirectos, la suma alcanza los **36.000 M€**.

Redes inteligentes

Microrredes

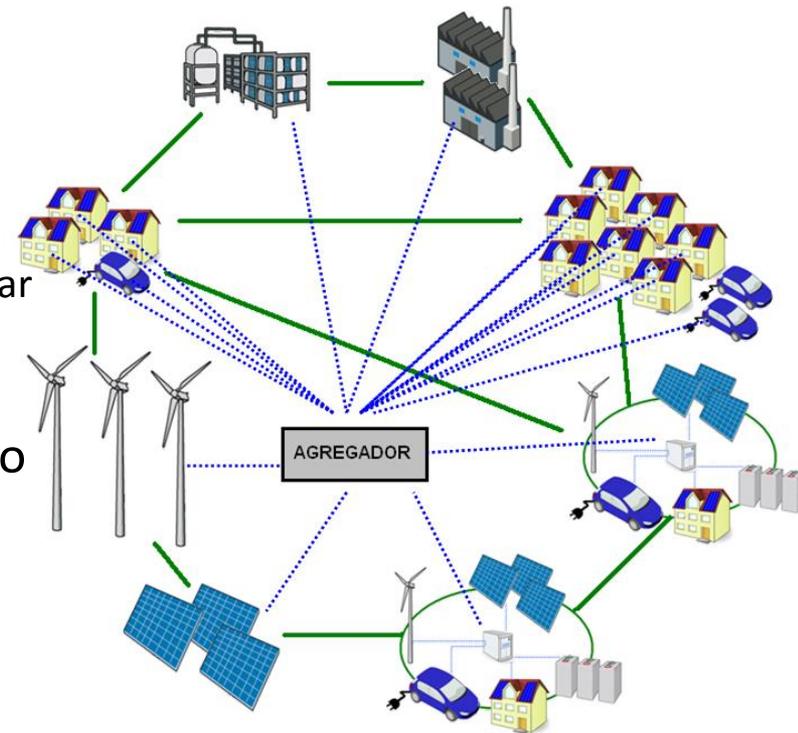
- Forman parte del concepto de Generación Distribuida/Smart Grids
- La definición de Generación Distribuida comprende varias características:
 - No esta gestionada o controlada de forma centralizada
 - Normalmente la potencia es <50 MW
 - Esta conectada a la Red de Distribución

Definición de Microrred según el MICROGRIDS (ENK5-CT-2002-00610)

Las microrredes comprenden sistemas distribuidos en Baja Tensión con fuentes de generación distribuida, sistemas de almacenamiento de energía y cargas controlables, operan conectadas a la red principal o aisladas en una forma controlada y coordinada.

Redes inteligentes

- Una microrred es una red inteligente
 - Gestión de la generación, cargas y sistemas de almacenamiento
- Un control maestro proporciona una única respuesta:
 - Balance interno entre la generación y el consumo
 - Coordinación eficiente de los componentes para dar una respuesta agregada y transparente a la red externa
- El Operador del Sistema ve la microrred como un único generador/consumidor agregado
 - Incremento de la contribución RES con una mejor gestión y visibilidad



Redes inteligentes

Aplicaciones y mercados de microrredes

- Las microrredes abarcan instalaciones pequeñas basadas en diésel para electrificación rural hasta grandes plantas basadas en renovables para ciudades, campus universitarios, etc.
- Las principales aplicaciones son:



Hotels; Resorts; Leisure places,..



Big consumers: hospitals; campus, ..



Island Electrification, Off-Grid Solutions



Mines; Oil exploration, ..



Military Applications



Civil Applications: Natural Disasters

Redes inteligentes

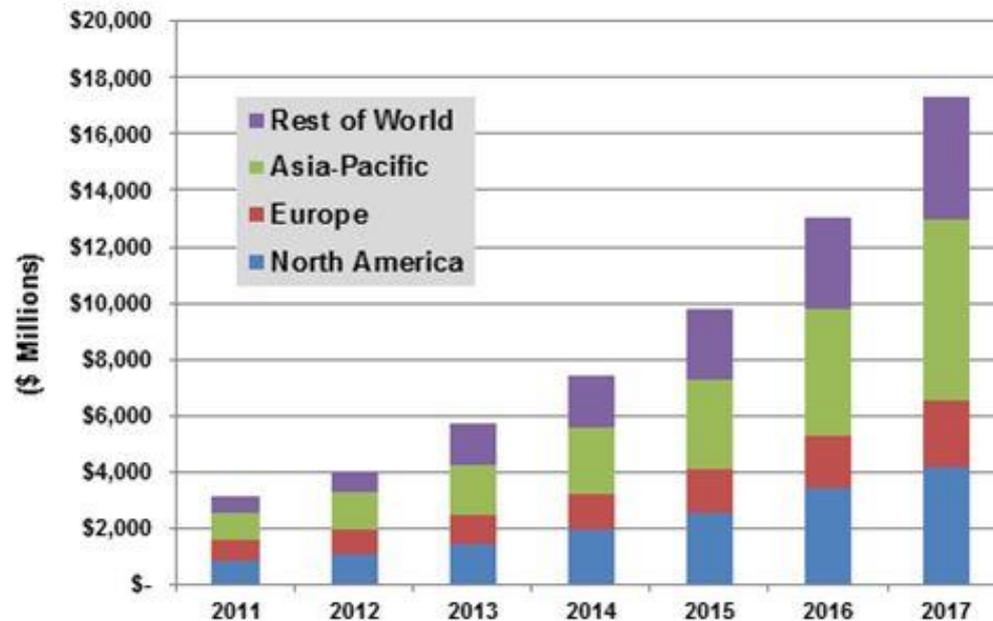
Aplicaciones y mercados de microrredes

- Para 2020 el principal segmento del mercado de microrredes corresponderá a aplicaciones comerciales e industriales, militares y off-grid.

• El mercado de inversión de 7,8 US\$

- Analysis of the /
 - Ingresos del
 - Para alcanzar %.

Microgrid Revenue by Region, Average Scenario, World Markets: 2011-2017



(Source: Pike Research)

8,3

Redes inteligentes

Microrred ATENEA

Objetivo General:

Diseño de microrredes y sus estrategias de control para permitir el funcionamiento óptimo de sus diferentes elementos, añadiendo nuevas funcionalidades, asegurando el suministro eléctrico en modo aislado, atenuando las perturbaciones en modo conectado y colaborando en el mantenimiento de la estabilidad de la red

Objetivos Específicos:

- Gestión de la energía generada de forma que se asegure en cada instante el suministro a los consumidores
- Asegurar que el anergia consumida procede de las fuentes renovables. De este modo se promueve la independencia energética de nuestras instalaciones
- Protección de las instalaciones de la red y/o de las faltas internas de la propia instalación
- Enviar el exceso de energía a la red, consiguiendo que la microrred sea una parte activa de la red de distribución

Redes inteligentes

Microrred ATENEA

Microrred para aplicación industrial (Polígono Industrial Rocaforte, Sangüesa)

Arquitectura AC con una potencia instalada superior a 100 kW

Da suministro a parte de la luminaria del Laboratorio de Ensayos de Aerogeneradores (LEA), a las propias cargas de la microrred y a parte de las farolas del polígono industrial

Es también un banco de ensayos para nuevos equipos de generación, almacenamiento, electrónica de potencia, control, sistemas de protección y protocolos de comunicación

Puede trabajar en modo conectado y aislado

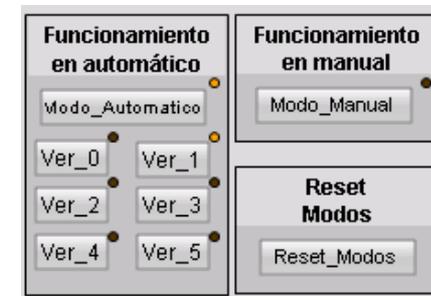
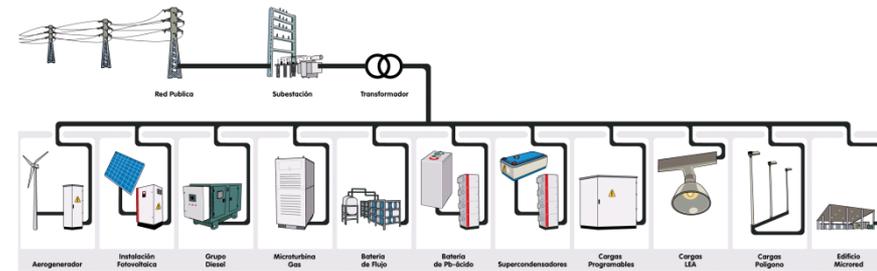


Redes inteligentes

Microrred ATENEA

ESQUEMA DE LA MICRORRED

- ✓ Bus común de baja tensión para todos los equipos
- ✓ Alimentación de las cargas a través de la red pública o a través del bus de la microrred
- ✓ Funcionamiento flexible
- ✓ Interruptor de control on/off para cada equipo
- ✓ Control de la referencia P/Q por fase a suministrar o absorber por los sistemas de almacenamiento
- ✓ Control de la referencia P/Q por fase a suministrar por el generador diesel
- ✓ Control para la restricción de la potencia máxima generada por los sistemas renovables



Selector de los modos de operación y versiones del sistema de control

Redes inteligentes

Microrred ATENEA

GENERACION	ALMACENAMIENTO	CARGAS
PV	Bateria de flujo de Vanadio	Cargas programables
Mini eolica	Baterias de Plomo	Iluminación del LEA
Microturbina de gas	Bateria de Ion-Litio	Iluminación del Polígono
Generador diesel	Supercondensadores	Microrred
	Coche Electrico	
	Carretilla Electrica	



Redes inteligentes

GENERACIÓN



**G- Turbina eólica 20 kW
full-converter**



G- Instalación Fotovoltaica 25 kWp



**G- Generador Diesel 55 kVA y
Microturbina de Gas 30 kW
(además del aprovechamiento térmico)**

Redes inteligentes

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



S- Baterías de Plomo-Ácido, 50 kW x 2 horas



S- Batería de flujo, 50 kW x 4 horas

Redes inteligentes

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



S- Baterías de Ion-Litio, 50 kW x 1/2 hora



S- Supercondensadores 30 kW, 45 sg

Redes inteligentes

CARGAS



L- Cargas trifásicas 120 kVA



L- Luminaria del polígono industrial y oficinas - LEA -



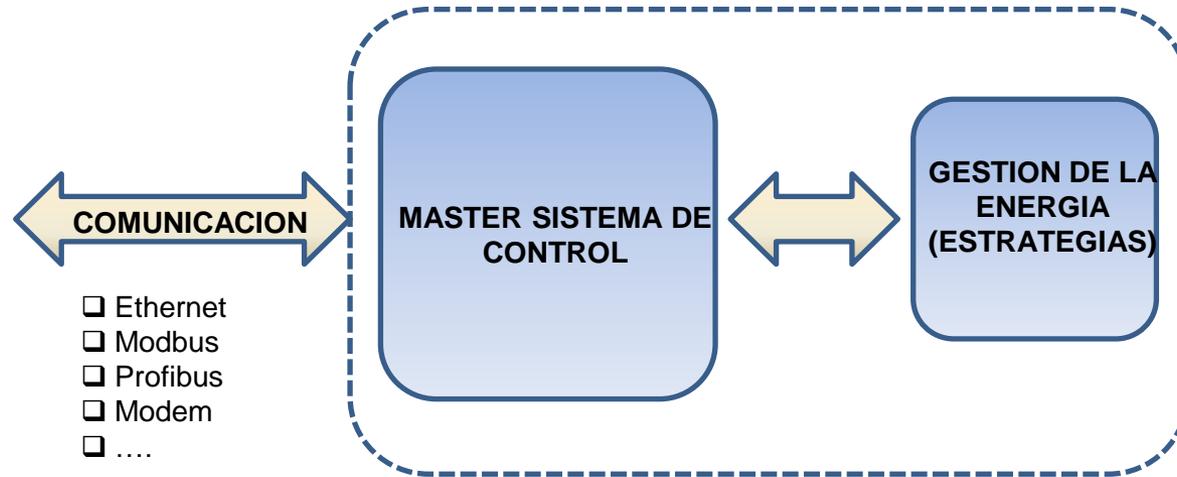
L/S- Vehículo eléctrico

Redes inteligentes

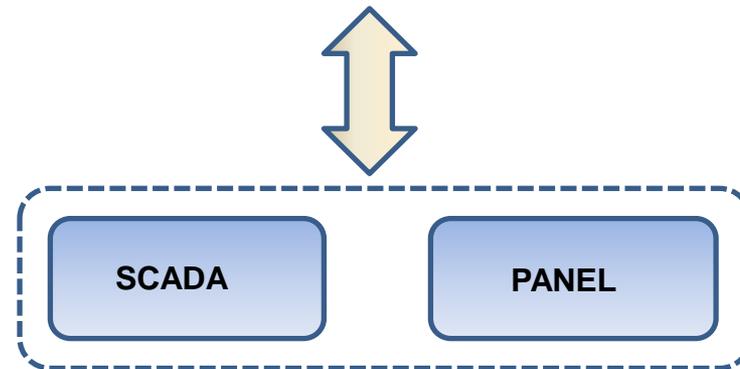
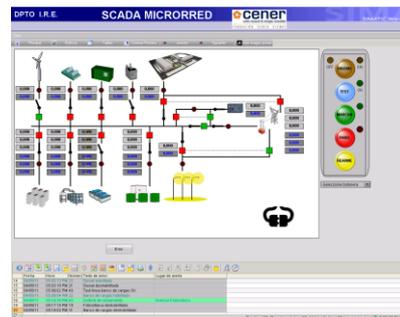


PLC

- Generación Renovable
- Generación Convencional
- Almacenamiento
- Cargas
- Sistemas de medida
- Estación meteorológica

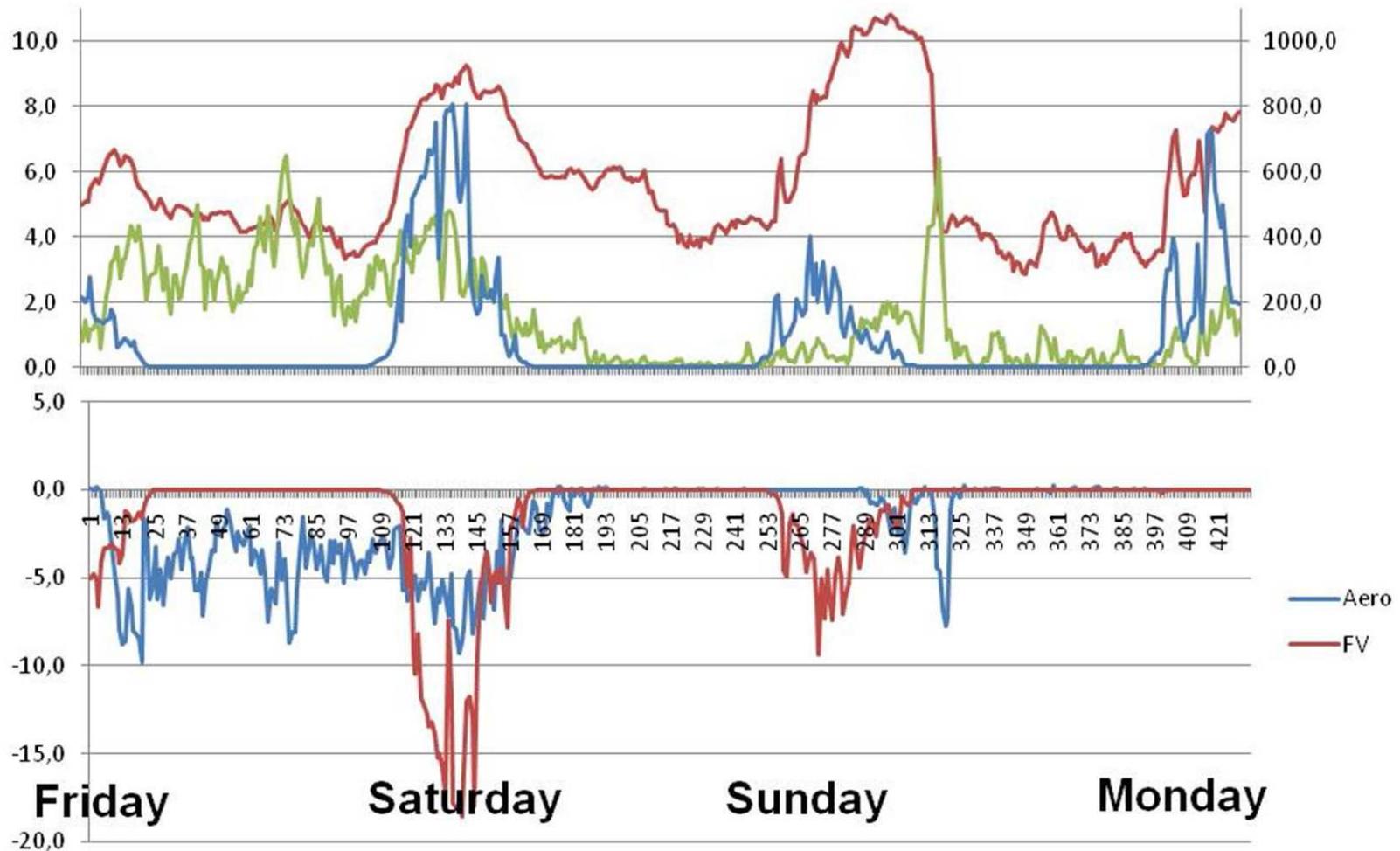


- Ethernet
- Modbus
- Profibus
- Modem
-

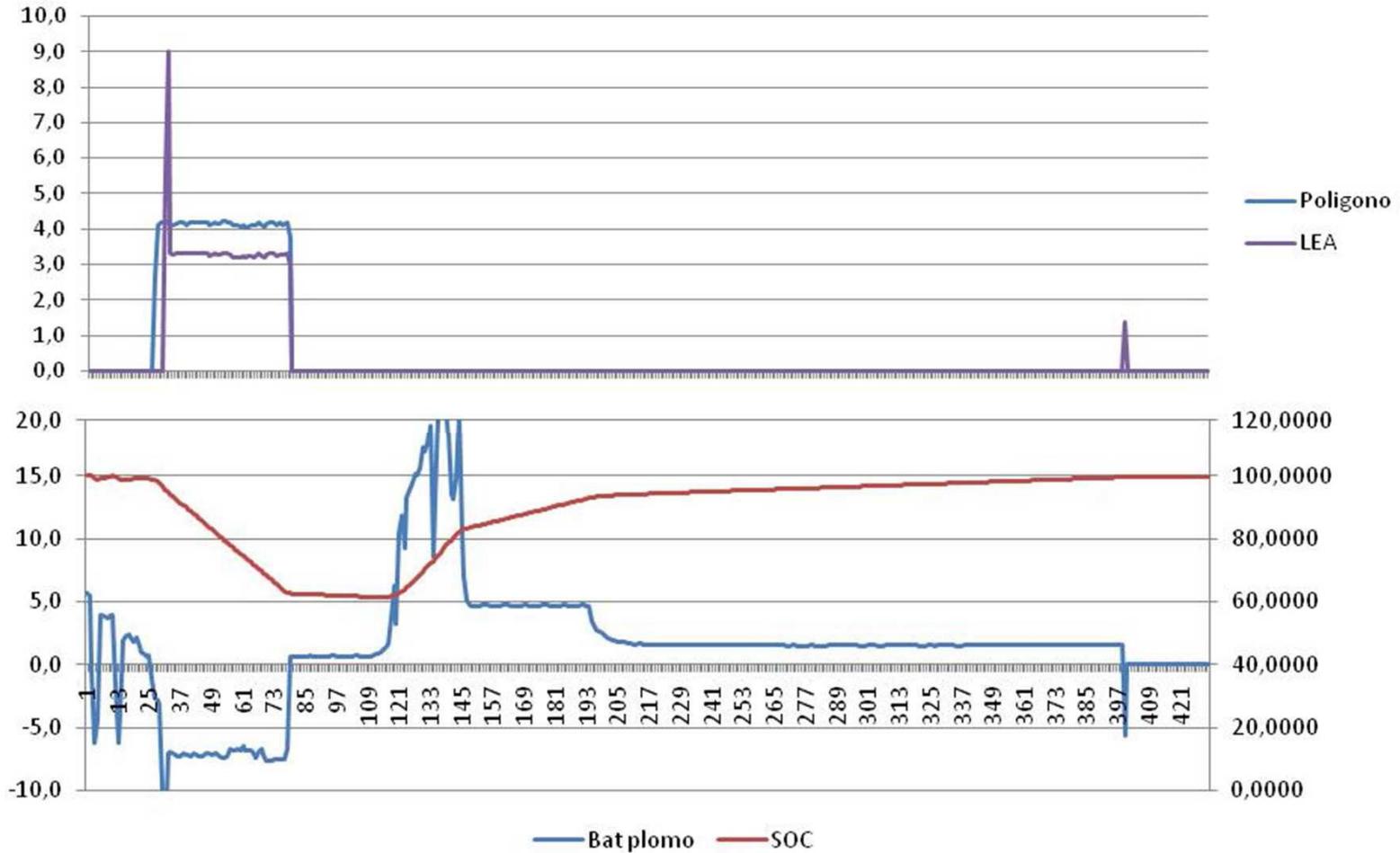


INTERFACE DE USUARIO

Redes inteligentes



Redes inteligentes



4. Conclusiones

Conclusiones

- El almacenamiento de energía puede proporcionar numerosos servicios energéticos en toda la cadena de valor
- Es necesario definir correctamente la aplicación del sistema de almacenamiento, la escala y el emplazamiento
- Análisis caso por caso para determinar que tecnología(s) es la adecuada dado el gran número de sistemas y su diversidad
- La evolución del sistema energético hacia las Redes Inteligentes basadas en renovables supone un impulso para el almacenamiento
- El almacenamiento es un componente clave para la gestión óptima de la energía dentro de las Smart Grids
- El desarrollo de microrredes con almacenamiento es un primer paso hacia las Smart Grids