



Visión FUTURED hacia 2050

FINANCIADO POR



Prólogo Presidente

El sector energético, y concretamente el sector eléctrico, está viviendo una profunda **transformación denominada transición energética, consecuencia de la fuerte demanda social de un nuevo modelo de desarrollo más sostenible y facilitada por el extraordinario desarrollo tecnológico de la última década.**

La Unión Europea está implementando políticas para frenar cambio climático que están revolucionando la forma en la que dibujamos nuestro escenario energético. En España, **el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)** es el mecanismo que debe guiar esta transición; este plan establece unos objetivos muy ambiciosos en materia energética y de sostenibilidad y, sin duda, su materialización convertiría a España en un referente europeo en la transición energética.

Las redes eléctricas son la columna vertebral del sistema energético y, por lo tanto, están en el epicentro de los cambios que se están produciendo. **La tecnificación de las redes y la digitalización de su explotación es una condición imprescindible para el desarrollo de los elementos que configuran el nuevo ecosistema energético:** integración masiva de gran variedad de fuentes de generación renovable centralizadas y descentralizadas, usuarios con participación mucho más activa en el sistema (autoconsumo, gestión de la demanda, etc.), expansión de la movilidad eléctrica y despliegue del almacenamiento. Para dar respuesta a estas necesidades mediante un sistema más seguro, competitivo y sostenible, **las redes eléctricas se enfrentan a grandes desafíos en el horizonte del 2050.**

Para dar respuestas a estos desafíos la **Plataforma Tecnológica Española de Redes Eléctricas del Futuro - FutuRed**, en la que confluyen representantes a nivel nacional de todos los sectores vinculados a las redes (administración, compañías eléctricas, proveedores de tecnología, fabricantes, ingenierías, centros tecnológicos y universidades) **ha desarrollado su documento de visión sobre el futuro de las redes eléctricas, “Visión FutuRed hacia 2050”,** que describe cómo deberán ser las redes futuras y cuáles las tecnologías y herramientas claves para hacerlo posible a partir de los múltiples cambios que se están produciendo, tanto en la tecnología como en el marco regulatorio del sector. Este documento renueva y actualiza el documento previo “Visión Estratégica 2030”.

Con **“Visión FutuRed hacia 2050”** queremos contribuir a potenciar nuestra posición de liderazgo en redes eléctricas, identificando las líneas de acción estratégicas, mecanismos e iniciativas que nos permitan seguir en la vanguardia mundial en esta materia, apoyados en un alto esfuerzo de innovación tecnológica. España debe ser referente de innovación en redes eléctricas para disponer del sistema eléctrico más eficiente posible que, como infraestructura básica que presta un servicio esencial, facilite un desarrollo sostenible en el ámbito económico y social.

La publicación de este documento de visión coincide con la grave crisis provocada por la **pandemia del COVID-19**, que no sólo ha supuesto un importante cambio social y económico en el presente, sino que sus efectos y consecuencias impactarán de forma muy significativa en el largo plazo. **El sector eléctrico ha continuado prestando un suministro esencial**, adaptándose a las circunstancias y demostrando una vez su **extraordinaria resiliencia y capacidad de respuesta**, basada en la **preparación y el compromiso del colectivo humano que lo integra y en la gran ventaja de contar con un sistema eléctrico altamente tecnificado y digitalizado, fruto del esfuerzo en innovación** que viene realizando continuamente desde hace años.

Por último, me gustaría reconocer el esfuerzo y agradecer todo el conocimiento y opiniones compartidas por el grupo de expertos que ha hecho realidad este documento; estoy convencido que este trabajo servirá de referencia e inspiración para abordar el profundo cambio que requiere la transición energética que afrontamos.



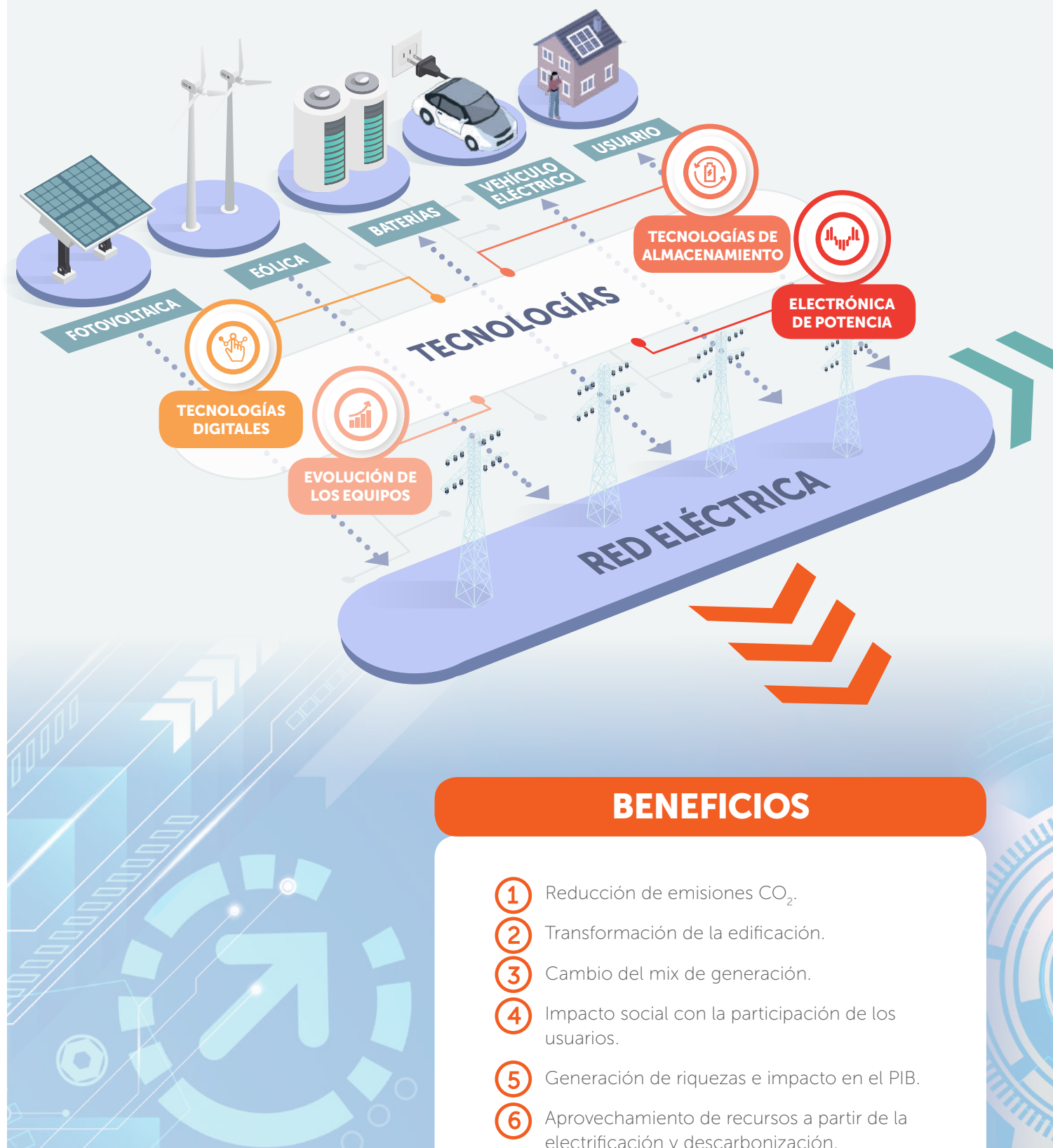
Raúl Suárez Álvarez

Presidente de la Plataforma Tecnológica Española de Redes Eléctricas del Futuro (FutuRed)

Índice

1. Resumen ejecutivo.....	7
2. Introducción	11
3. Retos para las redes eléctricas en España (2020-2050)	15
4. Tecnologías de red clave en el horizonte 2050	19
Tecnologías digitales	19
Sensorización	19
Sistemas de telecomunicaciones.....	21
Tecnologías de analítica de datos	21
Plataformas digitales de gestión y comunicación.....	22
Transacciones Digitales.....	23
Realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR).....	23
Ciberseguridad en las redes eléctricas.....	23
Evolución de los equipos y materiales.....	24
Tecnologías de almacenamiento.....	26
Electrónica de potencia.....	28
5. La red eléctrica inteligente en acción.....	29
6. Beneficios para la industria y la sociedad	37
7. Necesidades del sector de redes eléctricas.....	39
8. Listado de Participantes.....	41

VISIÓN FUTURED HACIA 2050



BENEFICIOS

- 1 Reducción de emisiones CO₂.
- 2 Transformación de la edificación.
- 3 Cambio del mix de generación.
- 4 Impacto social con la participación de los usuarios.
- 5 Generación de riquezas e impacto en el PIB.
- 6 Aprovechamiento de recursos a partir de la electrificación y descarbonización.

RETOS

- 1 **Digitalización** de la operación y los servicios de la red eléctrica.
- 2 **Maximizar** la capacidad de **integración** de recursos distribuidos.
- 3 Desarrollo de nuevas fórmulas de **coordinación** entre los diferentes **agentes** de la cadena de valor.
- 4 Desarrollo y puesta en marcha de **mecanismos** y activos de **flexibilidad**.
- 5 **Integración de nuevos consumos eléctricos.**
- 6 **Interconexión de redes.**
- 7 Desarrollo de la red con principios de **economía circular.**

TECNOLOGÍAS

- 1 Tecnologías digitales.
- 2 Evolución de los equipos y materiales.
- 3 Tecnologías de almacenamiento.
- 4 Electrónica de potencia.

FutuRed, la Plataforma Tecnológica Española de Redes Eléctricas, fue creada en 2005 con la misión de impulsar la innovación tecnológica en las redes eléctricas de transporte y distribución españolas, aglutinando a más de 150 socios. Conscientes de esta misión, "Visión FutuRed hacia 2050" actualiza el documento de "Visión Estratégica 2030", publicado en el año 2011, con el objetivo de responder a los retos de la transición energética, plantear las necesidades de los agentes para asumir los mismos y exponer los beneficios que aportarán a la industria y la sociedad.

Desde 2011 han tenido lugar varios hitos clave que justifican la aparición de esta nueva visión. El primero de ellos es el acuerdo de París de 2015, que establece la **adopción de medidas para mantener el aumento máximo de temperatura por debajo de los 2°C para el año 2100**. De manera complementaria, en el "Paquete de Invierno" de la Unión Europea, Energía limpia para todos los europeos publicado en el año 2016, se fijan medidas enfocadas a la reducción de GEIs¹ entre un 80% y un 95% para 2050. Finalmente, en el caso específico de España, se ha desarrollado recientemente el Borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), que presenta las bases para desarrollar la trayectoria de neutralidad en carbono de la economía española en un horizonte a 2050, con un objetivo del 100% de energía renovable para esa fecha.

Estos hitos promueven una aceleración del cambio hacia una economía descarbonizada, que lleva aparejada, fundamentalmente, un incremento de la electrificación (especialmente del transporte) y de la generación renovable y distribuida. En este escenario, las redes eléctricas

se sitúan como elemento vertebrador del cambio, constituyendo una pieza fundamental que permitirá la integración eficiente de estos nuevos agentes.

Los desafíos a los que se enfrentan las redes:

- La protección del medio ambiente.
 - Garantizar la seguridad, fiabilidad y resiliencia del suministro de energía
 - Servicios de energía asequibles y basados en mercado.
-



¹ GEI: Gases de Efecto Invernadero

² HVAC, por sus siglas en inglés: "Heating Ventilation & Air Conditioning"

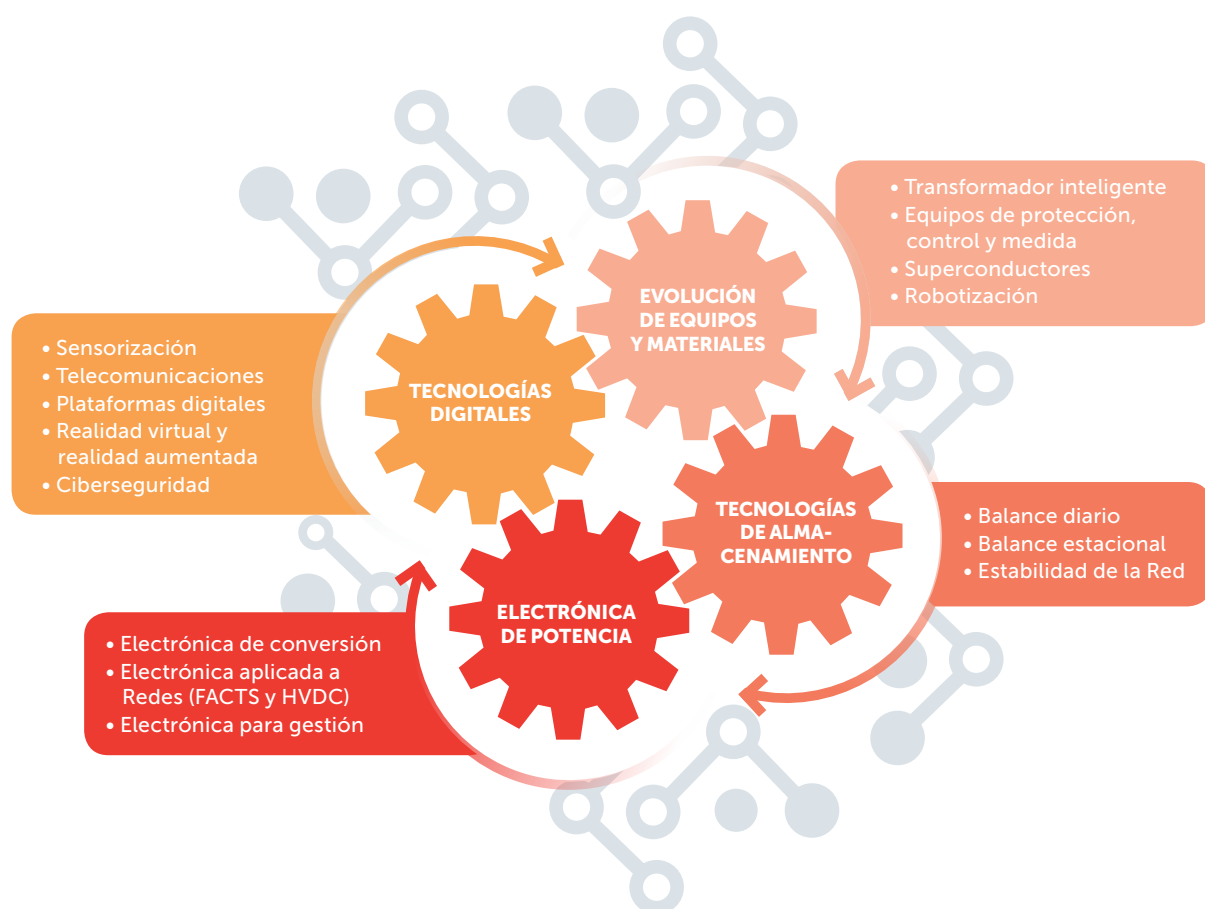
Las redes tienen una serie de retos cuyo alcance es fundamental para conseguir los objetivos de descarbonización. El primero de ellos es la **digitalización de toda la cadena de actividad**, desde la interacción con los clientes hasta el diseño, suministro de equipos y sistemas, instalación y operación y mantenimiento de los activos. La digitalización de estos procesos será la base tanto de eficiencias, como de nuevos modelos de negocio que se establecerán en el sector eléctrico y que contribuirán a la transición energética. Los siguientes retos abordan la necesaria integración y coordinación de los diferentes agentes conectados a la red: integración máxima de recursos distribuidos, hacer posible la interacción y cooperación completa entre los diferentes agentes de la cadena de valor, desarrollar y poner en marcha los mecanismos y activos de flexibilidad, integrar nuevos consumos eléctricos (transporte/

movilidad y sistemas HVAC²) y conseguir una mayor interconexión de las redes.

La evolución tecnológica necesaria para alcanzar los retos puede estructurarse en cuatro ejes:

○ Tecnologías digitales

Incorporando sensores y actuadores comunicados. Su despliegue permitirá el desarrollo de nuevas capacidades en el ámbito de las redes eléctricas, aportando tanto nuevas estrategias y enfoques de integración de activos, como una gestión del rendimiento de estos activos dirigida por datos obtenidos en tiempo real y cuasi-real, y de alta calidad, así como creando herramientas ergonómicas adaptadas a los usuarios.



³ "Marco Estratégico de Energía y Clima", MITECO, agosto 2019.

○ Evolución de los equipos y materiales

Los equipos deberán ser más respetuosos con el medio ambiente, dar lugar a menores pérdidas, y utilizar materiales más duraderos y de mayor capacidad de transmisión. En resumen, deberán cumplir con los criterios de una economía circular. Así mismo, deberán estar sensorizados y conectados, mediante tecnologías de Internet de las Cosas (IoT).

○ Tecnologías de almacenamiento

El almacenamiento energético se desplegará a lo largo de toda la cadena de valor, y dotará de flexibilidad al sistema, frente a una generación no firme, como es la renovable, y la parte del consumo no elástico.

○ Electrónica de potencia

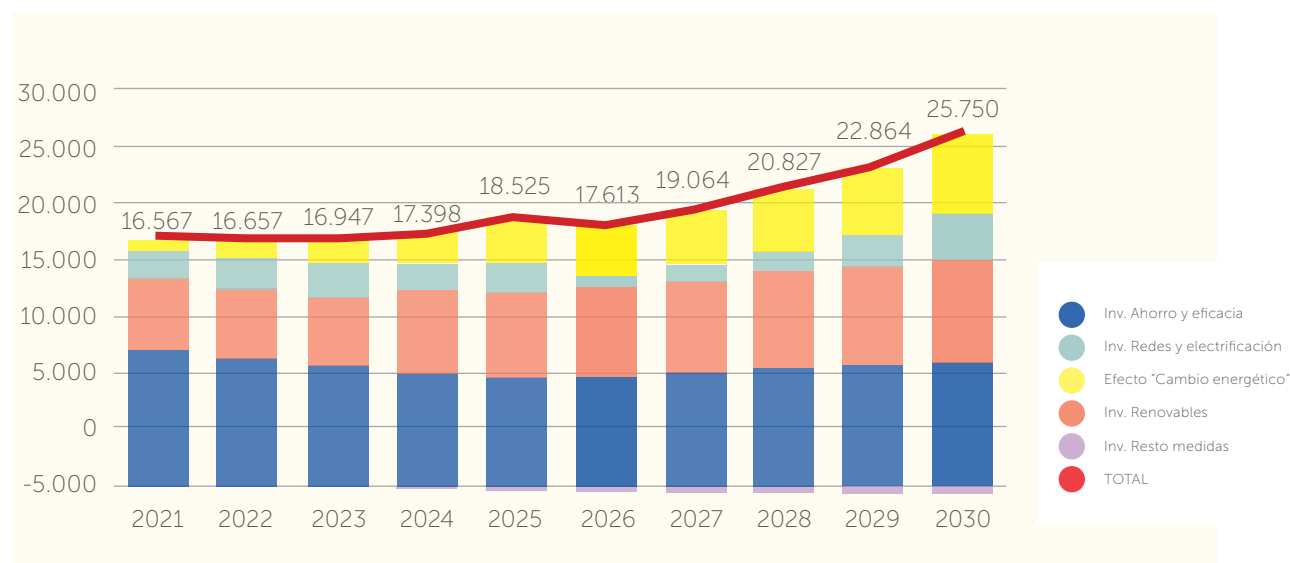
La hibridación entre las tecnologías de corriente alterna y corriente continua, unidas a través de la electrónica de potencia, permitirá el aprovechamiento de las tecnologías más eficientes en cada caso.

Esta evolución tecnológica tendrá un importante beneficio para la industria y sociedad españolas, ligado a la propia consecución de los objetivos medioambientales. Así, estos desarrollos de redes inteligentes supondrán un aumento del 2% del PIB en 2030 y la creación de cerca de 80.000 puestos de trabajo³.

Para lograr estos beneficios, y teniendo en cuenta el carácter regulado de la gestión de las redes, será necesario un marco legislativo estable que incentive adecuadamente el despliegue de las nuevas soluciones tecnológicas. Sin este marco, el proceso de transformación no tendrá el dinamismo requerido para hacer posible la transición energética al ritmo necesario. También será importante la disponibilidad de entornos de prueba, conocidos como SandBox regulatorios, que permitan realizar pruebas de nuevos modelos experimentales de base tecnológica, facilitando así las decisiones regulatorias.

Por último, será fundamental el debate y la colaboración continua y con visión a largo plazo entre los distintos agentes involucrados en el desarrollo de la red eléctrica inteligente. El consenso sobre las necesidades y soluciones tecnológicas y legislación será fundamental para que la red eléctrica sea un verdadero facilitador de la transición energética. Desde FutuRed, como plataforma tecnológica para el impulso de la innovación en las redes eléctricas, queremos ser el punto de encuentro para la innovación tecnológica que deberá hacer que la transición energética sea una realidad en el año 2050.

■ Impacto en el PIB por tipo de medida (Millones de €)



Fuente: Basque Centre for Climate Change, 2019.

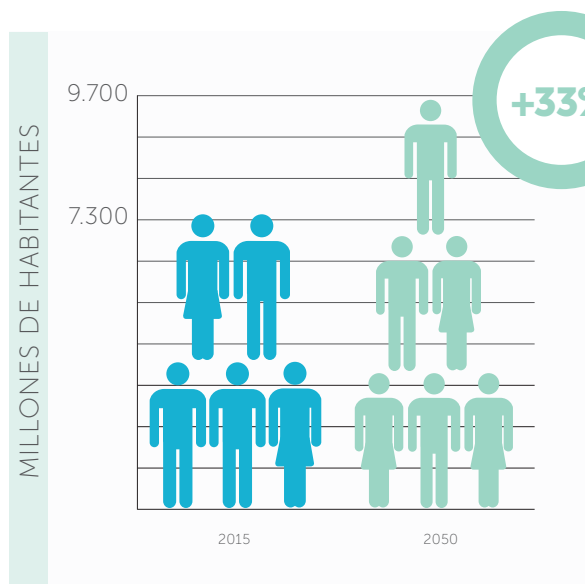
Ante un mundo cambiante y en constante evolución en el que el ser humano y sus actividades han llegado a tener un desarrollo exponencial en el último siglo, los avances tecnológicos han abierto nuevas puertas y han facilitado el crecimiento y expansión, no solo económico y cultural sino también poblacional. En 2015 la población mundial rondaba los 7.300 millones de personas, y se estima que para 2050 se alcancen los 9.700 millones⁴ de habitantes. Bajo esta perspectiva, se estima que la demanda global de energía crezca de 25.000 TWh en 2017 a cerca de 38.700 TWh para 2050⁵, es decir, un incremento de un 54,8%.

Este desarrollo ha llevado a una explotación de recursos nunca antes vista en donde las necesidades energéticas se han multiplicado y continúan aumentando, llevando a retos cada vez más complejos para satisfacer la demanda.

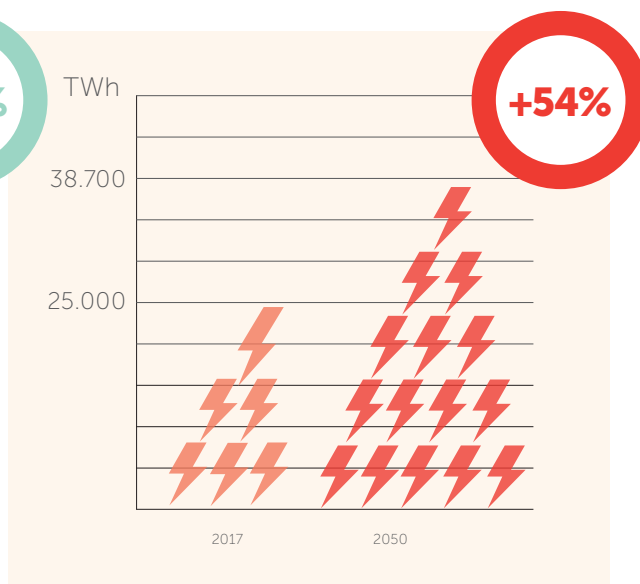
La continua electrificación de la economía, con la singular incorporación del vehículo eléctrico en el transporte, la evolución hacia un sistema de generación energética renovable, inherentemente fluctuante, y la necesidad de garantizar un sistema de transporte y distribución eficiente y competitivo, **sitúan a las redes eléctricas como elemento vertebrador del proceso de transición energética.**

En este contexto, el presente documento busca establecer **la visión de FUTURED⁶ sobre los retos que tendrá que superar y las capacidades que deberá desarrollar el sistema de transporte y distribución eléctrica para poner las bases que permitan alcanzar en España los objetivos de descarbonización en el 2050**, y así permitir la transición energética y ecológica.

■ Población mundial



■ Demanda global de energía



⁴ "World Population Prospects", Datos de las Naciones Unidas, mayo 2019.

⁵ "Global Energy Demand Increase", Bloomberg NEF, mayo de 2019.

⁶ Esta visión es el resultado del consenso de FUTURED, que representa de forma amplia a todos los agentes tecnológicos, que trabajan en el ámbito de las redes en España.

Para entender y poder dimensionar los diferentes retos del futuro, es necesario poner en contexto la magnitud y la situación actual de la energía eléctrica en España⁷⁸⁹:

Para realizar todos los intercambios eléctricos, España cuenta con una empresa que gestiona la red de transporte de electricidad (Red Eléctrica de España), cinco compañías de distribución con más de 100.000 puntos de suministro (e-distribución, i-DE, UFD, Viesgo Distribución y E-Redes) y 336 distribuidoras de menos de 100 mil clientes.⁴

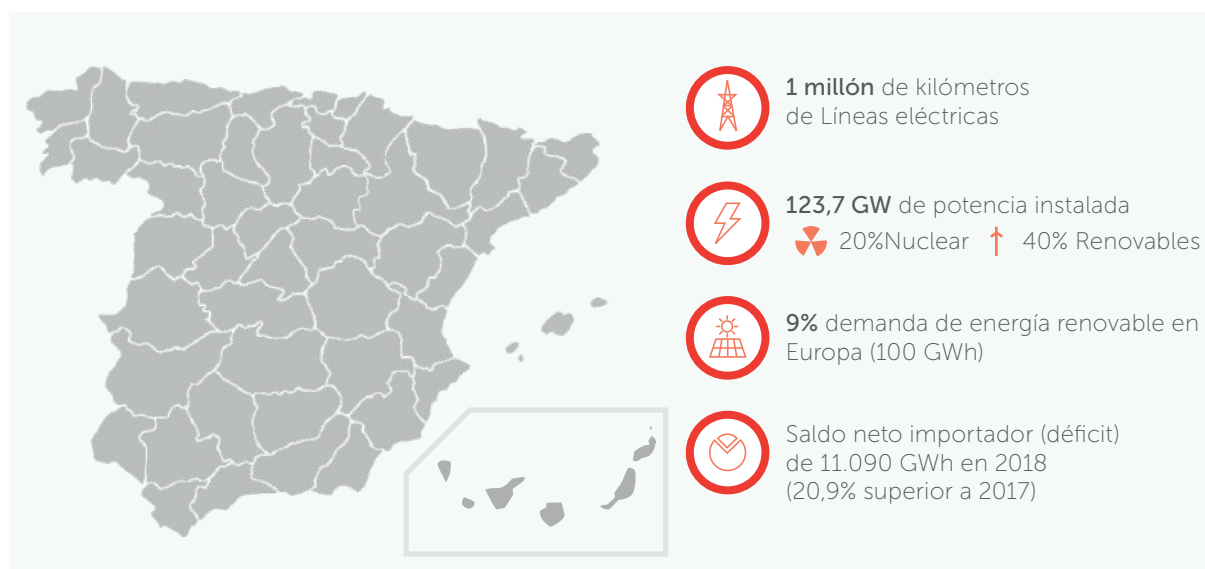
El peso del sector eléctrico sobre el PIB español es considerable, alcanzando alrededor del 2% del mismo, con una aportación a la formación bruta de capital fijo ligeramente por encima del 1%¹³. De igual manera, supone un gran impacto en el empleo generado, con cifras de alrededor de 80.000 puestos de trabajo¹⁰ directos (cifras de 2016). Estos puestos de trabajo presentan gran estabilidad frente a otros sectores, con un nivel de rotación cercano al 15%, inferior a la media nacional que se sitúa en

el 26%. Adicionalmente, el empleo generado por el sector es cubierto por profesionales cualificados, que obtienen retribuciones por encima de la media nacional. Asimismo, por el tipo de actividad, la evolución del empleo es menos cíclica que la evolución económica general, de hecho, durante el último periodo de crisis (2007 a 2013) el empleo en el sector creció ligeramente¹¹.

Si se pone el foco en redes inteligentes, España es especialmente dinámica, hecho que se referencia en el número de empresas exportadoras de tecnología y el lugar en Europa en retorno económico de proyectos de I+D+i del programa marco. Se estima que las Smart Grids en España puedan generar un valor de alrededor de €4.019 millones en el periodo de 2019 a 2030, con un valor capturado por el sector español cercano al 90%¹².

Bajo este contexto, el sector energético, y en particular las redes, deben afrontar una transformación que les permita avanzar hacia los objetivos del año 2050, siguiendo las líneas

■ La energía eléctrica en España



⁷ Informe del Sistema Eléctrico Español, REE, 2019.

⁸ Cifras clave de las redes eléctricas en España, FUTURED, Mayo 2019.

⁹ "Datos del Sistema Eléctrico", Red Eléctrica de España.

¹⁰ "Informe El Sector Eléctrico en España", CES España, 2017

¹¹ "Encuesta de Población Activa", CNAE

¹² "Análisis del potencial de desarrollo de tecnologías energéticas", Alinne & Creara, 2017.



marcadas por el contexto europeo, considerando elementos como los mencionados en la Visión 2050 de ETIP SNET¹³ y reflejadas en los objetivos del borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, las cuales podemos aglutinar en cuatro grandes grupos:

○ **Electrificación y descarbonización del sistema energético**

Debido a que tres cuartas partes de los gases de efecto invernadero provienen del sistema energético¹⁴, es necesario lograr que una fracción considerable de la demanda térmica sea electrificada, vinculándola a fuentes de energía renovable. Asimismo, el transporte, que tiene un fuerte peso en el uso de combustibles fósiles, también debería migrar y ser (en mayor proporción) electrificado. De esta forma, si se logra una transición de los usos de la energía (transporte, y calefacción/refrigeración) hacia la electrificación por medio de fuentes renovables, se podría lograr un impacto considerable en la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI) y alcanzar metas por encima de los objetivos de la Unión Europea (objetivo común 40% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990 y de 32% de uso final de energías renovables para 2030).

○ **Desarrollo de un mercado de la energía eficiente**

Bajo este objetivo se persigue que el mercado sea más competitivo, transparente, flexible y no discriminatorio, aumentando su grado de interconexión y fomentando, por tanto,

el comercio transfronterizo y la contribución a la seguridad energética a nivel europeo. De forma paralela, este mercado deberá de centrarse en torno a los consumidores y la protección de sus necesidades energéticas, estableciendo condiciones justas de competencia y atacando las situaciones de pobreza energética. Para afrontar estos desafíos las redes eléctricas en España deberán de afrontar varios aspectos entre los que destacan: la interconectividad, la digitalización de la infraestructura de redes de energía y el asumir el rol de facilitador, siendo el gestor operativo del dato de la red ante nuevos agentes y modelos de negocio.

○ **Eficiencia energética**

El desarrollo humano ha ido correlacionado tradicionalmente al consumo de energía de una forma creciente, efecto que se mide mediante la intensidad energética. En las políticas de sostenibilidad, la eficiencia energética ocupa un lugar primordial, ya que es necesario desacoplar esta relación entre desarrollo y crecimiento de la intensidad energética. Las medidas de eficiencia se sitúan en todos los eslabones de la cadena de valor productiva y tienen efectos directos sobre los procesos productivos.

○ **Garantizar la seguridad energética**

Este desafío se encuentra íntimamente ligado al primer reto que plantea la migración hacia fuentes renovables y por tanto un cambio considerable en el mix energético. Este cambio implica cuatro principales acciones que consisten en:

¹³ Tres principales objetivos del ETIP SNET para 2050: I) Protección del medio ambiente. II) Asegurar la seguridad, fiabilidad y resiliencia del suministro de energía. III) Servicios de energía asequibles y basados en mercado.

¹⁴ "BORRADOR DEL PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030" (PNIEC), IDAE, España, Enero 2020.

- La reducción de la dependencia energética, principalmente enfocado a la importación de combustibles fósiles.
- La diversificación de fuentes de energía.
- El desarrollo de capacidades para hacer frente a las limitaciones o interrupciones del suministro eléctrico, manteniendo e incluso mejorando los excelentes niveles de calidad de servicio ya alcanzados.
- El aumento de la flexibilidad del sistema energético nacional.

Bajo la perspectiva de las redes eléctricas en España, este reto supone cambios específicos bajo cada una de las cuatro acciones. En el caso de la diversificación de fuentes de energía y suministro, la red deberá de soportar cambios en el mix energético que reduzcan la dependencia en combustibles fósiles y hagan una transición a las fuentes de generación renovable. A su vez, el cambio en el mix deberá de ir acompañado también por una diversificación no solo de las fuentes de energía, sino del origen de las mismas (origen de suministro), por lo que las redes deberán de lograr mayor grado de interconexión con otros sistemas.



Se deberá de fortalecer los recursos de las redes que promuevan la estabilidad del sistema (ej. almacenamiento en diferentes niveles de tensión), en especial si se considera el aumento de generación por renovables que implica niveles de generación variable. Por último, y de manera coordinada con el punto anterior, la red eléctrica, deberá de incrementar la flexibilidad del sistema, facilitando el intercambio energético bidireccional, es decir, aprovechando las posibilidades de la oferta de energía pero también permitiendo intercambios desde el lado de la demanda.

Además se sitúan las medidas ligadas a la economía circular, que tienen un impacto directo en los activos utilizados en el sector energético.

La visión de FUTURED sobre los retos tendrá que superar y desarrollar las capacidades del sistema de transporte y distribución eléctrica para poner las bases que permitan alcanzar en España los objetivos de descarbonización en el 2050, y permitir la transición energética y ecológica.

Desde las materias primas empleadas para la producción y generación de residuos al final de su vida, de su procesado, su diseño y su implantación física a lo largo de la geografía, hasta los materiales que se utilizan para la producción y distribución de la energía, tienen que gestionarse desde los principios que rigen dicha economía circular: preservar y mejorar el capital natural y optimizar los recursos fomentando la eficiencia del sistema.

La transformación descrita, plantea diferentes retos que las redes eléctricas deberán asumir hacia 2050, los cuales se abordarán a lo largo de este documento, valorando y detallando los desafíos tecnológicos que representan, las tecnologías clave necesarias para poder afrontarlos, sus aplicaciones, y por último el impacto en la industria y la sociedad.

3 Retos para las redes eléctricas en España (2020-2050)

Las grandes tendencias mencionadas en la introducción:

1. Electrificación y descarbonización del sistema energético.
2. Eficiencia energética.
3. Desarrollo de mercados eficientes de energía.
4. Garantizar la seguridad energética.

Están alineados con los objetivos marcados por el SE Español.

Para dar magnitud a algunos de estos objetivos, se plantea que para el año 2030 el 74% de la generación eléctrica sea renovable y que para el 2050 esta cifra alcance el 100%. En otro aspecto, las importaciones de petróleo,

gas y carbón en España deberán de caer en un 15% para 2030, reduciendo del 74% actual a un 59%. En el caso de la interconexión con Francia, se espera que para 2030 esta sea de alrededor del 15% cuando en la actualidad el ratio de España es de aproximadamente el 5%. En lo relacionado a movilidad, el PNIEC plantea un escenario de 28% de electrificación del sector transporte para 2030, que supone un número cercano a 5 millones de vehículos eléctricos^{15 16}.

Estas tendencias y objetivos, se traducen en retos específicos para las actividades de transporte y distribución eléctrica, que de acuerdo al criterio de FutuRed son los siguientes:

-  **Digitalización de la operación y los servicios de la red eléctrica**
-  **Maximizar la capacidad de integración de recursos distribuidos**
-  **Desarrollo de nuevas fórmulas de coordinación entre los diferentes agentes de la cadena de valor**
-  **Desarrollo y puesta en marcha de mecanismos y activos de flexibilidad**
-  **Integración de nuevos consumos eléctricos (transporte/movilidad y calor)**
-  **Interconexión de redes**
-  **Desarrollo de la red con principios de economía circular**

¹⁵ "Marco Estratégico de Energía y Clima: una oportunidad para la modernización de la economía española y la creación de empleo, Ministerio para la Transición Ecológica, agosto 2019.

¹⁶ "BORRADOR DEL PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030" (PNIEC), IDAE, España, Enero 2020.

Dentro de los retos descritos, el papel que jugará la tecnología es clave y tendrá el siguiente alcance:

○ **Digitalización de la operación y los servicios de la red eléctrica**

La digitalización es una de las herramientas más importantes y que más rápidamente transforma el sector, introduciendo avances tanto para las empresas como para los consumidores. Bajo este contexto, según un estudio de Bain&Company, en el sector energético, se estima que únicamente un 5% de las Utilities consultadas han alcanzado su total potencial de digitalización. El potencial de la digitalización tiene una tendencia creciente año a año, conforme se genera nueva tecnología y se desarrollan los modelos existentes. Las redes incorporarán los elementos tecnológicos presentes y futuros, que permitan:

- **Digitalizar la operación de la red eléctrica**, a través de la instalación de nuevos sistemas de monitorización, control y mando apoyados en un despliegue completo de sensores, actuadores y, en general, tecnologías IoT. El acceso a datos de alta calidad y en tiempo real y cuasi real, junto con las capacidades descriptivas, diagnósticas, predictivas y prescriptivas que proporciona el "Data Analytics", posibilitando el desarrollo de nuevas capacidades en los gestores de la red eléctrica. Estas capacidades permiten finalmente realizar una gestión inteligente de los activos, optimizando su rendimiento y mejorando la calidad del servicio.
- **Digitalizar la interacción con los usuarios de red**, permitirá la implantación de nuevos modelos de negocio que den respuesta a la evolución de la demanda de los clientes. Se incorporarán nuevas funcionalidades tales como la consulta dinámica del consumo, previsión de acciones de mantenimiento o de interrupciones, gestión de solicitudes de servicio, participación en mercados de flexibilidad, etc.

El tratamiento inteligente de la información implicará la mejora del servicio a través de un

mejor conocimiento del funcionamiento de los activos y de las necesidades de los clientes.

○ **Maximizar la capacidad de integración de recursos distribuidos**

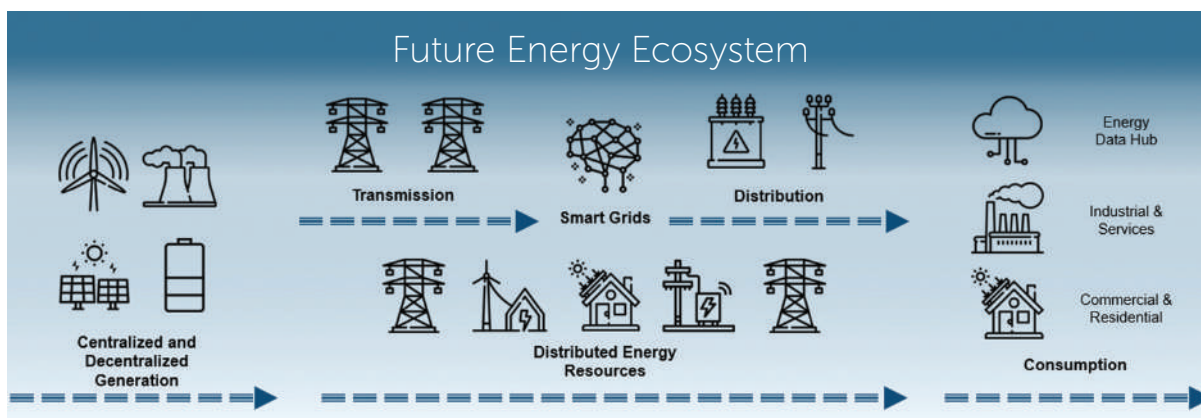
Se deben integrar tanto los recursos distribuidos que son incorporados a la red por terceros, como aquellos que podrían potenciar y flexibilizar las propias capacidades de la red, como por ejemplo los sistemas de almacenamiento. El control de los recursos distribuidos requiere de una caracterización del comportamiento de cada uno de los diferentes activos, acompañado de nuevos modelos de red y de nuevas herramientas de gestión de los mismos. Debido a la complejidad del proceso, es necesario desarrollar las capacidades técnicas y fomentar la comunicación entre los propietarios de los activos y los gestores de su operación y mantenimiento en la red. De esta forma se puede avanzar hacia una integración efectiva que no comprometa la seguridad del suministro. Las tecnologías de digitalización son una herramienta clave para conseguir una integración eficiente.

○ **Desarrollo de nuevas fórmulas de coordinación entre los diferentes agentes de la cadena de valor**

La evolución de las tecnologías están cambiando el ecosistema energético, produciendo la aparición de nuevos actores como son los prosumidores o los agregadores, entre otros. Con la integración de nuevos agentes se vuelve aún más relevante y necesaria la existencia de una comunicación fluida y organizada entre los diferentes participantes de la cadena de valor. Bajo esta perspectiva, es necesario crear una integración entre los usuarios conectados a la red y los sistemas de mayor escala que gobiernan la red y los activos, a la que se sumen la estructuras de coordinación de los nuevos agentes.

○ **Desarrollo y puesta en marcha de mecanismos y activos de flexibilidad**

El incremento de renovables introduce una creciente variabilidad en la generación eléctrica, por lo que es necesario desarrollar mecanismos de flexibilidad en el conjunto



Tendencias alineadas con los objetivos marcados por el sector energético español

- Electrificación y descarbonización del sistema energético
- Eficiencia energética
- Desarrollo de mercados eficientes de energía
- Garantía de la seguridad energética

de agentes del sistema, que permitan esta incorporación masiva de renovables sin comprometer la eficiencia, la seguridad y la estabilidad del sistema. Existen múltiples opciones que deben de ser consideradas, desde la existencia de activos físicos específicos para generar esta flexibilidad (baterías, interconexión con la red de gas, etc.) hasta el desarrollo de gestión de la demanda o de una generación que aporte mayor flexibilidad. En este contexto es útil el concepto de "Gemelos digitales", los cuales permiten simular diferentes escenarios de operación bajo las capacidades reales y existentes de los activos. De esta forma se flexibiliza su uso bajo condiciones específicas, con conocimiento exacto del umbral de capacidad de cada activo y de la red en su conjunto.

○ Integración paulatina de nuevos consumos eléctricos (transporte/ movilidad y sistemas HVAC)

Con el desarrollo de los vehículos eléctricos se integran en la red los sistemas de carga con diferentes tipos de tecnologías (desde cargas lentas a 3,6 kW hasta rápidas de 50 kW y superiores), con opciones de cargas inteligentes y bidireccionalidad. Con estas propiedades los vehículos eléctricos presentan propiedades similares a una batería distribuida.

También es importante mencionar el reto de electrificar los dispositivos térmicos (frío y calor), tanto bajo la perspectiva del cliente doméstico o residencial (que presenta un reto más masificado, pero de menor complejidad) como en uso terciario o industrial. Es necesario desarrollar tecnologías de coordinación para integrar esta posible demanda energética con sus características específicas.

○ Interconexión de redes

La interconexión se da en dos planos, mayor interconexión entre las redes eléctricas y entre distintos tipos de redes energéticas. Dentro del plano eléctrico, un mayor nivel de interconexión permitirá, por una parte elevar el grado de seguridad de la red (garantizando mayor número de opciones ante un desbalance del sistema), y por otra, el

¹⁸ Recomendaciones actualmente enviadas a los grupos de estandarización CEN/CENELEC/ETSI y recogido por CEN/CENEL en su grupo conjunto JTC-10 para el desarrollo de estándares .

desarrollo de un mercado interno y externo más eficiente. España particularmente tiene un déficit en este apartado, por lo que se beneficiará especialmente de este incremento de interconexión.

En el plano de interconexión con otras redes, se progresará en la integración ya existente con la red de gas, buscando sinergias en tales conexiones. Esta conexión tiene la doble ventaja de permitir una acumulación estacional de grandes volúmenes de energía y la reducción de uso de recursos fósiles haciendo uso del gas sintético.

El incremento de estas interconexiones permitirá reducir el efecto de la variabilidad de la generación renovable.

○ Desarrollo de la red con principios de economía circular

El sector de la energía y en particular las redes eléctricas es intensivo en activos físicos que tienen diferentes esperanzas de vida. Estos activos deben incorporar las nuevas recomendaciones de la Comunidad Europea en relación a la economía circular¹⁸, las que conllevan la definición y medición del grado de implantación de la economía circular en cuanto a la extensión de la vida útil de los equipos, la posibilidad de reusar componentes y reciclar el material y el uso de materiales re-usados y/o reciclados en los activos.

Este proceso comienza desde las primeras etapas de diseño de los equipos de forma que sea factible la reparación y el posterior reciclaje de los equipos y de los componentes.

A estas iniciativas contribuyen los retos previos (digitalización, mecanismos de flexibilidad, etc.) pero conllevan un uso más eficiente de los recursos físicos, y por lo tanto reducen la necesidad de expansión para un determinado uso.

Pero no es suficiente el completar estos retos, sino que también es importante hacer una reflexión en el cómo se alcanzan. Para abarcarlos de forma satisfactoria, **la inversión en tecnología es clave**. En este sentido, la

Circular 6/2019, de 5 de diciembre, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica, incluyó finalmente un reconocimiento específico para las inversiones en digitalización y automatización de redes, tras recibir diversas propuestas de los agentes quienes señalaban la importancia de su reconocimiento para cumplir con los objetivos de descarbonización¹⁹.

En otras actividades sectoriales, como es el caso de las renovables, la inversión de las empresas en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) supuso el 3,07% de su contribución al PIB, en el año 2018, siendo casi el triple de la media española (1,2%) y estando por encima de la media europea (2,07%)²¹. Las redes pueden y deben aprovecharse de la innovación sectorial e impulsar estos avances para alcanzar los retos descritos en el presente documento. No obstante a lo anterior, un adecuado desarrollo normativo es clave y debe cubrir, al menos, dos grandes aspectos:

- La necesidad de ampliar el **desarrollo de herramientas regulatorias** (por ejemplo el Sandbox Regulatorio) que permita realizar pilotos y pruebas de concepto a escala real, que busquen desarrollar nuevas tecnologías que optimicen la gestión de la red, para después convertirlos en sistemas reales utilizados a gran escala por las empresas de distribución y transporte de electricidad.
- **Fomentar e incentivar la inversión**, no solo en nuevos activos tecnológicos sino en el I+D que le precede, repartiendo adecuadamente los riesgos entre los titulares de red y el sistema, que participa de forma indirecta si consideramos el contexto regulatorio de la actividad.
- Esta inversión deberá dar señales que **promuevan el cierre de bucles previstos en la economía circular** para la reutilización en detrimento de la actual tendencia de la economía lineal de reemplazar equipos y reciclar.

¹⁹ Circular 6/2019, de 5 de diciembre, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica.

²¹ Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España – APPA -2019.

Tal y como se menciona en el capítulo anterior, la utilización de la tecnología es y será una palanca clave para conseguir los objetivos que se plantean en las redes eléctricas, permitiendo superar los retos globales y sectoriales identificados.

De acuerdo a nuestra visión, las redes eléctricas integrarán avances tecnológicos bajo cuatro categorías, de cara a estar preparadas para los escenarios del 2050:



Tecnologías digitales

Las tecnologías digitales permitirán el desarrollo de nuevas capacidades en el ámbito de las redes eléctricas; desde la obtención de información y su procesamiento inteligente, que proporciona un conocimiento preciso de los activos y de las necesidades de los usuarios, hasta la automatización y simulación

de procesos de gestión y de operación que redundarán en una mejora de la eficacia y eficiencia de las redes.

Dentro de las tecnologías digitales, se destacan **7 tipologías** mostradas a continuación:

I. Sensorización

Las tecnologías de sensorización, que están teniendo un enorme desarrollo en el concepto IoT (*Internet of Things*)²², y que se resumen en aquellas relativas a la interconexión digital de objetos a Internet (digitalización del mundo físico). Es decir, las variables físicas son monitorizadas por sensores y se generan datos que son enviados a servidores remotos para su procesamiento, los cuales reciben instrucciones para realizar determinadas acciones.

En el ámbito de las redes eléctricas, estas tecnologías serán desplegadas a través de las siguientes casuísticas:

- **Identificación del activo**, para poder trazar las operaciones realizadas sobre el mismo, con el objetivo de disponer de información a lo largo de todo su ciclo de vida, es decir: desde su fase logística (fabricación, entrada/salida de almacén, transporte y entrega), su instalación en la red, su puesta en servicio y mantenimiento, hasta el desmontaje y decomisado del mismo. Se utilizan, para este fin, modelos de etiquetado a través de tecnologías NFC/RFID²³ u otros sensores inteligentes.
- **Monitorización de los parámetros de red y la actuación sobre ésta desde sistemas remotos**, a la vez que se almacenan y recuperan datos utilizando tecnologías de "Cloud Computing". La obtención en tiempo real de todos los parámetros medibles tanto eléctricos (carga, impedancia, frecuencia, etc.) como físicos (temperatura, humedad, etc.) permiten obtener un mayor conocimiento del estado de las infraestructuras y de los

²² Internet of Things: Unlocking True Business Potential. Gartner.

²³ Applications of RFID in Logistics and Supply Chains: An Overview, International Conference of Logistics Engineering and Management 2012.

sistemas. La actuación o configuración remota de dispositivos de red permitirá una mayor flexibilidad y agilidad de respuesta en la ejecución de órdenes de trabajo, que se traducirá en un ahorro en costes.

- Implantación en distintos puntos de la red de la tecnología de **"Edge Computing"**²⁴, la cual aporta más autonomía a los dispositivos IoT, puede hacer que sean más inteligentes e incorporar el análisis de los resultados,



el procesamiento de datos y la toma de decisiones **en local**, y no exclusivamente de manera remota. Al no necesitar enviar los datos a infraestructuras remotas, se reducen latencias, se elimina la dependencia de la conectividad, se mejora el tiempo de respuesta y se disminuye el volumen de datos enviados a la red, eliminando cuellos de botella motivados por los canales de comunicación.

Uno de los lugares ideales para implantar esta inteligencia local serán las subestaciones y los centros de transformación, que son los conocedores en primera instancia de todos los cambios que se van a producir en la red eléctrica.

Los sensores existentes a día de hoy con mayor penetración en la red eléctrica son los contadores inteligentes, instalados prácticamente en la totalidad de los suministros²⁵ españoles. Estos contadores inteligentes van más allá de su función original de medición de consumo de los clientes y son verdaderos sensores de la red, permitiendo conocer con precisión la situación de suministro y el estado de la red de baja tensión. Como contadores inteligentes, la posibilidad de telegestión permite que el consumidor se integre en los distintos mercados de flexibilidad que se desarrollarán.

La aplicación de esta tecnología de sensorización en las redes permite la gestión de nuevos modelos de operación y mantenimiento de las infraestructuras, interpretando índices de salud, mejora de la fiabilidad, uso de límites operativos, etc.

Por otro lado, la tecnología IoT en el sector eléctrico no se limitará únicamente a su despliegue sobre las redes eléctricas, sino que también cobrará importancia en las instalaciones generadoras y/o los consumidores. En este último ámbito, el hogar digital toma un papel relevante en el sistema, ya que facilita la obtención de datos del consumidor e incluso la actuación remota sobre dispositivos del hogar digital para regular su carga, como por ejemplo el control sobre sistemas eléctricos de climatización, producción de agua caliente y demás cargas modulables. El control de dispositivos interiores al punto de suministro, permite actuar sobre el consumo de un cliente (aumentando o disminuyendo su demanda de energía) dentro de los parámetros de confort establecidos. Mediante esta tecnología se desarrollan los programas de gestión activa de la demanda.

²⁴ Edge Computing: Vision and Challenges, IEEE, 2016.

²⁵ Contadores inteligentes integrados en el sistema. CNMC.

II. Sistemas de telecomunicaciones

Los conceptos de IoT y las expectativas de la tecnología 5G hacen esperar una ubicuidad de conectividad de datos en casi todos los lugares, eliminando un gran número de limitaciones actuales. Sin embargo, es fundamental entender la realidad de los servicios disponibles a la hora de ir avanzando en la transformación digital y adecuarlos en su transcurso a las necesidades de las empresas energéticas y de los usuarios.

Entre ellas hay que tener muy en cuenta la extraordinaria dispersión geográfica y localización real, de forma que para muchos de sus activos distribuidos no siempre sea necesaria la conectividad a través de los servicios prestados por los operadores de telecomunicaciones. Por ejemplo, las zonas de baja cobertura móvil (elementos subterráneos en las zonas urbanas o semi urbanas, zonas más remotas o aisladas), en cuyo caso debe acudir al empleo de las tecnologías más adecuadas mediante inversiones en recursos propios. El caso de los contadores eléctricos inteligentes en España que emplean la tecnología PLC (power line communications)²⁶, utilizando como medio físico de telecomunicaciones el propio cable eléctrico, es un ejemplo de éxito innegable a la hora de dotar de la solución más eficiente de conectividad a sus 28 millones de contadores.

Para la empresa energética digitalizada del futuro, la conectividad es tan necesaria como los datos y su tratamiento, de manera que se convierte en un elemento esencial de su actividad. Las telecomunicaciones ahora más que nunca se convierten en un proceso a conocer, controlar y gestionar en todo su detalle, dotándolas de carácter esencial como auxiliar imprescindible de todos sus procesos de negocio.

Las organizaciones deberán empezar a planificar el uso de un mayor ancho de banda, accediendo a un mundo conectado ya sea por fibra óptica o de manera inalámbrica, que traerá en cualquier caso cambios, nuevas demandas y oportunidades.

En este sentido, dos tecnologías que se espera apoyarán la necesaria transformación y adaptación de las redes eléctricas son:

- LPWAN (low-power wide-area network). Estas tecnologías están especialmente diseñadas para conseguir un bajo consumo de energía en el dispositivo (compatible con dispositivos IoT alimentados por batería) y un radio amplio de alcance en las comunicaciones, reduciendo la necesidad de infraestructura. Dentro de las tecnologías existe la variante de uso de bandas públicas (LoRa, SigFox, etc.) y en banda licenciada asociadas a las comunicaciones móviles (NB-IOT, LTE-M, 5G), cada una con sus especificidades que las hacen óptimas para situaciones en concreto.
- 5G es la quinta generación de especificaciones de telefonía móvil publicada por 3GPP y que está actualmente en fase de implantación. Trata de dar respuesta tanto a las comunicaciones LPWAN como a las comunicaciones de datos de alta capacidad. Las redes 5G supondrán velocidades hasta 100 veces superiores a las redes 4G actuales, reducirán de manera significativa los tiempos de latencia y dispondrán de redes móviles con mucha mayor capacidad²⁷.

III. Tecnologías de analítica de datos

Las tecnologías de analítica de datos son las técnicas de tratamiento y explotación de grandes volúmenes de datos para extraer información de valor, optimizar procesos de negocio y mejorar la toma de decisiones. Mediante estas tecnologías pueden explotarse datos de cualquier naturaleza: BBDD, textos, actividades en redes sociales, audios, imágenes, vídeos, etc. Para realizar el tratamiento, existen cuatro clases de analíticas según el tipo de información obtenida y los resultados esperados: la analítica descriptiva, la diagnóstica, la predictiva y la prescriptiva. Algunos ejemplos de aplicación de estas tecnologías en las redes eléctricas son:

- Identificación de zonas geográficas en las que se consume más energía o en las que existe mayor tasa de interrupciones.

²⁶ "Medidas y funcionalidades avanzadas en la red de distribución con tecnología PLC". Jornadas técnicas CIGRE 2016.

²⁷ Plan Nacional 5G 2018-2020, MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL.

²⁸ Automated Machine Learning - Methods Systems Challenges, Frank Hutter, Lars Kotthoff, Joaquin Vanschoren, 2019.

- Detección de equipos que se averían con más frecuencia.
- Interpretación inteligente de alarmas sobre incidentes dentro de la red eléctrica.
- Detección de fraude.
- Previsiones de demanda y generación de energía.
- Mejora de la calidad de suministro (calidad de onda)
- Mantenimiento predictivo de activos de red.



Dentro de esta área además se engloban tecnologías²⁸ disruptivas como la **inteligencia artificial** y sus ramas **“machine learning”**, **“deep learning”** y el **“digital twin”**. Las aplicaciones avanzadas que nos proporcionarán estas tecnologías permitirán, por ejemplo, la automatización de configuraciones de red óptimas para un escenario determinado de generación-consumo en un modelo de red descentralizado; la identificación de ubicaciones óptimas para la instalación de Recursos

Energéticos Distribuidos; o la creación de una réplica digital completa de los activos de red con base en sus parámetros reales de uso, que nos permita simular su comportamiento futuro en base a cada situación.

En definitiva, las tecnologías de analítica de grandes volúmenes de datos contribuirán a la digitalización de procesos de gestión de redes, desde la planificación, construcción y el mantenimiento, hasta la operación y la automatización de las redes con centros de datos más eficientes, pudiendo formar finalmente un sistema de toma de decisiones autónomo, descentralizado y con capacidad de decisión y de actuación.

IV. Plataformas digitales de gestión y comunicación

La aparición de nuevos agentes, el cambio en la forma en que se relacionan para dar respuesta a los nuevos modelos de gestión del sistema y la necesidad de intercambiar cada vez más información de forma segura y en menos tiempo, plantean la necesidad de seguir desarrollando y mejorando tecnológicamente las **plataformas digitales de gestión y comunicación**²⁹. Podemos distinguir una serie de plataformas de gestión, como son las de los mercados, gestión técnica del sistema, las plataformas domésticas e industriales, plataforma de los agregadores, de la gestión de red y de los activos, gestión de recursos energéticos distribuidos, etc., que se irán sofisticando e interconectando a medida que se vayan desarrollando los nuevos modelos de negocio asociados a la transición energética.

Este sistema más complejo e interconectado necesita de plataformas que incidan en características como flexibilidad, apertura a interacción, estandarización (por ejemplo, Common Information Model) y escalabilidad. Además, deben integrar de una forma eficiente una serie de tecnologías también en evolución, como son la ciberseguridad, inteligencia distribuida o la algoritmia avanzada (incluyendo inteligencia artificial).

²⁹ Strategic Energy Technology Plan, ETIP-PV, 2018.

V. Transacciones Digitales

Las tecnologías asociadas a las Transacciones Digitales están revolucionando los procesos de aquellas industrias en las que juegan un papel relevante. Se trata de una tecnología madura que está revolucionando otros sectores como la Banca³⁰. Dentro de las tecnologías digitales, destacaríamos el Blockchain, el cual posibilita la realización de transacciones normalizadas, confiables, trazables, seguras y rápidas. Las aplicaciones en las redes eléctricas³¹ estarán ligadas principalmente a procesos como la gestión de intercambio de energía en microrredes o la gestión de transacciones entre la red inteligente y el vehículo eléctrico, aunque también podría ser de aplicación como soporte a procesos tradicionales (como la gestión de interrupciones y los cálculos de calidad o la gestión de trámites y permisos en obras de desarrollo de red) o soporte a futuros procesos y nuevos negocios que surgirán en el futuro, como la gestión activa de la demanda.

VI. Realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR)

La realidad virtual (VR)³² es la tecnología que genera por ordenador un mundo virtual simulando experiencias sensoriales mediante la interacción con el entorno virtual. Existen varios niveles en función del nivel de inmersión del entorno creado, desde la visualización de los elementos virtuales a través de una pantalla, hasta un grado 100% de inmersión, donde el usuario se introduce dentro de un mundo virtual y es capaz de percibir estímulos e interactuar con el entorno mediante periféricos (gafas, cascos, etc.). Algunas aplicaciones de esta tecnología son la mejora de los procesos de diseño de las soluciones de red o la capacitación de operarios, simulando entornos realistas. En este sentido, se está invirtiendo en este tipo de soluciones las cuales se basan en modelos de entrenamiento que simulan procesos predefinidos en la plataforma, permitiendo además visualizar el estado en tiempo real de las instalaciones y enriquecer dichos procesos con estos datos.

La realidad aumentada (AR)³³ combina elementos inexistentes con otros existentes, agregando información de muchos tipos (gráficos, imágenes, sonidos, datos, etc.) en tiempo real para que el usuario tenga una mejor percepción de la realidad. En este ámbito se encuentra el uso de "wearables" en actividades de campo, como por ejemplo las gafas inteligentes,

Los desarrollos tecnológicos (tanto los digitales como los que necesitan una tecnología física) deben tener presentes los principios de economía circular que garanticen la sostenibilidad medioambiental. Tecnologías digitales, evolución de los equipos y materiales, tecnologías de almacenamiento, electrónica de potencia

las cuales permiten a un operario realizar labores de mantenimiento, supervisión y comunicación con los activos sensorizados consiguiendo el efecto manos libres, obteniendo mayor seguridad y en consecuencia optimizando la actividad.

Ambas tecnologías se están incorporando en el ámbito de las redes eléctricas, inicialmente en tareas de capacitación de operarios, pero que se irá extendiendo a funciones de telesupervisión y operación asistida, mejorando la seguridad en operaciones en campo.

VII. Ciberseguridad en las redes eléctricas

Por último, la **ciberseguridad en las redes eléctricas**, es otro aspecto clave a tener en cuenta en el desarrollo tecnológico debido a la gran cantidad de información generada y procesada para la toma de decisiones por los agentes del sistema. Cualquier robo o manipulación de información podría provocar desde algún tipo de fraude en el consumo energético hasta posibles accidentes o incidencias en la red e interrupciones de suministro provocadas. La transformación que se está impulsando en el sector lleva consigo la expansión de

³⁰ Blockchain Technology To Revolutionize Traditional Banking. Ivestopedia.

³¹ Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, Febrero 2019.

³² Applications Of Virtual Reality. VRS (Virtual Reality Society)

³³ Augmented reality impact the energy industry. NS Energy.

dispositivos de red conectados en todo el sistema, lo cual crea la necesidad de definir una estrategia de ciberseguridad coordinada.

Según la Comisión Europea, en su informe *"Cyber Security Strategy for the Energy Sector, European parliament, 2016*, la implementación de un sistema inteligente y descarbonizado ampliará la interconexión y la interdependencia de las redes en todos los Estados miembros. Como resultado, los ciberataques orquestados pueden ocasionar un efecto dominó en dichos Estados. Este escenario plantea desafíos específicos para armonizar una estrategia de ciberseguridad en el sector energético a nivel europeo.



Las políticas europeas inciden en la importancia de la ciberseguridad en el ámbito de las redes. Para fomentar su implementación se incluyen tres pilares: evaluar los estándares mínimos, garantizar el desarrollo de las capacidades a través de auditorías y sanciones, y fomentar el intercambio transfronterizo de información.

La protección de la información es imprescindible para mantener la privacidad de los usuarios y asegurar la integración de todos los elementos que interaccionan en las redes. Las principales directrices a seguir en este ámbito contemplan la creación de una arquitectura de

seguridad que proteja la información contenida en todos los dispositivos y enviada por todos los posibles canales de comunicación. La Comisión Europea establece la necesidad de elegir una autoridad a cargo de la ciberseguridad en el sector energético, la obligatoriedad de remitir informes de incidentes en el sistema y fomentar la información al consumidor de los riesgos a los que se enfrenta el sistema en este nuevo contexto tecnológico.



Evolución de los equipos y materiales

Para que las redes eléctricas desempeñen correctamente las funciones clave que se le requieren en la transición energética, es necesaria también una evolución y modernización en algunos de sus equipos y elementos básicos.

Históricamente la evolución de la red eléctrica se ha realizado de una forma paulatina dependiendo sobre todo de los avances en generación y en la regulación. Dada la dimensión de la red, cualquier avance tecnológico coexiste con elementos más antiguos y este hecho obliga a que los equipos más modernos sean compatibles y faciliten la operación de una red diversa en extensión y fases de evolución.

Las nuevas tecnologías se implementan de forma distinta dependiendo del tipo de equipo, de su posición en la red y sobre todo del coste y del impacto que el cambio tecnológico tenga en la operativa y fiabilidad de la misma.

Así por ejemplo, hay que considerar la evolución en el diseño de los **transformadores** tanto de potencia como de medida hacia equipos más eficientes, compactos, con menores pérdidas y dieléctricos más sostenibles, manteniendo la robustez y fiabilidad que se exige a estos equipos clave para el correcto funcionamiento de la red eléctrica.

Mencionado anteriormente, es imprescindible una mayor sensorización, para monitorizar por ejemplo el estado de salud de la máquina, y una dotación de mayor capacidad de control, para que sean equipos más activos y colaboren en mantener la estabilidad y control de la red en

escenarios de alta sollicitación: es el concepto de **transformador inteligente**.

Siguiendo con este paradigma, recae una mayor responsabilidad en **subestaciones y centros de transformación**, que requerirán una actualización en sus funciones y un rediseño que ya se está produciendo y que afecta a todos sus componentes. Además del transformador ya mencionado, en el caso de los centros de transformación afecta también a las **celdas de media tensión (MT), equipos de protección y control y cuadros de baja tensión (BT)** para dotarles de una mayor capacidad de monitorización, control e incluso inteligencia distribuida capaz de gestionar autónomamente, si fuera necesario, la red de baja tensión que depende del centro.

Para niveles de tensión altos la creación de elementos híbridos que combinen tecnologías convencionales con la electrónica de potencia, hará que las maniobras se realicen de forma más precisa evitando perturbaciones en el sistema.

En general, se deberán realizar desarrollos que, teniendo una funcionalidad similar a la actual, incrementen la eficiencia y mejoren el impacto de las infraestructuras ya instaladas, como puede ser la sustitución de SF6, etc.

Por otra parte, hay una evolución esperada en el ámbito de los materiales que componen la aparamenta eléctrica que forma parte de los activos de las redes eléctricas en subestaciones, centros de transformación, y también de los propios conductores y cables. Es el caso de los **superconductores** cuyas propiedades permiten aumentar la densidad de corriente en cables y transformadores, o incluso su uso como limitadores de corriente (Fault Current Limiters), **materiales especiales para condiciones extremas** de polución, entornos salinos, eventos climáticos, etc. en aras de ganar robustez y eficiencia en el mantenimiento de la red eléctrica y también para mejorar durabilidad, por ejemplo, en componentes metálicos anticorrosivos, materiales cerámicos aislantes o de composite, etc.

Por último, los nuevos equipos utilizados se verán impactados por la aplicación de la **robotización**, la cual incrementa la seguridad gracias a que estos equipos robotizados son capaces de realizar actuaciones de riesgo

que antes eran ejecutadas por operarios. Los robots ayudarán a redefinir la fuerza laboral de campo del futuro, pudiendo ser utilizados para el mantenimiento de activos críticos situados en localizaciones remotas o de difícil acceso o para la ejecución de maniobras peligrosas en instalaciones eléctricas. Un caso destacado en este ámbito son los drones que facilitan la inspección de líneas aéreas o la supervisión de trabajos colaborando en el mantenimiento. Además, la obtención de imágenes mediante drones supone otra fuente importante de datos adicional. Un ejemplo de utilización de estas imágenes, junto con el empleo de modelos de crecimiento, es la optimización de los procesos de tala y poda de la vegetación cercana a las líneas. El reto en esta área es la automatización de los vuelos y el aumento de la autonomía de los drones.



Tecnologías de almacenamiento

Tal y como se ha descrito a lo largo del presente documento, la transformación del mix de generación eléctrica en España con la incorporación de las energías renovables y la fluctuación que caracteriza a este tipo de energía, se plantea una serie de retos: por un lado, la gestión de los excedentes de generación renovable con el objetivo de reducir las desconexiones de las fuentes de energía renovable no gestionable, lo que impacta en los objetivos de eficiencia energética, y por otro, la necesidad de cubrir el 100% de la demanda en circunstancias en las que las condiciones climatológicas no propicien la generación renovable.

La incorporación de unidades de almacenamiento para mantener la estabilidad del sistema entre la generación y el consumo y su gestión inteligente, es un factor decisivo para la evolución del sistema.

Existen dos tendencias en el despliegue de esta tecnología las cuales son complementarias y conllevan esquemas de gestión distintas. Una tendencia, son baterías dentro de las instalaciones del cliente (behind-the-meter) y las conectadas a la red (in front of the meter, utility scale). El primer tipo se desarrollará a medida que se implante generación distribuida renovable, para poder optimizar el vertido hacia la red de distribución. Este efecto ya se está produciendo en países como Alemania y EEUU/California, donde la alta penetración de producción fotovoltaica a nivel residencial está promoviendo la instalación de baterías.

La optimización de la red también implicará la instalación de sistemas de almacenamiento de mayor tamaño en lo que se denomina "utility scale" o escala de red. Este desarrollo es reconocido como una de las 10 tecnologías emergentes por Scientific American³⁴. Existen diversas tecnologías de almacenamiento siendo la que mayor cuota actual tiene el almacenamiento hidráulico (98%)³⁵, y la que mayor desarrollo está teniendo, la batería electroquímica. En la siguiente figura se pueden

ver las previsiones de crecimiento, de un mercado que en 2040 será de 620 millardos de USD, del que el 60% será en escala de red³⁶.

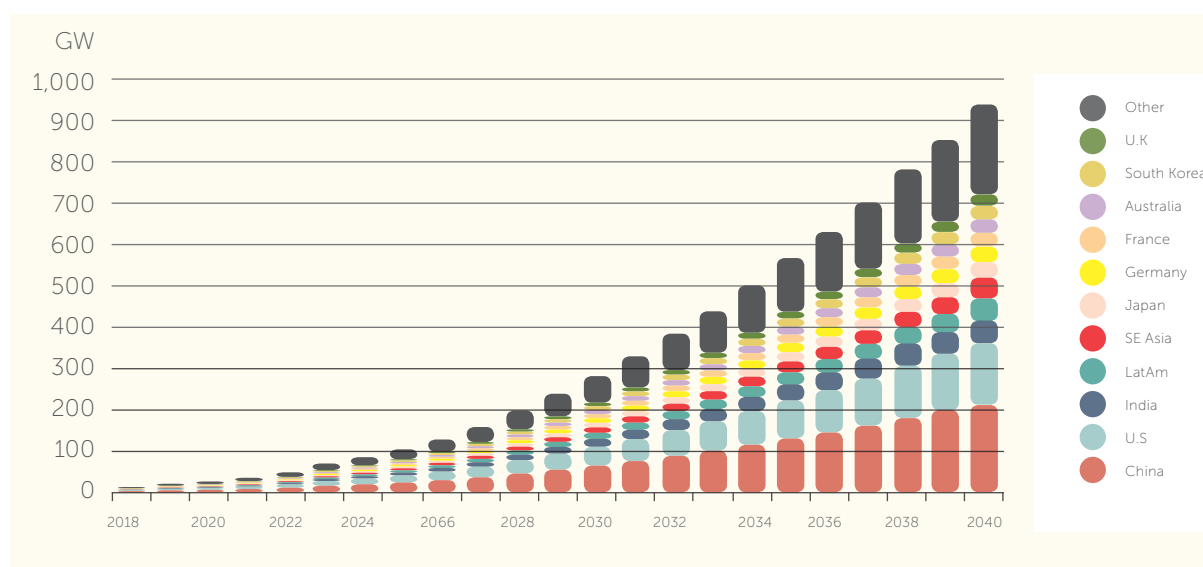
Este crecimiento de la tecnología, tiene en la reducción de sus costes un factor clave. Así ya han reducido su coste desde 2010 en un 84% y la sinergia con el desarrollo de la movilidad eléctrica, se espera que produzca una reducción adicional del 65% (\$62/kWh) sobre los precios actuales²².

Las diferentes tecnologías de almacenamiento disponibles cubren todo un rango de servicios de flexibilidad a lo largo de la cadena de valor del sistema eléctrico en su conjunto. Las diferentes tecnologías exhiben diferentes grados de madurez, desde las tecnologías ampliamente consolidadas como bombeo hidráulico, a tecnologías más incipientes como las baterías de flujo, pasando por el vertiginoso desarrollo del almacenamiento electroquímico en sus diferentes versiones.

En este contexto, la contribución del almacenamiento al sistema eléctrico se puede diferenciar en:

- Balance diario, para lo cual las tecnologías electroquímicas y fundamentalmente las baterías, son más apropiadas. La ventaja de las mismas es que mueven el exceso de generación renovable a horas con menor

Global cumulative storage deployments



³⁴ The Top 10 Emerging Technologies of 2019. Scientific American.

³⁵ Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications. JRC Science for Policy report.

³⁶ BloombergNEF New Energy Outlook 2018, 2019.

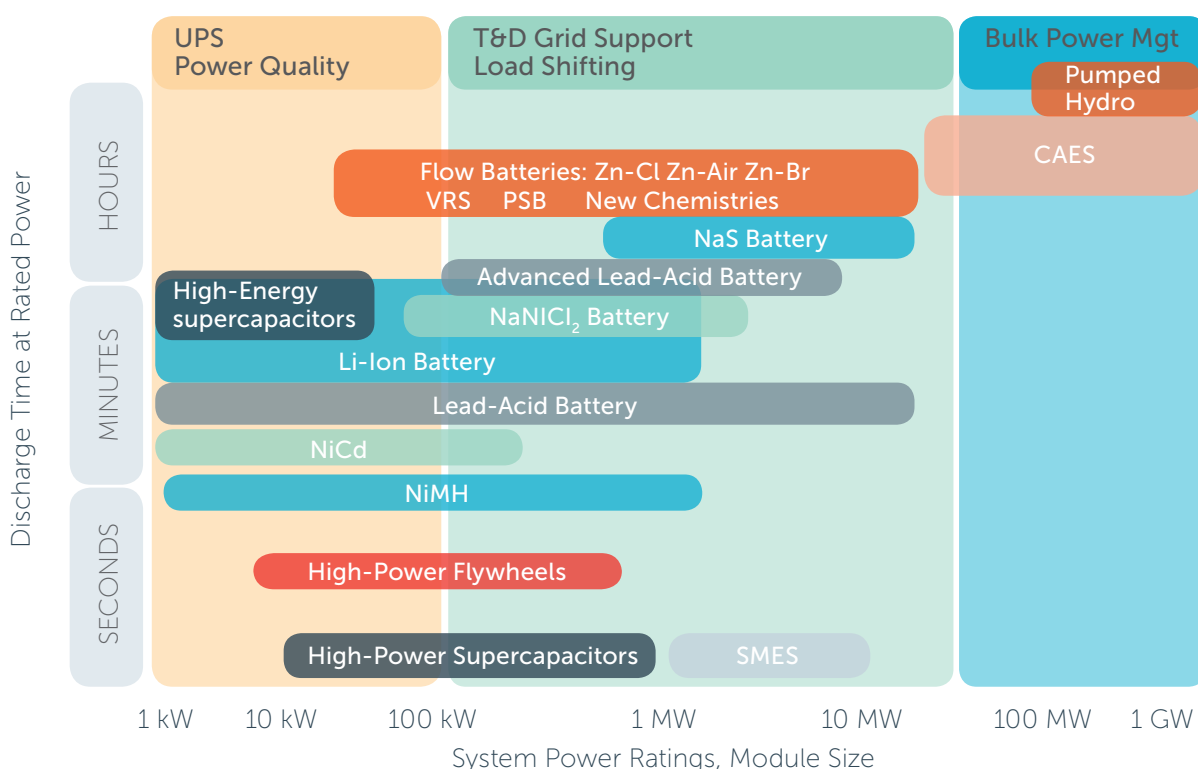
recurso, y por tanto se aumenta la capacidad de evacuación sin aumentar la potencia pico, y la posibilidad de una mayor participación en mercados locales y globales.

- Balance estacional, donde tecnologías como el hidrógeno, Power to Gas, o bombeo pueden tener más sentido.
- Almacenamiento de potencia para la estabilidad del sistema.

Por otro lado, existen muchas tecnologías de almacenamiento con distintos costes y especificaciones, con posibilidad de dar diferentes servicios.

En resumen, los servicios que pueden dar las tecnologías de almacenamiento al sistema eléctrico desde el punto de vista del consumidor son:

- Gestión de los picos de consumo, para ser más eficiente desde el punto de vista del consumo como desde el punto de vista del coste de la energía.
- Proporcionar continuidad del suministro de energía en caso de fallo de suministro energético.
- Compensación de la potencia reactiva.



Fuente: https://www.sandia.gov/ess-ssl/lab_pubs/doeepri-electricity-storage-handbook/

- Limitar las perturbaciones provenientes de aguas arriba de la instalación.
- Mejorar la integración de vehículos eléctricos, así como gestionar la demanda de la recarga de los mismos.

Desde el punto de vista de los gestores de las redes de distribución, los servicios que el almacenamiento ofrece se resumen en:

- Soporte a la capacidad de la demanda y de la generación.
- Compensación de la potencia reactiva.
- Mejora de la calidad de distribución de energía.

- Limitación de las perturbaciones aguas arriba.
- Soporte a la formación de islas energéticas.
- Soporte a las contingencias de la red.
- Soporte a la gestión de congestiones.
- Control dinámico de tensión local.

Desde el punto de vista de los gestores de las redes de transporte, los servicios que el almacenamiento ofrece se resumen en:

- Control de frecuencia primaria, secundaria y terciaria, para lo cual se requiere de gran velocidad de respuesta del sistema de almacenamiento.

- Nuevos servicios auxiliares.
- Contribución a la estabilidad del sistema.
- Aplazamiento de inversiones.
- Mejora de la estabilidad de frecuencia de las redes débiles.
- Control de tensiones.
- Gestión de congestiones.

De cara al futuro, los desarrollos tecnológicos relacionados con el almacenamiento deben de ir en la línea de mejorar la capacidad energética de los sistemas así como el ratio de coste por unidad de energía por cada ciclo de carga/descarga

Por último, otra de las grandes transformaciones del sector eléctrico vendrá dada por la incorporación del vehículo eléctrico, el cual podrá ser utilizado como almacenamiento distribuido. Un futuro sistema común, inteligente y automatizado podría aprovechar las baterías de los vehículos eléctricos mientras están conectados a las estaciones de recarga, para usarlas como baterías distribuidas que absorbieran los excesos de generación y volcaran la energía sobrante durante los picos de consumo.



Electrónica de potencia

La tradicional batalla entre la corriente alterna y la continua, se está convirtiendo en una complementariedad entre ambas formas de transmisión de electricidad, unidas a través de la electrónica de potencia.

Debido a que gran cantidad de los equipos conectados a la red (consumidores de energía, generación renovable, baterías y vehículos eléctricos) pasan por una transformación continua a alterna, y el progresivo abaratamiento y mejora en la eficiencia de la tecnología de conversión, el uso de la electrónica de potencia está y seguirá creciendo rápidamente.

En un estudio comparativo realizado por FutuRed, se determina que el mercado de la electrónica de potencia crecerá de forma sostenida entre un 3% y un 5% anual, y en el año 2025 el mercado será de entre 35 y 45M\$,

lo que supone una gran oportunidad tanto para la mejora de nuestro sistema eléctrico como para las compañías nacionales que producen bienes y servicios relacionados con esta tecnología. España cuenta actualmente con empresas que, apoyándose en universidades y centros tecnológicos nacionales con grandes conocimientos en esta materia, están desarrollando productos, así como empresas con producción de aplicaciones basadas en electrónica de potencia que venden tanto a nivel nacional como internacional.

Dentro de las aplicaciones se pueden destacar varios grupos:

- Gestión energética de las microrredes.
- Electrónica de conversión para conexión de generación renovable a la red de transporte y distribución.
- Electrónica de conversión para uso final: en donde se incluye la de todos los electrodomésticos y equipos informáticos (centros de computación, etc.), la de carga de los vehículos eléctricos, transporte ferroviario, carga de baterías, etc.
- Electrónica aplicada al transporte y distribución de energía eléctrica, tanto para la gestión de flujos y calidad (FACTS) como para la transmisión de energía a gran distancia y alta capacidad (HVDC).³⁷
- Electrónica embarcada: en sistemas aislados como pueden ser barcos, vehículos (en circulación), etc.



HDVC (themarketresearchnews)

³⁷ Visión 2050, ETIP SNET.

5 La red eléctrica inteligente en acción

En los capítulos previos se han descrito los retos de las redes y las tecnologías que necesitan ser desarrolladas para afrontar tales retos. En este capítulo se va a describir cómo estas tecnologías están cambiando las capacidades de negocio tanto dentro de las compañías eléctricas como en su relación con los clientes. En la evolución de las capacidades existentes, como por ejemplo la gestión de activos, se produce una mejora tanto en eficacia como en eficiencia.

Las siguientes fichas describen las capacidades (nuevas o existentes) que se están desarrollando, cada una en diferente nivel de madurez. No obstante, los importantes retos de la transición energética imponen una dinámica que acelerará la aparición de nuevos modelos de gestión (redes, equipos, mercados...) para los cuales la tecnología seguirá siendo una pieza fundamental.



AUTOMATIZACIÓN DE REDES

DESCRIPCIÓN

Actualmente, una gran parte de las redes eléctricas de alta y media tensión se encuentra monitorizada y parcialmente automatizada.

Las redes eléctricas futuras contarán con una automatización completa, incluyendo las redes de baja tensión. Para ello contarán con sistemas basados en servidores centrales (computación en la nube) o distribuidos (edge computing) para la toma de decisiones fundamentadas en técnicas de analítica de datos y un despliegue de dispositivos IoT en la red. Los sensores monitorizarán el estado de la red eléctrica y los actuadores permitirán cambiar configuraciones de red o de dispositivos ante eventos en la red (incidencias, desequilibrios generación-demanda, etc.). Con dichas actuaciones en remoto y automatizadas será posible:

- La reprogramación de los dispositivos de electrónica de potencia (convertidores) instalados para regular y controlar la tensión y frecuencia de la red.
- La configuración de la red más adecuada para cada situación de balance de generación vs consumo dentro de la propia red.
- La reconfiguración de la red para redirigir los flujos de energía de manera que se evite interrupción de suministros ante una incidencia.
- El aislamiento de una zona con incidencia en caso de riesgo de propagación al resto de la red.
- La gestión automatizada de los descargos en las órdenes de trabajo asociadas a tareas de mantenimiento o reparación, reduciendo el riesgo en dichas operaciones.



IMPACTO

- La implementación de un sistema de este tipo supone:
- Una mejora en la eficiencia del sistema y fiabilidad de la red: reducción del TIEPI y NIEPI a valores casi nulos, ya que en la gran mayoría de los casos las interrupciones se corregirían mediante reconfiguraciones de red.
- Reducción en costes: disminución del número de operadores de red y reducción del número de órdenes de trabajo efectuadas por operarios.
- Reducción de riesgos laborales, asegurando la correcta ejecución de los descargos.

TECNOLOGÍAS

- Sensorización.
- Sistemas de comunicación.
- Analítica de datos.
- Ciberseguridad.
- Evolución de los equipos y materiales.
- Electrónica de potencia.

GESTIÓN DIGITAL DE ACTIVOS

DESCRIPCIÓN

La gestión digital de activos permitirá la evolución de las estrategias de mantenimiento preventivo hacia un mantenimiento predictivo, gracias a la implantación de sistemas basados en algoritmos de analítica de datos que sean capaces de estimar probabilidades de fallo en los elementos y programar las acciones necesarias para alargar su vida útil.

Los algoritmos se basarán en información histórica de los activos (inspecciones, incidencias), datos en tiempo real de sensores IoT (tensión, potencia, temperatura, ruido, vibraciones, carga, etc.) y datos obtenidos de otras fuentes (imágenes de drones, variables del entorno como temperatura, presión, precipitaciones, etc.).

En base a la información histórica se determinarán patrones de comportamiento para realizar un análisis explicativo de los motivos de fallo como punto de partida de un análisis predictivo que permita identificar qué aparato es altamente probable que sufra una avería evitable en un periodo de tiempo próximo, e indique el estado de salud del activo en cada momento de cara a prolongar su vida útil hasta el máximo riesgo asumible. El resultado serán las acciones a realizar sobre cada uno de los activos, optimizando los costes y recursos y teniendo en cuenta los aspectos operativos y de seguridad de la red.

De manera análoga a la automatización de las redes, la ejecución de los algoritmos se realizará en un sistema central o in situ (mediante edge computing). Además, mediante técnicas de inteligencia artificial, "machine learning" o "deep learning" se puede dotar a los sistemas de mayor autonomía para el ajuste de los propios algoritmos a la realidad.

IMPACTO

- Mejora del rendimiento y rentabilidad de los activos a la vez que de la calidad del servicio.
- Mayor eficiencia en los procesos de mantenimiento preventivo, optimizando los intervalos medios de inspección.
- Mayor seguridad y fiabilidad de la red, reducción del número de incidencias.
- Reducción en costes de mantenimiento: inspección y sustituciones de activos sólo en los casos en los que sea necesario.

TECNOLOGÍAS

- Sensorización y digitalización.
- Sistemas de comunicación.
- Analítica de datos (Machine learning/Deep learning)
- Evolución de los equipos y materiales.

³⁸ Índices de medición de la calidad y continuidad del suministro: TIEPI (Tiempo de interrupción equivalente a la potencia instalada en Media Tensión) y NIEPI (Número de interrupciones equivalente a la potencia instalada en Media Tensión)

MERCADOS DE FLEXIBILIDAD

DESCRIPCIÓN

El negocio de redes eléctricas es de gestión de capacidades. Las empresas propietarias de redes construyen nuevas redes en función de la demanda de conexión (demanda y generación) de los usuarios. La gestión actual de las congestiones de largo plazo por crecimiento de demanda o generación se resuelve mediante el desarrollo de nueva infraestructura de red. El dimensionamiento de las redes se realiza para dar cobertura al máximo de generación o demanda de los usuarios, si bien, dichos valores se alcanzan en contadas ocasiones a lo largo del año.

Una forma de optimizar la inversión y el uso de las infraestructuras es gestionando los flujos energéticos de los usuarios, es decir, aprovechando la flexibilidad que pueden ofrecer para gestionar así dinámicamente la capacidad existente de red.

En particular para la distribución eléctrica, la Comisión Europea reconoce y habilita en el artículo 32 de la directiva 2019/944 el uso de la flexibilidad de los recursos distribuidos de red para que, coordinando e intercambiando la información necesaria con el transportista y operador del sistema, se asegure una óptima utilización de los recursos disponibles, lo que supone un cambio importante en las funciones y operativas de las distribuidoras.

Estos mecanismos basados en mercados permiten una eficiencia en la gestión de la flexibilidad ya que ponen en competencia la flexibilidad que pueden ofrecer los distintos tipos de recursos: consumidores, generadores, sistemas de almacenamiento, vehículos eléctricos, etc.

No hay un modelo determinado para la implantación de estos mercados. Dependiendo de las características de cada país miembro, se implantarán uno o más modelos en función de su eficiencia técnica y económica. En estos momentos se están probando en demostradores, distintas fórmulas de cara a evaluar tales eficiencias. Se pueden citar los siguientes:

- SmartNet, Interfase, Coordinet, etc
- NODESmarket.com (NoordPool)
- Epexspot.com (Alemania, Francia, UK)
- IREMEL (OMIE-IDAE)
- PICO FLEX
- GOPAC

IMPACTO

- Participación de los recursos distribuidos en los mercados de flexibilidad.
- Optimización en las inversiones de red, reemplazando inversión por gestión de recursos.
- Maximización de penetración de generación renovable en la red de transporte y distribución.
- Mejora en la fiabilidad y calidad del suministro de energía.

TECNOLOGÍAS

- Plataformas de gestión.
- Sistemas de monitorización y control remoto.
- Algoritmos de estimación de comportamientos.
- Tecnologías de comunicación.

³⁹ Directiva (UE) 2019/944 del parlamento europeo y del consejo de 5 de junio de 2019 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.

INTEGRACIÓN DE RECURSOS DISTRIBUIDOS

DESCRIPCIÓN

En el futuro contexto de transformación del sistema de energía desde su forma actual –mayormente centralizada– hacia una estructura mucho más descentralizada y renovable, y con nuevos consumos (que en ocasiones tendrán también roles de generación, como en el caso del coche eléctrico), será necesario asegurar la eficiente gestión de los recursos energéticos distribuidos.

Para la correcta integración de la gran cantidad de dispositivos que se instalarán en la red, será necesario disponer de avances en las cuatro categorías de tecnologías clave en la red eléctrica ya comentadas en este documento de visión:

- Tecnologías digitales, para el desarrollo de sistemas de gestión y control de los recursos de energía distribuida que permitan optimizar: el uso de las redes mediante la evaluación dinámica de su capacidad, el control de cargas, la reducción del pico de demanda, la regulación de la frecuencia, el soporte de potencia reactiva y tensión, o el control de la calidad del servicio.
- Evolución de equipos y materiales para permitir su gestión y control remoto, así como facilitar flujos energéticos bidireccionales que surgen en el nuevo escenario.
- Sistemas de almacenamiento basados en nuevas tecnologías eficientes y económicas, para compensar las variaciones en los balances energéticos de las redes.
- Dispositivos electrónicos de potencia, para convertir el modo de transmisión de corriente eléctrica con el que operan estos nuevos recursos, en su mayoría corriente continua (DC), y adaptarlos al funcionamiento de las redes en corriente alterna (AC).

Tal integración se dará en múltiples niveles teniendo en cuenta las características del recurso y de la red donde esté conectado.

El cambio en la estructura de generación y demanda hará insuficientes los mecanismos actuales para la gestión de recursos energéticos. Serán necesarios nuevos mecanismos que permitan poner en valor todos los recursos disponibles, y de manera muy especial un gran número de recursos distribuidos. Se diferencian entre mecanismos técnicos y basados en señales económicas. Los técnicos se operan en automático y garantizan que la red funciona dentro de los límites técnicos admisibles. Por ejemplo, la respuesta automática de los inversores de la generación renovable ayudará a la estabilidad de la tensión y de frecuencia. Dentro de los mecanismos basados en señales económicas se diferencian los que utilizan el peaje para fomentar cambios de comportamiento, contratos de interrumpibilidad, los acuerdos bilaterales y los que se basan en mercados, como es el caso expuesto previamente.

Estos nuevos mecanismos deberán estar coordinados entre sí y con los ya existentes para evitar soluciones aisladas no coordinadas y garantizar una eficiencia global.

Así mismo, conllevarán la introducción de nuevas arquitecturas de comunicación, monitorización y control, de forma local en las instalaciones de los usuarios, pero también conectadas con los agentes del sistema (operadores de redes y de mercado, agregadores,...), evitando así soluciones aisladas no coordinadas y garantizando la interoperabilidad de la red eléctrica en su conjunto.

IMPACTO

- Mejora en la fiabilidad y calidad del suministro de energía.
- Nuevos modelos para la participación activa de los usuarios.
- Optimización en las inversiones de red, reemplazando inversión por gestión de recursos si así se logra una solución más eficiente.
- Maximización de penetración de generación renovable en la red de transporte y distribución.
- Participación de los recursos distribuidos en el mercado de balance del TSO.

TECNOLOGÍAS

- Plataformas de gestión.
- Sistemas de monitorización y control remoto.
- Algoritmos de estimación de comportamientos.
- Tecnologías de comunicación
- Tecnologías digitales.
- Evolución de los equipos y materiales.
- Electrónica de potencia.
- Tecnologías de almacenamiento.

GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA

DESCRIPCIÓN

La demanda es uno de los recursos energéticos distribuidos más importante, y su gestión activa permite poner en valor la flexibilidad que pueda proveer al sistema eléctrico.

Se han realizado numerosas experiencias sobre gestión de la demanda, siendo un aspecto clave la automatización de los procesos de respuesta de los usuarios. A mayor automatización, mayor elasticidad de la respuesta, si bien no toda la demanda tiene el mismo grado de flexibilidad. Así, procesos que incluyen almacenamiento térmico o químico o procesos automatizados sin implicaciones para las personas (cadenas de frío, carga de VE, etc), son más susceptibles de participar.

La gestión de la demanda plantea retos tecnológicos específicos dependiendo del tipo de usuario. A nivel residencial, es clave la normalización de la inteligencia en los equipos eléctricos, tanto en la forma de gestión como en las comunicaciones. El uso de estándares es una de principales palancas para que pueda expandirse y popularizarse este tipo de gestión automática. Existen sinergias con otras actividades que introducen inteligencia en el hogar como son las de seguridad, mantenimiento remoto de equipos, etc.

Una parte de la demanda se irá hibridando paulatinamente con generación renovable, con almacenamiento o con ambas tecnologías. Este hecho y la necesidad de aporte de flexibilidad por todos los recursos conectados harán converger la gestión de la demanda con mecanismos de integración más generales como son los mercados de flexibilidad.

La gestión activa de la demanda requerirá que los operadores de la red dispongan de información de la energía eléctrica de que disponen las empresas agregadoras, así como de previsiones más precisas de las necesidades de energía. Con ello, los operadores dispondrán de nuevas capacidades para que, una vez validadas técnicamente, sean usadas para ajustar generación y demanda, manteniendo así la calidad y fiabilidad del suministro.



IMPACTO

- Participación activa de los usuarios en el sistema.
- Flexibilidad de la demanda para el sistema.
- Mejora de la eficiencia energética.
- Aplanamiento de la curva de demanda energética.
- Mejor aprovechamiento de las energías renovables.

TECNOLOGÍAS

- Sensorización.
- Sistemas de comunicación.
- Analítica de datos (Modelos de Previsión de la Demanda en tiempo real o Modelos de Previsión de la Generación en renovables)
- Plataformas digitales de gestión y comunicación.
- Tecnologías de almacenamiento.
- Plataformas basadas en apps móviles para comunicación con el consumidor.

COMUNIDADES DE ENERGÍA

DESCRIPCIÓN

Los objetivos de reducción de dependencia del exterior junto con el abaratamiento de las tecnologías de generación distribuida y renovable están impulsando, en su versión a menor escala, el desarrollo de las comunidades de energía.

Estas comunidades tratan de maximizar el consumo de sus recursos propios, ayudando así a la economía circular, mejorando la economía local y concienciándose de aspectos tales como el valor de la energía y la necesidad de promover la eficiencia energética.

El apoyo a las comunidades de energía figura en la directiva 2019/944⁴⁰ de mercado interior directiva, con una definición amplia sobre lo que se puede considerar dentro de este concepto. Dentro de la iniciativa BRIDGE⁴¹ de la Comisión Europea se están identificando diversos modelos que operan bajo la definición de comunidades, los cuales se describen a continuación:

- **Generación y venta colectiva de electricidad.** Cualquier tipo de agrupación territorial y comercial de generadores, con participación en mercado o con incentivos económicos (normalmente conocidas como Virtual Power Plants).
- **Comunidades de generación-consumo.** Suministro certificado de electricidad en un grupo cerrado de generadores y consumidores, no necesariamente próximos, pero incluyendo mercados de energía locales o regionales.
- **Autoconsumo residencias colectivo,** incluyendo generación, almacenamiento y consumo en edificios residenciales; incluye modelos Tenant-Power (Mieterstrom).
- **Distritos energéticamente positivos.** Distritos con entidades residenciales y comerciales que operan sus sistemas de suministro de energía bajo su propio régimen.
- **Islas energéticas.** Islas reales o partes del sistema de distribución que pueden funcionar de forma independiente (por ejemplo, sistema celular como en SINTEG, modelo holónico como en PolyEnergyNet).
- **Servicios públicos municipales.** Organizaciones existentes para el suministro de energía y la operación de la red: directamente (por ejemplo, si funciona como cooperativa) o indirectamente (por ejemplo, si está controlado por el gobierno local) controlado por ciudadanos.
- **Financiamiento cooperativo de eficiencia energética.** Ciudadanos que invierten en medios de eficiencia de PYMES y municipios, posiblemente en su propia región (por ejemplo, contratación / ESCO, financiación colectiva).
- **Sistemas de suministro avanzados.** Todo tipo de sistemas (por ejemplo, implementados con blockchain), posiblemente operados como un modelo sandbox.

En general, estas comunidades funcionan en el área de negocios liberalizados y tienen una interacción importante con las compañías distribuidoras, propietarias y gestoras de las redes eléctricas.

Actualmente se están identificando distintas fórmulas (algunas ya operativas) y promoviendo demostraciones. En el futuro estos nuevos modelos tendrán su participación en el escenario energético y serán importantes en la concienciación energética y medioambiental de los clientes.

IMPACTO

- Mayor aprovechamiento de los recursos locales.
- Permite mejorar la gestión de la red, interactuando con las plataformas de gestión de estas comunidades.
- Incrementa la concienciación local del valor de la energía.

TECNOLOGÍAS

- Sensorización: Controles sobre las cargas y generación de los clientes (actuadores sobre la electrónica de potencia, equipos de monitorización y optimización local de las microrredes)
- Sistemas de acumulación eléctrica.
- Plataformas de gestión y comunicación: intercambios energéticos.
- Algoritmos de estimación de comportamientos y de medición de cambios del mismo.
- Sistemas de comunicación.

⁴⁰ Directiva (UE) 2019/944 del parlamento europeo y del consejo de 5 de junio de 2019 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.

⁴¹ European Projects Bridge 2020.

INTEGRACIÓN DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA EN LA RED ELÉCTRICA

DESCRIPCIÓN

Gracias a la implantación de sistemas basados en En los últimos años, los vehículos eléctricos (VE) han iniciado la transición de un mercado de nicho a otro generalista. Si el crecimiento anual continúa, se estima que en los próximos 5 años el parque móvil de los mismos en España será de entre 600.000 y un millón, para 2030 el objetivo fijado en el PNIEC es de 5 millones.

Según el Impacto Económico, de empleo, social y sobre la salud pública del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, en un escenario tendencial que incluye la instalación de 30 GW de potencia de energías renovables para el periodo 2017-2030, se prevé inversiones de 250.000 puntos de recarga.

Así pues, las redes eléctricas se enfrentan al reto de satisfacer esta nueva demanda energética, con unas características específicas y diferenciadas frente a la demanda tradicional, para permitir el desarrollo de la movilidad eléctrica y contribuir a la transición ecológica de manera eficiente. Este reto sólo se puede lograr mediante la digitalización y la integración adecuada de datos a todos los niveles, tanto en la red de media como de alta tensión. Dicha digitalización implica algoritmos de estimación precisa del comportamiento de la carga, plataformas digitales y sistemas de gestión para la interacción con las infraestructuras de carga.

Se desarrollarán nuevos modelos de gestión del vehículo eléctrico asociados a la capacidad de almacenamiento de los vehículos como son los relacionados con los flujos energéticos en las viviendas (tecnologías V2H), o para proporcionar servicios a la red (V2G).

IMPACTO

- Gestión de la flexibilidad de la recarga.
- Aumento de la capacidad de almacenamiento.
- Mayor eficiencia energética en la gestión de los flujos de energía
- Posibilidad de gestionar servicios V2H y V2G.

TECNOLOGÍAS

- Sensorización.
- Sistemas de comunicación.
- Analítica de datos para la estimación y predicción de la demanda y generación de energía renovable.
- Plataformas digitales de gestión y comunicación, junto con sistemas de administración para un control de carga inteligente.
- Electrónica de potencia bidireccional y de control interoperable de los diferentes sistemas.



Como resultado de la realización de las diferentes acciones y superación de los retos planteados en este documento se percibirá un cambio, tanto en diferentes sectores de la industria (algunos de forma más directa que en otros), como de la sociedad. Es por ello que se considera relevante mencionar algunos de los posibles impactos y una cuantificación estimada para dar idea de la magnitud y el tipo de cambios que se producirán.

Se identifican cuatro categorías de industrias que serán las principales en reflejar cambios bajo la transición energética a 2050, éstas son: transporte, construcción, sector energético y una agrupación de otras actividades industriales con un alto consumo energético (química y petroquímica, acerera, cementera...).

En relación a la industria de transporte se espera una serie de beneficios en materia de movilidad y reducción de tráfico en entornos urbanos e interurbanos, relacionado con la electrificación del transporte. Se esperan ahorros superiores a los 13.888⁴² ktep equivalentes a un 38%, generado por las medidas de electrificación de actividades. En el caso Remap a 2050 se menciona una proyección de una electrificación del 32% del sector transporte, considerando tanto el transporte de personas (vehículos de pasajeros, transporte colectivo, autobuses...), como el transporte de carga terrestre, de momento, tanto el marítimo como el aéreo no se consideran por falta de una tecnología con un grado de madurez o proyección suficiente.

Para la industria de la construcción se espera lograr la transformación de edificios, a través de desarrollos inmobiliarios con alta eficiencia energética y descarbonizados, antes de 2050. Esto supone un aumento en la electrificación de edificios en un 26%⁴³, con un alto impacto en renovables como la incorporación de tecnologías fotovoltaicas en estructuras, la inclusión de bombas de calor, y otros métodos

de generación renovable como la geotérmica y la biomasa.

El impacto en la industria energética es principalmente cuantificable en un cambio del mix de generación, permitiéndose una integración masiva de renovables, con cifras objetivo, en el caso de España, del 74% en 2030 y el 100% 2050⁴².



En relación a las industrias de alto consumo energético, se espera que éstas puedan llegar a cubrir hasta un 42%⁵⁰ de sus necesidades energéticas mediante la electrificación de procesos y la conversión de tecnologías. Este grupo de industrias es el responsable de cerca de un tercio de las emisiones totales a nivel global de gases de efecto invernadero. Actualmente se considera que solo cerca del 7% del consumo de estas industrias proviene de fuentes eléctricas renovables y cerca de un 31% proviene directamente del uso de carbón.⁵⁰

En relación al impacto social, se pueden considerar distintas dimensiones. Quizá el primer cambio es el de mentalidad en los usuarios y consumidores. Con la serie de cambios planteados en este documento, resulta casi imposible tener consumidores de energía en el futuro que estén completamente

⁴² "BORRADOR DEL PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030" (PNIEC), IDEA, España, Enero 2020.

⁴² "Global Energy Transformation: A roadmap to 2050", IRENA (International Renewable Energy Agency), 2019.

(por lo menos como podemos encontrarnos el día de hoy) desvinculados del ecosistema energético en el que habitan. Tecnologías como los vehículos eléctricos, las micro redes, comunidades de energía, autoconsumos, entre otros, y las consecuencias de la digitalización (mayor información a disposición del consumidor) harán que éste tenga un papel más activo y dinámico en la operación del sistema eléctrico.

Otra de las facetas del cambio social que supone la visión hacia 2050 es en relación a la generación de riqueza y el impacto en el PIB. De acuerdo al PNIEC se espera invertir en I+D+i de forma anual y constante no menos del 2,5% del PIB para los próximos cuarenta años. Un componente de este porcentaje está planteado para la lucha contra el cambio climático y la descarbonización de la economía. Con ese grado de inversión específico en renovables y tecnologías asociadas, se espera un aumento del PIB mayor al 1%.

Sin duda, tanto la inversión en I+D+i como el aumento resultante del PIB llevarán a la creación de nuevos puestos de trabajo, tanto de forma temporal como de manera directa y con un efecto más indefinido. En este sentido, se pronostica un aumento en los salarios como consecuencia del grado de especialización requerido en ciertas áreas, así como un aumento mayor al 0,14% de los puestos de trabajo directamente vinculados al sector eléctrico.¹⁴

Otro efecto que se pronostica es el de la generación de una economía circular, facilitada a por un mejor aprovechamiento de recursos a partir de la electrificación y descarbonización propuestas en el documento. Bajo este concepto se pretende mejorar el entorno urbano, que es el principal centro de consumo de recursos naturales (alrededor del 75%), de producción de residuos (50% a nivel global), y de generación entre 60-80% de los GEI.^{44 45}

Con las cifras anteriores, es necesario recalcar uno de los elementos más importantes y centrales que deben de acompañar el desarrollo tecnológico, es decir, el desarrollo y atracción de talento cualificado. Para 2015 ya

existían alrededor de 5.000 puestos de trabajo dedicados exclusivamente al campo de I+D+i en la distribución, transporte eléctrico y en Smart Grids, y se espera que para 2030 existan cerca de 37.000 empleos directos aportados por el sector y alrededor de 60.000 empleos indirectos.⁴⁶

La realización de las diferentes acciones y superación de los retos planteados en este documento proporcionan un cambio, tanto en diferentes sectores de la industria (algunos de forma más directa que en otros), como de la sociedad.

Adicionalmente el desarrollo de la redes se realiza a lo largo de todo el territorio y es, por lo tanto, un factor de sostenimiento del mundo rural, innovando en soluciones adecuadas a estos entornos caracterizados por la baja concentración de demanda y que van a ser receptores de gran cantidad de unidades de generación renovable. Por su naturaleza universal y de servicio básico, forma parte de los objetivos transversales de la Estrategia Nacional frente al Reto Demográfico(1), la cual busca garantizar la igualdad de oportunidades y el libre ejercicio de los derechos de ciudadanía en todo el territorio y así combatir la despoblación en numerosos municipios.⁴⁷

Por último, cabe mencionar que España es hoy referente en el mundo cuando se habla de Smart Grids, y ello ha ayudado a que la industria nacional haya tenido que evolucionar al ritmo requerido para cumplir los objetivos del 2020. Todo lo que se haga para cumplir ahora los nuevos retos servirá de aliciente a la industria nacional para seguir siendo pionera y mantener así una proyección internacional. El mundo es cada día más global y estar a la cabeza de la innovación y el buen hacer redundará en una mayor competitividad y crecimiento de nuestras empresas, creando empleo y generando beneficio para todo el país.

⁴⁴ "Resource Efficiency as Key Issue in the New Urban Agenda". Naciones Unidas,

⁴⁵ [Agenda Urbana Española, junio 2019](#).

⁴⁶ "Análisis del potencial de desarrollo de tecnologías energéticas", Alinne & Creara, 2017

⁴⁷ Estrategia nacional frente al reto demográfico. Directrices generales.

Para poder conseguir los objetivos establecidos en esta visión, y permitir, por lo tanto, una transición energética eficaz y eficiente, el sector de transporte y distribución eléctrica necesita de un entorno favorable, correctamente incentivado.

En primer lugar es fundamental **un marco regulatorio estable, predecible y con seguridad jurídica**, que incentive la evolución tecnológica necesaria para la transición energética, en particular para las actividades de gestión de redes, las cuales deben asumir una profunda adaptación a las nuevas formas de generación y consumo en el sector eléctrico.

En este aspecto, el marco regulatorio, para alinearse a los objetivos de descarbonización, debe reflejar un compromiso por la reducción de emisiones y un posicionamiento a largo plazo que de un claro panorama tanto para la eficiencia energética como para el desarrollo de tecnologías renovables. Hay que mencionar que sobre el marco general que apueste por estas tendencias, también debe existir un esfuerzo constante por actualizar y mantener vigentes las políticas específicas conforme existan nuevos elementos que puedan irrumpir o no estar cubiertos por el marco legal existente. En resumen, se busca que la regulación defina una visión a largo plazo clara y que al mismo tiempo sea flexible y de rápida adaptación para incluir nuevos elementos que puedan surgir "de la noche a la mañana".



Otro elemento importante a considerar asociado al marco regulatorio es la visión de las instituciones y gobernabilidad. En este aspecto, se debe de trabajar en una visión apartidista que de confianza a la inversión y demuestre un **compromiso político con los objetivos planteados** por la regulación (un ejemplo del impacto que puede tener este elemento es el caso de Brasil, que bajo una nueva visión política ha retrocedido significativamente en el índice de preparación para la transición energética). De esta forma, se establecen las reglas del juego y se facilita tanto la inversión como el acceso de nuevas tecnologías y modelos de negocio que favorezcan la transición energética y el desarrollo de las redes.

Para conseguir los objetivos establecidos en esta visión, y permitir, por lo tanto, una transición energética eficaz y eficiente, el sector de transporte y distribución eléctrica necesita de un entorno favorable, correctamente incentivado

Ligado al punto anterior, se debe de **garantizar e incentivar el acceso a la inversión en innovación**. Para ello, los reguladores deberán abrirse a nuevos modelos de financiación. La IEA estima que para lograr el escenario de 2°C para el 2050, se requerirá de aproximadamente \$3.700 miles de millones anuales a nivel global. En el caso específico de las redes, la actividad de los operadores de distribución (DSOs) tendrán un nivel de complejidad considerablemente mayor al tomar en cuenta las aplicaciones y generación "behind-the-meter", así como la gestión de la demanda, mercados de flexibilidad, etc...

Otro elemento clave a considerar es el desarrollo de **herramientas que agilicen el proceso de transformación**. En este aspecto, quizá el caso más representativo es el de un **SandBox** o proyectos de demostración regulatorios. La intención de estas herramientas es permitir, bajo condiciones reales, la prueba de conceptos específicos y nuevos modelos operativos y de negocio que necesiten superar una barrera regulatoria. Con el uso de estas herramientas se puede probar la viabilidad, tanto técnica como económica de dichos nuevos modelos, y cuyos resultados serán un elemento que permita desarrollar la nueva regulación con menos incertidumbre sobre su eficacia y eficiencia.

Las demostraciones conllevan siempre una regulación normativa que es necesario superar, una protección de los clientes participantes en la demostración y cuenta con la aprobación y supervisión del órgano regulador.

Como último elemento a destacar en este apartado, es necesario mencionar la

importancia y la relevancia que tiene la construcción de puntos de interlocución entre diferentes agentes del sector. Como es el ejemplo de la "Mission Innovation", una iniciativa global compuesta por 25 países que buscan duplicar la inversión pública en energías limpias y en I+D, estableciendo vínculos con el sector privado, apoyando la colaboración internacional y el impulso a innovadores. De esta forma, se logra abordar bajo una visión conjunta retos que tienen múltiples aristas y que demandan de equipos polivalentes, integrados por especialistas en diferentes ámbitos (regulatorios, tecnológicos, de negocio, económicos...). Logrando construir de forma ordenada nuevos conceptos, minimizando la posibilidad de pasar por alto elementos clave o participantes y agregando una visión integral de entes con diferentes intereses y áreas de conocimiento. FutuRed, como plataforma tecnológica, tiene esta vocación claramente identificada.



EQUIPO DE REDACCIÓN

Participantes		Empresa
Jaime Moretón Gonzalo de la Fuente Ernesto Gamiz	→	Everis
Fernando García	→	UFD Distribución Electricidad
Anabel Soria Juan Pablo González	→	ITE
Enrique Morgades	→	Fundación CIRCE
Francisco Barceló	→	Schneider
José Carlos Fernández Unai Búrdalo	→	Grupo Red Eléctrica
Ángel Díaz	→	Tecnalia
Juncal González Ramsés Garrote	→	VIESGO
Covadonga Coca	→	ZIV
Mikel Zaldumbide	→	Ormazábal
Enrique García	→	i-DE Redes eléctricas inteligentes
Jorge Sánchez	→	e-Distribución

Participantes

Raúl Suárez – UFD Distribución Electricidad - Director (Presidente FUTURED)

Francisco Barceló – Schneider Electric- EU & Mx Power Sys Commercial VP (Vicepresidente FUTURED)

Pilar Nieto – ENDESA

Enrique García – i_LDE Redes Eléctricas Inteligentes

Juncal González – VIESGO

Luis Santos – EDP

José Carlos Fernández – REE

Ignacio Isla – AELEC

Santiago Blanco – DNV GL

Covadonga Coca – ZIV

Juan Prieto – INDRA

Mikel Zaldumbide – ORMAZABAL

Iratxe Zuluaga – ARIADNA INSTRUMENTS

Héctor Pinar – EVERIS

Miguel Ángel del Barrio – ISASTUR

Óscar Izquierdo – CIEMAT

Juan Pablo González – ITE

Andrés Llombart – Fundación CIRCE

Miguel Ángel Sánchez – UNIVERSIDAD DE COMILLAS

Ángel Díaz – TECNALIA

Juan Garbajosa – UPM

Leonardo Hervás – CIDE

Jose Julio Ares – APYDE

Ana M. Lancha – AEI

Luisa Revilla – CDTI

Miguel Rodrigo – IDAE

Maria Teresa Velasco – MITECO

Manuel Garcia – MITECO



FutuRed

