



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

IMPLANTACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS SMART GRIDS EN ESPAÑA.

León, julio de 2014

Autor: Beatriz Blas Frade

Tutor: Miguel de Simón Martín

RESUMEN

El presente documento conforma el trabajo fin de Grado titulado "Implantación y evolución de las Smart Grids en España", trabajo impulsado por los retos que este tipo de red supone de futuro, así como por que facilitará la integración de energías renovables.

El trabajo hace un recorrido a través del concepto de Smart Grid, desde su origen y características, los obstáculos en la implantación, las curvas de demanda actuales, el funcionamiento de las SmartGrids, los pilares sobre los que se fundamenta, las micro redes, así como de las tecnologías que utiliza para su correcto funcionamiento, y los beneficios que aporta junto con la funcionalidad. También se tratan los sistemas de generación, los pilares de las redes y las micro redes, se hace una revisión de la tecnología y estado actual de la red, así como un estudio de los niveles. También se analiza la normativa vigente aplicable y se expresan como conclusiones las ventajas e inconvenientes, las consecuencias personales extraídas tras la redacción de dicho trabajo y las expectativas de futuro.

ABSTRACT

This document constitutes the Final Project work entitled "*Implementation and development of Smart Grids in Spain*" inspired by the challenges that this type of grids means for the future and to the facilitation of the renewable energies integration too.

The work makes a journey through the Smart Grid concept, from its origin and characteristics, obstacles to implementation, the curves of current demand, running SmartGrids, the pillars on which it is based, micro Grids, as the technologies used for proper operation, and the benefits along with the functionality, generation systems. Moreover a review of current technology and state of the grid is made, and a study of the levels.

The applicable regulations are also analyzed

Finally, the last chapter is where the conclusions are expressed, with the pros and cons, personal consequences drawn after the drafting of the work and future expectations.

AGRADECIMIENTOS

Para mí este trabajo significa la continuación de mi proyecto de vida y de las innumerables experiencias, que me han hecho crecer como persona, y espero me proporcione un medio de vida.

Mi primer agradecimiento es a mi padre, porque me dio las fuerzas para comenzar este camino, y nunca le dije cuanto le iba a echar de menos; también a mi madre y hermana, por apoyarme en cada decisión y apostar por mí, incluso en los momentos de mayor cabezonería.

A mi tutor, Miguel de Simón Martín, por la paciencia mostrada y por permitirme aprender de su experiencia, y al resto de profesores que desde el colegio me han inculcado la motivación y curiosidad que me ha traído a esta escuela.

No puedo olvidar a mis amigos, por amenizarme los momentos difíciles, los túneles sin salida, y los malos momentos, y por festejar conmigo los buenos.

ÍNDICE.

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	¿Qué son las Smart Grids y por qué surgen?	3
1.2	Cuándo surgen	5
1.3	Características	6
1.4	Objetivos de las Smart Grids	9
1.5	Obstáculos y riesgos para la integración de las Smart Grids	10
1.6	Curvas de demanda.....	11
1.6.1	Curvas de demanda por sectores.....	11
1.6.2	Curva general de demanda	12
2	PRINCIPIOS Y ELEMENTOS DE LAS SMART GRIDS.....	15
2.1	Pilares de las Redes Eléctricas Inteligentes	15
2.2	Nuevas tecnologías de generación.....	16
2.2.1	Integración de las nuevas tecnologías de generación en las REI	18
2.3	Modelo conceptual y arquitectura.....	20
2.4	Niveles	23
2.4.1	Nivel usuario	23
2.4.2	Nivel local.....	23
2.4.3	Nivel global.....	24
2.5	Principio básico de las Smart Grids	25
2.5.1	Generación distribuida	26
2.5.1.1	La central eléctrica virtual, CEV	28
2.5.2	Gestión de la demanda, GDE o DSM	29
2.5.3	Contadores inteligentes, telecontadores o Smart Meters.....	30
2.5.3.1	Tipos de contadores inteligentes	33
2.5.3.2	Medición inteligente	34
2.5.3.3	Requisitos mínimos exigibles por la legislación.....	34
2.5.4	Vehículos eléctricos.....	35
2.5.4.1	Conexión del Vehículo Eléctrico con la RED	36
2.5.5	Almacenamiento de energía	38
2.5.5.1	Supercondensadores (EDLC).....	39
2.5.5.1.1	Clasificación.....	40
2.5.5.2	Volantes inercia.....	40
2.5.5.3	Superconductores (SEMS, HTS)	40

2.5.5.4	Baterías.....	41
2.5.5.5	Pilas de combustible.....	41
2.5.5.6	Térmico.....	42
2.5.5.6.1	Calor sensible.....	42
2.5.5.6.2	Calor latente.....	42
2.5.5.7	Aire comprimido (CAES).....	42
2.5.5.8	Centrales de bombeo.....	43
2.5.5.9	V2G (vehicle to Grid).....	43
2.6	Tecnologías y dispositivos.....	44
2.6.1	Sensores y actuadores.....	45
2.6.2	FACTS (Sistema Flexible de Transmisión de Corriente Alterna).....	45
2.6.3	PMU (Unidad de Medición Fasorial).....	45
2.6.4	HANs (Home Area Networks).....	45
2.6.5	NANs (Neighbor Area Networks) y WANs (Wide Area Networks).....	46
2.6.6	Cargas.....	46
2.6.6.1	Cargas lineales.....	46
2.6.6.2	Cargas no lineales.....	46
2.6.6.3	Cargas controlables.....	46
2.6.6.4	Cargas no controlables.....	46
2.7	Micro redes eléctricas.....	46
2.7.1	Elementos principales.....	48
2.7.2	Funcionamiento normal de una micro red.....	49
2.7.3	Funcionamiento de una micro red aislada.....	50
2.7.4	Ventajas de las micro redes.....	50
2.7.5	Inconvenientes de las micro redes.....	50
2.8	Arquitectura.....	51
2.8.1	ADA (Advanced Distribution Automation).....	51
2.8.1.1	OMS (Sistema de Gestión de Interrupción).....	51
2.8.1.2	SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).....	51
2.8.2	DER: Distributed Energy Resources.....	51
2.8.2.1	GIS (Sistema de Información Geográfica).....	52
2.8.2.2	EMS (Sistema de Administración de Energía).....	52
2.8.2.3	DMS (Distribution Management System).....	52
2.8.3	AMI: Advanced Metering Infrastructure.....	52
2.9	Niveles de madurez tecnológica.....	52
2.9.1	Fases para introducir las Redes Eléctricas Inteligentes.....	54
2.10	Beneficios vs. Funciones.....	54
2.10.1	Económicos.....	54
2.10.2	Confiabilidad y calidad.....	55
2.10.3	Beneficios ambientales.....	55
2.10.4	Beneficios de seguridad energética.....	55
2.10.5	Tabla resumen.....	55

3	SMART CITIES	57
3.1	Concepto	58
3.2	Estrategia de implantación de una Smart City	60
3.3	Smart City (Málaga)	61
3.3.1	Grupos de trabajo.....	63
3.3.2	Sistemas de generación iniciales.....	64
3.3.3	Objetivos deseados y cómo conseguirlos.....	64
3.3.4	Objetivos conseguidos a fecha 1 de enero de 2013	67
3.3.5	Problemas, ineficiencias o contradicciones.....	69
3.4	Proyecto Denise: Distribución Energética Inteligente, Segura y Eficiente	69
3.4.1	Grupos de trabajo y resultados de cada grupo.....	70
3.5	Proyecto Fénix: Flexible Electricity Networks to Integrate the eXpected “Energy evolution” .	71
3.5.1	Fases	71
3.6	Smart City VvP: Smart City Valladolid y Palencia	72
3.6.1	Valladolid y Palencia, Ciudades Inteligentes.....	72
3.7	Energos: “Sistema Inteligente de Distribución de Energía Smart Grid”	73
3.8	Smart City Malta	74
4	NORMATIVA Y DIRECTRICES	75
4.1	Principales sistemas regulatorios actuales	75
4.1.1	Normativa Europea	75
4.1.2	Normativa Española	76
4.2	Marco retributivo	78
5	CONCLUSIONES	79
5.1	Ventajas e inconvenientes	79
5.1.1	Ventajas	79
5.1.2	Inconvenientes	80
5.2	Conclusiones personales	82
5.3	Tendencias futuras	84
6	LISTA DE REFERENCIAS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: EVOLUCIÓN DE LA RED ELÉCTRICA. FUENTE: [1].	1
FIGURA 1-2: SISTEMAS ELÉCTRICOS INTELIGENTES. FUENTE: [2]	2
FIGURA 1-3: MODELO ENERGÉTICO ACTUAL VS SMART GRIDS. FUENTE [7]	3
FIGURA 1-4: FACTORES QUE OBSTACULIZAN LA IMPLANTACIÓN DE REDES INTELIGENTES. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.	11
FIGURA 2-1: CURVA DE DEMANDA SEGÚN EL SECTOR. FUENTE: [17]	12
FIGURA 2-2: CURVA DE DEMANDA ELÉCTRICA DÍA 17/12/2013, GENERACIÓN Y EMISIONES DE CO2. FUENTE: [17]	13
FIGURA 2-3: CURVA DE DEMANDA ELÉCTRICA DÍA 03/06/2013, GENERACIÓN Y EMISIONES DE CO2. FUENTE: [17]	14
FIGURA 2-4: CURVA DE DEMANDA ACTUAL CON CURVA IDEAL. FUENTE: ADAPTACIÓN DE [17].	14
FIGURA 2-1: ELEMENTOS ELÉCTRICOS DE LAS REI. FUENTE: [22]	16
FIGURA 2-2: ESTRUCTURA DE LA POTENCIA INSTALADA A 31 DE MARZO DE 2014. FUENTE: [17]	16
FIGURAS 2-3: ESTRUCTURA DE LA COBERTURA DE LA DEMANDA. FUENTE: ADAPTADO DE [17; 16]	18
FIGURA 2-4: MODELO CONCEPTUAL. FUENTE: [23]	20
FIGURA 2-5: DIAGRAMA DE REFERENCIA CONCEPTUAL PARA INTEGRACIÓN DE LOS SIETE DOMINIOS DEL MODELO CONCEPTUAL. FUENTE: [23]	21
FIGURA 2-6: MODELO PARA LA IMPLANTACIÓN DE SMART GRID. FUENTE: [12]	23
FIGURA 2-7: INTERRELACIÓN DE MICRO REDES. FUENTE: [25]	24
FIGURA 2-8: NIVEL GLOBAL. FUENTE: [17]	24
FIGURA 2-9: PILARES BÁSICOS DE UNA SMART GRID. FUENTE: [7]	25
FIGURA 2-10: ENTORNOS CONVENCIONAL E INTELIGENTE DE FUNCIONAMIENTO DE UNA RED ELÉCTRICA. FUENTE: [26]	25
FIGURA 2-11. LOCALIZACIONES MÁS IMPORTANTES DE GENERACIÓN Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA. FUENTE: ADAPTACIÓN DE [17]	29
FIGURA 2-12: AGENTES IMPLICADOS EN LA GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA. FUENTE: [31]	30
FIGURA 2-13: PLAN DE SUSTITUCIÓN DE CONTADORES .FUENTE:[32]	31
FIGURA 2-14: EJEMPLO DE CONTADOR INTELIGENTE. FUENTE: [32]	33
FIGURA 2-15: VIVIENDA CON MEDICIÓN INTELIGENTE. FUENTE: [6]	34
FIGURA 2-16: POSICIÓN DE LOS VE EN EL RANGO DE ELECTRIFICACIÓN Y SUS TIPOS. FUENTE: [36]	35
FIGURA 2-17: PREVISIÓN VENTAS VEHÍCULO ELÉCTRICO. FUENTE: [5]	36
FIGURA 2-18: INCREMENTO DE LA DEMANDA POR LA RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO. FUENTE: ADAPTACIÓN DE [17]	37
FIGURA 2-19: EVOLUCIÓN COMPARATIVA DE LA CURVA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA CON EL VEHÍCULO ELÉCTRICO. . FUENTE: ADAPTACIÓN DE [17]	37
FIGURA 2-20: USOS DE LOS SISTEMAS DE ACUMULACIÓN. FUENTE: [37]	38
FIGURA 2-21: SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO SEGÚN SU POTENCIA Y TIEMPO DE DESCARGA. FUENTE [39]	39
FIGURA 2-22: PILA DE COMBUSTIBLE. FUENTE: [40]	42
FIGURA 2-23: SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO. FUENTE: [38]	43
FIGURA 2-24: CENTRAL DE BOMBEO. FUENTE: [41]	43
FIGURA 2-25: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO. FUENTE: [37]	44
FIGURA 2-26: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VEHÍCULO HÍBRIDO DE PILA DE COMBUSTIBLE. FUENTE: [37]	44
FIGURA 2-27: ÁREAS TECNOLÓGICAS DE LAS REI. FUENTE: [2]	44
FIGURA 2-28: MICROREDES. FUENTE: [42]	47
FIGURA 2-29: MICRO REDES INTEGRADAS. FUENTE: [17]	48
FIGURA 2-30: ARQUITECTURA SMART GRID. FUENTE: [31]	51

FIGURA 3-1: PRINCIPALES PROYECTOS DE REDES INTELIGENTES EN EL MUNDO .FUENTE: [38] _____	57
FIGURA 2-25: PILARES DE LAS CIUDADES INTELIGENTES .FUNETE:[49] _____	58
FIGURA 2-26: FACTORES QUE INTERVIENEN EN LAS CIUDADES INTELIGENTES. FUENTE: [47]. _____	59
FIGURA 2-27: CRECIMIENTO DEL MERCADO DE SMART CITIES POR SECTOR, SEGÚN EL INFORME DE MARKETS AND MARKETS.SECURITY (SEGURIDAD), TRANSPORTATION (TRANSPORTE), EDUCATION (EDUCACIÓN), HEALTHCARE (SANIDAD), INDUSTRY AUTOMATION (INGENIERÍ AUTOMÁTICA), ENERGY (ENERGÍA), BUILDING (URBANISMO), HOMES (EDIFICACIÓN Y VIVIENDA).FUENTE: [48] _____	59
FIGURA 3-2: PARTICIPANTES EN EL PROYECTO "SMARTCITY MÁLAGA". FUENTE: [17] _____	61
FIGURA 3-3: LOCALIZACIÓN SMARTCITY MÁLAGA. FUENTE: [17] _____	62
FIGURA 3-4: BASES DE UNA SMART CITY. FUENTE: [31] _____	62
FIGURA 3-5:ESTRUCTURA DEL PROYECTO SMARTCITY MÁLAGA (GRUPOS DE TRABAJO).FUENTE:[30] _____	64
FIGURA 3-6: GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DISTRIBUIDO EN LA RED DE SMARTCITY MÁLAGA .FUENTE: [30] _____	65
FIGURA 3-7: SISTEMAS DE MICRO-GENERACIÓN EN FAROLAS (EÓLICA Y FOTOVOLTAICA, RESPECTIVAMENTE). FUENTE: [30] _____	66
FIGURA 3-8: ESQUEMA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS IMPLEMENTADOS. FUENTE: [30] _____	67
FIGURA 3-9: OBJETIVO SMARTGRID MÁLAGA: INCREMENTO DE USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES. FUENTE: [30] _____	67
FIGURA 3-10: OBJETIVO SMARTGRID MÁLAGA: REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO2.FUENTE: [30] _____	68
FIGURA 3-11: OBJETIVO SMARTGRID MÁLAGA: AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. FUENTE: [30] _____	68
FIGURA 3-12: REPRESENTACIÓN DE LOS PILARES BÁSICOS DEL PROYECTO FÉNIX. FUENTE: ENDESA [31] _____	71
FIGURA 5-1: REDUCCIONES CO2 POR REGIONES GRACIAS A LA IMPLANTACIÓN DE LAS REI. FUENTE: [2] _____	81
FIGURA 5-2: OPORTUNIDADES DE NEGOCIO MUNDIAL EN LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES. FUENTE: [60] _____	85

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1-1: CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES. FUENTE: CREACIÓN PROPIA.	8
TABLA 2-1: CLASIFICACIÓN DE LA GENERACIÓN. FUENTE: ADAPTACIÓN DE [19]	19
TABLA 2-2: FUNCIONES DE LAS REI. FUENTE: ADAPTACIÓN DE [27].	26
TABLA 2-3: TIPOS DE RECARGA SEGÚN LA DURACIÓN. FUENTE: [37]	36
TABLA 2-4: DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA. FUENTE: [38]	38
TABLA 2-5: TECNOLOGÍAS MÁS IMPORTANTES PARA IMPLANTAR A NIVEL DE HAN EN UNA SMART GRID. FUENTE: [13]	45
TABLA 2-6: NIVELES HACIA LAS REI AÚN PENDIENTES. FUENTE: [45]	53
TABLA 2-7: BENEFICIOS VERSUS FUNCIONES DE LAS REI. FUENTE: [46]	56
TABLA 3-1: MÉTODO BÁSICO DE ANÁLISIS INDIVIDUAL PARA CADA UNO DE LOS MUNICIPIOS. FUENTE: ADAPTADO DE [49]	61

1 Introducción

La electricidad es la forma de energía más consumida en el primer mundo, con un crecimiento permanente, y posibilita gran parte de lo que hoy concebimos como bienestar social, se ha convertido en un bien de primera necesidad que sustenta y permite la vida en el primer mundo, ya que es la base de todas las actividades que en él se desarrollan.

El consumo energético (primario) de un país es indicador clave, en relación con el PIB, del grado de desarrollo del país, y esa energía primaria se transforma para producir energía para el consumo, como por ejemplo a la energía eléctrica; con lo que el consumo eléctrico también es indicativo del grado de desarrollo de un país.

El sistema eléctrico primario era un sistema en el que la electricidad, la base y el sentido del sistema, era un bien bastante económico, y abundante, con lo que se produjo una gran expansión sin tener en cuenta conceptos como el de eficiencia energética, lo que ha provocado un sobredimensionamiento del sistema por una falta clara de conciencia al respecto. La infraestructura de la red eléctrica no ha cambiado de forma significativa en los últimos tiempos pero sí que lo ha hecho el estilo de vida de los usuarios, produciendo principalmente un incremento notable de la demanda.

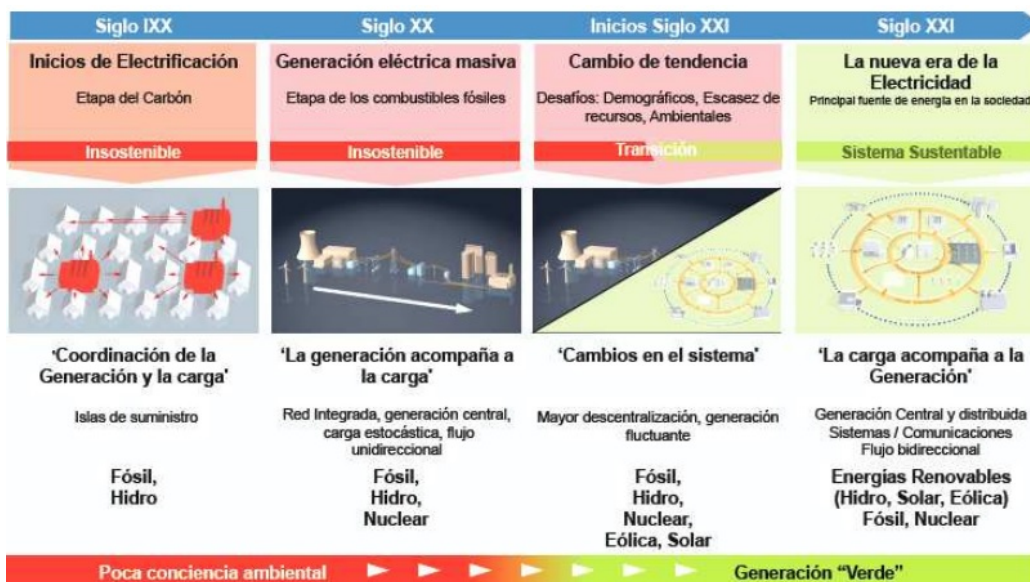


Figura 1-1: Evolución de la red eléctrica. Fuente: [1].

El nuevo modelo de red eléctrica que se espera está basado en la modernización, y para comprenderlo solo es necesario observar la siguiente figura:

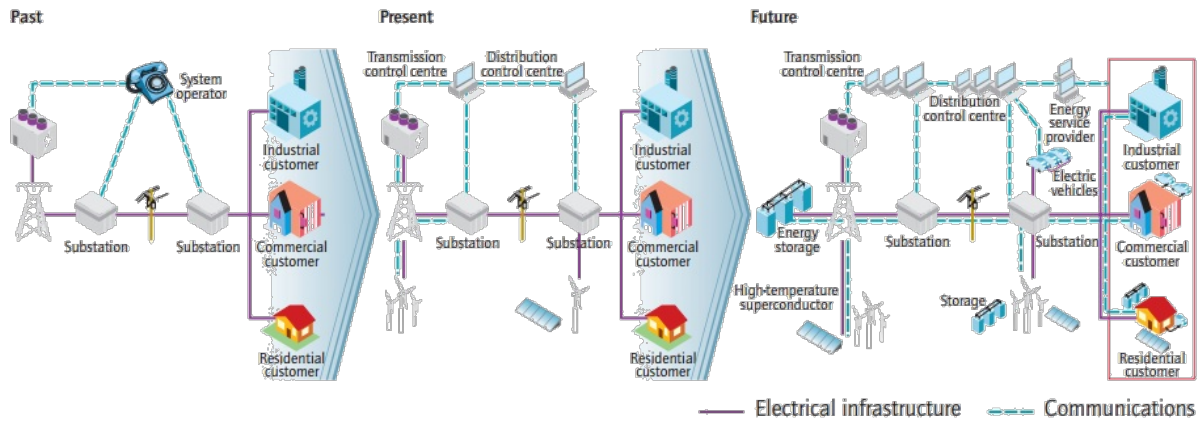


Figura 1-2: Sistemas eléctricos inteligentes. Fuente: [2]

Según las Naciones Unidas[3], se prevé que la población alcance más de nueve mil millones en 2050. Combinando el crecimiento de la población con el de la renta prevista, queda claro que el consumo energético continuará aumentando en el futuro.

Tal y como queda demostrado en [4] la dependencia eléctrica quedó constatada durante el apagón de agosto de 2003 en Estados Unidos y Canadá:“(…)afectó a 45 millones de personas en ocho estados de EE.UU. y 10 millones de personas en partes de Canadá. Las instalaciones de salud sufrieron cientos de millones de dólares en pérdidas de ingresos de los servicios cancelados, responsabilidad legal, y las reputaciones dañadas. Seis hospitales estaban en quiebra 1 año después.”

Se sabe que el cambio climático es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta el planeta, requiriendo medidas a escala mundial para estabilizar la temperatura de la superficie del planeta para evitar daños sin vuelta atrás. En este sentido la UE ha propuesto un paquete integrado de medidas sobre cambio climático y energía que prevé nuevos y ambiciosos objetivos para 2020. El objetivo 20-20-20 pretende reducir un 20% el consumo de energías primarias y emisiones de gases efecto invernadero y aumentar un 20% las energías renovables. El 40% del consumo de energía y el 36% de emisiones de CO₂ pertenecen a edificios residenciales y comerciales. Consiguiendo este objetivo en el 2020 se puede conseguir utilizar un 30% menos de energía primaria. Este acuerdo, representa, por tanto, un paso inicial hacia la Estrategia Baja en Carbono de 2050, que exige en ese año una reducción de entre el 80% y el 95% de las emisiones de efecto invernadero con respecto a los niveles de 1990.

Para hacer frente a este y otros problemas con nuestra red actual de energía, una importante transformación está en marcha para desarrollar el concepto de la red inteligente.

1.1 ¿Qué son las Smart Grids y por qué surgen?

El concepto de Smart Grids (también conocido como Redes Eléctricas Inteligentes o REI) se ha generalizado en los últimos años y es sinónimo de cambio tecnológico en el sector eléctrico[5].

Como se puede comprobar en [6] la forma clásica de consumo de electricidad del sistema consiste en la generación a partir de combustibles fósiles, en unas plantas de generación, y mediante una cadena lineal unidireccional se llega al consumo: generación, distribución, transporte y consumo. La fiabilidad de funcionamiento se consigue fundamentalmente asegurando un exceso de capacidad en el sistema para responder a la posible demanda (reserva).

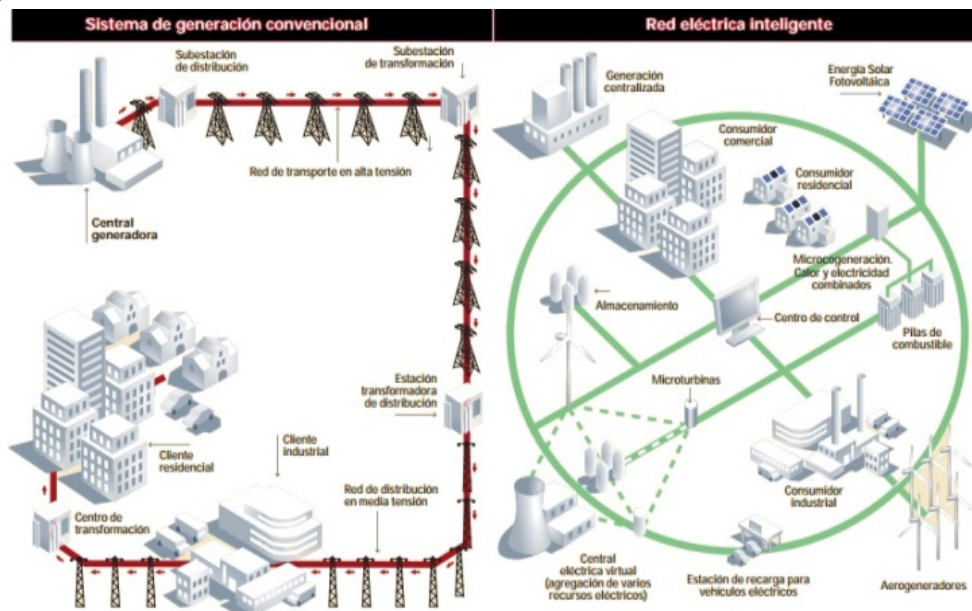


Figura 1-3: Modelo energético actual vs Smart Grids. Fuente [7]

Como se puede comprobar en [8] hoy en día la infraestructura de la red eléctrica cumple, en parte, las expectativas de generación (mediante combustible fósil o renovables), de transporte e incluso parte de distribución, pero desde el punto de vista del consumidor ha de mejorar, especialmente en cuanto a funcionalidades, ha de adaptarse al incremento de la demanda y al aumento de fuentes renovables es decir, donde la distribución no parte de las grandes centrales de producción, sino de otros lugares donde se produce potencia en menor cantidad, lugares variados y diversificados. Además se producen fallos en el sistema, debido a que el monitoreo de red actual es insuficiente, y si los fallos no son detectados se pueden producir daños en cascada por la sobrecarga producida.

No se puede olvidar tampoco que la infraestructura eléctrica es un sistema con instalaciones bastante antiguas que producen altas pérdidas eléctricas.

Como ya se ha comentado se espera un aumento de la demanda así como de las energías renovables; además las necesidades de la sociedad digital no se ven cubiertas por esta red,

por ellos se precisa una nueva evolución del sistema eléctrico promoviendo una red más estable y fuerte, vital para sustentar la sociedad digital actual.

Todo ello ha conducido a la búsqueda de una solución del Sistema Eléctrico actual, que es la transformación de la red eléctrica en una Red Eléctrica Inteligente, más conocido como Smart Grid.

Como se puede leer en [9] una red inteligente es “una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella (generadores, consumidores y aquellos que realizan ambas acciones) con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico.” Pero no hay ninguna definición oficial, con lo que otra definición sería [2] “una red eléctrica que utiliza tecnologías digitales avanzadas para controlar y gestionar el transporte de electricidad a partir de todas las Fuentes de generación para satisfacer las diferentes demandas de electricidad de los usuarios finales. Las redes inteligentes coordinan las necesidades y capacidades de todos los generadores, operadores de red, los usuarios finales y los actores del mercado de electricidad para operar todas las partes del sistema de la manera más eficiente posible, minimizando los costes y el impacto ambiental y aumentar al máximo la fiabilidad del sistema, la capacidad de recuperación y la estabilidad” ; “Una Smart Grid integra electricidad y comunicaciones en una red eléctrica que soporta la nueva generación de energía interactiva y servicios de comunicación, y suministra electricidad de calidad digital al usuario final. En este sentido, la red eléctrica debe estar siempre disponible, interconectada y fuertemente acoplada con las comunicaciones en una red compleja de energía y comunicaciones en tiempo real.”[10]

- Una Smart Grid integra tecnología avanzadas de sensorización y adquisición de datos, métodos de control y comunicaciones en la red eléctrica.
- El concepto de Redes Eléctricas Inteligentes se refiere al uso de las tecnologías de la información y comunicación entre redes eléctricas, garantizando una gestión sostenible y óptima mediante sistemas de medición, control protección y supervisión.

Para entender cómo funciona una Smart Grid ,como se revela en [3],primero hay que comprender el modo de operación de las redes industriales, lo que requiere también un entendimiento de los protocolos de comunicación que se utilizan y el motivo de su uso. Existen protocolos de diferentes tipos: cerrados, abiertos, comunes y especializados para la automatización y control industrial, la mayoría de los cuales están diseñados para aportar fiabilidad y eficiencia a los sistemas de control. Tampoco se puede olvidar que los protocolos citados están diseñados para funcionar en tiempo real, es decir, requiere una disponibilidad continua, obteniéndose una red más amplia de medidas, controles, medición y automatización que definen una red inteligente.

Las Smart Grids suponen una nueva era tecnológica, donde priman la capacidad de resistencia, el rendimiento y la eficiencia de toda la industria energética, desde su generación hasta el consumo, sin olvidar que todo beneficio va acompañado de una serie de riesgos derivados de la era digital, como el robo de datos o la invasión de la privacidad.

En los últimos tiempos los cambios llevados a cabo han sido en las redes de transporte, la operación del sistema eléctrico, la operación del mercado, etc. De distribución a los puntos de consumo apenas ha habido cambios, hasta ahora, que se empiezan sustituir los tradicionales contadores analógicos por los nuevos contadores digitales con características orientadas a incentivar el ahorro del consumo y la telegestión.[8]

Con estas iniciativas lo que se pretende incentivar es la participación de los consumidores finales domésticos en el mercado, tanto como productores (placas solares, microgeneración, etc.) como consumidores (Adecuación de consumo a los precios ofertados).

Las Redes Eléctricas Inteligentes representan la oportunidad de mover la industria de la energía a una era de sostenibilidad, de independencia energética, de eficiencia y de alta disponibilidad. La red inteligente trae consigo múltiples ventajas y beneficios entre las que se encuentran:

Como se destaca en [6] ,las Smart Grids surgen para:

- Alcanzar objetivos medioambientales
- Acomodar un mayor énfasis en la respuesta de la demanda (DR)
- Integrar porcentajes crecientes de energías no gestionables como las renovables eólica o solar
- Soportar las capacidades de almacenamiento
- Soportar la conexión de vehículos eléctricos puros o híbridos (PHEV's)
- Soportar la generación distribuida

1.2 Cuándo surgen

La red eléctrica inicial se inició en 1896, basado en parte en el diseño de Nikola Tesla publicado en 1888, pero recientemente, en los últimos 50 años, las redes eléctricas no han seguido el ritmo de los desafíos actuales, tales como: amenazas a la seguridad, el empleo del poder nacional y la distribución, de alta la demanda, de calidad de la energía y así sucesivamente.

Los primeros pasos de la energía eléctrica se dieron a mediados del siglo XIX con el objetivo de mejorar el sistema de alumbrado público mediante gas existente en la época.

El comienzo de las Redes Eléctricas Inteligentes podemos asociarlo a aparición de los contadores automáticos en 1980, que se utilizaban para monitorear el consumo de millones de clientes, gracias a ello diez años más tarde se creó una infraestructura avanzada capaz de determinar la energía utilizada en diferentes momentos del día.

A partir de los años 90 las redes evolucionaron principalmente en 3 aspectos:

1. Implantación de una Arquitectura de Red. La arquitectura de red establece reglas para la ordenación de la red existente y el crecimiento de la red nueva, basándose en criterios técnicos y económicos y adaptándose a las particularidades del mercado. La finalidad de la arquitectura es conseguir una red sencilla y ordenada, de explotación ágil y fácil.
2. Normalización de instalaciones. Además de ordenar la topología de la red, en los años 90 se hicieron grandes esfuerzos en normalizar la tipología de la misma. Las redes fueron creciendo en los años 90 de una forma más ordenada y más homogénea.
3. Telecontrol en la red de media tensión. El principal motivo que hasta estos años había impedido el despliegue del telecontrol en la red de media tensión era la falta de tecnología para conseguir vías de comunicación fiables y económicas. Las distintas compañías iniciaron su despliegue de telecontrol en aquellos puntos estratégicos de la red de media tensión que les permitían disminuir tiempos de localización de faltas y reposición del servicio

En el 2000 Italia crea el primer proyecto masivo de contadores inteligentes que abarcó cerca de 27 millones de hogares, en este proyecto se utilizó medidores inteligentes conectados a través de una línea de comunicación. Se considera el inicio de las Redes Eléctricas Inteligentes.

El concepto integral de la Red Inteligente fue concebido en el año 2005 cuando se crean las primeras comisiones europeas para dar solución a una serie de nuevas necesidades del Sector Eléctrico, estas comisiones y proyectos de estudio buscan formular y promover una visión de cambio en la generación, transmisión, distribución y regulación de los mercados eléctricos, con el fin de promover y guiar el estudio y cambios requeridos para cubrir dichas necesidades. La aprobación en el Parlamento Europeo (Diciembre 2008) del plan conocido como 20-20-20 para el año 2020 no ha hecho sino potenciar todavía más la necesidad de desarrollar e implantar los nuevos conceptos asociados a las redes inteligentes.

En la última década la industria eléctrica ha experimentado cambios importantes debidos a la amplia utilización e implementación de nuevas tecnologías que permiten un mejor aprovechamiento de los recursos, una mayor eficiencia en la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica y un crecimiento económico ambientalmente sostenible. Es ahí cuando se empieza a hablar de Smart Grid.

1.3 Características

Con las Smart Grid se ofrecen servicios energéticos, soluciones integradas, tarifas a la medida y nuevos usos de la electricidad. Los beneficios para los usuarios son visibles, incluyendo desde la lectura exacta de consumo, adaptación de tarifas según los hábitos de consumo , operaciones remotas como dar de alta, baja, modificar o reconectar la

electricidad sin necesidad de la intervención del cliente, información detallada sobre la energía consumida y su precio con el fin de promover el ahorro y eficiencia energética.

Como se apunta en [11] las características son:

- **Flujos bidireccionales:** La creciente generación a través de energías renovables ha provocado un cambio de flujo de energía en la red eléctrica, ahora los usuarios no solamente consumen sino que también producen electricidad a través de la misma red. Esto permite también monitorear el rendimiento de los equipos, especialmente en el caso de grandes edificios y realizar recomendaciones operativas a favor del ahorro.
- **Participación activa del consumidor basada en información:** es una oportunidad para cambiar la disponibilidad y eficiencia energética. Sus beneficios son el gran impacto y ganancias desde la transmisión más eficiente de electricidad, restablecimiento más rápido de la energía después de sobrecargas o apagones, la búsqueda de una mayor eficiencia para el sistema y para el cliente, hasta la reducción de costes para los consumidores.
- **Eficiencia energética:** La mejor forma de reducir la contaminación, y los costes de la generación eléctrica está claro es reduciendo el consumo de energía, por eso es muy importante la eficiencia, mediante un sistema digital se consiguen minimizar las pérdidas y aumentar la fiabilidad del sistema. Un ejemplo de ello son los contadores inteligentes o SmartMeters que permiten a los operadores ver en tiempo real lo que está sucediendo en las redes y, por ejemplo, en el momento de corte de suministro lo sabrán en el acto. Como se tienen datos de consumos reales directos se podrá optimizar la generación, gestionando mejor las cargas.
- **Fiabilidad:** Al envejecer la red los apagones se hacen más frecuentes y las pérdidas por transporte se maximizan, produciendo una disminución de la calidad de la energía, especialmente debido a que “no se ve lo que está ocurriendo” , mientras que con el sistema de comunicación en tiempo real este problema se minimiza hasta desaparecer, especialmente gracias a:
 - Identificar la infraestructura que necesita ser reparada.
 - Incluir una mayor automatización, la cual ayuda a la red a proteger, controlar y comunicarse con sus elementos, determinando rápidamente los problemas y resolviéndolos.
 - Usar Fuentes de generación diferentes, en lugar de plantas centralizadas de energía, y utilizar tecnología de última generación para asegurarse de que si una Fuente está fallando, la electricidad puede ser inmediatamente enviada a la red procedente de otras Fuentes, ajustando y reorientando la energía de forma rápida y eficaz.
 - Identificar los equipos dañados a través de controles automatizados, de modo que puedan ser reemplazados o reparados antes de que fallen.

- Poseer un software de estabilización de suministro, buscando los primeros signos de un apagón en cascada y haciendo los ajustes necesarios sin mucho más control manual.
- Energías renovables: El principal problema de las energías renovables es que no son constantes, dependen de la meteorología, lo que complica su establecimiento en red. El almacenamiento de energía y las tecnologías de comunicación que aportan las Smart Grids son una buena solución para integrar estas Fuentes renovables en el sistema, y así poder equilibrar la demanda global.
- Seguridad: El propio estado de la red general es en ocasiones el problema, lo que se detecta rápidamente cuando en muchas ocasiones es la llamada de un cliente la que alerta de la falta de energía en una línea, en cambio en las Smart Grids el propio sistema alerta al operador lo que evita un fallo en cascada, además las Smart Grids, una vez repuesta la energía, permiten un análisis mucho más rápido y exhaustivo de los motivos de la interrupción.
- Tal y como se indica en [12] una característica fundamental es la capacidad de gestionar en tiempo real un volumen de información muy grande acerca del estado de generación y del estado de las redes de transporte y distribución, así como de los usuarios finales. Esto tiene implícita la necesidad de disponer de una infraestructura estable, escalable, confiable y segura.

Las características vistas se pueden resumir en la tabla 1-1:

Tabla 1-1: Cuadro resumen de las características de las Redes Eléctricas Inteligentes. Fuente: Creación propia.

Flexibilidad	Flexible y adaptable a las necesidades cambiantes del sistema eléctrico.
	Bidireccional: flujo productores-consumidores.
Inteligencia y Seguridad	Capaz de operar de forma segura, automática y simple.
	Dispone de información remota en tiempo real.
	Permite operaciones e la red sin necesidad de descargas.
Eficiencia	Permite maximizar su uso adaptándose a la demanda minimizando el desarrollo de redes.
Apertura	Permite la integración de las energías renovables sin problemas.
	Facilita el desarrollo del mercado eléctrico.
Sostenibilidad	Respetuoso con el medio ambiente.

1.4 Objetivos de las Smart Grids

“El proyecto Smart Grid aspira a desarrollar una red eléctrica más eficiente y fiable, que mejore la seguridad y calidad del suministro de acuerdo a los requisitos de la era digital.” [13]

El principal objetivo, como se indica en [2], que se consigue con las Redes Eléctricas Inteligentes es unir en un punto los intereses del sistema eléctrico con los de los consumidores ó clientes. LA clave es que es un proceso de evolución continua, no un evento puntual que se lleve a cabo de una vez y se obtenga la Red Eléctrica Inteligente.

Generar una metodología de trabajo sobre la base de los conceptos teóricos ya conocidos para facilitar el incremento de la eficiencia energética así como su confiabilidad, ofertados y centralizados en el cliente, es lo que se necesita investigar en la actualidad. Las motivaciones para optar por un proyecto de este tipo será el interés sobre la etapa más importante de un Smart Grid que es el consumidor final y de la misma manera que una operadora de telefonía celular oferta servicios pos-venta, hacerlo con el suministro eléctrico, de tal manera que se genere un Smart Grid pensando también en cliente-consumidor.

Los objetivos de diseño de esta nueva red incluyen:

- Capacidad de detectar sobretensiones y enrutar la electricidad por caminos alternativos para minimizar apagones. En este mismo sentido se busca que la Red sea capaz de funcionar de manera autónoma, es decir, que pueda tomar decisiones rápidas de forma eficiente y efectiva, acorde con los objetivos de la compañía eléctrica, consumidores y reguladores.
- Por otra parte las Redes Eléctricas Inteligentes han de ser robustas ante cualquier tipo de problema: ciberataques, ataques físicos o ciberataques, minimizando las consecuencias y reanudando la actividad normal rápidamente, es por ello que se intenta no centralizar.
- Eficiencia de la red para poder aumentar la generación y la demanda, sin necesidad de añadir infraestructuras, gracias a homogeneizar la red sin aumentar los costes, gracias al cambio en la curva de la demanda.
- Eliminar o reducir las centrales térmicas de punta o parche, que son centrales viejas y que emiten muchísimos contaminantes, y simplemente están a la espera de que se produzcan grandes picos para entrar en operación, es decir, por una parte contaminan mucho, y por otra reciben un dinero por el mero hecho de “estar a la espera”.
- Permite la incorporación efectiva al sistema eléctrico de los huertos solares y parques eólicos, además de todos los sistemas de microgeneración.
- El cliente puede decidir cómo, cuándo y cuanta electricidad usa, adaptando esto a sus preferencias, a su presupuesto, compromiso con el medio ambiente, etc.

- Mejorar la calidad de la energía suministrada, evitando fluctuaciones e interrupciones.
- Reducir el cambio climático: como se ha explicado en el apartado de características y en los objetivos anteriores se consigue una energía más “verde”.
- Actualmente existe una campaña generalizada en favor de los vehículos eléctricos, todo indica que su implantación en un futuro será masiva, con lo que la red ha de ser capaz de incrementar la demanda, con lo que se pueden utilizar las baterías de los PHEVs como acumuladores de energía, aportando una reserva energética para prevenir los picos de consumo.

El hecho de apostar por energías renovables reduce la dependencia energética del exterior, aumenta la fiabilidad del sistema y disminuye las emisiones

1.5 Obstáculos y riesgos para la integración de las Smart Grids

Como se desprende de [14], uno de los principales obstáculos que presenta su implantación es que requiere una gran fiabilidad de suministro, y el “miedo” al cambio en los flujos tradicionales de energía.

También supone un reto porque la demanda eléctrica será función de los precios de mercado, y de previsión e la demanda. Por otra parte las redes de comunicación han de ser lo suficientemente amplias. Se debe producir a su vez una apertura de los mercados eléctricos junto con una flexibilización del marco normativo a la vez que unas políticas de concienciación social sobre el ahorro energético, se produce a su vez una preocupación sobre la seguridad y fiabilidad de la red, así como de la protección de datos.

Las normativas y regulación actuales imponen unas barreras y limitaciones claras para el despliegue de las Smart Grids, en parte, posiblemente, debido al propio interés de las compañías eléctricas, que hasta ahora económicamente los números hablan claramente a su favor, viendo en este nuevo reto un enemigo claro debido al cambio de las reglas del “juego” de la generación, distribución y consumo.

Al cambiar el modelo de negocio se aumentan los riesgos de la actividad, entonces aumentan también los costes de financiación, esto se traduce en la disminución de la rentabilidad de las inversiones.

Las Redes Eléctricas Inteligentes llevan adosadas la integración de sistemas computacionales que podría traer riesgos extra de ciberseguridad Smart Grid conlleva la integración de sistemas computacionales, lo que podría hacer aparecer nuevos riesgos de ciberseguridad para los sistemas de gestión y distribución de las nuevas redes. Según se indica en el Informe de EPRI[15]: *"La seguridad cibernética es un problema crítico debido a la posibilidad cada vez mayor de ataques cibernéticos y los incidentes críticos en contra de este sector, ya que se vuelve cada vez más interconectado"*. El volumen y detalle de información que habrá de cada consumidor supondrá graves problemas en el caso de usarlo indebidamente.

Después de ver esto, podríamos clasificar los obstáculos de las REI en tres grandes grupos:



Figura 1-4: Factores que obstaculizan la implantación de Redes Inteligentes. Fuente: creación propia.

Para vencer esos impedimentos se requiere un trabajo conjunto de reguladores, compañías eléctricas, clientes y proveedores. Pilares de las Redes Eléctricas Inteligentes.

1.6 Curvas de demanda

Las curvas de demanda son la representación gráfica de la demanda energética en función del tiempo, en este caso se ha considerado el sistema peninsular de España. Las curvas de demanda se pueden observar de forma global o por sectores.

1.6.1 Curvas de demanda por sectores

En el caso industria la curva sería una curva plana, ya que el consumo es constante y homogéneo.

En el sector servicios la curva tiene dos picos, uno por la mañana y otro máximo por la tarde, debido a “la hora del café” por la mañana y por las tardes después del trabajo.

En el sector residencia el máximo es por la tarde, después de la jornada laboral.



Figura 2-5: Curva de demanda según el sector. Fuente: [17]

1.6.2 Curva general de demanda

Consultando la demanda de un día de invierno y uno de primavera, que están reflejados en la siguientes figuras vemos que se trata de curvas polinomiales crecientes y decrecientes, con varios máximos y mínimos (en la figura aparecen redondeados con color morado), lo que se traduce en una demanda no uniforme a lo largo del día, lo que se traduce en una generación no uniforme, con lo que se ve que el sistema tiene que ser regulado para poder controlar estas subidas y bajadas en la demanda.

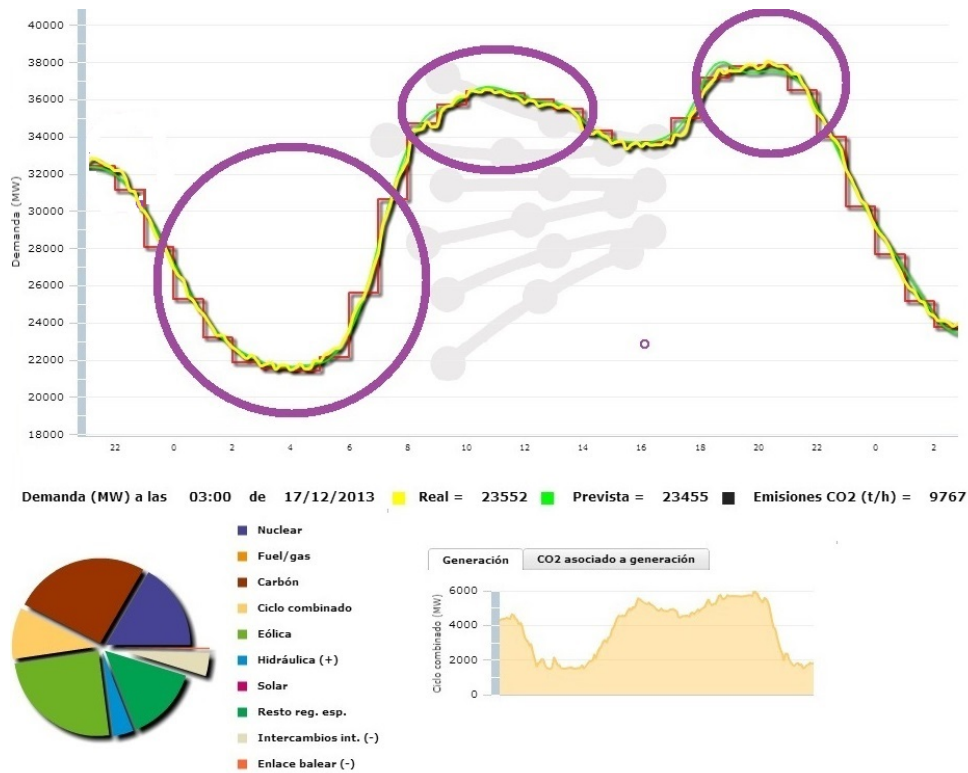


Figura 2-6: Curva de demanda eléctrica día 17/12/2013, generación y emisiones de CO2. Fuente: [17]

En las dos figuras, las horas de mayor y menor consumo son similares, mayores en diciembre(Figura 2-2), sobre todo por las tardes el consumo se incrementa antes y el valor de la demanda en invierno aumenta, debido a que en invierno a luz natural es menor con lo que el consumo de electricidad para iluminación se ve incrementado notablemente. Al observar la demanda, la variación entre la demanda prevista y la real ha sido una aproximación deficiente en 107 MW en el caso del 17 de diciembre y de 265 MW en el caso del 3 de junio.

Las conclusiones del estudio de ambas figuras dejan entrever unos puntos básicos:

- Relación pico/valle muy elevada.
- Durante la noche la demanda es muy baja.
- Las renovables que generen gran cantidad de energía durante las horas valle más significativas se verterán y será una gran pérdida, principalmente la energía que más problemas plantea en este punto es la eólica, por ser la que más produce durante la noche.

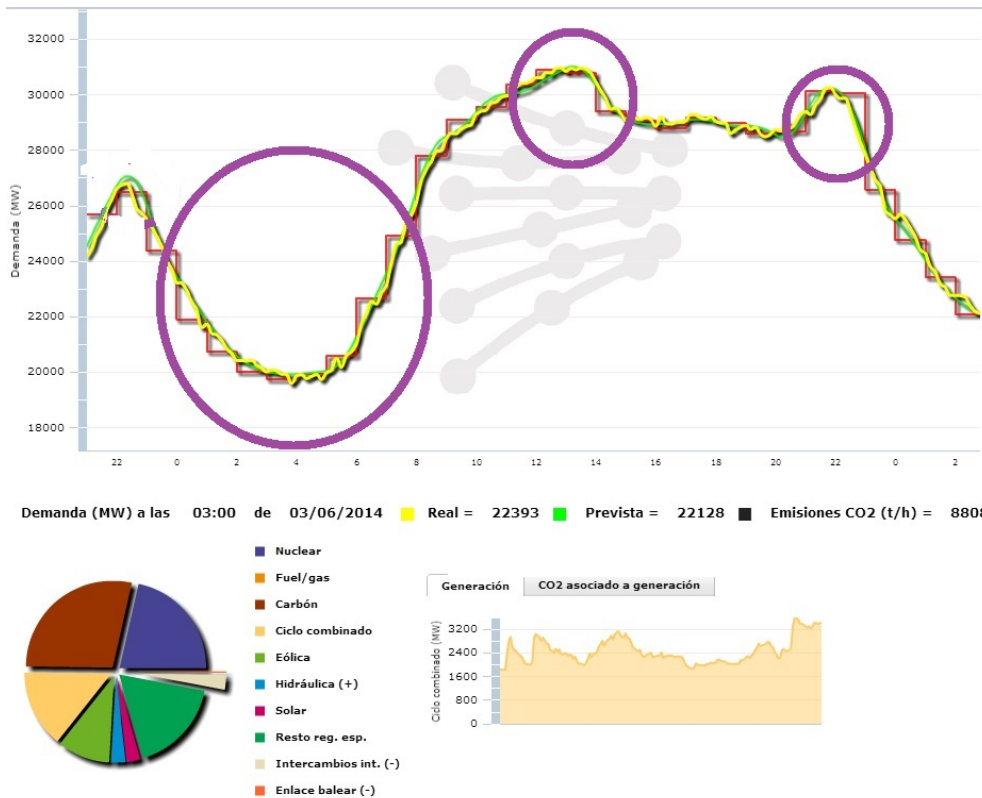


Figura 2-7: Curva de demanda eléctrica día 03/06/2013, generación y emisiones de CO2. Fuente: [17]

Estos tres puntos problemáticos son la base a resolver para conseguir una curva más homogénea. En la siguiente figura se puede ver cómo sería una curva perfecta e ideal, que consiste en disminuir los picos y aumentar los valles, disminuir el consumo general, mejorar los procesos industriales:

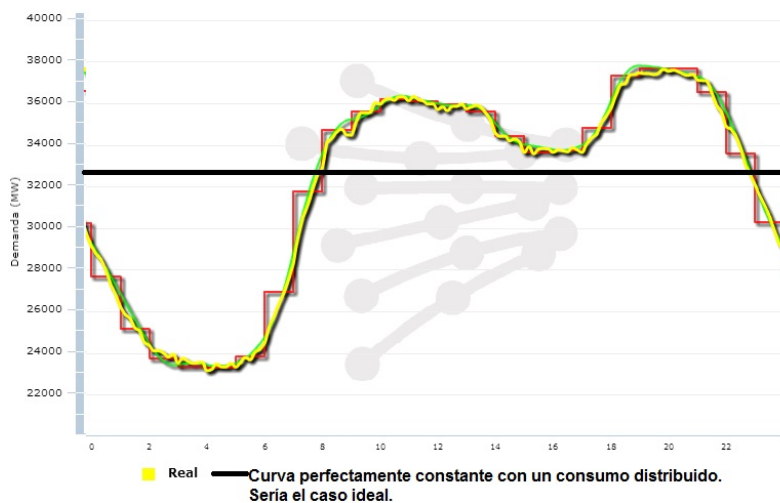


Figura 2-8: Curva de demanda actual con curva ideal. Fuente: Adaptación de [17].

La cuestión es cómo conseguir esa curva, que es uno de los objetivos principales de las REI, y se explica en los siguientes apartados.

2 Principios y elementos de las Smart Grids

En este capítulo se desarrollará un estudio sobre el funcionamiento de las SmartGrids, los pilares sobre los que se fundamenta, las micro redes, así como de las tecnologías que utiliza para su correcto funcionamiento, y los beneficios que aporta junto con la funcionalidad.

2.1 Pilares de las Redes Eléctricas Inteligentes

Los pilares básicos en los que ha de basarse una REI son: generación distribuida, autonomía en su control y tecnologías de la información para transmitir y manejar todos los datos.

A pesar de que muchas empresas se han centrado en la medición inteligente, una Red Eléctrica Inteligente no se reduce a ello, de hecho es posible tener redes eléctricas sin tener contadores inteligentes (Smart Meters). A pesar de ello existen beneficios en estos contadores como por ejemplo la información, las tarifas diferenciales etc., todo ello encaminado a reducir la demanda cuando los precios son elevados o la fiabilidad o calidad de energía no son suficientes.

Las redes eléctricas están automatizadas en su mayor parte por ser base del sistema eléctrico, para prestar mayor continuidad del suministro, así las redes disponen de sistemas telecontrol y tele supervisión que permiten localizar el defecto, reconfigurar las redes para aislarlo y reponer el servicio de manera automatizada y en el menor tiempo posible. Sin embargo, la red de distribución carece actualmente de este grado de automatización. Con la introducción de la generación distribuida, o la gestión activa de la demanda, se hace también indispensable la automatización de la red de distribución.

En este sentido, gran parte de la evolución de la red eléctrica actual hacia una Smart Grid tendrá su pilar en la red de distribución. Por tanto, el mercado de la automatización de la red de distribución deberá evolucionar al alza, de la misma manera que este tipo de instalaciones o servicios vaya ganando peso en la red eléctrica del futuro. Dentro de la automatización de la red de distribución tienen cabida diferentes conceptos como el sistema de gestión de distribución (Distribution Management System, DMS), la automatización de líneas (Feeder Automation, FA) o la automatización de subestaciones (Substation Automation, SA).

Según se extrae de [21] la empresa INDRA destaca 5 pilares básicos de las redes inteligentes: generación distribuida, eficiencia energética, gestión de la demanda, vehículo eléctrico y Smart Meters, y con su integración se facilitará la oferta de servicios adicionales, con el mismo nivel de fiabilidad y calidad.

Por su parte la compañía E.ON destacó tres pilares básicos, para obtener una actualización regulatoria que adecue el nuevo concepto de Red: REÍ, que son: generación distribuida y

vehículo eléctrico, desarrollo de nuevos mecanismos, como el balance neto, y un nuevo marco de operación (PODs). Para ello, es necesario tener en cuenta los siguientes principios:

- Adecuado reconocimiento de inversiones en la futura red distribución.
- Gestión eficiente de flujos bidireccionales de energía en la red.
- Nuevas herramientas de gestión de la demanda.
- Separación de actividades.
- Seguridad de la información.
- Mecanismos para asegurar el control de la calidad y la seguridad de suministro.

Desarrollando esto más los pilares podemos observarlos en la siguiente figura:

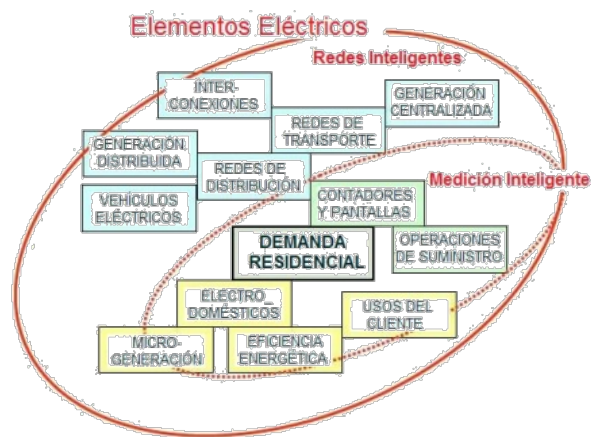
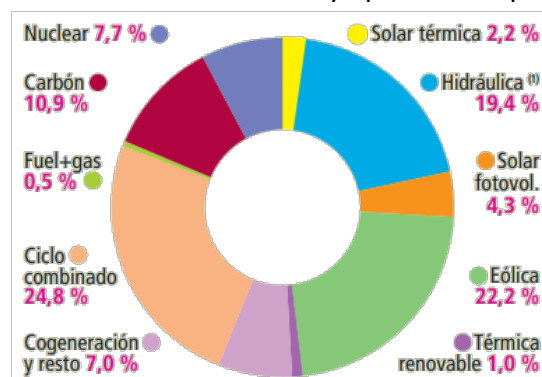


Figura 2-1: Elementos eléctricos de las REI. Fuente: [22]

2.2 Nuevas tecnologías de generación

Uno de los objetivos principales de las Redes Eléctricas Inteligentes es integrar las Energías Renovables.

Si nos centramos en España, se puede ver en la figura 2-2 la potencia instalada relativa, a fecha de 31 de Marzo de 2014 [16] para ver el porcentaje de renovables o energías no típicas, como por ejemplo ciclos combinados que en ocasiones están instalados en fábricas que utilizan energía calorífica en sus instalaciones y aprovechan para producir electricidad.



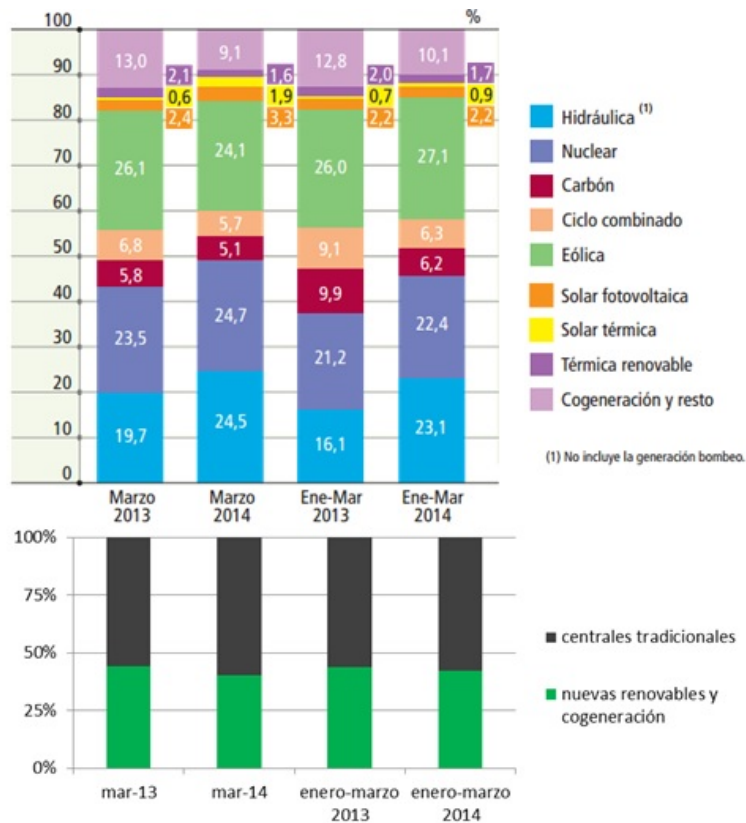
(1) Incluye la potencia de bombeo puro.

Figura 2-2: Estructura de la potencia instalada a 31 de Marzo de 2014. Fuente: [17]

Después de analizar la figura se puede decir que al menos el 37% de la potencia instalada, sin incluir las centrales hidráulicas ya que están totalmente integradas en el sistema, se puede generar en forma de renovables, o como cogeneración, que no es la forma típica de producir hasta ahora. Los problemas de estas nuevas Fuentes de energía son principalmente tres:

1. Por una parte los puntos de generación: suelen ser centros aislados, montes, montañas, zonas desérticas, etc.
2. Por otra parte la generación en muchas ocasiones es micro cogeneración, no son grandes centrales sino pequeñas instalaciones de por ejemplo 500kW, algo impensable hasta hace unos años.
3. Las energías renovables no se producen de forma continua, por lo que su generación no puede ser prevista a largo plazo.

Lo que hemos visto hasta ahora es la potencia instalada, esto es la capacidad de generar energía, pero la capacidad no implica que, en efecto, se genere, especialmente en las renovables, tan dependientes de la meteorología, y es por ello que en la siguiente figura podemos observar un análisis porcentual de la producción real trimestral (enero-marzo), comparada con el mismo periodo del pasado año, y mensual. Se ve que prácticamente el 50% de la generación ha sido gracias a instalaciones no tradicionales. También se aprecia una ligera disminución respecto al año anterior, lo que se debe a las políticas energéticas del país, que ha reducido las primas (o eliminado incluso) a las energías renovables y a la cogeneración.



Figuras 2-3: Estructura de la cobertura de la demanda. Fuente: Adaptado de [17; 16]

Como se aprecia en las figuras anteriores las energías renovables junto con la cogeneración forman un punto clave energético en la actualidad y lo harán aún más en el futuro cuando las Redes Eléctricas Inteligentes estén implantadas finalmente.

Con la implantación de las REI lo que se consigue es gestionar toda la energía producida de manera más eficiente y con medidas reales en el momento exacto, lo que permitirá a su vez gestionar mejor las centrales convencionales, que emiten gran cantidad de contaminantes a la atmósfera, reduciendo de esta manera las emisiones.

Como se desprende de [18], en 2011 España tenía el sector de paneles solares concentrados más grande del mundo y figuraba dentro de los cinco primeros productores del mundo. Por ello, el hecho de que el mercado de energías renovables en España esté tan desarrollado favorecerá que la rápida introducción de tecnologías de redes inteligentes beneficie claramente a las empresas de servicios públicos del país.

2.2.1 Integración de las nuevas tecnologías de generación en las REI

La energía producida mediante energías renovables varía notablemente según los factores medioambientales, mientras que la energía convencional derivada de combustibles fósiles es constante y predecible. Debido a ello las capacidades de las redes inteligentes han de ser cambiantes y adaptables.

Estas nuevas tecnologías están compuestas por sensores para controlar las numerosas y dispares localizaciones de generación de energía en el caso de las renovables. Estos elementos pueden continuamente monitorizar los niveles de energía a través de la red y comunicarlos a las compañías ayudándolas de esta forma a asegurarse de que están equilibrados a lo largo de la red y evitar cualquier potencial interrupción. Esta habilidad para comunicarse con los generadores renovables y asegurarse de que la energía está equilibrada y segura es vital para el funcionamiento diario de la red. La red inteligente, a través de medidores inteligentes, será capaz de abordar esta situación y ayudar a los consumidores a reducir su consumo de energía.

Los sensores permiten a los consumidores un manejo y monitorización más efectivo del uso de su energía proporcionándoles un mejor entendimiento de sus patrones de consumo, y gracias a ellos pueden ser capaces de identificar fácilmente cuánta energía están usando e identificar áreas en las que pueden reducirla.

De la lectura de [19] se puede extraer que según la potencia de generación se puede clasificar la dimensión de la generación, como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 2-1: Clasificación de la generación. Fuente: Adaptación de [19]

	Pequeña escala	Escala comercial	Escala comercial
Potencia	Hasta 100kW	Hasta 1 MW	Más de 1 MW
Principales tecnologías	Solar fotovoltaica, eólica, hidráulica.	Solar fotovoltaica, eólica, hidráulica, cogeneración industrial, biomasa.	Solar fotovoltaica, eólica, hidráulica, cogeneración industrial, biomasa.
Conexión	Carga de usuario	Carga de usuario	Red de distribución

Los pasos a desarrollar para la integración de las energías renovables son:

- Evaluación de los recursos primarios solar, eólico, hidráulico y biomásico con fines energéticos. En un futuro entre estos recursos primarios se encontrarán más energías que están aún en fase de desarrollo.
- Evaluación de las características de la red y determinación de ubicaciones posibles para desarrollo de las instalaciones híbridas.
- Determinación de la magnitud de la intervención en función de aspectos técnicos, económicos, sociales, etc.
- Desarrollo del proyecto de detalle de instalaciones tipo.
- Determinación de las especificaciones técnicas de los componentes de las instalaciones. (generación, regulación, inversores, medición de energía bidireccional, acoplamientos, etc.)

- Desarrollo de pliegos, especificaciones de compra, análisis de costos, evaluación de proveedores.
- Supervisión de la implementación y puesta en marcha de las instalaciones.
- Establecer las condiciones tarifarias de la experiencia piloto.
- Estudios eléctricos acerca de protecciones, seguridad, calidad de la energía, límites, etc.

2.3 Modelo conceptual y arquitectura

Como se extrae de [23], el modelo conceptual se plantea como un conjunto de diagramas y conocimientos que son la base para poder debatir las características, usos, requisitos y estándares relativos a las Redes Eléctricas Inteligentes. El modelo conceptual es una buena herramienta para describir y discutir la arquitectura final, que no tiene porqué ser la misma. En la siguiente figura se ven las claves de la interoperabilidad para poder avanzar en la integración.

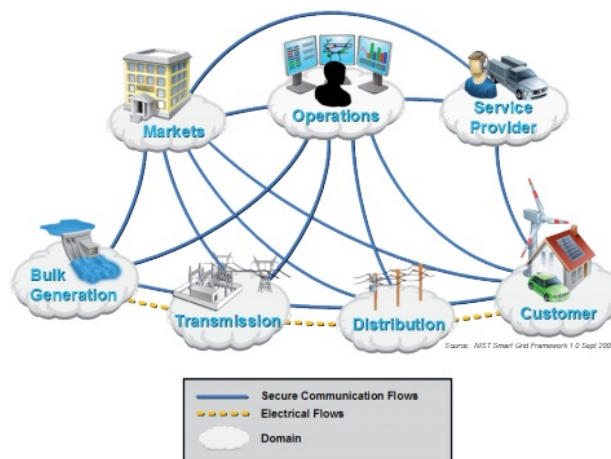


Figura 2-4: Modelo conceptual. Fuente: [23]

El modelo conceptual se compone de varios *dominios*, cada uno de los cuales contiene muchas aplicaciones y los *actores* están conectados por las *asociaciones*, las mismas que tienen *interfaces* en cada extremo.

En color amarillo con línea discontinua se ven las interfaces eléctricas, y las líneas azules continuas representan las interfaces de comunicación. Estas interfaces pueden ser bidireccionales. Las interfaces de comunicación no representan conexiones físicas sino lógicas de información entre los diferentes dominios.

Las cuatro áreas funcionales son representadas según se ha hecho convencionalmente la división eléctrica de la red eléctrica: generación, transporte, distribución y consumo, donde la energía entre ellos fluye de manera unidireccional de izquierda a derecha, pero como se ha explicado anteriormente, con el cambio a un modelo bidireccional y la integración de las energías renovables, el modelo de la red se altera.

Este modelo descrito es una forma útil para apreciar las interacciones y las aplicaciones potenciales y capacidades habilitadas por estas interacciones.

Por otra parte, en la siguiente figura podemos ver un diagrama conceptual donde se ven todos los dominios, donde se ve que el modelo conceptual es descriptivo y no prescriptivo. Tiene el propósito de fomentar la comprensión de las complejidades operacionales de redes inteligentes, pero no la intención de prescribir cómo un grupo de interés particular.

Cada uno de los siete dominios es una agrupación de diferentes personas, sistemas, programas informáticos y dispositivos, que se basan o tienen en común, aplicaciones similares.

En cada uno de los dominios las características son comunes y los requisitos similares.

- Mercados
- Operaciones
- Proveedores
- Puntos de generación grandes (grandes centrales generadoras)
- Transmisión
- Distribución
- Consumidores

Transmisión y distribución a menudo comparten redes, por lo que son dominios superpuestos.

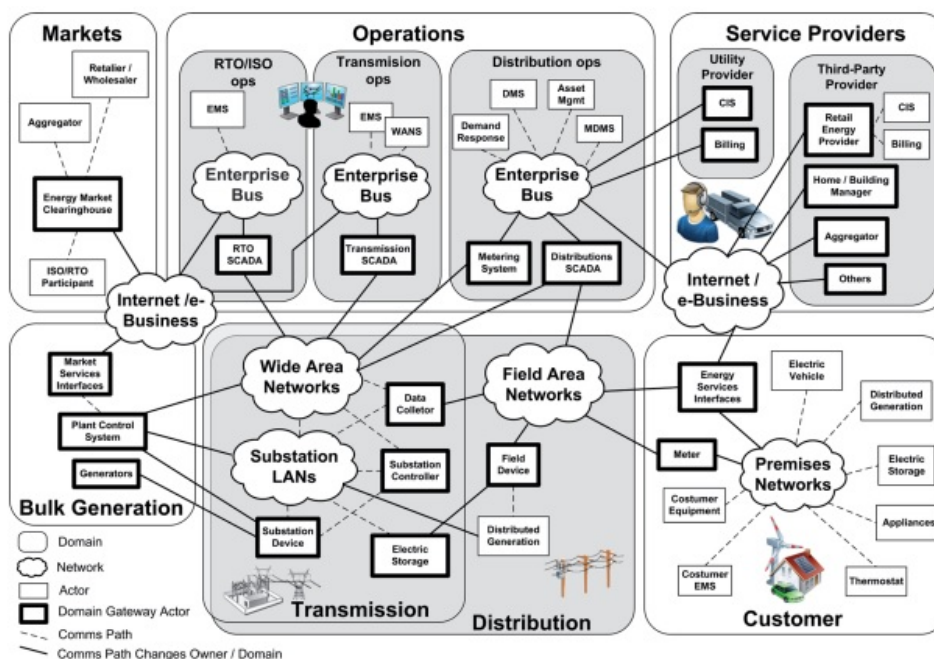


Figura 2-5: Diagrama de referencia conceptual para integración de los siete dominios del modelo conceptual.

Fuente: [23]

- **DOMINIO:** Las interconexiones entre los diferentes dominios se hacen mediante redes que incluyen conexiones entre aplicaciones de centros de control de los dispositivos, especialmente dispositivos inteligentes, que pueden ser implementados usando una combinación de público y no público, que requieren ambas la aplicación y el mantenimiento del control de acceso y seguridad apropiados para apoyar la red inteligente
- **ACTOR:** Es un programa informático, dispositivo, programas informáticos, personas u ordenadores que participa en la Red Inteligente. Tiene la capacidad de poder tomar decisiones y para intercambiar información con otros actores. Pueden aparecer en más de un dominio, cada actor puede coexistir en varios dominios y diferentes variedades.
- **PUNTES ENTRE ACTORES:** es un actor en un dominio que interactúa con agentes de otros dominios o en otras redes. Pueden utilizar una variedad de protocolos de comunicación; por ello pueden utilizar un protocolo de comunicación diferente en el mismo dominio según el actor, o hacer varios protocolos similares.

Como se extrae de [24] la generación y transporte convencionales coexisten en el futuro modelo, a pesar de que la mayoría de los puntos estarán interconectados., y la gran mayoría de la generación será sustituida como se ha comentado, y pasará de ser principalmente generación a partir de combustible fósiles a llegar a una generación a partir de renovables mayoritariamente, generación distribuida y almacenamiento.

A modo comparativo se puede decir que las Smart Grids evolucionarán como lo han hecho las redes de conexión a internet y el propio internet.

La REI será un sistema jefe de sistemas que combina multitud de tecnologías y que es base, junto con los siete dominios, como se ve en la siguiente figura, y proporciona el modelo conceptual facilitando la interoperabilidad entre dominios.



Figura 2-6: Modelo para la implantación de Smart Grid. Fuente: [12]

2.4 Niveles

De [25] se extrae que la interrelación de las REI está basada en una serie de niveles que han de funcionar correctamente por separado, para que en su conjunto la red funcione perfectamente.

Los niveles de las Redes Eléctricas Inteligentes son tres: a nivel usuario, a nivel local y a nivel global.

2.4.1 Nivel usuario

El usuario es una de las claves de estas redes, ya que de ser una parte pasiva, se convierte en activa; es decir, se convierte en una empresa que puede comprar y vender electricidad.

El contador inteligente es la base de muchas propuestas e iniciativas, como la monitorización de consumos, el almacenamiento, la red de vehículos eléctricos etc.

En cuanto al almacenamiento se puede consultar el apartado correspondiente en este documento.

2.4.2 Nivel local

Este nivel está totalmente ligado a la gestión de micredes, es decir, a la gestión de parte de la red y la interrelación de las diferentes micredes.

Cuanto más pequeña sea una red más fácil será su gestión, es por ello que se divide en micredes, que se controlan y gestionan más fácilmente, consiguiendo así una optimización de las REI.

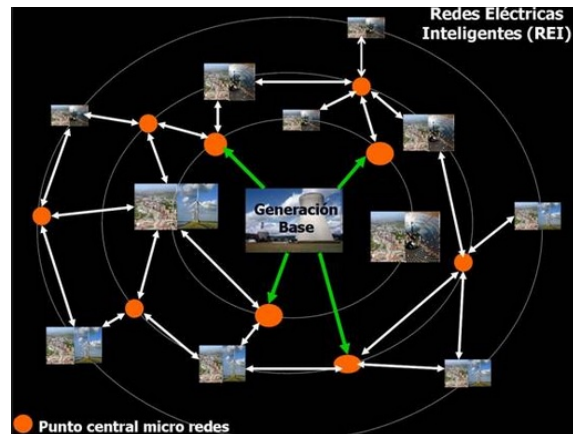


Figura 2-7: Interrelación de micro redes. Fuente: [25]

El nivel local tiene las ventajas:

- Robustez
- Optimización
- Favorece las Fuentes renovables y energía autóctona
- Disminuye la dependencia energética.

EL nivel local tiene las desventajas:

- Al producirse una central virtual existe un punto, además es único, de interconexión entre micro redes, por lo que la vulnerabilidad de este punto es clara.

2.4.3 Nivel global

Este nivel está definido no solo por la nación, sino por la red considerada internacional.

Se produce una conexión entre niveles locales, con lo que se conectan las Fuentes de generación renovables de cada zona, consiguiendo un buen mix energético.



Figura 2-8: Nivel global. Fuente: [17]

2.5 Principio básico de las Smart Grids

Ya se ha visto anteriormente en que consiste una Smart Grid, y también que el principio básico es el flujo bidireccional tanto de información como de electricidad desde el consumidor final hasta las centrales generadoras. Para conseguirlo hay que tener un sistema basado en cinco pilares:

1. Generación distribuida.
2. Gestión de la demanda.
3. Contadores inteligentes.
4. Coches eléctricos.
5. Almacenamiento de energía.

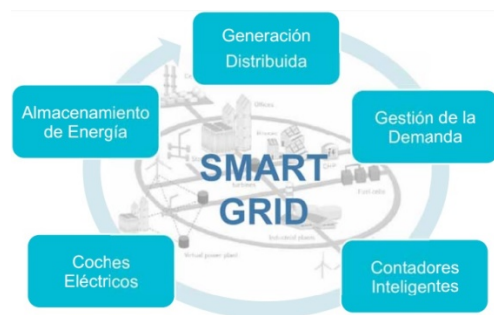


Figura 2-9: Pilares básicos de una Smart Grid. Fuente: [7]

En la figura 2-10 se ve entorno de las Redes Eléctricas Inteligentes:

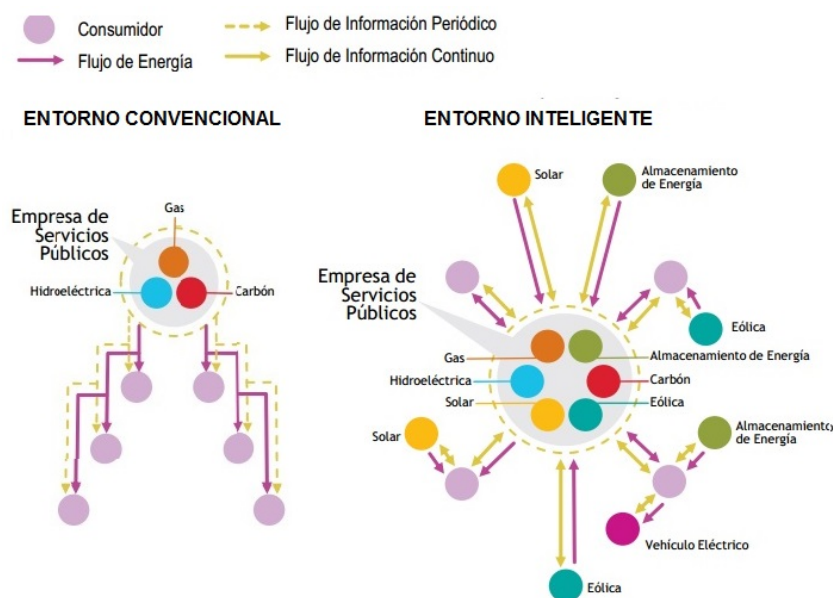


Figura 2-10: Entornos convencional e inteligente de funcionamiento de una red eléctrica. Fuente: [26]

Los propósitos de las REI se especifican en la tabla 2-2:

Tabla 2-2: Funciones de las REI. Fuente: Adaptación de [27].

PROPÓSITOS	FUNCIONES DE LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES								
	Seccionamiento y reconfiguración automática de alimentadores	Transferencia automática de cargas y reconfiguración de alimentadores	Control automático de voltaje y de fuentes de potencia reactiva	Monitoreo, diagnóstico y notificación de condición de equipo	Medición y administración de la demanda en tiempo real	Determinación de capacidad dinámica en equipos	Generación distribuida	Monitoreo de área amplia y visualización	Limitadores de corriente de fallo
Reducir pérdidas de distribución		x	x		x				
Prever y reducir fallos en el equipo de Generación, transporte y distribución				X					
Optimizar programas de mantenimiento de equipos eléctricos				X					
Mejorar el aprovechamiento de la capacidad instalada		X				X			X
Reducir los riesgos de operación	x	x		x				x	
Incrementar la eficiencia en el consumo					x				
Incrementar el acceso a la electricidad: electrificación de nuevas zonas							X		
Mejorar la continuidad y calidad del servicio	x				x				

2.5.1 Generación distribuida

La generación distribuida, conocida también como energía distribuida, GD, generación in-situ, embebida, descentralizada o dispersa, puede definirse de diferentes maneras como son [28]:

- El DPCA (Distribution Power Coalition of América) la define como, " cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos más cercanos al consumidor que la generación centralizada y que se puede conectar directamente al consumidor o a la red de transporte o distribución. "
- La Agencia Internacional de la Energía (IEA, International Energy Agency) En 2002, la define como "La producción de energía en las instalaciones de los consumidores o en las instalaciones de la empresa distribuidora, suministrando energía directamente a la red de distribución."
- EscoVale Consultancy, especialista del sector del Reino Unido, amplía el rango de potencias hasta 100 MW, limitando a 10 MW la potencia máxima para instalaciones basadas en Fuentes de energía renovable.

No existe consenso de criterios a la hora de establecer el límite de potencia

Con estas definiciones queda claro que un punto muy importante sino básico de la generación distribuida son las energías renovables, favorecidas en este ámbito por su ubicación dispersa, la cual permite que el “modo isla” sea una realidad, dado que siempre habrá alguna Fuente cerca de los puntos de consumo. A su vez, esto hace que las pérdidas de transporte disminuyan, es decir las pérdidas por efecto Joule, aumentando la eficiencia global del sistema.

Las tecnologías más importantes de la generación distribuida, ordenadas de mayor madurez a tecnologías emergentes son:

- Motor alternativo
- Turbina de gas
- Mini hidráulica
- Eólica
- Solar térmica
- Fotovoltaica
- Residuos Sólidos Urbanos
- Biomasa
- Micro turbina
- Pila de combustible
- Energía marina, en sus diferentes formas:
 - a. Mareomotriz o de las mareas
 - b. De las corrientes marinas
 - c. Undimotriz o de las olas
 - d. Térmica oceánica o maremotérmica
- Geotermia

Uno de los principales inconvenientes de la gestión de la demanda es que las redes de distribución son típicamente radiales, presentando un problema para la bidireccionalidad perseguida con la generación distribuida con lo que se requiere sistemas en anillo.

Como se indica en [29] se podrían producir pérdidas en el caso de una generación distribuida muy fuerte debido a la sobregeneración. La generación con mayor reducción en las pérdidas es aquella con producción constante, seguida de la cogeneración, la eólica y la fotovoltaica y que la tecnología con una mayor posibilidad de crecimiento sin producir incrementos en las pérdidas para niveles altos de producción es la cogeneración.

Muchas de las tecnologías aún están en fase de investigación, con un elevado coste asociado, con lo que no resulta rentable y las que no están en fase de investigación, a excepción de la energía eólica en zonas con mucho viento la generación de renovables sin subvención no resultan rentables aún.

Una de las áreas más afectadas es la de las protecciones eléctricas ya que si la generación distribuida consigue un fuerte empuje las compañías distribuidoras deberán realizar

importantes inversiones. Actualmente las compañías distribuidoras acondicionan la red sin contar con elementos activos, como si ocurre con la generación distribuida, entonces habrá que hacer un cambio para que el distribuidor tendrá que controlar estas centrales controlando las restricciones de servicio.

Los niveles de tensión de la red de reparto son función de la conexión que tenga con la red de transporte y en casos muy locales, de determinadas inyecciones de potencia activa de la generación distribuida y también de elementos de compensación de reactiva que pueda haber en dicha red. El potencial de la reactiva que puede generar este tipo de generación no es muy significativo comparándolo con la potencia activa que generan y no es especialmente importante para el control de tensiones. En cambio sí puede ayudar a compensar el factor de potencia, pero la distribuidora no tiene ningún control sobre él (excepto para potencias superiores a 10 MW). Por esta razón las distribuidoras consiguen mejores niveles de tensión al haber menores flujos por las líneas (sobre todo en largas distancias)

Las redes de media y baja tensión tienen una estructura completamente diferente ya que son radiales, no como en el caso del reparto que son malladas entonces en este caso el principal problema radica en la potencia activa que producen que modifica los perfiles de tensión y de nuevo la compañía distribuidora no tiene un control total de la tensión, pero sí que tienen la responsabilidad.

2.5.1.1 La central eléctrica virtual, CEV

Una central eléctrica virtual, CEV o VPP (Virtual Power Plant) interconecta diferentes centrales eléctricas reales, de diferentes naturalezas, como dispositivos de almacenamiento mediante Tecnologías de la Información y Comunicación. Puede diseñarse y operar para que siempre siga el mismo patrón.

Según Daniel Rowe, ingeniero de análisis de CSIRO Energy Technology, empresa que lidera el estudio: “La “central eléctrica virtual” o VPS es la suma de muchas pequeñas instalaciones de generación de energía renovable, que trabajan de manera conjunta, de modo que el producto final es mayor que la suma de las partes”.

Es bastante similar a una red eléctrica convencional pero se simplifica la programación diaria, entonces podría olvidarse de la planificación diaria del sistema eléctrico.

En el caso de las renovables la función es:

- Anticipar la planificación diaria
- Ajustar la demanda en el momento de la distribución para lograr el balance neto.

Si con las energías locales no fuera capaz de cubrirse la demanda entonces para equilibrar la demanda con cogeneración, o con centrales hidroeléctricas de bombeo.

Si las energías renovables producen más energía que la demandada entonces podrá utilizarse para almacenar por ejemplo, elevando el agua en centrales de bombeo.

2.5.2 Gestión de la demanda, GDE o DSM

Actualmente los puntos más importantes en los que se basa la demanda de electricidad y su generación son los siguientes:

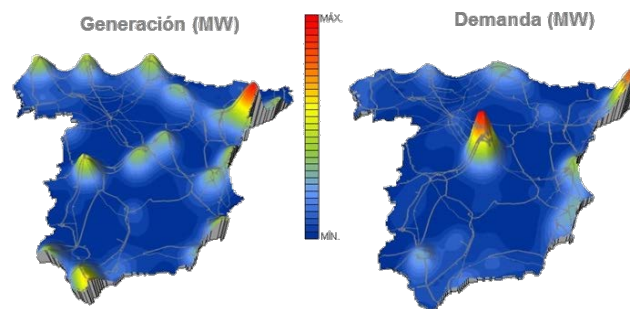


Figura 2-11. Localizaciones más importantes de generación y demanda de energía eléctrica. Fuente: Adaptación de [17]

Como vemos en la figura 2-11 la energía eléctrica se consume mayoritariamente en Madrid, Barcelona y País Vasco, Costa de la Comunidad Valenciana y Sevilla principalmente, no siendo esos parámetros los de generación actuales, es por ello por lo que se requiere una gestión de la demanda, que junto con la generación distribuida explicada en el punto anterior lograrán un sistema eléctrico más equiparado en cuanto a generación y consumo.

La gestión de la demanda consiste en implementar y planificar soluciones para cambiar las actuaciones de los consumidores de manera que el consumo diario disminuya, para así poder reducir las emisiones de gases contaminantes, mejorando a su vez la integración de las energías renovables y aumentando la eficiencia energética del sistema eléctrico.

La gestión de la demanda es un punto básico para poder conseguir una Red Eléctrica Inteligente totalmente desarrollada.

Para conseguir estos objetivos:

- Se desplaza el consumo de horas pico a horas valle, mediante una discriminación horaria.
- Para llenar las horas valle lo óptimo es utilizar sistemas de almacenamiento, recarga de vehículos eléctricos, y promover los consumos domésticos (lavadoras, secadoras y demás electrodomésticos).
- Reducir el consumo durante las horas pico con un servicio de interrumpibilidad y gestión automática de cargas.

Los agentes implicados en la gestión activa de la demanda son ,según [30] :

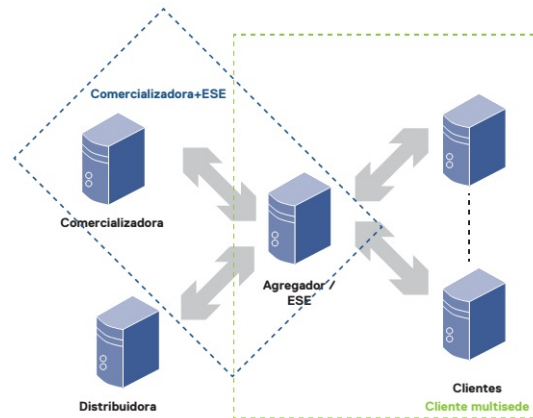


Figura 2-12: Agentes implicados en la gestión activa de la demanda. Fuente: [31]

- Agregador/empresa de servicios energéticos (ESE): es la empresa de servicios energéticos, si bien puede actuar como agente de compra de clientes con múltiples sedes. transmite las ofertas de tarifas a clientes, la comercializadora y solicitudes de limitación de potencia temporales.
- Distribuidora: es el gestor de la red, que en determinadas ocasiones necesita una reducción de los consumos en una determinada área. envía solicitudes de reducción por zona y recibe propuestas.
- Comercializadora: es la compañía que realiza las ofertas de energía para cada período.
- Clientes: en cada cliente o sede se gestiona la planificación energética en base a la información proporcionada por los demás agentes. Valida o rechaza las propuestas de limitación de potencia.

Gracias a la gestión de la demanda el coste energético disminuirá ya que cambiará también, como veremos a continuación, su patrón de consumo, tanto en los tiempos de consumo como en su cantidad.

La seguridad de suministro también mejorará, mejorando así la calidad de la red eléctrica, puesto que al final se conseguirá una curva homogénea, como se ha comentado.

El éxito de estas políticas de gestión de la demanda pasa por una estrecha colaboración entre la administración pública, el operador del sistema, las compañías distribuidoras, los fabricantes de bienes de equipos eléctricos (contadores, concentradores, módems, routers, etc.) así como los integradores tanto de hardware como de software.

2.5.3 Contadores inteligentes, telecontadores o Smart Meters.

Como se extrae de [8] y [12] son los elementos encargados de realizar las mediciones de energía en las Redes Eléctricas Inteligentes y constan de un sistema de medida, un elemento de memoria y un dispositivo de información. Los contadores convencionales no tienen memoria ni posibilidad de otro tipo de información más que el elemento de medida.

El plan de sustitución de los contadores convencionales afecta a los usuarios con potencia contratada inferior a 15kW.

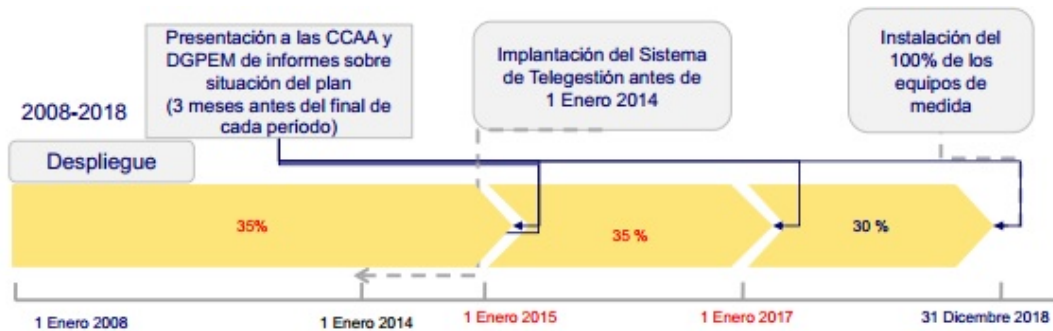


Figura 2-13: Plan de sustitución de contadores .Fuente:[32]

Como se desprende de [33], el contador inteligente ya está disponible en España desde el 1 de Abril de 2014, parece haber dejado de lado los intereses de los consumidores ya que estos no podrán saber, al menos por ahora, información muy detallada de su consumo como la que tendrán las compañías eléctricas ya que el dispositivo que se coloca estará blindado para evitar manipulaciones. Cabe destacar también que son las propias compañías eléctricas las que toman la decisión de su instalación, aunque hay un plan de sustitución de contadores, UNESA estima que a finales del 2014 se habrán sustituido el 35% de los contadores, a pesar de que en 2018 todos los contadores deberán haber sido sustituidos.

Los contadores inteligentes son, tal como se expone en [34], la antesala de una gestión más ágil, eficiente e interactiva pero como dice Susana Bañares (responsable del Departamento de Gestión de la Demanda de Red Eléctrica) los contadores por si mismos no van a aumentar la eficiencia si no van acompañados de la gestión de la demanda y los otros pilares comentados en este documento.

Su extensión en nuestro país traerá una serie de ventajas para el consumidor:

- Las facturas serán siempre reales y no estimadas, y figurará una información más precisa y detallada del consumo.
- Las incidencias se detectarán y resolverán de forma mucho más rápida, con anticipación muchas veces, por lo que ni se llegarán a producir en muchas ocasiones.
- EL cliente desde un ordenador podrá modificar su contrato
- El cliente podrá ver el consumo en tiempo real con lo que se incentivará el ahorro y la gestión inteligente del gasto.

Pero también habrá ventajas importantes para el sistema:

- Se crean nuevos sistemas y programas de demanda basados en la información de los contadores que permitirán aplanar la curva de demanda y desarrollar un sistema menos sobredimensionado
- Al incentivar esto se consigue también una homogeneización en el consumo y mejor aprovechamiento de las energías renovables, que actualmente se desperdician en horas valle.
- El precio de la electricidad se ajustará en cada momento en función de la producción y demanda

Inconvenientes de los contadores inteligentes:

- Pérdida de la privacidad – se revela todo tipo de información acerca de las actividades del usuario.
- Gran potencial para el seguimiento por parte de terceros no autorizados.
- Disminución de la fiabilidad (medidores más complicados e incremento de la posibilidad de interferencia por parte de terceros no autorizados).
- Aumento de los riesgos de seguridad de red o de acceso remoto.
- Pérdida de muchos puestos de trabajo.

Las organizaciones europeas de normalización crearon el SMCG (Smart Metering Coordination Group) para crear unos estándares que garanticen un mercado de competencia, mejora de prestaciones y reducción de precios, mediante:

- Interoperabilidad: Habilidad de un sistema para intercambiar información con otros sistemas de diferentes tipos y/o de distintos fabricantes.
- Intercambiabilidad: Habilidad de intercambiar un dispositivo por otro sin reducir la funcionalidad original y sin perder eficiencia del sistema en su conjunto.

Para que ambos puntos se garanticen los sistemas han de tener protocolos iguales sino no se podrá garantizar la interoperabilidad

Los contadores inteligentes también disponen de información que permite una gestión de la demanda. Para la gestión activa de las cargas del usuario es necesario un equipo adicional (gestor de cargas, ecobox, energybox, gestor domótico, etc.)



Figura 2-14: Ejemplo de contador inteligente. Fuente: [32]

Cómo últimas noticias al respecto cabe destacar el día 28/02/2014 “El confidencial” publicaba un artículo en el que se deja entrever que el precio de las facturas de la luz pasará a ser totalmente inestable, y que es difícil comenzar a aplicar precios de mercado libre ya que los contadores no están instalados en el porcentaje que debieran, ni lo estarán hasta 2018. Por otra parte el Ministerio de Industria guarda los datos técnicos de la investigación realizada por la Comisión Nacional de Mercados y Competencia (CNMC) sobre los nuevos contadores inteligentes, como si fuera un informe clasificado. El estudio señala que a fecha de 31 de diciembre de 2013 sólo se habían instalado 7.910.569 equipos con capacidad de telemedida y telegestión. Este número representa menos de un tercio de los 27.840.569 clientes con potencia contratada de hasta 15 kW y que son susceptibles de disponer de dichos contadores en España. El problema de fondo reside además en la incapacidad del sistema operativo que alimenta a todas estas máquinas porque gran parte de ellas no están integradas todavía en los sistemas de telegestión. La mayoría de los contadores ni siquiera están preparados para una lectura remota de los registros horarios. Dicho en otras palabras, la posibilidad de que las empresas puedan facturar adecuadamente los consumos de sus clientes se convierte en una quimera a sólo dos meses vista de la entrada en funcionamiento del flamante sistema de fijación de precios. [35]

2.5.3.1 Tipos de contadores inteligentes

Según las funcionalidades o servicios que aporte se dividen los contadores inteligentes en dos grandes grupos: AMR y AMI.

- Los contadores AMR (Automatic Meter Reading) son los habilitados para la telemedida, donde el contador es un elemento pasivo con comunicación unidireccional, lo que significa que solamente se puede hacer la medida de forma remota a la compañía distribuidora y/o comercializadora, quien puede utilizar los datos a efectos de facturación o seguimiento.
- Por su parte los contadores AMI (Advanced Metering Infrastructure) están habilitados para la telemedida y telegestión, es decir el contador puede ser

leído y gestionado de manera remota gracias a que posee comunicación bidireccional. La infraestructura de medición avanzada incluye tres áreas fundamentales:

- Hardware.
- Meter Communication Infrastructure (MCI), infraestructura de comunicaciones. Son una serie de concentradores que agrupan la información de los contadores de una determinada zona y la reenvían al centro de control. Los principales medios de comunicación entre el contador y el concentrador son mediante la comunicación por onda portadora o Power Line Communications (PLC), a través de una red pública de comunicaciones (GPRS, GSM, DSL o fibra óptica), vía radio o mediante otras tecnologías wireless
- Meter Data Management (MDM), sistema que analiza y trata los datos.

2.5.3.2 Medición inteligente

En la figura 2-15 podemos observar cómo sería una vivienda con una medición inteligente, donde vemos que todos los elementos están telegestionados: posee una pequeña instalación de un aerogenerador, así como energía solar y a su vez está conectado a la red general, forma parte de una Red Eléctrica Inteligente, y mediante el contador inteligente gestiona los consumos de la vivienda, que están totalmente controlados, ídem sucede con el vehículo eléctrico.

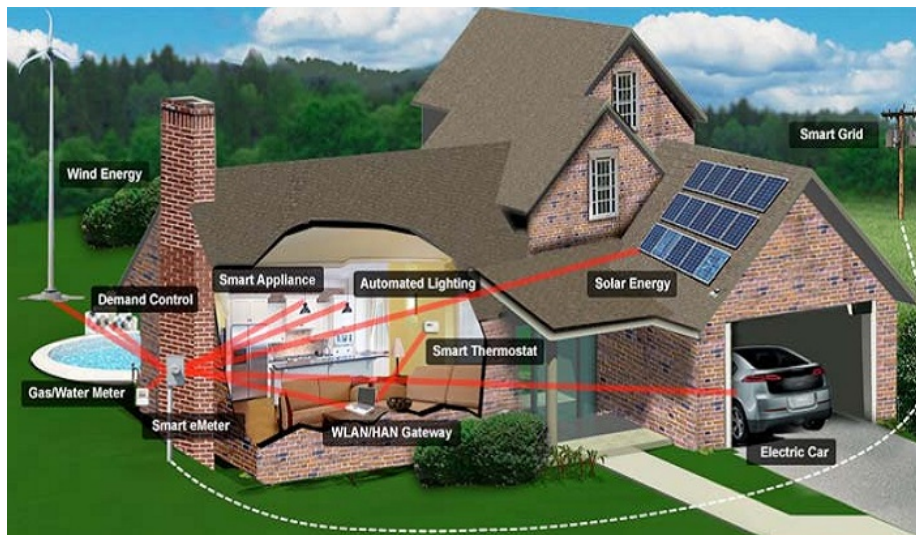


Figura 2-15: Vivienda con medición inteligente. Fuente: [6]

2.5.3.3 Requisitos mínimos exigibles por la legislación

- Precisión: Clase A para energía activa.
- Medida (en todos los cuadrantes donde sea posible) de energía activa y reactiva y máxima potencia demandada.

- Curva de carga horaria para activa y reactiva, con capacidad de almacenamiento de hasta 3 meses.
- Control de potencia; máxima demandada y control (conexión y desconexión remota).
- Reserva de marcha superior a 6 meses.
- Lectura remota de energía activa, reactiva y máxima potencia demandada.
- Lectura remota de los parámetros de calidad.
- Programación remota y sincronización con los concentradores y con el sistema central.

2.5.4 Vehículos eléctricos

Según [13; 12] el vehículo eléctrico es una tecnología clave para mejorar la competitividad mediante la eficiencia energética y también con la reducción de emisiones de GEI en el sector transporte.

A continuación se expone una figura de los diferentes grados de electrificación de los vehículos, hay que distinguir principalmente dos tipos, los híbridos y los PHEVs (Plug-in Hybrid Electric Vehicles -Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable-):



Figura 2-16: Posición de los VE en el rango de electrificación y sus tipos. Fuente: [36]

- Los primeros, generan energía eléctrica a partir de combustibles fósiles y podrían usarse como un sistema de generación distribuida para suministrar energía de punta. Un ejemplo real, es el Toyota Prius, el cuál puede producir 3kW de forma continua siempre y cuando disponga de combustible, suficiente para satisfacer las necesidades mínimas de un hogar (prácticamente todos los equipos eléctricos excepto la climatización).
- Por su parte, los PHEVs podrían aportar la energía de sus baterías para hacer frente a picos de demanda y aprovechar las horas valle, en las que la electricidad es más barata, para recargarse. También podrían usarse como sistema de almacenamiento temporal, a fin de estabilizar la generación intermitente de energías renovables. La tecnología “vehicle to Grid” o “V2G” utiliza la energía que almacenan las baterías de los coches eléctricos para proporcionar energía a la red cuando los operadores lo requieran, que sucederá principalmente durante las horas pico.

Actualmente el vehículo eléctrico no está totalmente integrado en la sociedad y ha de superar las barreras típicas de toda nueva tecnología, principalmente la desconfianza de los posibles usuarios por su desconocimiento, y por otra parte los precios elevados que actualmente existen. Para solventar esto las políticas gubernamentales son beneficiosas a la hora de fomentar la compra de este tipo de vehículos, y en el caso de que su implantación sea masiva la red ha de ser capaz de hacer frente a un incremento de la demanda.

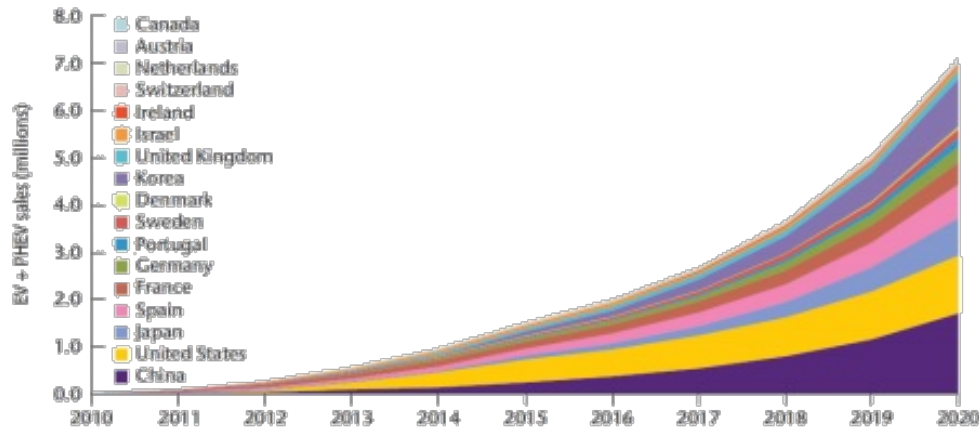


Figura 2-17: Previsión ventas vehículo eléctrico. Fuente: [5]

A pesar de sus ventajas también hay que ser conscientes de sus limitaciones como el ámbito de uso, que queda reducido al ámbito urbano y alrededores, no siendo óptimo para cualquier movilidad.

2.5.4.1 Conexión del Vehículo Eléctrico con la RED

La conexión del vehículo eléctrico es básica para recargar el sistema de acumulación. Esta opción abre nuevos límites debido a la capacidad que supone el sistema de acumulación y el propio consumo, si se compara con el consumo medio por vivienda. El número de vehículos por habitante depende del nivel de desarrollo de un país. Al depender de la población y el nivel de desarrollo se produce una relación directa entre el volumen de vehículos y el volumen del sistema eléctrico. Independientemente de los estándares homologables para la conexión de vehículos a la red eléctrica, parece que las potencias previstas son superiores a la electrificación media de las viviendas en España, y en este sentido cabe responder destacando la limitación de las instalaciones eléctricas asociadas a las viviendas de los propietarios del turismo eléctrico.

Estos puntos de recarga se situarán cerca de las zonas residenciales, en zonas comerciales, en aparcamientos, en los puntos de trabajo, y principalmente en los estacionamientos habituales y particulares de las viviendas. La capacidad media de las baterías de los vehículos eléctricos es ampliamente aceptada como 30 kWh. El tiempo de recarga según dónde se realice se puede observar en la siguiente figura:

Tabla 2-3: Tipos de recarga según la duración. Fuente: [37]

	Potencia kW	Tiempo recarga 30 kWh (80%)	Localización
Lenta	3	8 horas	Viviendas
Normal	7	4 horas	Urbanizaciones
Rápida	50	30 minutos	Centros
Muy Rápida	125	10 minutos	Electrolineras

La autonomía media del vehículo eléctrico es de 150 km suponiendo un consumo normal de 20 kWh/100 km. La potencia del generador eléctrico de los vehículos será por norma superior a la potencia de conexión con la red.

Los usuarios del vehículo eléctrico efectuarán las recargas al regresar a casa, y la curva se produciría de forma similar a lo expuesto en la siguiente figura:

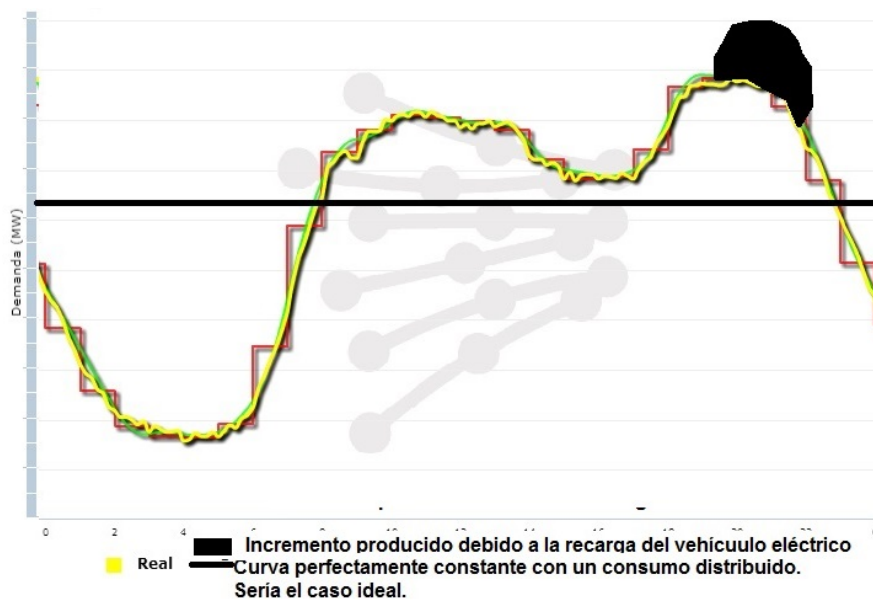


Figura 2-18: Incremento de la demanda por la recarga del vehículo eléctrico. Fuente: Adaptación de [17]

Con lo cual no haría más que empeorar la curva de la demanda. Pero mediante la recarga en horas valle del vehículo eléctrico, gestión de la demanda, esta curva mejorará notablemente, como se ve en la figura:

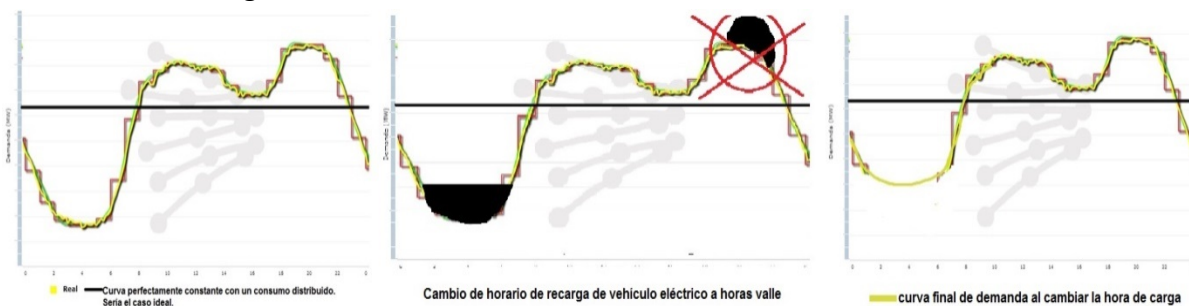


Figura 2-19: Evolución comparativa de la curva de la demanda eléctrica con el vehículo eléctrico. Fuente: adaptación de [17]

Con lo cual la curva se hará más llana, es decir más eficiente.

2.5.5 Almacenamiento de energía

Como se desprende de [37; 5], la manera de operar de los sistemas eléctricos se basa en el equilibrio permanente entre generación y consumo o demanda de energía eléctrica. Esto significa que uno ha de basarse en el consumidor, cuyo comportamiento no es homogéneo con lo que hay que hacer previsiones y predicciones respecto a cada momento. Además, otro problema es la integración de las energías renovables no controlables añade un hándicap más a esta situación, que tradicionalmente se ha basado en combustibles fósiles.

El almacenamiento de energía es la única forma de aprovechar al máximo los recursos renovables. Lo ideal es disponer de baterías capaces de acumular toso el excedente, así ese excedente puede volcare a la red en horas pico, disminuyendo la generación.

Algunos de los sistemas de almacenamiento ya se emplean desde hace mucho tiempo, ejemplo de ello son las centrales de bombeo.

Otras tecnologías son emergentes y aun requieren de más tiempo para su implementación .A la hora de dimensionar un sistema de almacenamiento y escoger entre las diferentes tecnologías existentes se deben exigir y tener en cuenta la potencia y capacidad de almacenamiento de cada sistema a fin de satisfacer os diferentes equipos de diseño.

Los sistemas principales de almacenamiento son dos: (20) los sistemas de baterías y los volantes de inercia, también llamados *flywheel*, y ya se empieza a hablar del vehículo eléctrico, o la tecnología V2G "*vehicle to Grid*", pero existen otros sistemas, que se ven en el siguiente figura.

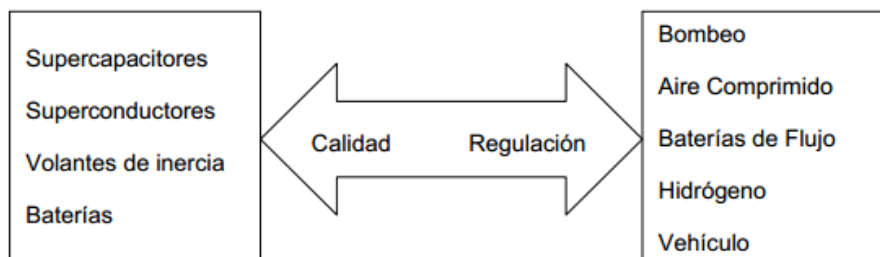


Figura 2-20: Usos de los sistemas de acumulación. Fuente: [37]

Tabla 2-4: Desarrollo de las tecnologías de almacenamiento de energía. Fuente: [38]

Tecnología	Estado Comercial	Potencia (MW)	Eficiencia (%)	Tiempo de Respuesta	Tiempo de Descarga	Vida útil (años)
Bombeo	Disponible	100 a 4000	65 a 75	Seg a minutos	Horas a días	30
Volante de inercia	Disponible	Menor a 1,6	90	Menor a un ciclo	Segundos a minutos	20
CAES en reserva	Disponible	100 a 1000	65	Seg a minutos	Horas a días	30
CAES en depósito	En desarrollo	50 a 100	55	Seg a minutos	Horas a días	30
Batería plomo ácido	Disponible	0,001 a 40	60 a 85	Menor a un cuarto de ciclo	Minutos a horas	5 a 10
Hidrógeno en pila de combustible	Pruebas	Menor a 250	34 a 40	Menor a un cuarto de ciclo	De acuerdo a la necesidad	10 a 20
Hidrógeno en motores	Demostración	Menor a 2	29 a 33	Segundos	De acuerdo a la necesidad	10 a 20
SMES	Prototipos	0,01 a 100	95	Menor a un cuarto de ciclo	Segundos a minutos	30
Super condensador	Prototipos	0,01 a 1	95	Menor a un cuarto de ciclo	Segundos	10000 ciclos

Y para tener claro el ámbito de aplicación de cada uno de los sistemas de almacenamiento según diferentes factores se puede observar la figura 2-21:

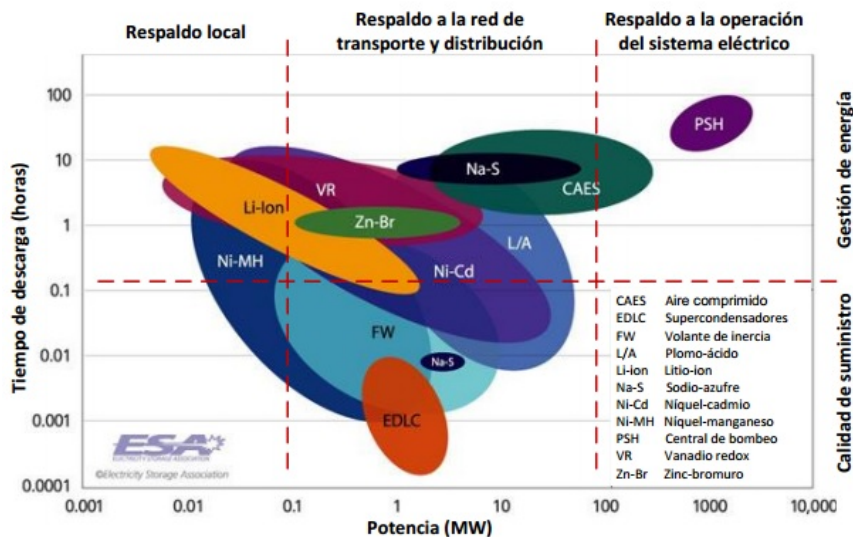


Figura 2-21: Sistemas de almacenamiento según su potencia y tiempo de descarga. Fuente [39]

2.5.5.1 Supercondensadores (EDLC)

Son condensadores eléctricos de doble capa, con capacidad de acumulación el triple que en el caso de condensadores normales.

Son perfectos para su uso en sistema eléctrico por su cara rápida y descara sin pérdida de eficiencia durante miles de ciclos. Se pueden fabricar en cualquier tamaño ya que no necesitan dieléctrico y se pueden conseguir grandes capacidades, por ejemplo para vehículos eléctricos.

Estos sistemas pueden recargarse en muy poco tiempo, con lo que se puede hacer frente a las puntas de demanda. Poseen también una alta densidad de energía, falta de eficiencia, (98% prácticamente) y una vida media elevada.

2.5.5.1.1 Clasificación.

1. Supercondensadores electrolíticos de entrecaras de carbono de doble capa. Los principales son los que utilizan hidróxido de sodio y potasio o ácido sulfúrico. En ellos la disolución se disocia en iones positivos de sodio o potasio, que ante la presencia de voltaje por aumento de la atracción entre cargas se acumula una mayor energía eléctrica.
2. Supercondensadores no electrolíticos de entrecaras de carbono de doble capa. Los principales son los que son elaborados como aerogeles, soles, los de nanotubos de carbono y carbón activado.
3. Supercondensadores acuosos de óxido de doble capa con pseudocapacitancia redox. Los principales son los de óxido de litio, bióxido de rutenio, bióxido de iridio, óxido de cobalto y bióxido de manganeso.
4. Supercondensadores de polímeros conductores. Se define como polímero conductor como una sustancia orgánica que conduce la electricidad de manera parecida a la de un metal, buena reversibilidad entre estado conductor y no conductor y flexibilidad mecánica. Los principales son los de politiofeno, polipirrol y polianilina.

2.5.5.2 Volantes inercia

Se emplean para acumular energía en forma de energía cinética, generada principalmente por una masa en rotación. Normalmente un volante de inercia permanece constantemente sometido a una velocidad angular; el volante posee un motor-generador, que actúa como motor para producir la aceleración y como generador cuando debe devolver la energía almacenada.

Una de las características principales es la respuesta tan rápida en comparación con otros sistemas de almacenamiento químicos,

2.5.5.3 Superconductores (SEMS, HTS)

Se denomina superconductividad a la capacidad intrínseca que poseen ciertos materiales para conducir corriente eléctrica sin resistencia ni pérdida de energía en determinadas condiciones. Estos materiales, denominados "superconductores", cuando son sometidos a una temperatura mayor que su cierta temperatura crítica (diferente para cada material) presentan alta resistencia, por lo general mucho mayor que un conductor normal y de esta manera decimos que el material se encuentra en su "estado normal". Por el contrario, por debajo de la temperatura crítica presentan un fenómeno en el cual la

resistencia eléctrica disminuye rápidamente hasta llegar a cero, decimos entonces que el material se encuentra en su "estado superconductor". Otra de las propiedades que caracteriza a estos materiales es la expulsión de campo magnético en el estado de superconducción conocida más comúnmente como el Efecto Meissner. Esta última es la propiedad esencial del estado superconductor.

Los superconductores magnéticos de almacenamiento de energía crean un campo magnético con una corriente continua que fluye a través de un conductor. Las pérdidas de energía prácticamente no existen por la ausencia de resistencia al flujo de electrones. La energía puede ser extraída e inyectada muy rápidamente, y permite altas potencias. La eficiencia es del 95 a 98%.

Se componen principalmente de:

- Un imán superconductor.
- Un sistema de refrigeración para mantener el imán a temperatura criogénica.
- Un interface entre la corriente continua en el imán y la red eléctrica.

Actualmente se fabrican sistemas con capacidad de almacenamiento desde 0,1 kWh hasta los 30 kWh. La aplicación de los superconductores es variada, desde la regulación de la potencia entregada por los sistemas de generación de origen renovable hasta la aplicación en líneas eléctricas en núcleos de población, centrándose su uso mayoritario en la mejora de la calidad de la onda.

2.5.5.4 Baterías

Almacenan energía eléctrica en forma de energía química. Son Fuentes de corriente continua por lo que es necesario el uso de un inversor para convertir la corriente continua en alterna.

2.5.5.5 Pilas de combustible

Es una de las tecnologías con más futuro, aunque está todavía en desarrollo. Propiamente integra un sistema de generación, pero su alimentación se basa en un combustible como es el hidrógeno, y éste no es una energía primaria, sino que requiere previamente ser producido o almacenado.

La energía en una pila de combustible se produce por una reacción química a partir del hidrógeno y aire el hidrógeno cede un protón y va al cátodo a través del electrolito, el electrón por su parte viaja a través del circuito, generando una corriente eléctrica, a la vez que agua y calor. En la figura 2-22 se ve una representación muy simple del proceso:

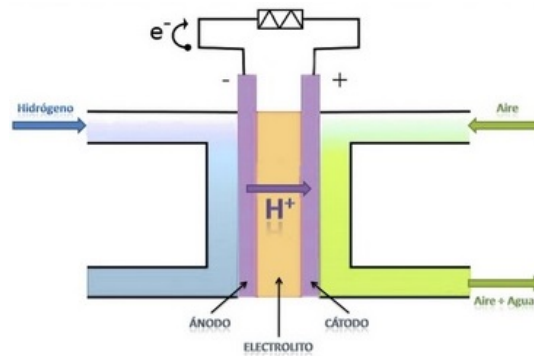


Figura 2-22: Pila de combustible. Fuente: [40]

Comercialmente hablando una pila está formada por la agrupación de muchas pilas individuales (de decenas a cientos).

2.5.5.6 Térmico

Actualmente se utiliza de manera complementaria a las centrales termosolares para almacenar excedentes y emplearla en momentos en los que no existe radiación solar o para suavizar la producción durante los picos. El sistema permite la optimización de la planta. La sal fundida puede almacenar calor, el mismo que se recolecta en una torre solar para generar electricidad con una eficiencia térmica superior al 99%

2.5.5.6.1 *Calor sensible*

Basado en aumentar la temperatura, por ejemplo de materiales cerámicos.

2.5.5.6.2 *Calor latente*

Aprovechando la alta densidad energética del cambio de fase con una mínima variación de temperatura. La base de estos sistemas consta de la capacidad latente de ciertos materiales de absorber, para luego mantener calor durante el tiempo

2.5.5.7 Aire comprimido (CAES)

También conocidos como CAES, “Compressed Air Energy Storage” almacenan energía en forma de aire comprimido. , normalmente entre 20 y 60 bares, en depósitos naturales, artificiales o en minas abandonadas o cavidades. El almacenamiento se realiza comprimiendo el aire durante horas valle (cuando el consumo eléctrico es bajo), mientras que en horas punta (cuando el consumo eléctrico es alto) es el proceso de expansión y por tanto de generación de energía donde un combustible, típicamente gas natural, se quema junto con el aire presurizado, típicamente en dos etapas. El aire comprimido se utiliza para producir potencia al expandirlo en una turbina de gas de una planta eléctrica con relativa alta eficiencia.

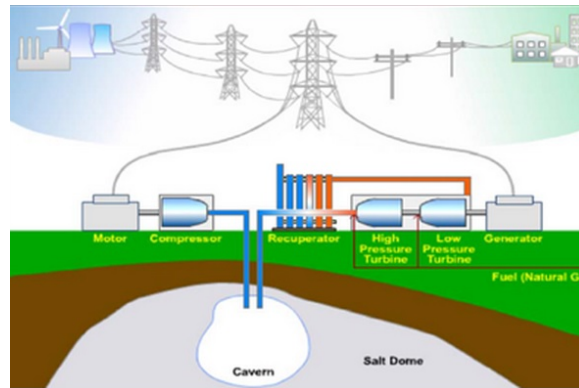


Figura 2-23: Sistemas de aire comprimido. Fuente: [38]

Este sistema puede ser utilizado solo a gran escala. Por esta razón, ningún otro sistema de almacenamiento de energía se compara en potencial de almacenamiento al CAES, a excepción de la hidroelectricidad bombeada. La capacidad de almacenamiento típica de este sistema varía entre los 50-300MW. Puede almacenarse energía por largos períodos con bajas pérdidas (más de un año).

2.5.5.8 Centrales de bombeo

Está basado en la utilización de dos reservorios de agua ubicados a diferente cota, de forma que se puede acumular energía potencial en el superior para después convertirla en cinética y mover las hélices de una turbina produciendo mediante un alternador electricidad. En las horas valle se bombea el agua hacia el depósito superior de nuevo.



Figura 2-24: Central de bombeo. Fuente: [41]

2.5.5.9 V2G (vehicle to Grid)

El vehículo eléctrico se ha explicado anteriormente. Como medio de almacenamiento existen dos opciones: el vehículo eléctrico de baterías y el de pila de combustible, y sus diagramas son los siguientes:

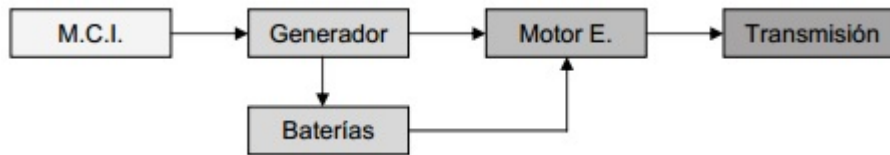


Figura 2-25: Diagrama de bloques del vehículo híbrido eléctrico. Fuente: [37]

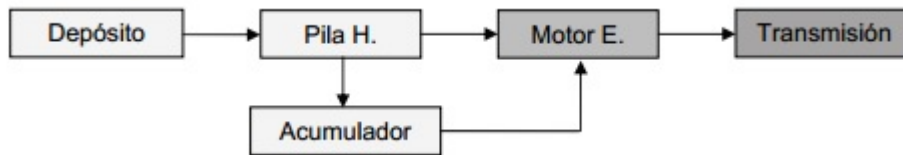


Figura 2-26: Diagrama de bloques del vehículo híbrido de pila de combustible. Fuente: [37]

2.6 Tecnologías y dispositivos

Las tecnologías prioritarias de las Redes Eléctricas Inteligentes pueden observarse en el siguiente figura[12]:

En cuanto a estas tecnologías hemos hablado de todas ellas anteriormente en este documento, por lo que no se repetirá.

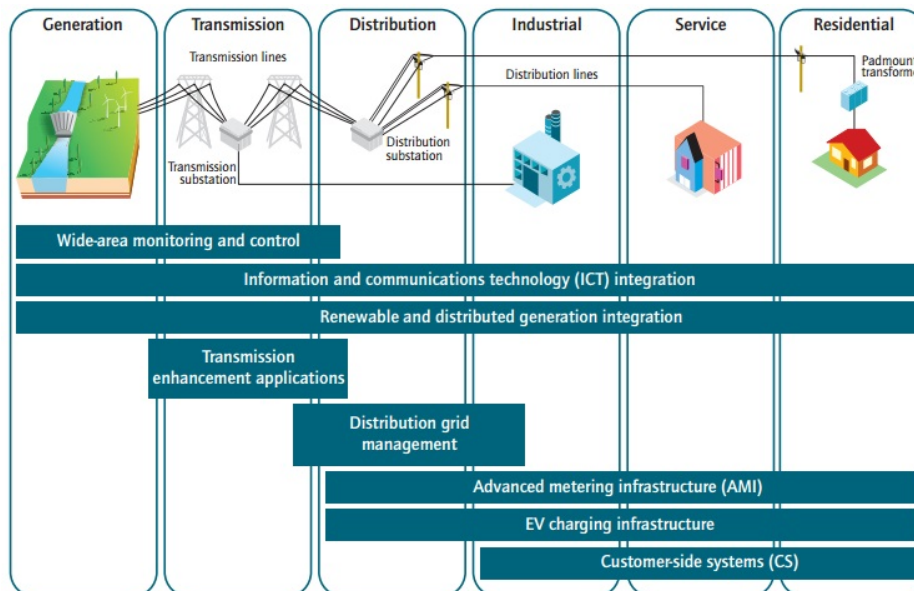


Figura 2-27: Áreas tecnológicas de las REI. Fuente: [2]

Las redes inteligentes abarcan una variedad de tecnologías que abarcan todo el sistema eléctrico.

No todas las redes tienen los mismos requerimientos técnicos ni las tecnologías son comunes a todas las redes. Como existen infinidad de tecnologías se van a exponer las principales. [13; 38]

2.6.1 Sensores y actuadores

El uso de sensores facilita el monitoreo del sistema, para facilitar la integridad y apoyar al sistema de protecciones, detectando rápidamente los fallos.

Toda la información generada por los sensores y actuadores se almacenará en bases de datos que se podrán consultar por todos los actores del sistema, optimizando la planificación de crecimiento.

2.6.2 FACTS (Sistema Flexible de Transmisión de Corriente Alterna)

Sistema compuesto por equipos estáticos para transmitir corriente alterna para mejorar la capacidad de control y poder aumentar la capacidad de transferencia por red.

2.6.3 PMU (Unidad de Medición Fasorial)

Se coloca en lugares estratégicos de la red para medir las señales y poder determinar la inestabilidad en el sistema.

2.6.4 HANs (Home Area Networks)

Red de comunicaciones de corto alcance. Conecta electrodomésticos de una vivienda o edificio.

Al conectar las HAN con las AMI los consumidores puede monitorizar e uso de energía o programar electrodomésticos, y a su vez las compañías tienen acceso directo a las cargas, gestionando la demanda de manera más eficiente.

Tabla 2-5: Tecnologías más importantes para implantar a nivel de HAN en una Smart Grid. Fuente: [13]

Tecnologías aptas para HANs		
Inalámbricas	Cableadas	Mixtas
Wi-Fi	HomePlug	X10
Bluetooth	LonWorks	INSTEON
ZigBee		
6LoWPAN		
Z-Wave		

De entre estas tecnologías la WI-FI es la más fácil de implantación, y ya está instalada en numerosos domicilios, y su coste ha descendido, pero presenta el problema de la falta de seguridad.

ZigBee permite la lectura inalámbrica y control de sensores a un coste bajo, es decir, lo que se busca en las Redes Eléctricas Inteligentes, la pega es el alcance y la velocidad, que son limitados, aunque suficientes para las HAN.

Bluetooth es una tecnología muy madura, con mayor alcance y velocidad pero solo puede gestionar ocho dispositivos, con lo que no es un buen candidato.

2.6.5 NANs (Neighbor Area Networks) y WANs (Wide Area Networks)

Las NANS proporcionan cobertura de “barrio”, es decir un área geográficamente reducida y limitada, y las WAN el área geografía es más amplia e integra redes de menor tamaño con diferentes sistemas de comunicación.

La manera de decidir es en función de la fiabilidad, seguridad, infraestructura y coste.

Hay diferentes tecnologías que se utilizan según la orografía del lugar, para facilitar las señales de control y la recogida de información.

2.6.6 Cargas

A continuación se exponen los tipos de carga que coexisten en una Red Eléctrica Inteligente.[38]

2.6.6.1 Cargas lineales

Son aquellas que se comportan como una resistencia.

2.6.6.2 Cargas no lineales

Cargas que producen corrientes que además de la componente fundamental tienen otras, múltiplos de estas, los armónicos. Un ejemplo de cargas que producen armónicos son los transformadores, los balastos electromagnéticos de las luminarias fluorescentes, cargadores de baterías, etc., pero las cargas más importantes en este ámbito son los ordenadores, fotocopiadora, faxes, etc. Esto requiere filtros y técnicas especiales para eliminarlos.

2.6.6.3 Cargas controlables

Aquellas que seremos capaces de variar su perfil de consumo, tratando de mejorar una situación crítica en la red.

2.6.6.4 Cargas no controlables

Aquellas cargas que solo se puede decidir sobre si conexión o no conexión, pero no pueden adaptar su perfil de consumo.

2.7 Micro redes eléctricas

La definición más exhaustiva es la que se da dentro del proyecto «Microgrids» del VI Programa Marco: Una micro red es básicamente una red de distribución a pequeña escala en baja tensión. Dispone de los mismos elementos de una red convencional, generadores, cargas y sistemas de control, añadiendo además la posibilidad de incluir dispositivos de almacenamiento de energía. A pesar de que conceptualmente todos estos equipos cumplen las mismas funciones que en una red a gran escala, su funcionamiento y los sistemas de

control y protección deben estar adaptados para operar adecuadamente de acuerdo al funcionamiento de las micro redes.

Las Redes Eléctricas Inteligentes pueden estar construidas por varias micro redes, pero de tal manera que estas microredes puedan ser independientes. Este objetivo plantea una arquitectura multi-micro redes que es básicamente un grupo de micro redes, añadiendo un nivel de gestión intermedia entre diferentes micro redes entre los diferentes controladores centrales y controlador de la red de distribución. Además de esto es necesario un sistema de control autónomo centralizado (también llamado CAMC)

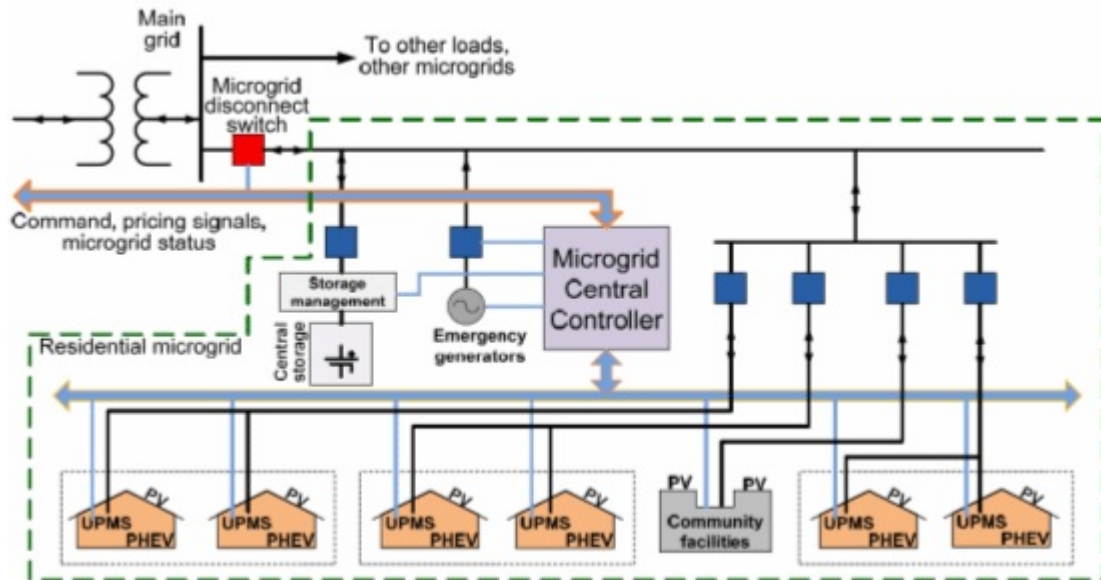


Figura 2-28: Microredes. Fuente: [42]

Las microredes pueden importar o exportar energía según lo que sea necesario en cada momento. Además, en caso de fallo del sistema general pueden ser aisladas del resto y satisfacer aún la demanda local, sino la demanda total, al menos satisfacer energía a las cargas más importantes y críticas.

La extensión de una micro red puede ser un área comercial, población, etc. donde existirá, normalmente, algún punto de conexión con el sistema eléctrico.

Según se desprende de [37], la gestión de la micro red estará enfocada a optimizar los recursos y necesidades en la región o zona en la que esté y, a través de la central virtual, gestionar los excesos y déficits de energía con la red global, por ello debe garantizar la seguridad tanto de su propia red como del entorno al que se conecta.

Este concepto de micro redes tiene especial aplicación en zonas rurales o zonas en vías de desarrollo, como países del tercer mundo.

Con lo visto anteriormente, se puede decir que una micro red es un sistema semiautónomo que puede llegar a ser autónomo.

Las microredes se componen básicamente de los siguientes elementos:

- Una red de distribución en baja tensión en la que se conectan una serie de Fuentes de energía distribuidas para proporcionar electricidad y calor a un conjunto de consumidores.
 - Una infraestructura de comunicación local.
 - Un sistema jerárquico de control y gestión.
 - Sistemas de almacenamiento de energía.
 - Controladores inteligentes para cargas y consumos.

La micro red se gestiona mediante un controlador central a la cabeza del sistema. Éste proporcionará las consignas a los controladores del resto de los equipos.



Figura 2-29: Micro redes integradas. Fuente: [17]

2.7.1 Elementos principales

Los elementos principales de las micro-redes se describen a continuación[43]

1. Inversores: Un inversor convierte la corriente continua en corriente alterna. Por normativa en el momento que detecta que al red eléctrica principal no está operativa el inversor desconecta el elemento, por ejemplo el palen solar, el aerogenerador, o al elemento que esté conectado. Dentro del concepto de Micro-red la función de la nueva generación de inversores será la de mantener conectados los elementos a pesar de los fallos, manteniendo así la micro-red como una isla.
2. Tecnologías de la Información y comunicación (TICs): Permitirán aplicaciones nuevas, tanto para los consumidores como para las propias distribuidoras, especialmente las comunicaciones integradas y las tecnologías de detección, medición y diagnóstico.
3. Contadores inteligentes: Elemento principal de la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), es la conexión entre el cliente y el sistema de telegestión. Se utiliza la tecnología d PLC (Power Line Carrier o Power Line Communication) a través de la red de Baja Tensión

utilizando estándares de dominio público, lo que garantiza interoperabilidad entre los equipos. El conocimiento del consumo permite saber el uso de energía, su precio y el impacto ambiental.

4. Concentrador: Elemento intermedio entre el sistema de gestión y control y los contadores inteligentes; dotado de comunicaciones fiables , se suele ubicar en el Centro de Transformación
5. Aplicaciones multi- utility: Puede incorporar datos de medida de otros tipos de energía, no solamente de electricidad, también de gas, energía calorífica, y agua por ejemplo. El acceso a estos datos puede ser directamente a través del contador o a través del concentrador.
6. Dispositivos de seccionamiento: Ha de ser capaz de cerrar la micro red en isla, separando la red principal de la micro-red. Según las características de tensión, velocidad deseada y corriente de falla el dispositivo es diferente.
7. Recursos distribuidos: Generación y almacenamiento. Fuentes de energía que se pueden o bien conectar a la red principal o funcionar de forma autónoma.
8. Control y manejo de micro-red: Su función es mantener la micro red a la tensión y frecuencia deseadas.
9. Protección: Proteger los elementos cuando opera en isla y coordinar los esquemas de la red principal.

En cuanto al funcionamiento de una red se puede separar en dos clases de funcionamiento: funcionamiento normal o funcionamiento aislado:[44]

2.7.2 Funcionamiento normal de una micro red

Entendiendo por funcionamiento normal aquel que se produce cuando esta está conectada a la red externa, la micro red tendrá que ser capaz de:

- Predecir la demanda eléctrica y de generación de las Fuentes distribuidas.
- Análisis económico de las Fuentes de generación, almacenamiento y carga de consumos.
- Cálculo de la contaminación generada, especialmente de los GEI.

Es decir, el controlador central, también llamado MGCC (Microgrids Central Controller) hace de gerente de la micro red, para ello hay que tener en cuenta:

- Ofertas de las Fuentes de generación.
- Precios del mercado.
- Ofertas del lado de la demanda para carga.

Una vez realizadas estas tareas el controlador general envía a cada uno de los pequeños controladores de la micro red los datos de potencia, las cargas que han de seguir funcionando, y las que han de desconectarse.

Además el controlador general comprobará que se cumplen todas las restricciones establecidas a fin de no perturbar la red externa a la que está conectada, es decir podrá según las necesidades incrementar la generación para prevenir colapsos en la red, desconectar la generación para evitar sobretensiones, etc.

2.7.3 Funcionamiento de una micro red aislada

En este caso la micro red funciona de manera aislada, por lo tanto ha de ser capaz de generar energía en cada momentos según las necesidades, manteniendo estabilidad en la propia red en todo momento.

Un problema bastante común es la sincronización cuando en una micro red hay varios generadores, ya que han de estar todos en la misma fase, ya que al ser equipos con interfaces de electrónica de potencia los generadores de la micro red no tienen inercia para asumir los desequilibrios puntuales que se produzcan entre generación y consumo, como si ocurre con los sistemas convencionales gracias a los generadores síncronos. A esto hay que sumar la respuesta lenta de los micro generadores, como micro turbinas por ejemplo, lo que ocasiona problemas de abastecimiento y cumplimiento de la demanda, estabilidad debido a posibles variaciones de frecuencia.

También será necesario un sistema de almacenamiento de energía para cubrir los primeros momentos de abastecimiento al funcionar en modo aislado.

Las diferentes opciones de almacenamiento de energía se encuentran en el apartado 2.2.5 almacenamiento de energía

2.7.4 Ventajas de las micro redes

- Mayor robustez de la red, al simplificar la gestión y permitir la autonomía, al centrarse en la estabilidad de la red y de cada micro red.
- Optimización de la red y eficiencia energética en el transporte, al promocionar la producción cercana al consumo.
- Optimización en la generación ya que se aprovechan las Fuentes renovables, logrado una independencia energética local o regional.

2.7.5 Inconvenientes de las micro redes

El concepto de “central virtual” favorece la existencia de un único punto de conexión con el resto de las redes, por lo que presenta un punto débil. Si se plantean más centrales virtuales lo que sucede es que desaparece el concepto de simplicidad.

2.8 Arquitectura

En la siguiente figura podemos ver la base de la arquitectura de las Redes Eléctricas Inteligentes:

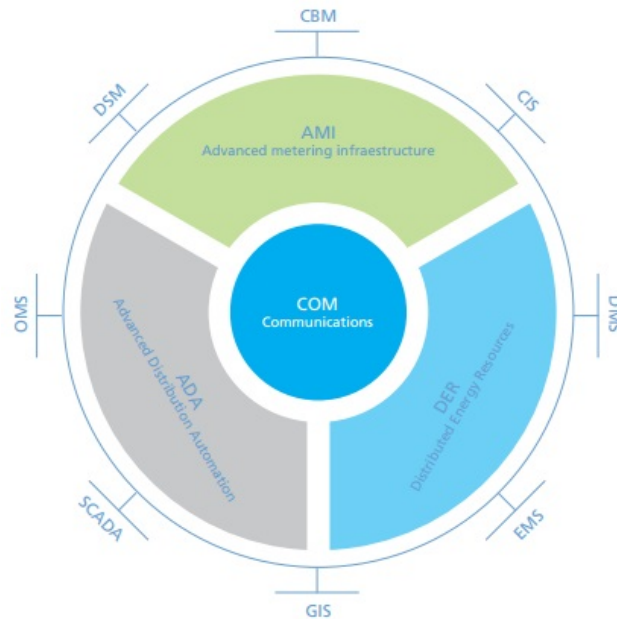


Figura 2-30: Arquitectura Smart Grid. Fuente: [31]

2.8.1 ADA (Advanced Distribution Automation)

Formado por los siguientes elementos:

2.8.1.1 OMS (Sistema de Gestión de Interrupción)

Sistema destinado a la restauración de energía en el caso de fallo, localizando fusibles o interruptores próximos a la zona de falla, gestionando los recursos disponibles y necesarios

2.8.1.2 SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)

Sistema que obtiene información del funcionamiento de dispositivos asociados a él enviando los datos en tiempo real. Este sistema cuenta con controladores, redes, controladores, equipos de comunicación, software y señales de entrada y salida.

2.8.2 DER: Distributed Energy Resources

Formado por los siguientes elementos:

2.8.2.1 GIS (Sistema de Información Geográfica)

Sistema integrado en el GPS que sirve para identificar los problemas de distribución y transmisión.

2.8.2.2 EMS (Sistema de Administración de Energía)

Aplicación para los centros de control que proporciona información a tiempo real del estado de la red.

2.8.2.3 DMS (Distribution Management System)

Software para la gestión técnica de redes de distribución. Analiza el estado de la red.

2.8.3 AMI: Advanced Metering Infrastructure

Sistema de teledistribución y telegestión. Formado por los siguientes elementos:

CIS

CBM

CSM

2.9 Niveles de madurez tecnológica

A continuación se describen los niveles de madurez de una Red Eléctrica Inteligente, de menor a mayor, los cuales en España se van implantando paulatinamente según la tabla 2-5. [7]

1. Facilitación

- 1.1. Proporcionar incentivos regulatorios a la inversión innovadora. Esto se traduce en recompensas a las empresas que realicen inversiones en el campo este, mediante políticas tanto nacionales como Europeas.
- 1.2. Desarrollo de modelos de negocio. Se le asignarán tareas a los actores, gracias a la Comisión Europea y demás reguladores nacionales.
- 1.3. Estandarización, protección y privacidad de datos. Este trabajo será desarrollado por las operadoras, comercializadoras, empresas tecnológicas, Comisión Europea, agencias de estandarización, etc.
- 1.4. Programas de experimentación y divulgación del conocimiento mediante proyectos. Proyectos a gran escala financiados por el sector público y privado, evaluando los beneficios y divulgarlos para maximizar inversiones.

2. Despliegue

- 2.1. De contadores inteligentes. Con funcionalidades básicas para comenzar a involucrar a los consumidores estimulando la gestión de la demanda, este trabajo será llevado a cabo por distribuidoras y comercializadoras, con apoyo de los reguladores.

- 2.2. Monitorización y control de la red. Gestión distribuida; para automatizar la red y reparar fallas rápidamente, implantando esquemas avanzados de medida. Esto será llevado a cabo por los distribuidores y por operadores de redes de transporte con el apoyo de los reguladores.
 - 2.3. Buscar la integración de balances local y global de la generación. Se definen roles y responsabilidades en la gestión bidireccional y conseguir que los distribuidores contribuyan a mantener el balance generación – demanda. Este nivel será llevado a cabo por distribuidores, operador del sistema, comercializadores, consumidores y generadores.
 - 2.4. Agregación de recursos energéticos distribuidos. Se desarrollan en este nivel los ajustes de mercado y de servicios complementarios y se agregan las plantas virtuales. Este trabajo será llevado a cabo por los generadores, distribuidores, operadores de redes de transporte y comercializadores.
3. Comercialización
 - 3.1. Integración global del vehículo eléctrico, gestión de la demanda y almacenamiento de energía. Consiste en desplegar infraestructura para la carga de vehículos eléctricos. Provisión de servicios complementarios por parte de la demanda y otros recursos como el almacenamiento. Este nivel será llevado a cabo por distribuidores, comercializadores y empresas especializadas.
 - 3.2. Conseguir la participación de los consumidores en los mercados eléctricos. Se desarrollan programas comerciales de gestión activa de la demanda, incluyendo la tarificación dinámica con contratos de flexibilidad. Será llevado a cabo por los comercializadores, y empresas especializadas en servicios energéticos.

Analizando los niveles se puede concluir que actualmente España se encuentra en el punto 2.1: Despliegue de contadores inteligentes.

Los niveles pendientes son aún mayoría, y en la siguiente tabla se puede consultar los periodos previstos para los niveles pendientes.

Tabla 2-6: Niveles hacia las REI aún pendientes. Fuente: [45]

NIVEL	¿CUÁNDO?
1.1 Proporcionar incentivos regulatorios a la inversión innovadora	Inmediatamente (ya en marcha)
1.2 Desarrollo de modelos de negocio	A partir de ahora (ya en marcha)
1.3 Fijar estándares y asegurar la protección y privacidad de los datos	Tan pronto como sea posible (ya en marcha)
1.4 Experimentar mediante proyectos de demostración y la divulgación del conocimiento obtenido	Hasta 2018 (ya en marcha)
2.1 Despliegue de contadores inteligentes.	Hasta 2020 (ya en marcha)
2.2. Monitorizar y controlar la red y la generación distribuida	Hasta 2020
2.3 Ir hacia una integración del balance local y central de toda la generación.	2014 en adelante
2.4 Agregación de recursos energéticos distribuidos.	2014 en adelante
3.1 Integración a gran escala de vehículos eléctricos, gestión de la demanda y almacenamiento.	Continuo, a gran escala a partir de 2018
3.2 Hacia una participación real de los consumidores en los mercados eléctricos.	2014 en adelante

2.9.1 Fases para introducir las Redes Eléctricas Inteligentes

Como se indica en [22], en primer lugar lo más importante es implantar un marco regulatorio óptimo, lo que se traduce en que incentive la inversión y elimine o reduzca en gran parte los riesgos.

1. Investigación y desarrollo de las tecnologías y de las aplicaciones
2. Comprobación de soluciones válidas es decir, que funciona correctamente.
3. Estandarización y normalización de los "útiles".
4. Introducir en el sistema las soluciones.
5. Aplicarlo a modelos reales de negocio

2.10 Beneficios vs. Funciones

En la tabla explicativa 2-6 se ofrece un resumen sobre la interacción de los servicios que ofrece una Red Eléctrica Inteligente con beneficios.

Estos beneficios pueden ser económicos, de confianza y calidad, ambientales y por supuesto, de seguridad energética. [46]

2.10.1 Económicos

Gracias al monitoreo y a la posibilidad de control del equipo disminuirán los costes además de que aumentarán los ingresos. El coste de mantenimiento será inferior así también serán los de operación y producción, ya que no habrá que hacer tantos traslados. Como se mejora la capacidad de generación por tiempos reales de operación y se produce una generación distribuida y almacenamiento de energía se reducirán los picos de demanda, lo cual es también un ahorro económico a lo que ayudarán los limitadores de corriente de falla.

2.10.2 Confiabilidad y calidad

Los ahorros en este punto se deben principalmente a la calidad del servicio de la energía, garantizada por las micro redes principalmente. También la continuidad de servicio reporta beneficios económicos, asociados a la reconfiguración automática de los alimentadores, al diagnóstico de servicio, que reducen los fallos a los consumidores y los costes de restauración.

2.10.3 Beneficios ambientales

Los beneficios ambientales se comprobarán en la reducción de emisiones de CO₂ y del resto de GEI y será gracias a la transferencia automática de cargas y a control automático de voltaje y de potencia reactiva, al almacenamiento de energía y la recarga de vehículos eléctricos

2.10.4 Beneficios de seguridad energética

Como el consumo de combustible se ve disminuido y el número de apagones también, gracias a la posibilidad de anticipación pues la seguridad energética aumenta.

2.10.5 Tabla resumen

En la siguiente tabla se ve un resumen de los beneficios/funciones:

3 Smart Cities

Las Redes Inteligentes han comenzado a convertirse en un concepto en evolución, han pasado desde el papel a la realidad, gracias a diversas iniciativas que están cobrando mucha importancia a nivel mundial, debido a los grandes beneficios que estos proyectos han demostrado ofrecer, que ya se han explicado en los capítulos anteriores. En el presente capítulo se explican algunos de estos proyectos, especialmente centrado en España.

En el año 2011 comenzó a gestarse la Red Española de Ciudades Inteligentes (RECI), y en el año 2012 se constituye formalmente. En estos momentos está presidida por el alcalde de Santander, Íñigo de la Serna.

Según [47] la RECI (Red Española de Ciudades Inteligentes) está formada por 49 ciudades: A Coruña, Albacete, Alcalá de Henares, Alcobendas, Alcorcón, Alicante, Alzira, Aranjuez, Ávila, Badajoz, Barcelona, Burgos, Cáceres, Castellón, Córdoba, Guadalajara, Elche, Fuengirola, Gijón, Huelva, Las Palmas de Gran Canaria, Logroño, Lugo, Huesca, Madrid, Majadahonda, Málaga, Marbella, Móstoles, Motril, Murcia, Palencia, Palma de Mallorca, Pamplona, Ponferrada, Oviedo, Rivas-Vaciamadrid, Sabadell, Salamanca, Santander, Segovia, Sevilla, Tarragona, Torrejón de Ardoz, Torrent, Valencia, Valladolid, Vitoria-Gasteiz y Zaragoza.

En la siguiente figura se ven los proyectos más importantes que están o han estado en marcha en el mundo:



Figura 3-1: Principales proyectos de Redes Inteligentes en el mundo .Fuente: [38]

3.1 Concepto

Según [48; 49] el concepto es el de ciudad sostenible, innovadora y eficiente.

Una «Smart City» o «Ciudad inteligente» es una ciudad comprometida con el entorno, con elementos arquitectónicos de vanguardia, y donde las infraestructuras están dotadas de las soluciones tecnológicas más avanzadas para facilitar la interacción del ciudadano con los elementos urbanos.

Podemos considerar una ciudad como “inteligente” cuando las inversiones en capital humano y social, y en infraestructuras de comunicación tradicionales (transporte) y modernas (ICT), fomentan un desarrollo económico sostenible y una elevada calidad de vida, con una sabia gestión de los recursos naturales, a través de un gobierno participativo.

Smart City en España:

- Málaga
- Barcelona (distrito 22@)
- Santander
- Madrid
- La Coruña

Las bases de una ciudad inteligente son las mismas que las de una Red Eléctrica Inteligente pero aplicadas a un núcleo urbano:



Figura 2-2: Pilares de las Ciudades inteligentes .Funete:[49]

En la figura 2-16 se ven todos los puntos clave y los actores de las ciudades inteligentes.

Como podemos ver en la siguiente figura, debe de existir y coexistir una simbiosis en cuatro puntos de referencia para proporcionar una base sólida; Aspecto Humano, Gobierno, Medio Ambiente y Economía que implicará un compromiso de los diferentes agentes involucrados en un proceso de mejora constante con el fin de mejorar la calidad de vida, tanto del entorno como de sus habitantes.

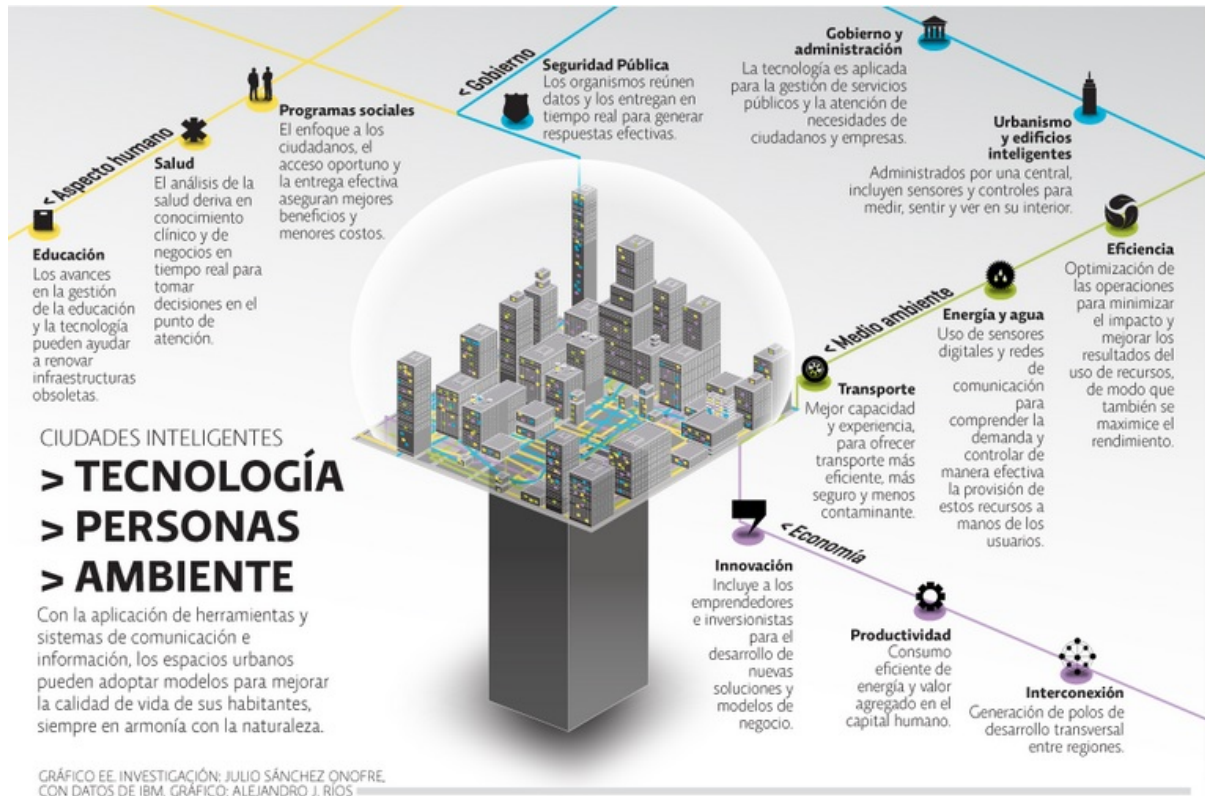


Figura 2-3: Factores que intervienen en las ciudades inteligentes. Fuente: [47].

Las Smart Cities representa un concepto de organización urbana que impulsa el incremento de la competitividad y la productividad de los territorios, mejorando así la calidad de vida y atrayendo nuevas inversiones y generando empleo sostenible.

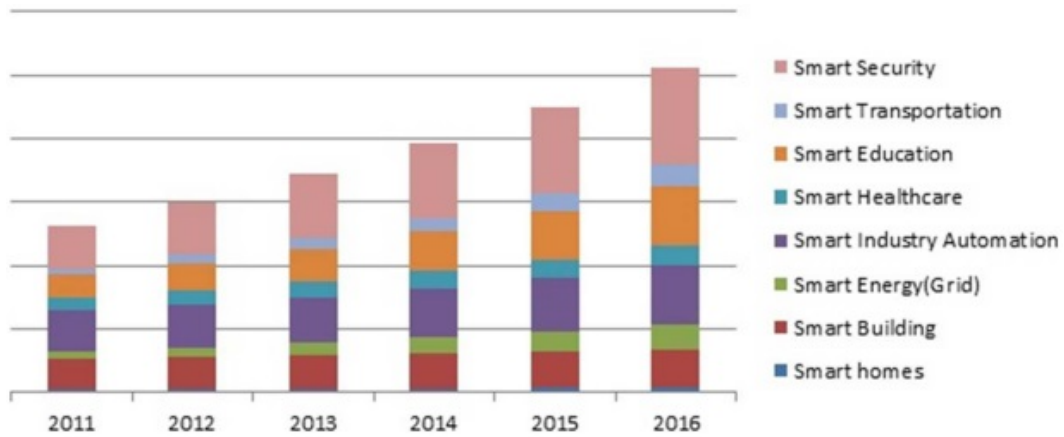


Figura 2-4: Crecimiento del mercado de Smart Cities por sector, según el informe de Markets and Markets. Security (Seguridad), Transportation (transporte), Education (educación), Healthcare (sanidad), Industry Automation (ingeniería automática), Energy (energía), Building (urbanismo), Homes (edificación y vivienda). Fuente: [48]

3.2 Estrategia de implantación de una Smart City

Para que una ciudad alcance el reconocimiento de “inteligente” o “Smart” hay que incorporar y desarrollar razonamientos de sostenibilidad y eficiencia en todos los ámbitos e implantar esta filosofía en la Administración y en los agentes económicos y sociales.

El éxito se conseguirá cuando estos razonamientos se conviertan en criterios y adquieran un carácter transversal y se apliquen por igual en todas las dimensiones de la ciudad (edificación, gobierno, economía, etc.).

Los Ayuntamientos deben impulsar la implicación de todos los integrantes de la sociedad, entre los que se encuentran:

- La ciudadanía.
- Las empresas del sector TIC encargadas de diseñar y desarrollar la componente tecnológica de las Smart Cities.
- Las empresas del sector de la construcción.
- Las empresas de servicios urbanos.
- Organizaciones no gubernamentales implicadas en los campos críticos de actuación (medio ambiente, transparencia política y económica, etc.).
- El resto de Administraciones competentes en cada caso

Es preciso analizar las tres variables para cada uno de los factores que se desee contemplar: La viabilidad de desarrollo. Para determinar si es viable desarrollar un factor o ámbito determinado, se deberán tener en cuenta los condicionantes existentes en el entorno que puedan limitar o potenciar el éxito. Entre estos factores se encuentran los económicos, geográficos, culturales, ambientales, etc.

El grado de desarrollo. Es necesario conocer la situación actual de la ciudad o el entorno, en lo referente a cada uno de los factores a valorar.

La prioridad de desarrollo. Debido a la heterogeneidad de los municipios que conforman España, las necesidades no serán las mismas en todos los casos. Los municipios menos poblados, difícilmente presentarán problemas en ámbitos como la movilidad interna, como suelen soportar los grandes núcleos de población.

Tabla 3-1: Método básico de análisis individual para cada uno de los municipios. Fuente: Adaptado de [49]

FACTORES CLAVE	
Gobierno	Transparencia
	Fiscalidad
	Eficiencia en los servicios
	Herramientas TIC
Movilidad	Conectividad y transporte local
	Conectividad regional
Sostenibilidad	Contaminación (aire y agua)
	Gestión de los recursos naturales
	Instrumentos de protección medioambiental
	Edificación inteligente
	Eficiencia energética
Población	Participación ciudadana
	Nivel socio-cultural
Economía	Diversificación de la industria
	Turismo ecoeficiente
	Clusters verdes
	Apoyo a la economía verde
	Incentivos fiscales y ayudas

3.3 Smart City (Málaga)

Según se extrae de [30] Proyecto pionero en España con objetivo de plantear el nuevo modelo de gestión energética de las ciudades, consiguiendo un aumento de eficiencia y reducción de emisiones, que va aparejado a un aumento de la generación mediante energías renovables.

El proyecto fue impulsado por un conjunto de once empresas lideradas por Endesa[50], catorce Organismos de Investigación y por la Junta de Andalucía.



Figura 3-5: Participantes en el proyecto "Smartcity Málaga". Fuente: [17]

Este proyecto, que implica a las empresas más destacadas en I+D+i, permite analizar cómo se genera la energía, su distribución y utilización en las actividades de los ciudadanos, además de favorecer la puesta en práctica de alternativas tecnológicas y medioambientales. El porqué del lugar, Málaga, se debe al potencial de crecimiento de la ciudad, a las amplias capacidades tecnológicas, la universidad y empresas cercanas, junto con el apoyo de las administraciones y las excelentes infraestructuras eléctricas.



Figura 3-6: Localización Smartcity Málaga. Fuente: [17]

El proyecto se ha convertido en un referente mundial en las tecnologías energéticas más modernas, compitiendo con otros proyectos operativos en Estocolmo, Dubái, Malta, Ohio y Colorado.

Las bases de cualquier Smart City son:

- Redes inteligentes.
- Sistemas de generación y gestión inteligentes.
- Movilidad inteligente.
- Edificios inteligentes.
- Clientes o usuarios informados e inteligentes.



Figura 3-7: Bases de una Smart City. Fuente: [31]

3.3.1 Grupos de trabajo

El trabajo se ha separado en doce grupos para poder llevar a cabo de forma ordenada los diferentes objetivos. Cada grupo de trabajo y sus funciones se describen a continuación, de una forma muy simplificada:

1. Gestión y Seguimiento del Proyecto: coordinación y control del plan de trabajo, gestión de recursos, control económico, elaboración de planes de riesgos...
2. Despliegue Operativo y Plan de Comunicación: Análisis de cobertura del despliegue, identificación y comunicación con cliente finales, ciudadanos en general y otros actores.
3. Armonización con DENISE: Supervisión y ajuste del alcance y desarrollo del proyecto para amortizarlo con las conclusiones teóricas obtenidas en el proyecto anterior ¹DENISE, realimentar ambos proyectos y extraer conclusiones.
4. Telecomunicaciones: Se definen las Tics necesarias, es decir: requisitos, protocolos, modelos, etc.
5. Sistemas: Desarrollo de los Sistemas de información que dan soporte a las necesidades.
6. Automatización de la red de Media Tensión. Implementar la inteligencia de red en media tensión. Desarrollo de dispositivos de control de cabecera de las líneas de MT, que coordina la monitorización, protección, control y la regulación de los dispositivos pertenecientes a la red de Media Tensión.
7. Mini generación y almacenamiento.: Consiste en la integración de generadores de diferentes tipos que ya existen en la zona y de un sistema de almacenamiento en MT, con sus sistemas de potencia, medida, regulación, control y protección.
8. Eficiencia Energética y Gestión activa de la demanda: Control y monitorización del consumo de clientes
9. Automatización de la red de Baja Tensión: Desarrollo de un sistema distribuido formado por muchos dispositivos conectados a la red de baja tensión, gestionado por el controlador comentado anteriormente.
10. Micro generación y almacenamiento (μ DER): instalación de elementos de generación y almacenamiento en la red de Baja Tensión.

¹ DENISE es un proyecto directamente orientado a dar respuesta a nuevos diseños y retos tecnológicos relacionados con el despliegue de una infraestructura inteligente en la actual red de distribución de energía. Frente al enfoque teórico de ámbito general del proyecto DENISE, el proyecto Smartcity Málaga, que ha tenido un enfoque práctico, ha implicado el desarrollo e implementación de soluciones a una red de distribución concreta, como ha sido la red eléctrica seleccionada de la ciudad de Málaga

11. AMI (Advanced Metering System): Definición de las tecnologías de comunicación, mejora de procedimientos de instalación de controladores y concentradores asegurando la funcionalidad e interoperabilidad del sistema global. Integración del Sistema de Telegestión de Contadores con el resto de sistemas desarrollados.
12. Vehículos eléctricos (V2G): Infraestructura de recarga compuesta por punto de recarga y vehículo eléctrico adaptado para dotarlo de la capacidad V2G, así como integrar estos elementos en los sistemas generales de monitorización y control. Estudio de viabilidad técnica y económica.

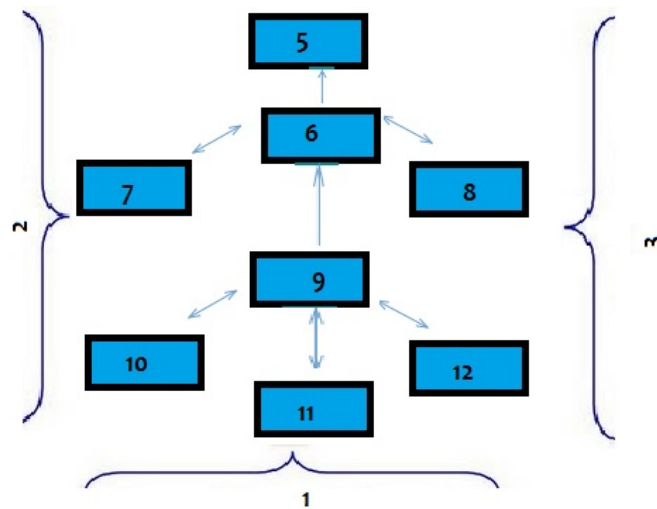


Figura 3-8: Estructura del proyecto Smartcity Málaga (grupos de trabajo). Fuente: [30]

3.3.2 Sistemas de generación iniciales

En lo que a generación de energía se refiere, la zona de Smartcity Málaga (una extensión de 4km²) contaba originalmente con los siguientes DER (Distributed Energy Resources), sumando un total de algo más de 13 MW de potencia instalada:

- Una central de cogeneración de gas natural, de 10 MW de potencia;
- Una unidad de trigeneración, de 2.74 MW, en las dependencias de la diputación de Málaga;
- Diversas instalaciones solares fotovoltaicas, repartidas por el Palacio de Ferias y congresos y otros edificios públicos como colegios, complejos de oficinas, o un hotel, con una potencia que asciende a entorno 300 kW.

3.3.3 Objetivos deseados y cómo conseguirlos

El objetivo final del proyecto es conseguir un ahorro energético del 20%, así como la reducción de emisiones en más de 6.000 toneladas de CO₂ al año en la zona del proyecto.

El plan de despliegue de telegestión comenzó en la ciudad de Málaga, instalándose los primeros equipos en el proyecto Smartcity andaluz, en junio de 2010. Desde ese mismo año, los contadores se gestionan de forma totalmente automática y remota y el sistema está completamente integrado con los sistemas comerciales y técnicos de Endesa. En el proyecto Smartcity Málaga se han probado con éxito las funcionalidades básicas y avanzadas de telegestión, incluyendo información a los clientes, integración con el vehículo eléctrico, micro-generación, almacenamiento de energía y alumbrado público inteligente, entre otras. Existen diferentes modos de almacenamiento que han sido implementados y probados en Smartcity Málaga. Podemos clasificarlos principalmente en tres:

- Almacenamiento discrecional, como el llevado a cabo por el vehículo eléctrico en su funcionalidad V2g, y como por el sistema de baterías de la Microgrid del Paseo marítimo. no tienen un modo de funcionamiento exclusivo, sino que pueden ser usados bien para alimentar al alumbrado o al vehículo en su recarga, o bien para inyectar energía a la Microgrid.
- Almacenamiento instantáneo, para la adaptación de la conexión a red de las farolas con aerogenerador, diseñadas en origen para funcionar en isla.
- Almacenamiento estacionario, como el del Palacio de Ferias, un gran punto de almacenamiento destinado a un uso muy estable, concebido para ser operado bien por el cliente directamente o bien bajo consignas o recomendaciones del sistema de control y monitorización de la Smart Grid.

Respecto a la red de baja tensión, cabe destacar la micro red, en la zona del Paseo marítimo de Málaga, que integra generación distribuida, sistemas de almacenamiento y cargas gestionables, como se ve en la figura 3-6 siguiente.



Figura 3-9: Generación y almacenamiento distribuido en la red de Smartcity Málaga .Fuente: [30]

- Instalación fotovoltaica sobre 10 farolas, con 95 W por cada una de ellas.

- Instalación eólica sobre 9 farolas, con 680 W por cada una de ellas. Estas farolas están conectadas al circuito eléctrico mediante un inversor.



Figura 3-10: Sistemas de micro-generación en farolas (eólica y fotovoltaica, respectivamente). Fuente: [30]

- Aerogenerador aislado de 4 kW.
- Un sistema de almacenamiento de 24 kWh.
- Un punto de recarga para vehículos eléctricos con funcionalidad V2G.

El proyecto está realizado en la zona de la playa de la Misericordia y está compuesto principalmente de:

- Miles de usuarios: 11.000 residenciales, 900 de servicios y 300 industriales.
- Instalación de 40 km de red de comunicaciones PLC sobre 72 centros de transformación.
- Instalaciones de generación de energía renovable (trigeneración, cogeneración, micro eólica, fotovoltaica): 13 MW en MT y 95 kW en BT.
- Instalaciones de almacenamiento (baterías de polímero de litio): 106 kWh en MT y 24kWh de BT.
- Iluminación eficiente: más de 200 puntos de alumbrado público con tecnología LED gestión remota e integración de energía renovable (viento y solar).
- Tecnologías de eficiencia energética (como monitorización del consumo, y gestión activa de la demanda) desplegados en 50 hogares, 3 edificios y 8 Pymes, proporcionando información, control y funcionalidades de gestión de la demanda.
- 11 vehículos eléctricos, 2 vehículos híbridos y 6 puntos de recarga, incluyendo un vehículo y un punto de recarga con capacidades V2G.

Como resumen se puede ver en la siguiente figura un esquema de los diferentes sistemas implementados:

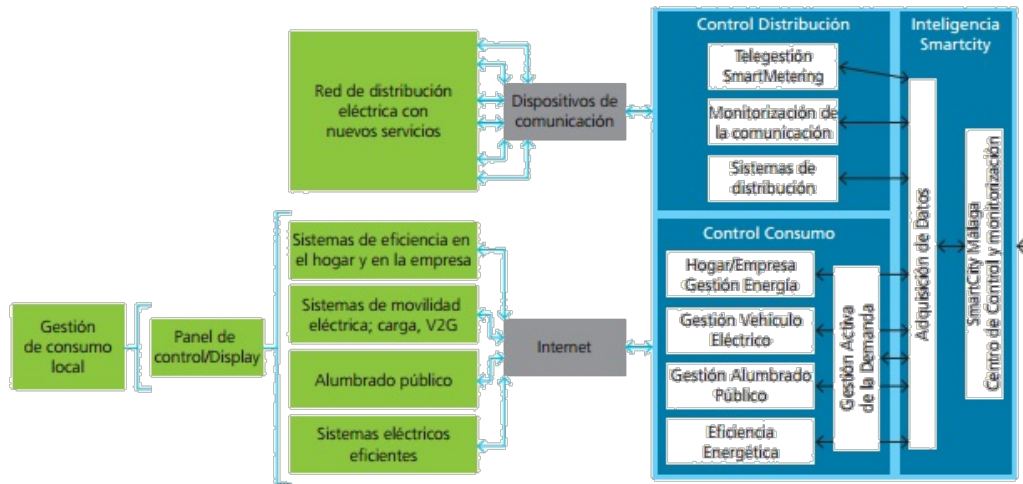


Figura 3-11: Esquema de los diferentes sistemas implementados. Fuente: [30]

3.3.4 Objetivos conseguidos a fecha 1 de enero de 2013

Los objetivos principales han sido:

- Aumentar el consumo de las energías renovables:



Figura 3-12: Objetivo Smartgrid Málaga: incremento de uso de las energías renovables. Fuente: [30]

La evolución temporal del incremento del uso de energías renovables, en el periodo de tiempo comprendido entre octubre de 2012 y enero de 2013, por medio de la representación del valor promedio en las últimas 24 horas o 30 días, respectivamente. En esta gráfica se observa cómo, a pesar de la fluctuación en los valores diarios debido principalmente a la arbitrariedad y variabilidad de las fuentes de energía renovable, el valor medio mensual del objetivo se sitúa cercano al 15% en la utilización de generación a partir de fuentes de energía renovables.

- Reducir las emisiones de CO₂:



Figura 3-13: Objetivo Smartgrid Málaga: reducción de las emisiones de CO₂. Fuente: [30]

El objetivo de ahorro de emisiones de CO₂ en el proyecto se sitúa en el 20% del consumo anual, lo que se traduce en alrededor de 6.000 toneladas anuales de CO₂. Esta reducción en las emisiones de CO₂ procede, fundamentalmente, del ahorro alcanzado en el consumo en alumbrado público, y en los clientes de elevada potencia contratada, del segmento residencial y de pymes, así como a la disminución de las pérdidas técnicas de energía, a la utilización del vehículo eléctrico, y a la generación de renovables en media y baja tensión en la zona.

- Incrementar la eficiencia energética:



Figura 3-14: Objetivo Smartgrid Málaga: aumento de la eficiencia energética. Fuente: [30]

El valor mensual se encuentra por encima del 25%. Esta mejora en la eficiencia energética se basa en:

La eficiencia del sistema de distribución, que experimenta una disminución de la demanda de energía a nivel global de la zona gracias fundamentalmente a la alta disponibilidad y capacidad de la planta de cogeneración, un aplanamiento en la curva general de demanda, y una disminución de las pérdidas técnicas en todos los niveles de tensión.

La eficiencia en el consumo de energía, que comprende todas aquellas acciones locales realizadas en el proyecto: disminución en el consumo dedicado a alumbrado público,

reducción en el consumo de clientes de elevada potencia contratada, del segmento residencial y de pymes —si bien cada uno con sus particularidades, aumento de la disponibilidad de energía renovable por medio de sistemas almacenamiento y por cobertura del vehículo eléctrico con tecnología V2g, y mayor eficiencia de los sistemas de procesamiento de datos empleados en el proyecto.

3.3.5 Problemas, ineficiencias o contradicciones

Según el informe citado ya [30] al principio de “Smart City Málaga” en el prólogo se dice (pág. 5): *“Smartcity Málaga representa un hito mundial en el desarrollo de un nuevo paradigma de la gestión de la electricidad, con resultados brillantes: el consumo de energía se ha reducido en aproximadamente un 20%”,* por otra parte en las páginas 130, 131 de dicho documento se dice: *“...el 42% de los participantes ha obtenido una reducción importante en su consumo superior al 10%, mientras que el 33% de los participantes mantiene su nivel de consumo anterior, con variaciones comprendidas en torno a +10% y –10%. El 25% restante, por el contrario, ha incrementado su consumo en más del 10%, no obstante, no es fácil asegurar en un estudio de esta naturaleza que los cambios observados en el patrón de consumo estén motivados exclusivamente por la instalación de estos dispositivos de eficiencia energética, ya que estos también pueden deberse a causas externas como la situación económica del momento, la sustitución de antiguos electrodomésticos por nuevos equipos más eficientes o el cambio de uso de la vivienda”.*

Estos dos extractos del texto son incompatibles entre sí, de lo que se puede extraer que el documento emitido del análisis no es totalmente exhaustivo.

Los números de la Smart Grid de Málaga son modestos y no permiten decir que la ciudad tendrá una Red Eléctrica Inteligente completa en un futuro próximo porque la implantación real de una Smart Grid requiere la renovación del cableado eléctrico, nuevos aparatos de medida, la automatización y control de toda la red eléctrica y aplicación de tecnologías de la comunicación.

3.4 Proyecto Denise: Distribución Energética Inteligente, Segura y Eficiente

Se extrae de [31] y [51], el proyecto DENISE (Distribución Energética Inteligente, Segura y Eficiente) es uno de los principales proyectos de I+D español y está liderado por Endesa, e integrado por 16 empresas y 9 organismos de investigación, en el marco de la iniciativa “Ingenio 2010” (Proyecto de duración desde 2007 a 2010 y 30 millones de presupuesto, del cual el 45% fue subvencionado).

El objetivo principal del proyecto es dar respuesta a dos problemas a los que se enfrenta la empresa suministradora actualmente:

- La dificultad de las redes de distribución para dar soporte a la creciente demanda energética.
- Conseguir enlazar los servicios TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) con los servicios tradicionales del suministro eléctrico.

3.4.1 Grupos de trabajo y resultados de cada grupo

El proyecto se dividió en cinco grupos de trabajo para poder organizar mejor el trabajo.

1. Cimientos Comunes. Ha permitido estimar una evolución de los perfiles socioeconómicos del consumidor para tres
2. Horizontes temporales distintos. Ha definido y diseñado la plataforma de integración universal PLATINUN, con la contribución de los diferentes participantes en la identificación de requerimientos que una plataforma de estas características debe cumplir para solventar los problemas de interoperabilidad y gestión masiva de dispositivos entre otros.
3. Inteligencia física de red. Conocimiento de los estándares tecnológicos aplicables, la normativa y el estado actual de la tecnología a aplicar en una red inteligente de distribución
4. Eficiencia energética. ha trabajado en la integración de la generación distribuida, investigando nuevos conceptos aplicables, sus requerimientos funcionales y la mitigación de su impacto en la calidad de onda. Para futuros estudios en este campo será de gran utilidad el prototipo de aplicación de planificación de integración de generación distribuida y almacenamiento que se ha desarrollado. También se ha analizado el impacto y características del consumo activo y la gestión de la demanda, aspectos clave para potenciar la eficiencia y ahorro energético.
5. Seguridad energética. Las principales actividades realizadas durante el primer año se han centrado en la determinación de los criterios técnicos y operativos para llevar a cabo la localización de averías y reposición del suministro, identificando fuentes de datos, estudiando las características que deben tener los sistemas de protección o determinando la metodología a seguir para la localización de faltas.

En este proyecto se consiguieron los objetivos definidos al principio del planteamiento del proyecto, y pretende colocar al sector de las compañías distribuidoras y generadoras un gran liderazgo.

3.5 Proyecto Fénix: Flexible Electricity Networks to Integrate the eXpected “Energy evolution”.

Proyecto europeo cuyo objetivo principal es impulsar los Recursos Energéticos Distribuidos (DER) maximizando su potencia agregando plantas a la gestión descentralizada a gran escala de energía virtual.

El objetivo final es : El de conceptualizar, diseñar y demostrar una arquitectura técnica y el marco comercial que permitan a los sistemas basados en DER convertirse en la solución para el futuro coste eficiente, seguro y sostenible de electricidad de la UE del sistema de suministro”

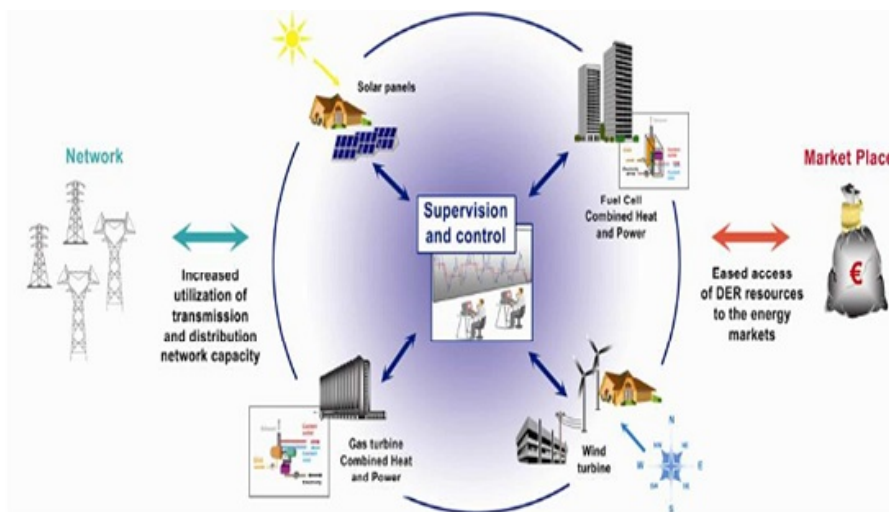


Figura 3-15: Representación de los pilares básicos del proyecto FÉNIX. Fuente: Endesa [31]

3.5.1 Fases

El proyecto está organizado en tres fases:

1. Análisis de la contribución de los DER (Recursos Energéticos Distribuidos) en el sistema eléctrico, evaluado con su penetración realista.
2. Desarrollo de una comunicación en capas y solución de control, incluyendo el funcionamiento normal o anormal, así como recomendaciones para adaptar las normas internacionales de energía.
 - Hay que tener en cuenta que el componente base es la planta a gran escala de energía virtual (LSVPP), que es una agregación de DER teniendo en cuenta la ubicación real de los DER individuales en la red.
 - Es la solución local a nivel individual de los DER
 - Nueva generación de herramientas a desarrollar DMS.

3. Validación a través de dos pliegues de gran campo, uno centrado en la agregación de cogeneración doméstica, y el segundo DER agregando grandes LSVPPs, integrado con la gestión de la red global y los mercados.

Para lograr estos objetivos FENIX incorpora centros de Investigación y Universidades con proyectos anteriores en este ámbito, también incorpora Transmisión y Distribución de Utilidades y organizaciones responsables de la regulación, normalización, etc...

3.6 Smart City VyP: Smart City Valladolid y Palencia

La iniciativa “Smart City VyP”[52] (Smart City Valladolid y Palencia) surge en el año 2010, con el objetivo de promover y favorecer la unión de Valladolid y Palencia para desplegar proyectos innovadores aplicados a escenarios urbanos e interurbanos, considerando el transporte de una ciudad a otra como una problemática más dentro de la Smart City dada su proximidad geográfica y la cantidad de personas y mercancías que se desplazan diariamente entre una y otra población. Dicha iniciativa se constituyó en Asociación el pasado 11 de octubre de 2013 tras la firma del acta fundacional por parte de sus miembros.

3.6.1 Valladolid y Palencia, Ciudades Inteligentes

El objetivo principal es la construcción de una plataforma TIC avanzada que permita informar de la disponibilidad y localización de aparcamientos para personas con discapacidad y puntos de recarga para vehículos eléctricos. Facilitará a ambos ayuntamientos la obtención de datos verídicos y reales sobre el grado de ocupación de plazas de aparcamiento y puntos de recarga, pudiendo así tomar acciones que permitan mejorar los servicios que se ofrecen a los ciudadanos.

Para ello, se desplegarán una serie de sensores autoalimentables determinadas zonas de las ciudades de Valladolid y Palencia, que ofrecerán información en tiempo real de la ocupación de las plazas de discapacitados (10 plazas en Palencia) y puntos de recarga (1 punto en Palencia). Así mismo, la plataforma permitirá la generación de estadísticas de ocupación y zonas de mayor rotación, así como un sistema de avisos a los usuarios que deseen conocer la disponibilidad de ambas zonas a través de su teléfono móvil y/o correo electrónico y su posicionamiento a través de tecnologías GPS. Lógicamente seremos nosotros quien digamos donde poner los sensores.

Plataforma de gestión de la iluminación urbana en función de la ocupación de las calles y de la intensidad precisa en cada momento, utilizando a su vez la tecnología LED, tanto por su eficiencia en el consumo como por la posibilidad de gestión inmediata de la intensidad lumínica (y su traslación directa al consumo) y la disponibilidad de encendido y apagado inmediato con toda la potencia.

La Fundación Socinfo y la Revista Sociedad de la Información han concedido a Smart City Valladolid y Palencia el premio ‘Contratos y Proyectos Smart Cities 2014 Sociedad de la Información’, en la categoría ‘Cooperación entre Ciudades y Regiones.

3.7 Energos: “Sistema Inteligente de Distribución de Energía Smart Grid”

Según se indica en [53] este proyecto es un proyecto de investigación que consiste en avanzar en la implantación de Smart Grids. El periodo de realización fue de 2009 a 2012. Este proyecto se enmarca dentro del Programa de Consorcios Estratégicos Nacionales de Investigación Técnica (**CENIT**) de impulso a la innovación y al desarrollo tecnológico en ámbitos claves para la sociedad. El Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (**CDTI**) subvenciona la mitad del presupuesto, que asciende a 24 millones de euros. Según [8] el proyecto se estructura en diversos paquetes de trabajo (PT) agrupados en clusters temáticos; el cluster I de definición de requisitos acoge a modo de paraguas los clusters II, III y IV mientras que el cluster V conlleva las actividades transversales de gestión y estandarización:

- Cluster I – Requisitos Industriales y Sociales; Especificaciones Funcionales y Técnicas
 - PTI-1 Análisis de Requisitos, Definición del Marco Funcional, Especificaciones Técnicas y Arquitectura de Red
- Cluster II – Gestión de Redes Energéticas
 - PTII-1 Entornos Avanzados de Operación y Aprendizaje
 - PTII-2 Previsión y Gestión de la Demanda Energética
 - PTII-3 Planificación de la Operación
 - PTII-4 Operación de la Red
- Cluster III – Infraestructuras y Tecnologías de Control / Comunicaciones
 - PTIII-1 Adquisición y Tratamiento de Información en Tiempo Real
 - PTIII-2 Infraestructura de Gestión y Recarga de Vehículos Eléctricos
 - PTIII-3 Supervisión y Control Automático de Microredes
 - PTIII-4 Seguridad y Disponibilidad de Activos
 - PTIII-5 Comunicaciones
- Cluster IV – Dispositivos Inteligentes de Red
 - PTIV-1 Técnicas y Métodos de Captación de Señales
 - PTIV-2 Dispositivos Inteligentes de Registro Energético
 - PTIV-3 Automatización de Equipos Primarios de Red
- Cluster V – Laboratorio de Pruebas y Contribución a Estándares
 - PTV-1 Laboratorio de Pruebas, Contribución a Estándares y Obtención de Patentes

La estructura del proyecto muestra una aproximación multidisciplinar que abarca diversos campos y contempla desde soluciones tecnológicas novedosas como las microrredes a contadores inteligentes incluyendo la integración del vehículo eléctrico o la gestión de sistemas de cogeneración.

3.8 Smart City Malta

Malta ha sido el primer país de la Unión Europea y del mundo en efectuar e implantar una Red Inteligente (el proyecto comenzó en 2009).

Situada al sur de Italia, en el Mediterráneo el proyecto de la isla de Malta conlleva más de 80 millones de euros y se consigue una Red Inteligente tanto para el agua como para la energía, consiguiendo una reducción de coste de recursos y asegurando la eficiencia y sostenibilidad. Se encuentra justo al sur de La Valeta, capital de Malta, y está a unos 5 km de distancia del aeropuerto internacional, y su extensión es de 360000m²

En [54]se indica el porqué de elegir Malta, y se ha basado en el aumento de población principalmente debido al aumento de la población gracias al turismo. En 2007, el Foro Económico Mundial ubicó el Gobierno de Malta como el segundo mayor éxito en el mundo en términos de la promoción de las TIC. La mano de obra nativa habla inglés y el país ofrece un estilo de vida mediterráneo y el patrimonio cultural que hace de Malta un lugar preferido para los negocios y turismo. Malta es de fácil acceso a Europa, Norte de África y el Medio Oriente a través de un aeropuerto internacional moderno y eficiente, y también dispone de instalaciones de transbordo y logística del estado de la técnica.

Este proyecto permite identificar las pérdidas de agua y electricidad en la red, facilitando la gestión. Cerca de 250000 *SmartMeters* monitorizan el uso de la electricidad en tiempo real, incentivando con tarifas especiales la reducción del consumo, con sensores instalados en la red y toda la infraestructura ayudan a gestionar la distribución de electricidad de forma eficiente.

Según se indica en [55], en febrero de 2014 en Malta se destapa el escándalo de los editores inteligentes, descubren 41 millones de dólares en electricidad robada, debido a los piratas informáticos. Este importe es el correspondiente al 10% de toda la energía generada por la isla. Este hecho demuestra que los contadores inteligentes son una escala de doble filo, por una parte ofrecen ventajas y por otra si la seguridad no es óptima facilitan el robo de energía.

4 Normativa y directrices

En la normativa existente se ha decidido incluir la normativa europea y la normativa española. Es de especial importancia cuando se pretende crear un estándar de funcionamiento el desarrollo de una normativa unificada, que permita la compatibilidad de los sistemas que han de desarrollarse.

4.1 Principales sistemas regulatorios actuales

4.1.1 Normativa Europea

La legislación que afecta a este sector es[56]:

- Directiva 2004/22/CE, relativa a los instrumentos de medida y la Directiva sobre servicios energéticos, donde la Comisión confiere capacidad a las organizaciones de normalización europeas CEN, CENELEC y ETSI para establecer normas europeas para la interoperatividad de los contadores inteligentes de suministros públicos, que incluyan protocolos de comunicación y funcionalidades adicionales.
- Comunicación de la Comisión al parlamento europeo, COM 2009 111, sobre las Tecnologías de la Información y Comunicación para eficiencia energética en una economía de bajas emisiones de carbón. Donde, a fin de fomentar un cambio en el comportamiento de los consumidores, las empresas y las comunidades, se incide en la importancia de que los estados miembros acuerden un nivel mínimo de funcionalidad para la medición inteligente, a fin que sea ofrecida a todos los consumidores independientemente del lugar donde vivan, garantizando la interoperatividad.
- Directiva 2009/28/CE. Relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. En la misma se establecen el triple objetivo 20-20-20, que incluye la procedencia de un 20% del consumo energético de fuentes renovables para el año 2020, una reducción de emisiones del 20% y un ahorro energético del 20%.
- Directiva 2009/72/EC. Que incide sobre la modernización de las redes de distribución y la introducción de redes inteligentes, a fin de potenciar la generación descentralizada y la eficiencia energética. Incide en la mejora de la eficiencia mediante los servicios de gestión de la energía, nuevas fórmulas de precios, sistemas de medida inteligentes o redes inteligentes. Se establece que al menos el 80% de los consumidores dispongan de contadores inteligentes para el año 2020.

- Comunicación de la Comisión al parlamento europeo, COM 2010 639, sobre Estrategia para una energía competitiva, sostenible y segura. Donde se define como primera prioridad conseguir una Europa eficiente desde el punto de vista energético, y para ello, la primera acción que define incluye el empleo por parte de las autoridades públicas de criterios energéticos relativos a la eficiencia, las energías renovables y la conexión a redes inteligentes en todos los contratos públicos de obras, servicios o productos. Como segunda prioridad, a fin de construir un mercado paneuropeo de la energía, determina una política clara y unas normas comunes para los contadores inteligentes y las redes inteligentes, que son necesarias bastante antes de 2020 para garantizar la interoperabilidad en toda la red.
- La Comunicación de la comisión al parlamento europeo, COM 2011 112, sobre la Hoja de Ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050. En el mismo, se reconoce la inversión en redes inteligentes como un factor clave para un sistema eléctrico hipocarbónico, a fin de facilitar la eficiencia de la demanda, una mayor cuota de renovables, la generación distribuida y permitir la electrificación del transporte.
- La Comunicación de la Comisión al parlamento europeo, COM 2011 202, sobre Redes Inteligentes: de la innovación a la implantación. Que propone:
 - La elaboración de normas técnicas.
 - La garantía de protección de datos de los consumidores.
 - El establecimiento de un marco reglamentario que proporcione incentivos para la implantación de redes inteligentes.
 - La garantía de un mercado minorista abierto y competitivo en interés de los consumidores.
 - La prestación de un apoyo continuado a la innovación en el ámbito de la tecnología y los sistemas.
 - En el comunicado se reconoce la urgente necesidad de adoptar normas europeas para las redes inteligentes. La comisión europea ha creado un grupo especial sobre redes inteligentes para debatir la implementación de redes inteligentes a nivel europeo, “Smart Grids Task force”.

4.1.2 Normativa Española

La legislación española regula este campo mediante los siguientes documentos: [57]

- La Ley del Sector Eléctrico 24/2013 regula, entre otras, la sostenibilidad económica y financiera del sistema eléctrico, y se establece que los ingresos del sistema serán suficientes para satisfacer la totalidad de los costes del sistema eléctrico (art. 13). Por tanto y para cumplir esta disposición, entre otras

medidas, el art. 19 regula cómo se van a compensar los desajustes temporales que se produzcan entre los ingresos y costes del sistema.

- Real Decreto 1110/2007, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Orden ITC/3860/2007, por la que se revisan las tarifas eléctricas para el año siguiente, en lo concerniente a la Disposición Adicional 1ª, Plan de sustitución de contadores.
- Proyecto de Real Decreto que establece requisitos para la recarga de vehículos eléctricos (ITC-BT-52) y modifica otras ITC del REBT, es decir, aún no está publicado; una de las obligaciones que esta norma señala en su redacción no es otra que la necesidad de contar con un punto de recarga por cada 30 plazas de aparcamiento de cualquier garaje comunitario, aparcamiento público, etc. Esto significa que el impulso al vehículo eléctrico se verá apoyado por una obligación legislativa que promocionará la instalación de infraestructuras de recarga de una forma uniforme por todo el territorio nacional.

La normativa vigente obliga a:

- Que los contadores domésticos dispongan de discriminación horaria.
- Que los contadores dispongan de la capacidad de telegestión.
- Acometer un plan de sustitución de todos los equipos ya instalados.
- Implantar un sistema de telegestión.

El plan de sustitución se enfrenta a los siguientes desafíos:

- No se han realizado pruebas piloto antes de establecer la sustitución masiva.
- El sistema de telegestión y telemedida, equipos asociados y protocolos de comunicaciones fueron aprobados por el Ministerio de Industria Turismo y Comercio en mayo de 2009, por lo que no hay disponibilidad en el mercado de equipos que cumplan con todos los requerimientos.
- Falta de aprobación por parte de las comunidades autónomas de los planes de sustitución.
- Las instalaciones de enlace del cliente deben estar adecuadas a la normativa según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión de 2002.

Estos obstáculos, junto con la ausencia de un análisis del coste y el beneficio del Plan de Sustitución, tal y como indica la normativa europea, conlleva a que el éxito del mismo no es obligar a los distribuidores a implantar la última tecnología en medida, sino incentivar que los consumidores aprovechen las nuevas oportunidades que éstos equipos les ofrecen y se mejore en eficiencia energética.

No podemos olvidar que los incentivos a las renovables son un punto a favor del desarrollo de las Redes Inteligentes, y se desarrollará en el siguiente apartado.

4.2 Marco retributivo

- Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de pre asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos. Este decreto lo que hace es eliminar las bonificaciones económicas a todas las nuevas instalaciones tanto de generación renovable como de aprovechamiento de energías residuales (cogeneración). Actualmente las instalaciones de cogeneración no están recibiendo los beneficios que hasta el 1 de enero de 2012 recibían, es por ello que muchas instalaciones están paradas, ya que cuando llega el momento del mantenimiento periódico de motores o turbinas los ingresos no compensan el gasto.
- Orden IET/221/2013, de 14 de febrero, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2013 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial.
- Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico. suprime las primas a las energías renovables: eólica, fotovoltaica y termosolar

5 Conclusiones

A continuación se expresan como conclusiones las ventajas e inconvenientes, las consecuencias personales extraídas tras la redacción de dicho trabajo y las expectativas de futuro.

5.1 Ventajas e inconvenientes

Después de lo visto anteriormente se pueden extraer una serie de ventajas y también inconvenientes en el uso e implantación de las Smart Grids, que se resumen a continuación:

5.1.1 Ventajas

Fiabilidad y calidad de energía: La red inteligente proporciona una energía más limpia, con menos interrupciones, gracias al uso de la información digital, control automático y sistemas autónomos.

1. Seguridad:

Aumenta la seguridad de la red, ya que está automatizada para detectar posibles fallos o peligros.

Las compañías eléctricas monitorizarán en tiempo real la energía consumida a través del uso de contadores inteligentes.

Obtener estadísticas de consumo por cada aparato.

Se controlan mejor los excesos de energía.

Identificar y aislar los focos de apagones para poder actuar de manera inmediata en su resolución. Hoy en día estamos acostumbrados a que se hagan conjeturas sobre el posible motivo de un apagón, y hasta pasados varios días o semanas, no se sabe realmente cuál ha sido el motivo.

Debido a que se detecta y controla el consumo instantáneo aumenta la viabilidad de las energías renovables.

Los usuarios finales recibirán alertas, por ejemplo vía SMS, cuando se produzca uno de estos apagones para notificar cuándo será restaurado el servicio.

2. Eficiencia energética:

Es más eficiente, reduce el uso total de energía: menores pérdidas de energía y permite a los clientes un mejor uso de la misma.

En momentos de picos de consumo, la compañía eléctrica podrá disminuir el consumo eléctrico de los dispositivos inteligentes (Ej.: bajando unos grados la temperatura del termostato de la calefacción en invierno de los clientes)

Controlar los dispositivos inteligentes y acceder a la información de consumo en tiempo real de forma remota, a través de Internet.

3. Medioambientales:

Ayuda a reducir la emisión de gases contaminantes, mediante la reducción de fuentes de energía ineficientes, un aumento del uso de energías renovables y la incorporación de facilidades para el vehículo eléctrico. En la siguiente figura podemos observar cómo afecta la implantación de las REI a la disminución de CO₂ a la atmósfera.

4. Financieras:

Los gastos de operaciones de mantenimiento se reducen o evitan. Los clientes tendrán acceso a sus recibos de energía y la facturación será mucho más precisa. En cuanto a los costes y beneficios totales, necesitan ser evaluados en los diferentes contextos y escalas.

El uso de dispositivos inteligentes permitirá que éstos se pongan de manera automática en marcha cuando el precio de la energía sea más barato, permitiendo al cliente reducir la factura.

Monitorizar cuándo una casa está consumiendo más energía de la que produce (Ej.: vía paneles solares) a través de los contadores inteligentes, con el objetivo de facturar correctamente al cliente.

El cliente podrá acogerse a planes de ahorro que proponga la compañía eléctrica de manera que se ajuste el gasto al presupuesto. Esto enlaza con el ejemplo de permitir a la compañía eléctrica que tome el control de los dispositivos inteligentes.

5.1.2 Inconvenientes

1. Seguridad

Reducción de la intimidad. “Para ser más eficientes, se debe de observar que hábitos dispone el consumidor en todos sus aspectos y niveles”.

Falta de madurez tecnológica.

2. Eficiencia energética

No tiene inconvenientes en este ámbito ya que es uno de los principales objetivos.

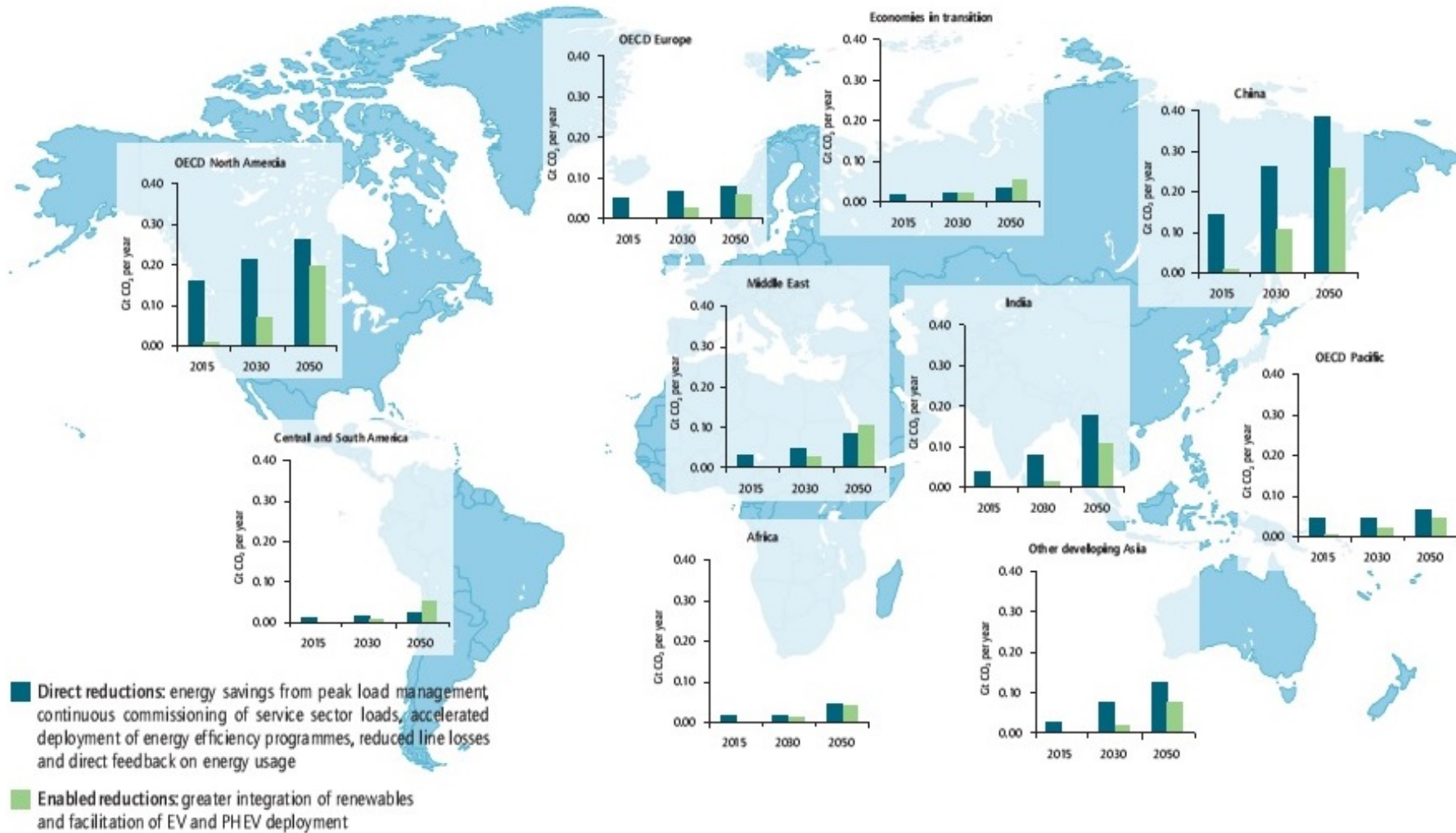


Figura 5-1: Reducciones CO2 por regiones gracias a la implantación de las REI. Fuente: [2]

3. Medioambientales

No tiene inconvenientes en este ámbito por ser prácticamente el origen de la aparición de estas Redes.

4. Financieros

El elevado coste de implantación de una Smart Grid es un inconveniente, ya que requiere la instalación de equipos electrónicos como contadores, sensores, sistemas de control y nuevo cableado.

Los beneficios son difíciles de imputar a cada agente participante.

Los incentivos son inexistentes prácticamente.

Los inmuebles encarecen. Son más complejos de ejecutar y construir.

Mayores brechas tecnológicas entre ciudades y realidades. No todas las ciudades pueden asumir tal coste. Aparición de ciudades de segunda y primera clase.

5.2 Conclusiones personales

A continuación se exponen las conclusiones personales acerca de las Redes Eléctricas Inteligentes.

Las Redes Eléctricas Inteligentes han surgido gracias a la problemática que supone el cambio climático, como solución a dicho problema, podría decirse que son una consecuencia del protocolo de Kioto, y su implantación conseguirá entre otras cosas modificar la curva de demanda actual. Debido a los cambios en la facturación y a la reducción de las tarifas en horas valle los consumidores se verán beneficiados por estas medidas, pasarán de ser unos consumidores pasivos a unos activos, lo que significa que el grado de aceptación por parte de la sociedad en general será, o es, bastante positivo, pero aún falta mucho trabajo por realizar, principalmente en lo que a normativa se refiere, ya que la normativa actual solamente afecta a los contadores digitales, para lo que hay que romper las barreras de implantación principalmente.

Gracias a una medición inteligente, se pueden habilitar servicios que mejoren la eficiencia energética y ayuden a ahorrar energía. Se aumentará la eficacia del negocio y el rendimiento en la prestación del servicio de las compañías de distribución de electricidad, las comercializadoras, los proveedores de servicios energéticos y los usuarios finales. Además, se conseguirá un uso más racional y eficiente de las instalaciones existentes.

El nuevo modelo de red eléctrica impulsa la generación distribuida, la autonomía en su control y la integración de Tics para la transmisión y manejo de datos, es decir lo único requerido es inversión, ya que las tecnologías son conocidas. El núcleo central de estas redes son las redes de telecomunicación, a través de las que se transportan los datos.

En primer lugar se ha comprobado que las REI consiguen aumentar la eficiencia energética en todo el sistema, desde la generación hasta el consumidor final, aprovechando

especialmente energías alternativas autóctonas de cada lugar, lo que asegura un descenso del impacto ambiental y de la dependencia energética, gracias a la variedad de topografías que presenta España, lo que da lugar a la implantación de diferentes tipos de energías renovables, si bien es sabido que la energía eólica es la renovable que predomina. La reducción de costes junto con los avances en sensores y todo tipo de sistemas inteligentes harán de la generación un concepto mucho más versátil.

Otro problema que puede surgir es la protección de datos que todo apunta a ser el principal problema de las nuevas redes, si para conseguir una red óptima se han de conocer los consumos reales en cada momento la intimidad de los usuarios se verá directamente afectada, personalmente considero que es el mayor reto que se plantea a las Redes Eléctricas Inteligentes, la seguridad, proteger a los usuarios no solamente su propia intimidad sino de agentes nocivos como virus, cyberataques, hackers, y otros problemas, y de robos de electricidad, como se comentó en el apartado de “Smart Grid Málaga” se ha producido robo de electricidad, podría suponer un problema el desvío de electricidad a través de algún usuario falsamente, el problema está en identificar al individuo que hace uso del dispositivo, con lo que habrá que verificar mediante algún procedimiento de autenticación la identidad de los miembros conectados.

Para que las Redes Eléctricas Inteligentes se conviertan en realidad primero habrá que implantar las micro redes, y las fuentes de generación distribuida serán, principalmente, cabe esperar, la energía solar fotovoltaica, por ser la más accesible a los ciudadanos, así como la eólica. A partir de esto se consigue una red más limpia y eficiente. Posteriormente se implantarán las nuevas tecnologías, especialmente las de almacenamiento, que la mayoría de ellas están aún en fase de estudio.

Se han expuesto algunos de los proyectos considerados como más importantes en este ámbito, que consisten en proyectos piloto para simular el funcionamiento de estas redes en la sociedad, y estudiar sus beneficios y perjuicios mejorando todo lo posible hasta alcanzar una red óptima.

En Europa los proyectos lo que buscan es la estandarización de las actividades que se llevan a cabo en una REI, mientras que en España los proyectos principales consisten en estudiar el impacto y la optimización de todos los factores que intervienen en una Red Eléctrica Inteligente, para poder realizar una buena gestión de la demanda, lo que se consigue principalmente mediante pequeños proyectos de implantación de estas redes y pruebas piloto.

Lo que define lo que suponen las Redes Eléctricas Inteligentes es la capacidad de generar sin aumentar el cambio climático aprovechando los recursos de cada región. Es el futuro de la electricidad, siempre y cuando las normativas que aparezcan se enfoquen hacia ello.

Es fácil deducir que mediante el control remoto de la energía eléctrica por parte de las compañías, facilitará a las mismas el corte del suministro energético en casos de impago, tan frecuente actualmente, eliminando la presión a los actuales trabajadores que desempeñan esa función, así como se hace real la imposibilidad del puenteo de contadores.

Por otra parte, y respecto a los contadores inteligentes, destacar que cambia el sistema de restablecimiento de energía cuando se producen las desconexiones por exceso de potencia, ya que no se disparará el diferencial, las instrucciones se explican a los usuarios al instalar los nuevos contadores, y consiste en apagar el diferencial general, dejarlo unos 5-10 segundos apagados y encenderlo, restableciéndose así la energía.

5.3 Tendencias futuras

Los proyectos llevados a cabo hasta la actualidad necesitan un mayor grado de desarrollo y de optimización, especialmente en el ámbito del concepto “inteligente”, ya que se utiliza en un –ámbito muy amplio siendo los proyectos muy diferentes, unos simplemente consisten en instalar contadores digitales, mientras que otros llevan a cabo grandes transformaciones de las redes con la instalación de energías renovables, por ello es básico en un futuro unificar criterios para evitar expectativas que se alejen de la realidad.

Los principales retos de futuro son[58; 37]:

- Más interconexiones para el mayor aprovechamiento de las energías renovables.
- Redes de alta capacidad para la integración de la gran generación con energías renovables (SuperGrids).
- Gestión activa de la red mediante la operación automatizada de flujos bidireccionales de información y de energía.
- Participación de la demanda de forma que contribuya al necesario equilibrio con la generación.
- Recarga y descarga del vehículo eléctrico para un aplanamiento de la curva de carga para una mayor utilización de la red.
- El desarrollo de una normativa complementaria para definir las capacidades adicionales que las fuentes de generación distribuida estudiadas poseen frente a cortocircuitos más severos a los especificados en los procedimientos de operación
- Fortalecer la formación y especialización en electrónica de potencia.
- Analizar la viabilidad de fabricar dispositivos de conmutación de potencia.
- Desarrollar aplicaciones de alto valor añadido.
- El desarrollo de sistemas fiables que permitan la interconexión de sistemas con diferentes características
- Sacar el máximo partido a las infraestructuras existentes de test y la ventaja diferencial que suponen.
- Monitorizar y automatizar las redes de distribución.
- Despliegue de canales de comunicación (principalmente los PLC).
- Equipos y sistemas que involucren al consumidor final en la cadena.
- Smart analytics, es decir sistemas inteligentes de análisis rápidos y eficientes de los datos recogidos por los sensores de campo.

- Mejorar los sistemas de negocio para optimizar procesos y nuevos servicios que puedan surgir.
- Estandarizar los protocolos de comunicación para permitir la fabricación de grandes series en la fabricación de algunos componentes.
- En cuanto a los componentes clave, como son las protecciones, para asegurar la fiabilidad de suministro y la robustez su diseño requiere una fabricación más delicada.
- Integración de los equipos electrónicos en sistemas electromecánicos, para poder automatizar la red a menor coste.
- Desarrollo [59]completo de la implantación de la infraestructura AMI, que permite el desarrollo de análisis de flujos de carga, estimación de estado y ajustes flexibles de control y de protecciones, orientado a la toma de decisiones en tiempo real que demandan las condiciones operativas de la red.

Uno de los grandes retos en la inversión necesaria para la transformación de la red eléctrica, estimándose que en EEUU serán necesarios 125000 millones de euros, y las compañías eléctricas dejarán de ser las principales controladoras de la nueva red, por lo que no parecen estar demasiado interesadas en el cambio. Por todo ello, consideran, la puesta en marcha de estas nuevas infraestructuras necesitará de un apoyo mundial en el que tomen parte instituciones, empresas y consumidores.

Están apareciendo nuevos modelos de negocio en este sector, que tiene un potencial muy importante ya que está comenzando a expandirse, en la siguiente imagen podemos ver las oportunidades en el Mundo.



Figura 5-2: oportunidades de negocio mundial en las Redes Eléctricas Inteligentes. Fuente: [60]

6 Lista de referencias

- [1] E. Genzone, Nuestra visión hacia un sistema energético sustentable, in: E.d.l.r. eléctrica (Ed.), Siemens Argentina S.A., 2010.
- [2] I.e. agency, Technology Roadmap:Smart Grids, 2011.
- [3] E.D. Knapp, R. Samani, Chapter 1 - What is the Smart Grid?, Applied Cyber Security and the Smart Grid, Syngress, Boston, 2013, pp. 1-15.
- [4] B. Lawrence, M. Hancock, G. Stieva, How Unreliable Power Affects the Business Value of a Hospital Schneider Electric, December 2010, pp. 16.
- [5] C. UPC, Smart Grids: Tecnologías prioritarias, FUNSEAM:Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental, 2013.
- [6] M. Hernández, Inteligencia en la Red Eléctrica, Inteligencia en la Red Eléctrica, Gran Canaria, 2010.
- [7] F.G.N. Fenosa, Ficha pedagógica.Energía y Medio Ambiente.Las redes eléctricas inteligentes, Fundación Gas Natural Fenosa, 2012.
- [8] T.d.I.I.y.T. Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, smart grids y la evolución de la red eléctrica., electrónica, tecnologías de la información y telecomunicacionesCentros tecnológicos de España, 2011, pp. 82.
- [9] E. SmartGrids, What is Smart Grids?
- [10] F. Ramos Peñuela, C.d.S. Telvent Energía y Medio Ambiente Smart Grid y los Sistemas Empotrado, CEDI 2010, Valencia, 2010.
- [11] F.J. Barrio Perspectivas de las Redes Eléctricas Inteligentes en Europa, CIEMAT, 2010.
- [12] C.A. Díaz Andrade, J.C. Hernández, Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica - Estado del Arte, Revista S&T, 2011, pp. 53-81.
- [13] J. BOAL, SMART GRID, 2009/2010.
- [14] Indra, Las Redes Eléctricas Inteligentes: el aporte de las TIC, 2010.
- [15] M.a. Ekl, Energy and Climate Change Analysis Update, EPRI, 2009.
- [16] REE, Boletín mensual, marzo 2014, 2014.
- [17] R.E.d. España, Red Eléctrica de España.
- [18] B. FISCHER, Lo que de verdad significan para España las redes inteligentes energética XXI ·, 2012, pp. 2.
- [19] INTI, Día Mundial de la Metrología 2014.Mediciones para el desafío energético global., Proyecto de Redes Inteligentes con Energías Renovables., Rosario, Argentina.
- [20] <http://www.energias-renovables.com/>, Como integrar mejora la fotovoltaica en las Redes de Distribución europeas, <http://www.energias-renovables.com/>, <http://www.energias-renovables.com/>, 2014.
- [21] CNE, conclusiones del grupo de trabajo sobre smart grids. Análisis regulatorio para el desarrollo de las redes inteligentes y la integración eficiente de recursos distribuidos. Vehículo eléctrico y generación de pequeña potencia, 2012.
- [22] E.T. Platform, SmartGRids:Redes Eléctricas Inteligentes, in: E.y. sociedad (Ed.), 2010, pp. 39.
- [23] N.I.o.S.a. Technology, NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards,Release 2.0 2012.
- [24] T. Basso, R. DeBlasio IEEE Smart Grid Series of Standards IEEE 2030 (Interoperability) and IEEE 1547 (Interconnection) Status.

- [25] H. NELSON, Redes eléctricas inteligentes (REI) O Smart Grid.
- [26] Electric Mobility in Italy, A Smart EV Recharging Infrastructure to enable Electric Vehicle market development
- [27] Instituto de investigaciones eléctricas. México.
- [28] Endesa, Isotrol, Introducción a la Generación Distribuida, 2010.
- [29] D. Infield, S. Watson, Renewable Electricity and the Grid: The Challenge of Variability, Routledge, 2012.
- [30] Endesa, Smartcity Málaga:Un modelo de gestión energética sostenible para las ciudades del futuro, Dirección General de Distribución de Endesa, 2014.
- [31] Página oficial de la compañía.
- [32] J.M. Rodríguez, La medida eléctrica inteligente. Herramienta imprescindible para el autoconsumo y el balance neto, in: Genedis (Ed.), II congreso de generación distribuida, Genedis, Madrid, 2013, pp. 12.
- [33] E. Ruiz Hidalgo, El contador de luz inteligente: qué es, cuánto cuesta y quién lo puede tener, <http://www.invertia.com/>, Energía, 2014.
- [34] L. Cabeza, Llegan los contadores inteligentes, Entrelineas,Revista digital de Red Eléctrica de España Red Eléctrica de España, Entretemas, 2011.
- [35] J.A.N., La CNMC cuestiona el nuevo cálculo de tarifa al aumentar la volatilidad del recibo, <http://www.elconfidencial.com/>, 2014.
- [36] A. González, Tipos de vehículos eléctricos, Universidad de Vigo, <http://webs.uvigo.es/>.
- [37] M.V. Gascó González, integración de energías renovables en Redes Eléctricas Inteligentes, Departamento de Ingeniería CivilÁrea de ingeniería Eléctrica, Universidad de Alicante, 2013.
- [38] M.V.H. GARCÍA, descripción de redes inteligentes (smart grids) y su aplicación en los sistemas de distribución eléctrica., electrónica, escuela politécnica nacional de ecuador, 2013.
- [39] I.C. Copper Development Association, Market Evaluation for Energy Storage in the United States 2012, pp. 69.
- [40] C.N.d. Hidrógeno, Centro Nacional de hidrógeno, <http://www.cnh2.es/?lang=en>, 2014.
- [41] UNESA, Central Hidroeléctrica de Bombeo, <http://www.unesa.es>, 2014.
- [42] C.c. tecnològic, Microredes, <http://www.ctm.com.es/>, 2010.
- [43] R. Vázquez Sánchez, H.G. Sarmiento Uruchurtu, J.L. Silva Farias, G. Vidrio López, R. Nieva Gómez, Introducción al concepto de microredes, Boletín IEE. Tendencias tecnológicas, IEE, 2010.
- [44] F.d.I.E.d.I.C.d. Madrid, Guía de Redes Inteligentes de energía y comunicación, 2011.
- [45] Eurelectric, Niveles hacia las Redes Eléctricas Inteligentes, <http://www.eurelectric.org/>, 2014.
- [46] R.N. Gómez, Red Eléctrica Inteligente:Oportunidades para la Innovación Mesa Redonda: La investigación en energía para el futuro de México: Aspectos relacionados con energía eléctrica 2010.
- [47] R.M. Peña, España avanza hacia la sostenibilidad urbana con 49 ciudades inteligentes, tendencias21, <http://www.tendencias21.net/>, 2014.
- [48] Enerlis, Curso Smart Specialization_ modulo I, 2012.
- [49] Enerlis, E.a. Young, Ferrovial, M. Network., Libro Blanco Smart Cities, 2012.
- [50] J. Arrojo, Smart Grids Summit 2010 Málaga SmartCity Malaga Smartcity:model of sustainable energy management for the cities of the future, Endesa, 2010.

- [51] INCENIO, CENIT-DENISE project, EPRI-Pre-conference workshop, 2008.
- [52] S. VyP, Smartcity Valladolid y Palencia.
- [53] CENIT, CDTI, El proyecto Energos, <http://innovationenergy.org/energos/>, 2012.
- [54] S. Malta, SmartCity Malta, <http://malta.smartcity.ae/why-malta/>.
- [55] *J. Berst*, Malta's smart meter scandal- \$41 million worth of electricity stolen, <http://www.smartgridnews.com/>, 2014.
- [56] EU, Síntesis de la legislación de la UE: Todo lo que desea saber sobre la legislación europea.
- [57] G.d.E.A.E.d.B.O.d. Estado., Legislación. Búsqueda sencilla, 2014.
- [58] Á. Díaz Gallo, Claves tecnológicas para el despliegue de las Redes Inteligentes .Distribución y Transporte de Energía, Smart Grids Workshops 2013, Tecnalia, Madrid, 2014, pp. 24.
- [59] L. Gallegos Grajales, C. Picasso Blanquel, J.M. Gómez López, Tendencias en automatización de la distribución, Boletín IEE. Tendencia tecnológica, 2011, pp. 7.
- [60] g.h.o.c.t.c. Onario Clean Technology Alliance: Canada's argest, Onario Clean Technology Alliance: Canada's argest, growing hub of clean tech companies, <http://www.ontariocleantechalliance.com/>, 2014.