

**TESIS DOCTORAL  
2016**

**INFLUENCIA DEL MARCO REGULATORIO EN LA  
IMPLANTACIÓN DE LA GENERACIÓN  
DISTRIBUIDA**

**AUTORA**

**ÁFRICA LÓPEZ-REY GARCÍA-ROJAS**

**INGENIERA INDUSTRIAL**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**DIRECTOR Dr. MANUEL ALONSO CASTRO GIL**

**CODIRECTOR Dr. ANTONIO COLMENAR SANTOS**

---

## Resumen

El aumento en la introducción de elementos de Generación Distribuida (GD) en las redes de distribución y transporte de la energía eléctrica en los últimos años, motivado por una mayor sensibilización social y gubernamental hacia la protección medioambiental, ha permitido un proceso de liberalización de los sistemas eléctricos, impulsado en gran manera por las medidas regulatorias que se han promovido activamente desde la Unión Europea y políticas de fomento de las energías renovables y de eficiencia energética.

Esta tesis realiza una revisión del concepto de GD y un análisis de las características técnicas de las diversas tecnologías que encajan en la definición de GD, así como de los principales sistemas de almacenamiento energético, que constituye uno de los principales obstáculos a la hora de realizar la integración de la GD en los sistemas de distribución. En este contexto aparece el concepto de Smart Grid, o red eléctrica inteligente; una red eléctrica que integra todos los elementos del sistema eléctrico: generación, distribución y consumo con el fin de realizar el suministro de energía de manera sostenible, económica y segura.

Se presentan los efectos que introduce la GD sobre aspectos de la calidad de suministro en las redes de distribución eléctrica y se propone una arquitectura de comunicaciones y equipamiento basada en un proyecto Smart City (SC) donde se integran las aplicaciones de redes inteligentes Smart Grid (SG).

Se revisan los aspectos más importantes en la evolución de la normativa energética de la Unión Europea, para analizar posteriormente los cambios regulatorios producidos en el desarrollo del sector eléctrico y del sector de las energías renovables en España y su tratamiento fiscal. Se trata de exponer de una forma clara y cronológica la situación actual, así como de aportar las consideraciones para una regulación de la GD que permita que su integración sea un hecho.

---

## Abstract

The increase in the introduction of elements of Distributed Generation (DG) in the distribution networks and electric energy transport in the last years, motivated for a higher social sensibility and governmental towards the environmental protection, had permitted a liberalization process of the electric systems, driven in a great way for the regulations measures that have promote actively from the European Union and development politics of the renewable energy and energetic efficiency.

This thesis makes a revision of the DG concept and an analysis of the technical characteristics of the various technologies that fix with the definition of DG, like the main energetic storage systems, that makes up one of the main obstacles when it comes the time to make the DG integration in the distribution systems.

In this context the concept of Smart Grid appears, or intelligent electric network; an electric network that integrates all of the electric system elements: generation, distribution and consumption with the final purpose of making the energy supply in a sustainable economic and safe way.

Effects that introduce the DG about quality supply aspects are obtain on the electric distribution network and it's proposed an architecture of equipment and communications based in a Smart City project where the applications of the Smart Grid intelligent networks are integrated.

The most important aspects in the evolution of the energetic normative of the European Union are reviewed to analyze after the regular changes produced in the electric sector development and the sector of renewable energy in Spain and it's tax treatment. The intention is to present clearly and chronologically the current situation as well as of providing the considerations for a regulation of the DG that allows its integration to be a fact.

---

## Contenido

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
CONTENIDO	IV
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS	V
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	IX
INTRODUCCIÓN	1
CONCLUSIONES	8
BIBLIOGRAFÍA	21

---

## Lista de símbolos, abreviaturas y siglas

ADA	Advanced Distribution Automation/Automatización de la red
AMI	Advanced Metering Infrastructure/Gestión de los consumidores
BT	Baja Tensión
CAES	Compressed air energy storage/Almacenamiento de energía de aire comprimido
CC	Corriente Continua
CE	Comunidad Europea
COM	Comisión de las Comunidades Europeas
CT	Centro de Transformación
CU	Casos de Uso
DER	Distributed Energy Resources/Gestión de los generadores
Euratom	Comunidad Europea de la Energía Atómica
GD	Generación Distribuida
GNL	Gas Natural Licuado
IAE	Impuesto de Actividades Económicas
IBI	Impuesto de Bienes Inmuebles
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
JAI	Justicia y Asuntos de Interior
LIE	Ley Impuestos Especiales
MT	Media Tensión
OM	Orden Ministerial
PANER	Plan de Acción Nacional de Energías Renovables
PE	Parlamento Europeo

PER	Plan de Energías Renovables
PESC	Política Exterior de Seguridad Común
PHEV	Plug In Hybrid Electric Vehicle/Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable
PLC	Power Line Communications/Comunicaciones mediante línea de potencia
PV	Fotovoltaica
RCCDE	Régimen Comunitario de Comercio de Derechos de Emisión
RD	Real Decreto
RD-L	Real Decreto Ley
RE	Régimen Especial
SC	Smart City
SG	Smart Grid/Red Inteligente
TJCE	Tribunal de Justicia de las Comunidades Europeas
TUE	Tratado de la Unión Europea
UE	Unión Europea

---

## Lista de figuras

**Figura 1.** Esquema de una planta de cogeneración (Fuente: ESES Asociados)

**Figura 2.** Turbina de gas de ciclo simple. (Fuente: Energtopics)

**Figura 3.** Motor de combustión interna (Fuente: Guascor Engines)

**Figura 4.** Capacidad total de energía instalada 2015 (Fuente: GWEC)

**Figura 5.** Instalación fotovoltaica en Almería (Fuente: Alexa blogspot)

**Figura 6.** Componentes de los residuos sólidos urbanos. (Fuente: Wikipedia)

**Figura 7.** Turbinas de energía mareomotriz sumergibles.  
(Fuente: energías.bienescomunes.org)

**Figura 8.** Distintas posibilidades de energía geotérmica. (Fuente: MAPFRE)

**Figura 9.** Demanda de electricidad por intervalos. (Fuente: REE)

**Figura 10.** Seguimiento de la demanda de energía eléctrica (Fuente: REE)

**Figura 11.** Imagen de central la Muela II. (Fuente: Energías Renovables)

**Figura 12.** Planta de celdas de hidrógeno.  
(Fuente: Universidad Pontificia Católica de Chile)

**Figura 13.** Sistema de baterías redox. (Fuente: [Valdovinos, 2008])

**Figura 14.** Supercondensadores comerciales. (Fuente: NEOTEO)

**Figura 15.** Potencia eléctrica con recursos renovables.  
(Fuente: elaboración propia)

**Figura 16.** Estructura de la generación eléctrica en 2015  
(Fuente: elaboración propia)

**Figura 17.** Curvas variación Potencia-tensión para distintos valores de k.  
(Fuente: Revista Anales de ICAI)

**Figura 18.** Curvas del parámetro  $k$  para alcanzar la tensión nominal en función de la potencia reactiva necesaria. (Fuente: Revista Anales de ICAI)

**Figura 19.** Variación de la tensión nominal en función de la localización de la GD en una red de MT. (Fuente: Revista Anales de ICAI)

**Figura 20.** Arquitectura Conceptual del proyecto. (Fuente: CIGRE D2 PS2)

**Figura 21.** Smart City-Smarts TIC (Fuente: Revista Uciencia)

**Figura 22.** Esquema de los CU de los sistemas básicos de SG. (Fuente propia)

**Figura 23.** Evolución de la producción de energías renovables GWh (REE)

---

## Lista de tablas

**Tabla I.** Resumen desarrollo normativo comunitario  
(Elaboración propia)

**Tabla II.** Desarrollo legislativo español (Elaboración propia)

**Tabla III.** Valores del parámetro  $k$  en función del nivel de tensión.  
(Fuente: Revista Anales de ICAI)



### **Introducción**

La energía se ha convertido en uno de los pilares que soportan el desarrollo de la sociedad actual, por lo que su disponibilidad y un uso adecuado de los recursos energéticos son ya una pieza clave a la hora de determinar el éxito o el fracaso de las economías mundiales.

La demanda energética sigue creciendo a un ritmo considerable. La electricidad gana terreno en muchos sectores de uso final y en 2040, representará casi un cuarto del consumo energético total, además el sector eléctrico lidera el camino hacia un modelo energético sin emisiones de CO<sub>2</sub>. La dependencia excesiva de un número limitado de fuentes de suministro hace que los países sean vulnerables a las alteraciones en ese ámbito.

La generación de la energía es una de las áreas que proporcionan grandes problemas medioambientales y son muchos los esfuerzos que hay que promover para articular un porvenir más esperanzador para las generaciones futuras, y en este sentido, uno de los logros más significativos es, sin duda, el desarrollo de nuevas actitudes respecto del uso racional de energía y políticas que fomentan al máximo el uso de energías renovables, también llamadas “energías verdes o limpias”, tales como la eólica, solar, hidráulica y biomasa, que reducen las emisiones de gases que producen el calentamiento del planeta.

La UE debe reducir su dependencia de los combustibles sólidos y hacer disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso de España además cabe destacar, que posee una altísima dependencia energética de terceros que alcanza más de un 86%,

continuando muy por encima de la media europea. La energía, por lo tanto, ha pasado a ser un asunto prioritario para la Unión Europea y para el Gobierno de España.

El futuro está en una combinación de ahorro energético a través de un uso más eficaz de la energía, la incorporación de fuentes alternativas (especialmente energías renovables) y una mayor cooperación internacional. Podría ahorrarse una quinta parte del consumo de energía hasta 2020, mediante cambios en el comportamiento de los consumidores y el uso de tecnologías eficientes. Esto supondría cerca de 60 millones de euros de la factura anual de energía de la UE y ayudaría a cumplir los compromisos internacionales adquiridos para invertir el cambio climático.

El Acuerdo de la Cumbre de París [EC, 2015] ha entrado en vigor legalmente el 4 de noviembre de 2016. El Acuerdo es un hito muy importante en la lucha contra el cambio climático, ya que por primera vez todos los países se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, y a hacerlo de forma transparente para el resto, con el objetivo de limitar el incremento de temperatura media respecto a la época preindustrial a 1,5 °C.

La rapidez de la entrada en vigor del mismo ha sorprendido a muchos de los expertos que estuvieron dos décadas intentando cerrar un pacto global contra el cambio climático como el adoptado finalmente en París a finales de 2015. El anterior Protocolo de Kioto [ONU, 1998], tardó casi 8 años en entrar en vigor, y sólo exigía reducciones de sus emisiones a algunos países desarrollados. En este caso, el Acuerdo de París, implica que todos los firmantes realicen una reducción de sus emisiones, y tan sólo ha tardado 11 meses en entrar en vigor.

Durante la última década la Unión Europea ha promovido activamente la liberalización del mercado eléctrico, así como ha promocionado la integración de los principios de eficiencia energética y energías renovables en el suministro y consumo final de energía [Parise, 2014]

Debido a esos procesos de liberalización de los sistemas eléctricos, de una creciente preocupación medioambiental por parte de la sociedad y del auge de las fuentes de las energías renovables, se han venido produciendo cambios que afectan a las formas de

generación eléctrica y a las propias redes de transporte y distribución. Entre ellos, destaca el crecimiento que está experimentando la Generación Distribuida.

## **Motivación**

La generación distribuida se puede definir como generación en unidades modulares relativamente pequeñas, en general inferiores a 10 MW, cuya característica esencial es estar situadas cerca de los emplazamientos del consumo y conectadas a la red de distribución para satisfacer las necesidades de los consumidores de forma económica y con el objetivo de complementar a la generación tradicional de grandes unidades conectadas generalmente a la red de transporte y subtransporte.

Lo fundamental de este tipo de generación de electricidad se encuentra en la ubicación de los generadores y no tanto en la tecnología ni en la energía primaria en concreto que se haya utilizado. Se trata de acercar de manera completa la producción de electricidad al consumidor. Las tecnologías utilizadas en la generación eléctrica distribuida pueden estar basadas en el aprovechamiento de recursos energéticos renovables (fotovoltaica, solar termoeléctrica, eólica, hidráulica, mareomotriz, biomasa) o bien en recursos energéticos no renovables (motores alternativos de combustión interna, pilas de combustible, microturbinas, tecnologías de almacenamiento eléctrico distribuido y vehículos eléctricos híbridos enchufables, PHEV).

El cambio de un sistema eléctrico centralizado a un sistema eléctrico distribuido, conlleva la disminución del impacto ambiental, de la producción eléctrica centralizada basada en combustibles fósiles, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la integración del aprovechamiento de recursos energéticos renovables y la mejora de la eficiencia del sistema eléctrico disminuyendo las pérdidas por transporte. [Tolón, 2013]

Las smart grids o redes inteligentes son un conjunto de nuevas tecnologías y funcionalidades que se integran para dar respuesta a las necesidades que se presentan actualmente en la distribución de electricidad. De aquí en adelante, se convivirá con los nuevos conceptos y componentes asociados a dichas redes eléctricas, que harán posible su transformación en “inteligentes”.

Indudablemente la introducción de la generación distribuida lleva ligado una serie de elementos económicos, regulatorios y técnicos, entre otros. El incremento producido en los últimos años en el número de instalaciones de GD nace de las políticas de fomento de las energías renovables y de eficiencia energética, impulsadas primero desde el marco comunitario y después a nivel nacional. Estas políticas han creado potentes mercados alrededor de ciertas tecnologías de GD, que rápidamente se han hecho hueco en un sector eléctrico español que está diseñado y regulado en base al modelo tradicional de generación eléctrica, y no al modelo naciente. La complementariedad entre ambos modelos es crítica para el desarrollo de futuros sistemas eléctricos de potencia, y tal complementariedad solo se podrá dar desde una regulación adecuada de las nuevas instalaciones de GD.

En la política energética europea lo más destacado ha sido el programa que la Comisión presentó en febrero de 2015 (en realidad la construcción del mercado de la energía en Europa es un proyecto de largo plazo que comenzó con las primeras directivas de gas y electricidad en los años 90) con el que pretende lograr una verdadera Unión de la Energía que proporcione energía de forma segura, sostenible, competitiva, a un precio asequible. Las prioridades de este programa están plenamente alineadas con un modelo energético más sostenible: i) seguridad energética, solidaridad y confianza entre los Estados Miembros; ii) un mercado eléctrico europeo plenamente integrado; iii) eficiencia energética que contribuya a la moderación de la demanda; iv) descarbonización de la economía; y v) investigación, innovación y competitividad [Bellver, 2015].

El mencionado acuerdo de París es una ley general que solo establece una serie de parámetros generales, es preciso por tanto el reglamento que la desarrolle, que será fundamental para concluir si finalmente este acuerdo es un éxito o un fracaso.

La red de distribución de electricidad ha estado en permanente evolución y ahora debe afrontar la incorporación de los objetivos energéticos que se plantean desde Europa, mejorar la eficiencia energética, incorporar las energías renovables y responder a los desafíos medioambientales.

La autoridad reguladora es una pieza fundamental en la seguridad jurídica del sector energético; los gobiernos y reguladores deben definir estrategias coherentes de cara al futuro. Del conjunto de retos a los que se enfrenta la introducción de la generación distribuida, el de su regulación es el que ha impulsado la realización de esta tesis.

## **Objetivo**

Como objetivo de la tesis se plantea la transición hacia el nuevo modelo energético de la generación distribuida desde tres puntos de vista: tecnológico, regulatorio y económico.

Tecnológico, pues se hace necesario revisar las características y el estado actual de las tecnologías de producción y de almacenaje de energía eléctrica que encajan dentro de la definición de Generación Distribuida, así como presentar las distintas definiciones que diversos autores han proporcionado del mismo concepto. Interesa el efecto que tendrá la integración de la GD en las redes de transporte de distribución de energía eléctrica.

Regulatorio, resulta imprescindible realizar un recorrido por la normativa europea en materia energética. El derecho comunitario derivado está formado por los actos adoptados por las Instituciones para el ejercicio de las competencias que les confieren los Tratados. Se trata de las "normas europeas". Entre éstas destacan los Reglamentos (actos aplicables directamente en todos los Estados Miembros y de manera uniforme), las Directivas (actos que fijan los objetivos a alcanzar, pero que dejan a los Estados Miembros la elección de los medios para alcanzarlos) y las Decisiones (actos que obliga únicamente al destinatario), las Recomendaciones y los Dictámenes, que no son vinculantes.

Igualmente forman parte del derecho derivado de la Unión la jurisprudencia del Tribunal de Justicia de las Comunidades Europeas (TJCE), los acuerdos internacionales de la Unión, los convenios entre los Estados Miembros, las resoluciones, declaraciones, conclusiones y comunicaciones interpretativas de la Comisión, los instrumentos PESC (Política Exterior de Seguridad Común, artículos 13-15 del TUE) y JAI (Justicia y Asuntos de Interior, artículo 34 del TUE), y otros instrumentos como directrices o programas marco plurianuales.

España, como Estado Miembro perteneciente a la Unión Europea, debe cumplir también con las normas europeas en materia energética. Es esencial también, realizar un análisis y revisión de la regulación española, con el foco puesto en la energía eléctrica y las energías renovables, por su especial relación con la Generación Distribuida.

Y, económico, pero desde el punto de vista de la influencia de aquellos aspectos ajenos a la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica, es decir desde un punto de vista de la fiscalidad de la energía.

Con todo ello, entrever los problemas regulatorios asociados a la integración de la GD y, proponer todos aquellos cambios desde el punto de vista normativo que permitan un mayor impulso de la GD y una mayor seguridad jurídica.

## **Estructura de la tesis**

La presente tesis está dividida en capítulos que van cubriendo los objetivos planteados.

Introducción. El presente capítulo proporciona una introducción con el objetivo de situar al lector en el contexto de este trabajo. Se presenta la motivación que ha llevado a su desarrollo y los objetivos perseguidos.

Se revisa el concepto de Generación Distribuida. Se presenta también un análisis, de las distintas tecnologías de producción de energía eléctrica disponibles en la actualidad, más adecuadas para su uso como Generación Distribuida, así como los sistemas de almacenamiento de energía. Para finalizar el capítulo, se introduce el concepto de redes inteligentes y su relación con la GD.

Se presentan los aspectos más importantes en la evolución de la normativa energética de la Unión Europea, para analizar posteriormente los cambios regulatorios producidos en el desarrollo del sector eléctrico y del sector de las energías renovables en España. Se presenta una revisión del carácter impositivo aplicable tanto a la electricidad como a otros ámbitos de la generación distribuida. Para terminar este capítulo, se explica la influencia de las distintas medidas políticas y regulatorias adoptadas por los gobiernos, para el impulso de la GD.

Integración de la Generación Distribuida en la Red de Distribución de Energía. Se presentan los efectos que introduce la GD sobre aspectos de la calidad de suministro en las redes de distribución eléctrica, donde se describe los llamados huecos de tensión y la problemática sobre defectos de faltas en la red donde existe GD. Posteriormente se analiza cómo afecta sobre el control de tensiones la conexión en la red de la GD tanto en media tensión (MT) como en baja tensión (BT). Se propone una arquitectura de comunicaciones y equipamiento basada en un proyecto Smart City (SC) donde se integran las aplicaciones de redes inteligentes Smart Grid (SG). Por último se realiza una exposición de los Casos de Uso de las funcionalidades para una SG.

En el último capítulo se presentan las conclusiones extraídas de esta tesis. Se proponen además nuevas líneas de investigación para trabajos futuros.

A continuación de estos capítulos, se recoge toda la bibliografía que ha servido de referencia en el desarrollo de esta tesis.

---

## CONCLUSIONES

En esta tesis se ha profundizado en el estudio y análisis de los factores determinantes en la transición hacia el nuevo modelo energético de la generación distribuida, que requiere la integración desde tres perspectivas diferentes: tecnológica, regulatoria y económica.

A lo largo de este capítulo se van a resumir las aportaciones más importantes obtenidas desde cada una de estas tres perspectivas, para terminar con algunas posibles líneas futuras de investigación.

### *Perspectiva tecnológica*

Europa se enfrenta a una demanda energética creciente a la vez que se convierte en una necesidad, la reducción del impacto ambiental producido por el sector energético. Sin embargo, satisfacer este incremento requerido en los niveles de producción energética, no puede realizarse sin poner en riesgo el medio ambiente, lo que demanda de una coordinación mucho más eficiente entre los Estados Miembros de la Unión Europea, una cooperación entre fronteras y una aproximación integrada que incluya almacenamiento energético y distribución, lo que permitiría mecanismos de respuesta más flexibles.

La recientemente creada Unión de la Energía en febrero de 2015, considera la energía uno de los temas prioritarios en la UE y pretende contribuir de forma activa en la lucha contra el cambio climático. La Comisión Europea en su “Estrategia marco para una Unión de la Energía resiliente con una política climática prospectiva” persigue impulsar la transición a una economía sin carbón, segura y competitiva. La seguridad y la eficiencia energética, el desarrollo de las infraestructuras, la culminación del mercado interior de la energía y la sostenibilidad son aspectos intrínsecamente relacionados entre sí y necesarios para afrontar estos desafíos.

Dentro del sector energético, la actividad de producción de energía eléctrica se ha caracterizado por un esquema de generación centralizada, unidireccional y complementada con medidas de incentivo y control sobre la actuación de la demanda, pero en sus orígenes no era así, sino que se aproximaba mucho más al concepto de la Generación Distribuida al que ahora se vuelve. La GD permite que la energía se genere cerca de los consumidores o incluso en sus propias instalaciones, modificando así el esquema actual.

En los últimos años la aparición de nuevos conceptos, desarrollos y sistemas de generación y control permiten la evolución gradual hacia este nuevo modelo de generación de electricidad distribuida, normalmente de pequeña potencia que comienza a integrarse de una manera eficaz en la red, y no sólo como una conexión que aporta electricidad, sino como un elemento de eficiencia, de producción y de gestión.

Indudablemente la generación distribuida presenta beneficios para el sistema, sobre todo en la reducción de pérdidas de la red en los supuestos en los que las instalaciones de generación estén cerca de los puntos de consumo y reduzcan los flujos de energía por la red, además de minimizar el impacto de las instalaciones eléctricas en su entorno [Diolettas, 2001]. Pero la GD no reduce los costes de mantenimiento de las redes de transporte y distribución ni otros costes de mantenimiento de las redes, provocando en ocasiones costes de inversión adicionales para adecuar la red a las necesidades derivadas de la implantación de la GD.

La tecnología disponible para proyectos de generación distribuida, incluye todo tipo de energías renovables (fotovoltaica, aerogeneradores, minihidráulica, biomasa, geotérmica, etc.), así como de energía convencional (máquinas de combustión interna y externa, microturbinas, celdas de combustible, etc.). La generación de energía eléctrica distribuida basada en energías renovables se verá apoyada en un futuro por la extensión del uso del vehículo eléctrico como forma de almacenamiento también distribuido (en hogares y empresas).

Al hablar de energía se debe hablar de redes que conectan los centros de producción con los centros de consumo. Debido a las características técnicas singulares de la electricidad, para garantizar la calidad y seguridad del suministro hay que mantener el

equilibrio instantáneo entre la producción y el consumo (equilibrio dinámico) y, además, los parámetros eléctricos del sistema (tensión, frecuencia, carga de líneas, etc.). Se requiere por tanto una coordinación centralizada del sistema eléctrico que actualmente recae en nuestro país en lo que se conoce como *operador del sistema, la Red Eléctrica de España*.

Con el desarrollo de las tecnologías de la comunicación y la información, que permiten la actuación en tiempo real, se da paso a las denominadas Smart Grids (redes inteligentes) que permitirá reconfigurarse para adaptarse a las distintas situaciones de generación y consumo. La red inteligente permite la comunicación bidireccional y en tiempo real entre el productor, el distribuidor, los recursos energéticos distribuidos, el operador del sistema, el consumidor y el comercializador. La tendencia, muy probablemente, sea el paso de redes de distribución con la menor supervisión posible que es lo que impera en la actualidad a redes de distribución con gestión activa, en la que todos los elementos se monitorizados y controlados en tiempo real.

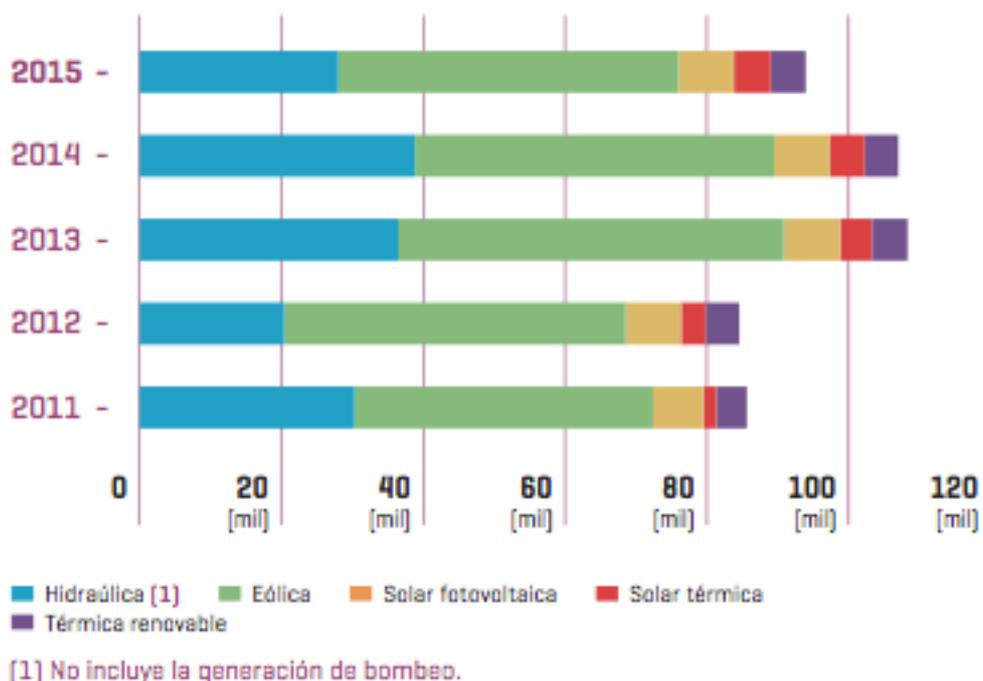
En esta tesis en primer lugar se ha presentado el concepto de Generación Distribuida desde la perspectiva de diversos autores y se han revisado las características técnicas de las diversas tecnologías que encajan en la misma, destacando en cada caso, los aspectos favorables o desfavorables de cada una de ellas en la producción eléctrica de la GD. A modo de conclusión y como definición que mejor se adapta a la GD en España, ésta se puede definir como el conjunto de sistemas de generación eléctrica de pequeña potencia conectados dentro de las redes de distribución y con una ubicación en puntos cercanos al consumo.

La energía eléctrica constituye un producto final limpio, pero las etapas que conducen hasta ese último momento (sobre todo por la combustión fósil) originan una serie de impactos ambientales negativos como el efecto invernadero. Es por ello, que las energías renovables constituyen una alternativa real a la energía convencional fósil, y además se adaptan muy bien a la descentralización, por lo que se ha focalizado el estudio normativo en la generación distribuida de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables

Las energías renovables son por definición distribuidas (a excepción de las grandes centrales eléctricas), dispersas, eficientes, y con ubicación local (producción próxima del consumo). Un modelo distribuido sustentado en las energías renovables disminuye los impactos ambientales característicos de la actividad del sector eléctrico, con una especial incidencia en la reducción de residuos nucleares y emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos derivados de la producción de electricidad a partir de combustibles fósiles. En el caso de la utilización de la biomasa ayuda también a revertir otros problemas ambientales como son la gestión de los residuos o la prevención de incendios.

Al analizar el balance del sistema eléctrico español en 2015 [REE, 2015], se observa un crecimiento de la demanda respecto al año anterior en un 1,9 %, destacando por el lado de la generación, el descenso de las renovables alrededor de cinco puntos (fig. 23) respecto al 2014 como resultado de la variabilidad de las producciones hidráulica y eólica que en 2015 han registrado descensos del 28,2 % y del 5,3 % respectivamente, aún así las energías renovables mantienen un papel destacado en el conjunto de la generación eléctrica. En 2015, el 37,4% de energía eléctrica demandada se cubrió con generación renovable.

La variabilidad temporal de las fuentes de energía renovable hace indispensable la utilización de sistemas de almacenamiento que permitan disponer de energía de forma continua. Estos sistemas permiten colaborar en el seguimiento de la demanda por parte de la generación, evitando el arranque de grupos térmicos en emergencias breves, cubriendo las irregularidades de suministro y optimizando la planificación de los sistemas de generación. En esta tesis se ha planteado la necesidad de disponer de sistemas de almacenamiento energético en los nuevos sistemas de generación distribuida, y se han analizado las características y aplicaciones de los principales sistemas de almacenamiento energético.



**Figura 23.** Evolución de la producción de energías renovables GWh. (Fuente: REE)

Para concluir, la integración de la GD en el sistema de distribución de la energía modifica sus flujos de energía. La inyección de potencia activa en las redes de distribución supone un incremento de las tensiones de toda la red, siendo esta afectación lineal con el nivel de penetración.

La localización de la GD influye notablemente en las tensiones de las redes de distribución, el impacto de la inyección de potencia activa aumenta cuanto más se aleja de la cabecera de la línea, dado que se reducen las caídas de tensión en más tramos.

En el capítulo 4 se analizaron los principales factores a tener en cuenta en la integración de la GD en el sistema de distribución. Los dispositivos de protección, control, regulación, medida, y controladores deberán interconectarse en una red jerárquica con unos niveles adecuados de calidad y fiabilidad. El reaprovechar las infraestructuras y la topología de la red eléctrica es también un elemento indispensable en este despliegue.

Con la presentación del proyecto SmartCity Málaga, ha sido demostrar que es posible conseguir con el desarrollo de estas tecnologías y con un nuevo modelo de gestión energética en las ciudades, un ahorro energético del 20%, una reducción de emisiones

de más de 6.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año en la zona del proyecto y un aumento del consumo de las energías renovables.

### *Perspectiva regulatoria*

La evolución tecnológica e implantación de la energía eléctrica con el fin de consolidar un crecimiento social y económico sostenible se ha convertido en objetivo primordial de los distintos gobiernos, ya que se encuentra inevitablemente ligada al desarrollo y al progreso de los países.

El aumento en la concienciación medioambiental de los ciudadanos ha llevado al decreto de nuevas políticas de ahorro, eficiencia y diversificación energética sustentadas en los objetivos marcados por el protocolo de Kioto y el Acuerdo de París.

La medida más importante en materia energética adoptada por la UE ha sido la *Unión de la Energía* con el objetivo de proporcionar energía de forma segura, sostenible, competitiva, a un precio asequible. Las prioridades de este programa están plenamente alineadas con un modelo energético más sostenible:

- i) seguridad energética, solidaridad y confianza entre los Estados Miembros,
- ii) un mercado eléctrico europeo plenamente integrado;
- iii) eficiencia energética que contribuya a la moderación de la demanda;
- iv) descarbonización de la economía; y
- v) investigación, innovación y competitividad.

Asimismo, la regulación debe proteger a los consumidores de pagar un precio excesivo por el servicio y al mismo tiempo asegurar que las distribuidoras tengan beneficios acordes al riesgo asociado a este negocio. La regulación también tiene que promover la eficiencia económica, es decir, incentivar la reducción de pérdidas e inversiones y una mejor gestión de las redes.

En el caso de la implantación de la Generación Distribuida, no existen en la actualidad impedimentos técnicos o tecnológicos para el desarrollo de redes de GD, se trata más bien de una cuestión de voluntad política por parte de los Gobiernos. La principal razón

para el fomento de la GD ha sido la concienciación medioambiental de los gobiernos o la sociedad en general y las políticas establecidas en el ámbito de la Unión Europea.

En esta tesis se ha realizado un análisis de la legislación de la Unión Europea en materia energética; la regulación de la GD ha venido de la mano del establecimiento de una serie de objetivos y directivas enfocadas a la promoción de las energías renovables y la cogeneración. Del mismo modo, se ha realizado una revisión al marco regulatorio aplicable a la GD en España, focalizado en la energía eléctrica y las renovables, presentando las leyes y Reales Decretos que hacen referencia directa o indirecta a la Generación Distribuida.

De la parte de la normativa europea destacar que lo más significativo en lo referente a la promoción de electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad, se encuentra en la Directiva europea 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, sobre la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de electricidad. La nueva Directiva sobre energías renovables, que deroga la 2001/77/CE es la Directiva 2009/28/CE.

Por otro lado la Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de febrero de 2004, relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía. La nueva Directiva 2012/27/UE, deroga la 2004/8/CE y modifica aspectos de otras directivas.

En el ámbito nacional, la GD se encuadra dentro del llamado Régimen Especial (RE). Nace con la Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre conservación de energía que, para el desarrollo de las pequeñas instalaciones de energías renovables y de alto rendimiento energético, reguló dos aspectos básicos: el derecho a vender la energía excedentaria a la red y a un precio definido reglamentariamente. La Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, modificó el concepto de régimen especial que había sido regulado en España desde que se promulgó la Ley 82/1980, de tal manera que el concepto normativo de generación de régimen especial quedaba para aquellas instalaciones con una potencia instalada inferior a 50 MW, con lo que la mayor parte de las instalaciones de GD en España se acogen al régimen especial.

Desde la publicación de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, se han producido numerosas modificaciones y reformas del sector que han requerido la constante intervención del legislador con el fin de adaptar la normativa a la situación en cada momento. No siempre se produjeron los efectos deseados, los desajustes entre ingresos y gastos del sistema eléctrico concluyeron en un déficit estructural no solventado por el marco normativo existente que garantizara la estabilidad económica y financiera del sector eléctrico.

A partir de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, toda la regulación que se ha ido generando en España en relación con las energías renovables, cogeneración y residuos se ha ido desarrollando y estructurando, salvo contadas excepciones, mediante disposiciones normativas comunes, a pesar de que existen diferencias significativas entre las mismas que justificarían desarrollos normativos específicos para cada una de ellas [Baena, 2014].

Con la publicación de la nueva Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, que establece la regulación básica del sector, se pretendía dotar al sistema de un nuevo marco normativo que garantizase su sostenibilidad. En su artículo 9, se regula el autoconsumo de energía y establece que todos los consumidores sujetos a cualquier modalidad de autoconsumo tendrán la obligación de contribuir a los costes y servicios del sistema por la energía autoconsumida, cuando la instalación de generación o de consumo esté conectada total o parcialmente al sistema eléctrico.

El sector de las energías renovables no está muy satisfecho con las reformas llevadas a cabo en la Ley 24/2013, ni con las recogidas en el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, que a su juicio introduce más inestabilidad regulatoria pues deja en el aire la viabilidad de las instalaciones renovables existentes o futuras, ya que contempla la posibilidad de modificar cada tres años los parámetros retributivos de las mismas de forma arbitraria [Villarig, 2014].

Del otro lado, el sector eléctrico felicita las medidas tomadas pues han permitido la consolidación de la desaparición del déficit tarifario que se arrastraba desde 2002 hasta 2013, registrándose por primera vez un superávit en 2014 [Montes, 2015].

De la revisión de la regulación, tanto europea como española y la consulta de documentos e informes emitidos por parte de distintos sectores implicados en la GD, se llega a la conclusión de que para que el impulso de la GD sea un hecho deberían darse los siguientes pasos:

- La regulación de los posibles problemas técnicos que se pueden presentar en la gestión activa de las redes, que permita a la distribuidora controlar o gestionar recursos ajenos como la generación distribuida así como la remuneración de los servicios que puede prestar la GD para la gestión activa de las redes.
- Considerar las diferencias existentes entre las distintas tecnologías renovables de forma que se realicen disposiciones normativas diferenciadas para cada tecnología, aunque existieran conceptos y partes comunes.
- Regulación técnica y administrativa que no ponga barreras ni económicas ni legales para poder generar electricidad a partir de tecnologías renovables y administrarla, bien en un intercambio con la red o bien almacenándola en baterías para su posterior consumo.
- Planificación pública y consensuada en la política energética y establecer una hoja de ruta como país que apoye decididamente un modelo de generación distribuida basado en las energías renovables y la sostenibilidad medioambiental.
- Fomentar políticas de ahorro, eficiencia y de un uso racional de la energía y potenciar la utilización de recursos propios con el objetivo de reducir la altísima dependencia del exterior que tiene España en materia energética
- Acabar con la inestabilidad jurídica y regulatoria del sector eléctrico, concretamente en lo referente a las instalaciones de energías renovables que vienen sufriendo reformas sucesivas con carácter retroactivo desde hace años. En especial el RD 413/2014 y la Orden Ministerial IET/1045/2014 cambian retroactivamente las retribuciones y condiciones en las que se hicieron las inversiones en energías renovables.

### *Perspectiva económica*

Los incentivos fiscales son mecanismos orientados a reducir la contribución fiscal de aquellos agentes del sector (promotores, fabricantes, consumidores de electricidad, distribuidores, etc.) que participan en el desarrollo generación distribuida y pueden

adoptar distintas fórmulas: deducciones o créditos fiscales, vacaciones fiscales, reducción de aranceles, depreciaciones aceleradas, etc. Generalmente se diseñan como complemento a otras políticas de apoyo, ya que por sí solas suelen ser insuficientes para permitir el desarrollo de la GD.

Las subvenciones son ayudas directas de los gobiernos, bien a los costes de inversión, bien al coste de generación de cada kWh o bien a los consumidores de energías.

Debido a la estructura territorial española, las CCAA y los entes locales tienen competencias en materia fiscal energética, lo que permite un régimen fiscal aplicable a todo el territorio nacional y regímenes fiscales autonómicos y locales, no armonizados, y donde estos últimos se caracterizan por ser de reciente creación, con fines recaudatorios y escasos efectos ambientales.

A nivel nacional son dos leyes las que han desarrollado los impuestos sobre la energía: la Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales y la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética [Larrea, 2014].

La tributación medioambiental se ha articulado en nuestro ordenamiento jurídico, fundamentalmente a través de la imposición indirecta y, en concreto, de los impuestos especiales (sobre los hidrocarburos, la electricidad y el carbón) regulados en la Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales, que se encuentran armonizados a nivel de la Unión Europea. Aunque es cierto que en la Exposición de Motivos de la Ley 38/1992 se justifica la existencia de dichos impuestos atendiendo a consideraciones de carácter extrafiscal (protección del medio ambiente), lo cierto es que son eminentemente recaudatorios [Cámara, 2015].

Sin embargo, con la promulgación de la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética, se produce un cierto cambio de orientación del legislador fiscal en lo que a la tributación medioambiental se refiere. Así, siguiendo la línea de fiscalidad ambiental que ya abrieron los legisladores autonómicos, a través de dicha Ley se han creado una serie de “impuestos verdes”, de carácter “directo”, que, recayendo principalmente sobre la energía, vienen a “unificar”, al menos en teoría, las acusadas diferencias existentes en la regulación de esta materia a nivel autonómico

Mediante la Ley 15/2012 (a) se regulan tres nuevos impuestos: (i) el Impuesto sobre el valor de producción de la energía eléctrica; (ii) el Impuesto sobre la producción de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos resultantes de la generación de energía nucleoelectrónica, y (iii) el Impuesto sobre almacenamiento de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos en instalaciones centralizadas; (b) se crea un canon por utilización de las aguas continentales para la producción de energía eléctrica, y (c) se modifican los tipos impositivos establecidos para el gas natural y el carbón en la LIE, suprimiéndose además las exenciones previstas para los productos energéticos utilizados en la producción de energía eléctrica y en la cogeneración de electricidad y calor útil.

El Impuesto sobre la Electricidad se encuentra regulado en el Capítulo IX (arts. 64 a 64 sexies) de la LIE. A pesar de lo señalado en su Exposición de Motivos, a tenor de lo dispuesto en su disposición adicional, en la práctica, la Ley ha nacido con la finalidad primordial de reducir el déficit tarifario (diferencia entre los costes de mercado y los reconocidos), uno de los problemas más importantes que tiene actualmente el sector eléctrico en España.

A nivel europeo, se han puesto en marcha diversas estrategias regulatorias para la promoción de las energías renovables. Dichas estrategias se pueden clasificar atendiendo a tres criterios fundamentales:

- Si la intervención regulatoria actúa sobre el precio o sobre la capacidad a instalar.
- Si dicha intervención actúa sobre la inversión o sobre la generación.
- Si los fondos para financiar la electricidad de origen renovable provienen de los consumidores finales de la electricidad (en proporción a su consumo) o de los contribuyentes.

Los sistemas de primas son adecuados para el impulso inicial a estas energías, como ha ocurrido en España y Alemania. Sin embargo, una vez logrado este impulso, conviene explorar las oportunidades que ofrece el mecanismo de mercado para lograr los objetivos con un mínimo coste para la sociedad. En este momento, el sistema REFIT es el que prevalece en la UE. En él, las autoridades fijan el precio de venta de la electricidad renovable, siendo el mercado quien regula la cantidad de potencia a instalar.

En definitiva, las políticas fiscales pueden ser motivo de medidas de fomento o incentivo por parte de los gobiernos a través del gasto fiscal (p. ej. deducciones o bonificaciones en impuestos), o puede constituir una fuente de recaudación tributaria por el lado de los ingresos fiscales (p. ej. impuestos a la producción de electricidad) [Martínez, 2014].

Actualmente se mantienen diversos mecanismos de apoyo e incentivo económico a los combustibles fósiles y la energía nuclear que reducen de manera significativa la competitividad de las tecnologías renovables. Un ejemplo de ello son los incentivos a la inversión a los ciclos combinados.

Para impulsar la GD con energías renovables desde un punto de vista de la fiscalidad, los tributos podrían fijar sus bases imponibles a partir de las emisiones posibles de dióxido de carbono, incentivando el uso de fuentes de energías renovables en sustitución de las tradicionales.

Se podría ir hacia una diferenciación en la imposición de la electricidad en función del origen de la misma, ya que la Directiva 2001/77/CE relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad incorpora las llamadas garantías de origen cuya finalidad consiste en servir para que los productores de electricidad que utilizan fuentes de energía renovables puedan demostrar que la electricidad que venden ha sido generada a partir de fuentes de energía renovables.

Incentivar fiscalmente la investigación, el desarrollo y la innovación en energías renovables.

Además se debe considerar que el impacto fiscal en un escenario de implantación de generación distribuida a partir de tecnologías renovables es muy importante en relación a las cotizaciones sociales vinculadas a los nuevos puestos de trabajo, al igual que la construcción de nuevas plantas de energía renovables supondría una importante fuente de ingresos a los Ayuntamientos, junto con el IAE y el IBI.

## *Líneas futuras*

En la evolución de las redes tradicionales a las redes inteligentes, va a resultar imprescindible la existencia de estándares que permitan la interoperabilidad entre los distintos sistemas integrantes de la Smart Grid, la búsqueda de estos estándares sería una posible vía de investigación a seguir.

La fusión dentro de estas redes inteligentes del sistema eléctrico con las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, intensificará el carácter público de la red, de manera que será preciso estar atentos a que no se vulnera la privacidad, dada la increíble información sobre consumos de energía eléctrica que se transmitirá a través de dichas redes. En este caso, el trabajo a desarrollar sería la detección de toda la problemática que puede conllevar y cómo las leyes pueden proteger a los ciudadanos.

El acceso generalizado a las fuentes de energías renovables implica un aumento del autoconsumo, el cual es eficiente cuando el coste de producir es menor que los costes que se está ahorrando al sistema por ello. Otra posible vía de estudio sería el análisis de la relación directa entre el autoconsumo y el vehículo eléctrico y cómo puede afectar su desarrollo, en la evolución de la red eléctrica.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- [Abdmouleh, 2015] Abdmouleh, Z., Alammari, R.A.M., Gastli, A. "Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45 (2015) pp. 249-262
- [Ackermann, 2001] T. Ackermann, G. Andersson and L. Söder: "Distributed generation: a definition". *Electric Power Systems Research*, Vol. 57, pp. 195-204; 2001.
- [AIE, 2015] *World Energy Outlook 2015*. International Energy Agency. OCDE, 2015
- [Álvarez, 2014] Álvarez, E., Castro, U. "Generación Distribuida y Autoconsumo. Análisis regulatorio. Cátedra de Energía de Orkestra. Octubre 2014  
<http://www.orkestra.deusto.es/es/>
- [Álvarez, 2007] Álvarez, M. "Análisis y reparto de costes de conexión de régimen especial a redes de distribución". Tesis Máster Sector Eléctrico. Universidad Pontificia de Comillas.
- [Ancillotti, 2013] Ancillotti, E., Bruno, R., Conti, M. "The role of communication systems in smart grids: Architectures, technical solutions and research challenges". *Comput Commun* 2013; 36:1665–97.
- [Baena, 2014] Baena, A. "Como promover las renovables y no morir en el intento". *Cuadernos de energía*, nº 42, 2014. ISSN:1698-3009
- [Bayod-Rújula, 2009] Bayod-Rújula, A.A. "Future development of the electricity systems with distributed generation". *Energy* 34 (2009) 377–383
- [BCG, 2011] The Boston Consulting Group. "Evolución Tecnológica y Prospectiva de Costes de las Energías Renovables", 2011, IDEA
- [Bellver, 2015] Bellver, J y otros. *Observatorio de Energía y Sostenibilidad en España*. Edición del 2015. Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad. Universidad Pontificia Comillas
- [Benachaiba, 2011] Benachaiba, C., Haidar A., Habab, M., Abdelkhalek O. "Smart Control of UPCQ within Microgrid Energy System". *Energy Procedia* 2011; 6:503-512.
- [BOE, 1992] Boletín Oficial del Estado. Ley 38/1992 de Impuestos Especiales. Num. 312, de 29 de diciembre de 1992 BOE-A-1992-28741
- [BOE, 1997] Ley 54/1997 del Sector Eléctrico del 27 de Noviembre.  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1997-25340](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1997-25340)
- [BOE, 2005] Boletín Oficial del Estado. Ley 22/2005. núm. 277, de 19 de noviembre de

2005, páginas 37821 a 37838

[BOE, 2007] Ley 17/2007 de 4 de julio.

[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-13024](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-13024)

[BOE, 2012] Boletín Oficial del Estado. Num. 24. Sec. I. Pág. 8068 Real Decreto-ley 1/2012

[BOE, 2013] Boletín Oficial del Estado. Num 310. Sec. I. Pág. 105198 Ley 24/2013

[BOE, 2015] Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 900/2015 de 9 de octubre de 2015, páginas 94874 a 94917

[BOE, 3/2012] Real Decreto-ley 13/2012, de 30 de marzo. Num 78.

<https://www.boe.es/boe/dias/2012/03/31/pdfs/BOE-A-2012-4442.pdf>

[Bracco, 2013] Bracco, S, Delfino, F, Pampararo, F., Robba, M. Rossi, M. The University of Genoa smart polygeneration microgrid test-bed facility: The overall system, the technologies and the research challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013; 18:442-459.

[Cámara, 2015] Cámara, M.C. "Tributación medioambiental a nivel estatal: antecedentes y situación actual" 3<sup>er</sup> Encuentro de Derecho Financiero y Tributario. La Reforma del Sistema Tributario Español. Instituto de Estudios Fiscales. DOC 11/2015

[Carta, 2013] Centrales de energías renovables. 2<sup>a</sup> edición. Carta, J. A., González, Calero, R., Colmenar, A., Castro, M., Collado, E. PERSON EDUCATION 2013. ISBN: 9788483229972

[CE, 2011] Comunicación de la Comisión de COM/2011//0885. Hoja de Ruta de la Energía para 2050.

[CE, 2014] Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones "Un Marco estratégico en materia de clima y energía para el período 2020-2030" [COM(2014) 15 final] de 22.1.2014.

[CE, 2015] Comisión Europea. "Diez prioridades para Europa". ISBN 978-92-79-494444-4  
[http://europa.eu/pol/index\\_es.htm](http://europa.eu/pol/index_es.htm)

[Colmenar, 2015] Colmenar, A., de Palacio, C., Enríquez-García, L.A, López-Rey, A. "A Methodology for Assessing Islanding of Microgrids: Between Utility Dependence and Off-Grid Systems". Energies. Volume 8 (5), 2015, pp 4436-4454-

[Colmenar, 2016] Colmenar, A., Reino, C., Borge, D., Collado, E. "Distributed generation: A review of factors that can contribute most to achieve a scenario of DG units embedded in the new distribution networks". Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 59, 2016, pp 1130-1148

- [Comisión, 2015] Comisión Europea. Comunicación de la Comisión de la “Estrategia Marco para una Unión de la Energía resiliente con una política climática prospectiva” COM(2015) 80 final
- [Cossent, 2009] Cossent, R., Gómez, T, Frías, P. “Towards a future with large penetration of distributed generation: Is the current regulation of electricity distribution ready? Regulatory recommendations under a European perspective”. 2009. Energy Policy 37 pp 1145–1155
- [Cunjiang, 2012] Cunjiang, Y., Huaxun, Z., Lei, Z. Architecture Design For Smart Grid. Energy Procedia 2012; 17:1524-1528.
- [Dallinger, 2012] Dallinger, D, Wietschel, M. Grid integration of intermittent renewable energy sources using price-responsive plug-in electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012; 16:3370-3382
- [del Blanco, 2001] del Blanco, A. “Fiscalidad de la energía” Instituto de Estudios Fiscales. DOC N° 4/10. I.S.S.N.: 1578-0244
- [DENISE, 2010] DENISE Proyecto de Distribución Energética Inteligente, Segura y Eficiente. 2010  
<http://www.cedint.upm.es/es/proyecto/denise>
- [Diolettas, 2001] Diolettas, S., Lloveras, J. “Las ventajas de la generación eléctrica distribuida”. XVII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos. 2001
- [DOUE, 2002] Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Reglamento (CE) n° 493/2002 de la Comisión, de 19 de marzo de 2002. ISSN, 1012-9200. L0077, 20 marzo 2002
- [DOUE, 2003] Diario Oficial de la Unión Europea. L 283/51. Directiva 2003/96 del Consejo de 27 de octubre de 2003. ISSN 1725-2512. 30 octubre 2003
- [EC, 2015] Comisión Europea. Acuerdo de París. 2015  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index\\_es.htm](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index_es.htm)
- [El-Khattam, 2004] El-Khattam W, Salama, MMA. Distributed generation technologies, definitions and beneficts. Electric Power Systems Research 2004; 71(2): 119-28
- [Endesa, 2009] Smart City Málaga  
[http://www.endesa.com/es/saladeprensa/noticias/Documents/Smartcity%20Malaga\\_ESP.pdf](http://www.endesa.com/es/saladeprensa/noticias/Documents/Smartcity%20Malaga_ESP.pdf)
- [ERU-lex, 2001] Propuesta de la Comisión ante el Consejo Europeo de Gotemburgo. COM/2001/0264 final
- [FEDIT, 2011] Smart Grids y la Evolución de la Red Eléctrica. Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

- [FENERCOM, 2007] Guía básica de la generación distribuida. Depósito Legal M-23400-2007. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- [Foley, 2013] Foley, A., Tyther, B. Calnan, P., Ó Gallachóir, B. Impacts of Electric Vehicle charging under electricity market operations. *Applied Energy* 2013; 101:93-102
- [Fotouhi, 2012] Fotouhi Ghazvini MA, Morais, H., Vale, Z. "Coordination between mid-term maintenance outage decisions and short-term security-constrained scheduling in smart distribution systems". *Appl Energy* 2012; 96:281-91.
- [FuiTie, 2013] FuiTie, S., Tan, C.W. A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 20:82-102.
- [Funsho, 2010] Funsho, M., Hizam, H.m Pouresmaeil, E. "Distributed energy resources and benefits to the environment ". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 14, 2010, pp 724-734
- [Galera, 2014] Galera, S. "Del ahorro de energía a la eficiencia energética: Objetivos e instrumentos de la política comunitaria". *Revista del derecho urbanístico y medio ambiente*. ISSN 1139-4978, año nº 48, nº 289, 2014. pp 85-120
- [Gao, 2012] Gao, J., Yang Xiao Y., Liu, J., Liang, W., C.L., Chen, P. A survey of communication/networking in Smart Grids. *Future Generation Computer Systems* 2012; 28:391-404.
- [Gaviano, 2012] Gaviano, A., Weber, K., Dirmeier, C. "Challenges and integration of pv and wind energy facilities from a smart grid point of view". *Energy Procedia* 2012; 25:118-25.
- [Gómez, 2006] Gómez JC, Amatti JC. Distributed generation-power quality interaction, specifically referring to voltage dips. Argentina: School of Engineering, Rio Cuarto National University, 2006.
- [Gómez, 2014] Gómez, T. y Escobar, R. "Construyendo el Mercado europeo de la energía: legislación, desarrollos y retos". *Cuadernos de información económica*. Noviembre 2014.  
www.funcas.es
- [González, 2013] Desarrollos de smart grids para el fomento de la eficiencia energética; M. A. Sánchez Fornié, R. González Sainz-Maza. *Revista Anales de Mecánica y Electricidad*
- [González-Longatt, 2004] González-Longatt, F. M. Tecnologías de Generación Distribuida: Costos y Eficiencia. I Seminario de Ingeniería Eléctrica, UNEXPO, 2004
- [Guervós, 2013] Guervós, M.A., "Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética" *Ars Iuris Salmanticensis: AIS: revista europea e iberoamericana de pensamiento y análisis de derecho, ciencia política y criminología*. ISSN-e 2340-5155, Vol. 1, Nº. 1, 2013, pp. 183-184

- [GWEC, 2016] Global Wind Energy Council.  
<http://www.gwec.net/global-figures/wind-in-numbers/>
- [Hernández, 2009] Hernández Ruiz, J. E. Análisis de las prestaciones de un sistema de cogeneración. Proyecto de Grado.
- [Hossain, 2012] Hossain, M. J., Saha, T.K., Mithulananthan N., Pota H.R. "Robust control strategy for PV system integration in distribution systems". Applied Energy 2012; 99:355-362
- [IDAE, 2005] Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Instituto para la diversificación y el ahorro de la energía. IDAE. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.  
<http://www.idae.es>
- [IDAE, 2016] Informe Estadístico Energías Renovables. Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía. IDAE. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 2016
- [IEA, 2011] Technology Roadmap. Smart Grids. International Energy Agency, 2011.
- [INTEGRIS, 2010] Arquitectura Global del proyecto INTEGRIS.  
[http://fp7integraris.eu/uploads/deliverables/100205\\_INTEGRIS\\_MGM\\_v0r2.pdf](http://fp7integraris.eu/uploads/deliverables/100205_INTEGRIS_MGM_v0r2.pdf)
- [Jarabo, 1991] Jarabo, F. El Libro de las Energías Renovables, 2ª Edición, S. A. de Publicaciones Técnicas, Madrid, 1991. ISBN 84-86913-01-2
- [Järventausta, 2010] Järventausta, P., Repo, S., Rautiainen, A., Partanen, J. "Smart grid power system control in distributed generation environment". Ann Rev Control 2010; 34:277-86.
- [Jenkins, 2000] Jenkins, N., Allan, R., Crossley, P. y Strbac, G. "Embedded Generation" The Institution of Electrical Engineers (2000).
- [Jiménez, 2016] Jiménez, D. "Las eléctricas ya solo piden tiempo" Fundación Renovables.  
<http://blogs.20minutos.es>
- [Jones, 2000] Jones, T. y Petrie, E. "Expansión de la Red". Generación distribuida y compañía eléctrica virtual. Revista ABB - nº 3 (2000).
- [Kerebel, 2016] Kerebel, C. "El Mercado interior de la energía"  
[http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/es/FTU\\_5.7.2.pdf](http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/es/FTU_5.7.2.pdf)
- [Khan, 2013] Khan, R.H., Khan, J.Y. "A comprehensive review of the application characteristics and traffic requirements of a smart grid communications network". Computer Networks. Volume 57, Issue 3, 2013, pp 825-845

- [Larrea, 2014] Larrea, M, Puig, I, Álvarez, E., Calaf, M., Jofra, M., Orena, A. “Revisión de los impuestos energéticos en España”. Green Budget Europe. Carbon and Energy Pricing Reform in Europe. 2014
- [Lei, 2012] Lei, L., Nengling, T and Guangliang, Y. Wide-area protection research in the smart grid. Energy Procedia 2012; 16:1601–6.
- [Lindley, 2011] Lindley, D. Redes inteligentes: El problema del almacenamiento de la energía.  
<http://www.npgiberoamerica.com/union-fenosa/redes-inteligentes-el-problema-del-almacenamiento-de-la-en.html>
- [López-Cózar, 2006] López-Cózar, J.M. Manuales de energías renovables. Energía solar térmica. IDEA.
- [Maarten, 2012] Maarten; W. The research agenda on social acceptance of distributed generation in smart grids: renewable as common pool resources. Renew Sustain Energy Rev 2012; 16:822–35.
- [María-Tomé, 2013] María-Tomé, B., Pérez, S. “El autoconsumo energético y la generación distribuida renovable como yacimiento de empleo”. Fondo Social Europeo
- [Martínez, 2014] Martínez, M.I., Cámara, A., Guilló, N., Fernández, I. “El impacto de las energías renovables en la economía con el horizonte 2030”. Abay Analistas Económicos y Sociales para Greenpeace. 2014
- [Méndez, 2005] Generación distribuida: aspectos técnicos y su tratamiento regulatorio. Tesis doctoral. V. H. Méndez Quezada. Universidad Pontificia de Comillas. 2005
- [MIETUR, 2015] “La energía en España en el 2014”. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Secretaría de Estado de Energía. ISSN 2244-7110, 2015
- [MIEYT] Agenda para el fortalecimiento del sector industrial en España.  
<http://www.minetur.gob.es/industria/es-ES/Servicios/Documents/Agenda-fortalecimiento-sector-industrial-Espa%C3%B1a-Definitivo-Publica-Correccion-2-2.pdf>
- [Montes, 2015] Montes, E. UNESA. Informe Eléctrico. Memoria de Actividades. Memoria Estadística. 2015
- [Moreno-Munoz, 2011] Moreno-Muñoz A, González de la Rosa J.J., Flores-Arias JM, Bellido-Outerino FJ, Gil-de-Castro A. “Energy efficiency criteria in uninterruptible power supply selection”. Appl Energy 2011; 88:1312–21.
- [Niemi, 2012] Niemi, R., Mikkola, J., Lund, P.D. Urban energy systems with smart multi-carrier energy networks and renewable energy generation. Renewable Energy 2012; 48:524-536

- [Niknam, 2011] Niknam, T. "A new HBMO algorithm for multiobjective daily Volt/Var control in distribution systems considering Distributed Generators". Applied Energy 2011; 88: 778-788.
- [Núñez, 2014] Núñez Peralta, J. A., Perea Sánchez, J. A.: "Análisis comparativo técnico-económico entre sistemas de cogeneración con ciclo Joule-Brayton y ciclo Rankine aplicados a una planta industrial azucarera". Tesis Doctoral. 2014
- [OECD, 2002] Organisation for economic cooperation and development, "Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets", International Energy Agency, ISBN: 92-64-19802-4, 2002.
- [ONU, 1998] Protocolo de Kioto. Organización de Naciones Unidas. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- [Ortiz, 2013] Ortiz, M. "El marco jurídico de la generación distribuida de energía eléctrica: autoconsumo, redes inteligentes y el derecho al sol". Eficiencia energética y derecho. ISBN 978-84-9031-736-5, págs. 235-286. 2013.
- [Panwara et al, 2011] Panwara NL Kaushikb SC, Khotaria S. Role of renewabler energy sources in environmental protection: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011; 15(3): 1513-24
- [Parida, 2011] Parida B., Iniyana, S., Goic, R. A review of solar photovoltaic technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011; 15:1625-1636.
- [Parise, 2014] Parise, G., Martiriano, L. and Parise, L. "Ecodesign of Ever Net-Load Microgrids." IEEE Transactions on Industry Applications. Volume 50. Issue 1, 2014, pp 10-16
- [Pérez, 2005] Pérez, J. I. (2005) "Libro Blanco sobre la Reforma del Marco Regulatorio de la Generación Eléctrica en España". Instituto de Investigación Tecnológica (IIT). Universidad Pontificia de Comillas.
- [PE, 2016] Parlamento Europeo. "La Energía Renovable". Fichas técnicas sobre la Unión Europea, 2016.
- [Piumetto, 2013] Piumetto, M., Gómez Targarona, J.C. "Characterisation of voltages dips and their impact on sensitive loads in an MV system with distributed generation during a monophasic failure". IEEE Latin American Transactions, Vol. 11, NO. 1 2013
- [PWV, 2016] PricewaterhouseCoopers. "El autoconsumo en España. Segmentos residencial y comercial". [www.pwc.es](http://www.pwc.es)
- [REE, 2015] Red Eléctrica de España. "El Sistema Eléctrico Español. Avance 2015". M-39696-2015

[http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/avance\\_informe\\_sistema\\_electrico\\_2015\\_v2.pdf](http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/avance_informe_sistema_electrico_2015_v2.pdf)

- [Redes, 2012] Proyecto Redes 2025. Desarrollo de soluciones tecnológicas para la red eléctrica Española del 2025. (2009-2012).
- [Reino, 2016] Reino Río, C. “Análisis y Evaluación de los factores más determinantes y que pueden contribuir en mayor medida al definitivo despegue de la integración de la Generación Distribuida”. Trabajo Fin de Máster, UNED.
- [Richardson, 2013] Richardson, D.B. Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 19:247-254.
- [Rifkin, 2010] Rifkin, J. “La Civilización empática: la carrera hacia una conciencia global en un mundo en crisis”. Paidós Ibérica. ISBN: 9788449323560
- [Rodríguez, 2012] Rodríguez, A. *Uciencia revista científica nº10, Energías Renovables*. Diciembre 2012.
- [Ruiz, 2012] Ruiz, S., Colmenar, A, Castro, M. EU plans for renewable energy. An application to the Spanish case. *Renewable Energy* 2012; 43:322-330.
- [Ruiz-Romero, 2013] Ruiz-Romero, S., Colmenar Santos, A., Gil, R., Molina-Bonilla, A. “Distributed generation: The definitive boost for renewable energy in Spain”. *Renewable Energy* 2013; 53:354-364.
- [Ruiz-Romero, 2014] Ruiz-Romero, S., Colmenar, A., Mur, F., López-Rey, A. “Integration of distributed generation in the power distribution network: The need for smart grid control systems, communication and equipment for a smart city. Use cases”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 38, 2014, pp 223-234.
- [Saldaña, 2010] Saldaña, C.R. “Análisis del desempeño del relé anti-isla de un generador distribuido”, 2010.
- [Salem, 2013] Salem, A. Electricity agents in smart grid markets. *Comput Ind* 2013; 64 (3): 235-41.
- [Samad, 2012] Samad, T., Kiliccote, S. “Smart grid technologies and applications for the industrial sector”. *Computers and Chemical Engineering* 2012; 47:76-84.
- [Segura, 2005] Segura Heras, I. “Evaluación del impacto de la generación distribuida en sistemas de distribución primaria de energía eléctrica”. Tesis doctoral. UPV. 2005
- [Sepúlveda, 2010] Sepúlveda, J. “La Generación Distribuida en España” Proyecto Fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid. 2010

- [Sompol, 2011] Sompol, K., Boonyang, P. Energy management and control system for smart, renewable energy remote power generation. *Energy Procedia* 2011; 9:198–206.
- [Tan, 2013] Tan, W., Hassan, M., Majid, M and Rahman, H. Optimal distributed renewable generation planning: A Review of different approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 (2013) 626 -645
- [Tolón, 2013] Tolón, T. “Operación y Gestión de Microrredes energéticas urbanas en un entorno de sostenibilidad energética y ambiental”. Memoria fin de Máster Universitario UB-UPC de Energía en Ingeniería. 2013
- [Trebolle, 2006] Trebolle, D. La generación distribuida en España. Trabajo Fin de Máster. ICAI
- [TS, 2016] Tribunal Supremo. Sala de lo Contencioso-Administrativo. Auto del Recurso de Casación 2554/2014.
- [Usman, 2013] Usman, A, Shami, S. H. Evolution of Communication Technologies for Smart Grid applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 19:191-199.
- [Valdovinos, 2008] Valdovinos, F. Almacenamiento de energía: Desarrollos tecnológicos y costos. Universidad Católica de Chile. IEN 3320. 2008
- [Vaquero, 2014] Las redes eléctricas inteligentes. Vaquero, J. Universidad Rey Juan Carlos, 2014
- [Villarig, 2014] Villarig, J.M. “Energías Renovables. Una visión del sector”. Cuadernos de energía, nº 42, 2014. ISSN:1698-3009
- [Wade, 2010] Wade, N.S., Taylor, P.C., Lang, P.D., Jones, P.R. Evaluating the benefits of an electrical energy storage system in a future smart grid. *Energy Policy* 2010; 38:7180-7188.
- [Wang, 2011] Wang, W., Xu, Y., Khanna M. “A survey on the communication architectures in smart grid”. *Computer Networks* 2011; 55:3604–29.
- [Yingvi, 2009] Yingyi, L., Campbell, Roy. Understanding and Simulating the IEC 61850 Standard. *Computer Science Research and Tech Reports* 2009.
- [Yueng, 2008] Yuen. C., Botting, D., Paice, A.D.B., Finney, J., Preiss, O. “Cuando las redes se vuelven inteligentes”. *ABB Revista* 1/2008.
- [Zhang, 2013] Zhang, P., Li, W., Li, S., Wang, Y., Xiao, W. “Reliability assessment of photovoltaic power systems: Review of current status and future perspectives”. *Applied Energy* 2013; 104:822-833.

**Páginas web: (todos los enlaces han sido verificados a Noviembre 2016)**

CIGRE (the Council on Large Electric Systems)

<http://www.cigre.org/>

Energía y Sociedad

<http://www.energiaysociedad.es>

Energías del Mar

<http://www.idae.es/index.php/id.513/reلمenu.310/mod.pags/mem.detalle>

FEDER: Fondo Europeo de Desarrollo Regional (ERDF) European Regional Development Fund

[http://ec.europa.eu/regional\\_policy/es/funding/erdf/](http://ec.europa.eu/regional_policy/es/funding/erdf/)

Garrigues

[www.garrigues.com](http://www.garrigues.com)

Gómez-Acebo & Pombo Abogados

<http://www.gomezacebo-pombo.com/index.php/en/>

Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética

[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2012-15649](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2012-15649)

Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación

<http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/Paginas/inicio.aspx>

National Geographic

<http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/fuel-cell-profile>

Norma IEC 61850 protocolo de comunicaciones.

<http://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/en/rugged-communication/technology-highlights/iec-61850-protocol/Pages/iec-61850-protocol.aspx>

NTP (Network Time Protocol), y PTP (Precision Time Protocol, IEEE 1588)

<http://www.en4tel.com/pdfs/NTPandPTP-A-Brief-Comparison.pdf>

Real Decreto-ley 6/2000

[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2000-11836](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2000-11836)

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto

[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-18099](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-18099)

Real Decreto 436/2004

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2004-5562>

Real Decreto 661/2007

<https://www.boe.es/boe/dias/2007/05/26/pdfs/A22846-22886.pdf>

Real Decreto 1578/2008

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-15595>

Revista Anales de Mecánica y Electricidad. Asociación de Ingenieros del ICAI (*Instituto Católico de Artes e Industrias*).

<http://www.revista-anales.es>

Unión Española Fotovoltaica

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

Parlamento Europeo

<http://www.europarl.europa.eu>