

**Revisión de implementaciones internacionales de la integración de generación fotovoltaica
al sistema eléctrico y sus posibles aplicaciones al caso colombiano.**

Katerin Osorio Vera, Daniel Fernando Palacios Barreto

Monografía presentada como requisito para optar al título de:

Especialista en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

Director:

Gabriel Ordoñez Plata

Ph.D en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica Y de Telecomunicaciones

Especialización en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

Bucaramanga

2017

AGRADECIMIENTOS

Los Autores de este proyecto agradecen a:

La **Universidad Industrial de Santander** y a la **Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones** por permitir nuestro crecimiento personal y profesional.

A nuestro Director **Gabriel Ordoñez Plata** por brindarnos la orientación, el tiempo y la experiencia necesaria para apoyarnos durante la elaboración de este proyecto.

A nuestro evaluador **Juan David Bastidas** por brindarnos su tiempo, mejorar la presentación del documento y motivarnos a realizar entregables del trabajo que realizamos.

Al Ingeniero **Manuel José Ortiz Rangel** por su instrucción frente a como presentar el tema y los consejos de búsqueda de diferentes fuentes de información para mayor soporte al proyecto que se realizó.

A nuestras respectivas familias y amigos pues a pesar de no dedicarles el tiempo necesario por estar trabajando y/o estudiando ¡siempre estuvieron apoyándonos!

DEDICATORIA

Con una alegría inmensa de culminar exitosamente este trabajo, lo único que me queda por hacer es darle gracias a Dios por ser mi fortaleza, mi guía y acompañante.

A mi mamá Isabel Vera por ser mi mayor apoyo y darme ánimo para finalizar el proyecto y sobre todo por escucharme siempre que estaba preocupada por los tiempos de entrega, es mi mayor tesoro y por eso le dedico este trabajo.

Mis hermanos Yamile y Andrés Sánchez por estar pendientes de mí, escucharme y animarme.

A mis sobrinos que son mi alegría y mi distracción.

A mi tío Juan Carlos Vera por darme la oportunidad de seguir en la academia y apoyarme en mi carrera profesional.

A mi novio y compañero de trabajo Daniel Fernando Palacios que tuvo que soportar varias situaciones pero que son su ánimo, contribución al trabajo y apoyo las cosas resultaron mejor de lo esperado.

A todas las personas que han estado a mi lado y me han enseñado se seguir adelante ante cualquier situación.

KATERIN OSORIO VERA

DEDICATORIA

*Dedico la culminación de esta etapa a mi señora madre Aura Alicia Barreto principalmente,
eres mi más grande ejemplo.*

*A mis tíos Carlos Guerrero, Estela Barreto y a mi abuela Ana Gilma Guerrero por su apoyo
incondicional.*

A mis hermanos, sobrinos y a los que vienen en camino.

A tío Rafa Q.E.P.D.

A Katerin Osorio Vera, la persona con la que quiero seguir viviendo el resto de mis aventuras.

Al grupo 4x2 y los demás amigos que estuvieron apoyándonos en esta etapa

DANIEL FERNANDO PALACIOS BARRETO

Tabla de Contenido

Introducción	19
1. Generalidades.....	22
1.1 Energías Renovables.....	22
1.1.1. Energía Solar:	22
1.1.2. Sistemas fotovoltaicos.	23
1.2. Contexto Internacional.....	27
1.2.1. Integración de energía solar fotovoltaica.....	31
1.2.2. Transformación del Sistema Eléctrico.....	34
2. Implementaciones internacionales realizadas para la integración de fuentes de generación fotovoltaica a sus sistemas eléctricos.....	43
2.1. Chile.....	43
2.1.1. Características generales.....	43
2.1.2. Planes y Políticas Energéticas.....	49
2.1.3. Marco normativo y/o regulatorio	51
2.1.4. Programas, proyectos y herramientas	54
2.1.5. Financiamiento:.....	57
2.2. Estados Unidos.	60
2.2.1. Características Generales.....	60
2.2.2. Planes y políticas energéticas:	65
2.2.3. Marco normativo y/o regulatorio.....	69
2.2.4. Programas, proyectos y herramientas	74
2.2.5. Financiamiento	75
2.3 España.....	78

REVISIÓN DE IMPLEMENTACION DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	9
2.3.1. Características Generales	78
2.3.2. Planes y políticas energéticas.....	85
2.3.3. Marco normativo y/o regulatorio	88
2.3.4. Programas, proyectos y herramientas.	89
2.3.5. Financiamiento.....	90
2.4 Alemania.....	93
2.4.1. Características generales	93
2.4.2. Planes y políticas energéticas.....	95
2.4.3. Marco normativo y/o regulatori:.....	100
2.4.4. Programas, proyectos y herramientas.	101
2.4.5. Financiamiento:.....	101
3. Experiencias ante la integración de fuentes de generación fotovoltaica en los sistemas eléctricos.....	104
3.1. Planeamiento (Experiencias):	105
3.2 Expansión de cobertura (Experiencias):	106
3.3 Mercado eléctrico (Experiencias):	107
3.4 Operación del sistema (Experiencias):	109
4. ¿Qué acciones está implementando Colombia frente a la integración de FGFV al Sistema Interconectado Nacional?.....	113
4.1. Características generales.....	113
4.1.1. Matriz energética	113
4.1.2. Matriz eléctrica	115
4.1.3 Registro de proyectos FGSFV.	116
4.2. Planes y políticas energéticas	118
4.2.1. Plan Nacional De Desarrollo 2014 – 2018::	120
4.2.2. Compromisos ambientales pactados en Colombia, enfoque COP21.....	122

REVISIÓN DE IMPLEMENTACION DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	10
4.3. Marco normativo y/o regulatorio.....	123
5. Contribuciones en el marco regulatorio (técnico y económico).....	131
5.1. Reglamentación Técnica.....	132
5.1.1. Procesos de conexión de fuentes de generación solar fotovoltaica: Chile, Estados.....	132
5.1.2. Procesos de servicios complementarios en las energías variables renovables - VRE (Plantas Convencionales).....	133
5.1.3. Diseños técnicos mínimos exigibles para generadores solares fotovoltaicos.....	133
5.1.4. Guías técnicas de desarrollo para proyectos de generación a base de FERNC – sistema solar fotovoltaico	134
5.2. Apoyo económico.....	135
5.2.1. Caracterización de beneficios económicos por sectores.....	135
5.2.2. Convenios internacionales	136
5.2.3. Préstamos de inversión de bancos privados para proyectos de generación a base de FNCER.....	137
5.3 Operación y planeación del mercado eléctrico	138
5.3.1. Procedimientos de comunicación para la puesta en servicio de generadores..	138
5.3.2. Modificación de horarios de despacho y redespacho de energía.....	138
5.3.3. Mejora en las instituciones meteorológicas con información medida en tiempo real:	139
6. Conclusiones.....	140
Bibliografía.....	142

Lista de figuras

Figura 1. Esquema de Generación Fotovoltaica General.	24
Figura 2. Sistema conectado a la red (a) y sistema aislado (b)	27
Figura 3. Capacidad instalada de energías renovables por tecnología entre 2001 – 2016..	28
Figura 4 Capacidad instalada global a partir de generación solar fotovoltaica, identificando el aumento que ha tenido anualmente desde el 2006 al 2016.	28
Figura 5. Capacidad Instalada de los países que hacen parte del top 5 en el uso de energía solar fotovoltaica para generación de energía eléctrica	29
Figura 6. Porcentaje de participación de la capacidad instalada global con energía solar fotovoltaica.	30
Figura 7. Porcentaje de participación según el tipo de instalación de los sistemas de generación fotovoltaica.	30
Figura 8. Representación de países con sistema eléctrico estable y/o dinámico.	32
Figura 9. El desafío de la integración de fuentes variables de energía al sistema eléctrico.	33
Figura 10. Generación anual de los sistemas variables de energía de los países más destacados en el uso de estas fuentes durante el año 2015.	35
Figura 11. Aspectos a tener en cuenta en el marco de integración de fuentes variables de energía (solar fotovoltaica) al sistema eléctrico	40
Figura 12. Evolución del consumo en Chile entre 2005 y 2015.	45
Figura 13. Consumo por energético Tcal.	45
Figura 14. Consumo por energético por sector.	46

REVISIÓN DE IMPLEMENTACION DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	12
Figura 15. Reporte Mensual de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) – Enero 2017 – CNE.	47
Figura 16. Comparación de correlación del consumo energético y crecimiento económico en Chile.	48
Figura 17. Fuentes de financiamiento en ERNC.	57
Figura 18. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía al sistema eléctrico en Chile.	59
Figura 19. Matriz Energética Primaria (2000 – 2016)	61
Figura 20. Consumo energético primario por fuente y por sector – 2016	62
Figura 21. Generación Eléctrica Neta (1949-2016)	63
Figura 22. Consumo de Energía Renovable (1949 - 2016).	64
Figura 23. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía en el sistema eléctrico en Estados Unidos	77
Figura 24. Matriz Energética España	79
Figura 25. Matriz Eléctrica España - 2016	80
Figura 26. Registro anual potencia fotovoltaica instalada - España	82
Figura 27. Histórico generación por fuentes fotovoltaica España 2008-2015.	84
Figura 28. Distribución geográfica de fuentes fotovoltaicas en España.	84
Figura 29. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía al sistema eléctrico en España	92
Figura 30. Matriz Energética en Alemania – 2014	94
Figura 31. Potencia instalada en Alemania - 2014 (MW).	95

REVISIÓN DE IMPLEMENTACION DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	13
Figura 32. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía al sistema eléctrico en Alemania	103
Figura 33. Matriz energética colombiana - Oferta interna bruta (%) - consulta octubre 2017	114
Figura 34. Capacidad efectiva por tipo de generación - consulta septiembre 2017	116
Figura 35. Histórico de registros de proyectos de generación solar registrados a la UPME	117
Figura 36. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía al sistema eléctrico en Colombia.	130

Lista de tablas

Tabla 1. Diferencias entre los tipos de paneles fotovoltaicos según su tecnología de fabricación.	24
Tabla 2. Tipos de baterías y sus principales características.	25
Tabla 3. Características de la integración de sistemas variables de energía según su fase.	35
Tabla 4. Opciones tecnológicas y prácticas operacionales según la fase de los sistemas variables de energía (solar fotovoltaica)	36
Tabla 5. Requerimientos técnicos para la integración de la VRE en el sistema eléctrico	37
Tabla 6. Principales herramientas utilizadas para lograr un sistema eléctrico amigable para la integración de fuentes VRE	38
Tabla 7. Metas Establecidas Según Política Energética Escenarios a largo plazo 2035 y 2050.	50
Tabla 8. Reglamentación y Normatividad según lo establecido en la Ley 20.571	52
Tabla 9. Programas, Proyectos y Herramientas para integración de ERNC en Chile.	54
Tabla 10. Transición del sector energético – Chile.	58
Tabla 11. Metas de Integración de Energías Renovables en los estados con alto uso de fuente solar fotovoltaica.	66
Tabla 12. Estándares y reportes de la corporación de confiabilidad eléctrica de Norteamérica (NERC) - Integración de fuentes variables de energía renovable	71
Tabla 13. Programas, Proyectos y Herramientas para integración de ERNC en Estados Unidos	74
Tabla 14. Transición del sector energético – Estados Unidos	76
Tabla 15. Transición del sector energético – España.	91
Tabla 16. Metas propuestas para la eficiencia energética Alemana.	97
Tabla 17. Transición del sector energético – Alemania	102
Tabla 18. Relación de áreas y tipos de impactos según categoría	104

REVISIÓN DE IMPLEMENTACION DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	15
Tabla 19. Matriz energética nacional colombiana - consulta octubre 2017.	113
Tabla 20. Capacidad efectiva por tipo de generación - consulta septiembre 2017	115

Lista de apéndices.

Apéndice A. Infografía – Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía en Chile

Apéndice B. Infografía – Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía en Estados Unidos.

Apéndice C. Infografía – Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía en España.

Apéndice D. Infografía – Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía en Alemania.

Apéndice E. Infografía – Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía en Colombia

RESUMEN

TÍTULO: REVISIÓN DE IMPLEMENTACIONES INTERNACIONALES DE LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA AL SISTEMA ELÉCTRICO Y SUS POSIBLES APLICACIONES AL CASO COLOMBIANO.*

AUTORES: KATERIN OSORIO VERA
DANIEL FERNANDO PALACIOS BARRETO**

PALABRAS CLAVE: Energías renovables, Sistemas solares fotovoltaicos, flexibilidad, estabilidad, mercado eléctrico, financiación, normatividad, regulación.

DESCRIPCIÓN:

La trayectoria de vinculación de la generación renovable en Colombia ha tenido variabilidad de oportunidades tanto para empresas como los usuarios, esto debido a las diferentes regulaciones que se han establecido y la iniciativa propia del gobierno en participar en el desarrollo de los mismos. De esta manera, el sector energético se ha modificado radicalmente con la Ley 1715 de 2014, el cual promueve las energías renovables y la gestión eficiente de la energía para contribuir al desarrollo sostenible del país.

Dada la iniciativa, se han desarrollado diferentes mecanismos que fortalecen lo descrito en la ley promoviendo una adecuada integración de nuevas tecnologías al sistema eléctrico nacional y modificando el uso de la energía donde el usuario final puede participar directamente en el mercado de energía y reducir su propio consumo, logrando así un beneficio ambiental, social y económico que contribuye a las metas establecidas por el gobierno y la innovación para el país.

De acuerdo con lo anterior, la finalidad de este documento es hacer una revisión internacional de implementaciones realizadas en Chile, Estados Unidos, España y Alemania para la integración de fuentes de generación fotovoltaica a la red eléctrica para proponer los aspectos a considerar para el mejoramiento de los procesos de planificación en Colombia en la integración de los sistemas de generación fotovoltaica al sistema eléctrico.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Sistema de Distribución de Energía Eléctrica. Director: Gabriel Ordoñez Plata

ABSTRACT

TITLE: REVIEW OF INTERNATIONAL IMPLEMENTATIONS OF THE PHOTOVOLTAIC GENERATION INTEGRATED TO THE ELECTRICAL SYSTEM AND POSSIBLE APLICATIONS TO THE COLOMBIAN CASE.*

AUTHORS: KATERIN OSORIO VERA
DANIEL FERNANDO PALACIOS BARRETO**

KEYWORDS: Renewable energies, photovoltaic solar systems, flexibility, stability, electrical market, financing, normativity, regulation.

DESCRIPTION:

The trajectory of linking renewable generation in Colombia has had variability of opportunities for both companies and users, due to the different regulations that have been established and the government's own initiative in participating in the development of mimes. In this way, the energy sector has been radically modified by Law 1715 of 2014, which promotes renewable energy and efficient energy management to contribute to the country's sustainable development.

Given the initiative, different mechanisms have been developed that strengthen what is described in the law promoting an adequate integration of new technologies to the national electrical system and modifying the use of energy where the end user can participate directly in the energy market and reduce their own consumption, thus achieving an environmental, social and economic benefit that contributes to the goals established by the government and innovation for the country.

Review of international implementations carried out in Chile, the United States, Spain and Germany for the integration of photovoltaic generation sources to the electrical network to propose the aspects to be considered in order to improve planning processes related to the integration of photovoltaic generation to the Colombian electricity system.

* Monograph

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Sistema de Distribución de Energía Eléctrica. Director: Gabriel Ordoñez Plata

Introducción

Colombia desde la Ley 1715 de 2014 formalizó su compromiso internacional en vincular las fuentes de energía renovables no convencionales a su matriz eléctrica; esta ley, permitió abrir la posibilidad a que el usuario final dejara de ser un actor de consumo, a ser un actor de producción de energía eléctrica empleando el sol como energético principal y así abastecer su consumo y poder brindar el servicio de generación a otros usuarios.

La trayectoria de la vinculación de este tipo de generación a la matriz eléctrica nacional ha venido creciendo con el paso de los años, los incentivos tributarios formulados y aprobados por medio de la resolución UPME 045 del 2016, permitieron que los usuarios finales adquirieran los equipos necesarios para tal fin, con una serie de beneficios que se ven reflejados en Renta, IVA, Arancel y depreciación.

Con el proyecto Resolución CREG 121 de 2017, los autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos, podrán recibir los beneficios económicos que se adquieren al instalar pequeñas centrales de generación en sus centros de consumo con el fin de promover aún más la vinculación de este tipo de fuentes; pero el gobierno nacional le apuesta a que los estratos 1, 2 y 3 entren a ser partícipes de esta iniciativa, por eso, ha creado el fondo de energías renovables y gestión eficiente de la energía FENOGE mediante el decreto 1543 del 2017 emitido por el ministerio de minas y energía que, en conjunto con el proyecto Resolución CREG 121 de 2017 establece esta posibilidad para el usuario residencial.

Estas y otras iniciativas se enmarcan en un análisis internacional trazable mediante la consulta realizada por los autores, donde se analizan cuatro países desde la óptica de la reglamentación técnica y económica, la cual se recopila y presenta con el fin de comparar y plantear iniciativas

que permitan mejorar la vinculación de las plantas generadoras fotovoltaicas al sistema interconectado nacional sin que este se afecte en operatividad y funcionalidad, garantizando un servicio adecuado a todos los sectores presentes en el territorio colombiano.

El contenido de este documento se presenta en cuatro capítulos, los cuales son:

Capítulo 1. Generalidades: En este capítulo se pretende aclarar la importancia y motivación para la revisión de implementaciones realizadas para la vinculación de fuentes de generación fotovoltaica (de aquí en adelante FGFV) al sistema eléctrico colombiano; de igual forma, justificar el por qué Chile, Estados Unidos, España y Alemania, fueron los países seleccionados para este estudio; a su vez, justificar el por qué se selecciona como caso de estudio la integración de FGFV a la red y no otras fuentes no convencionales de energía renovable (FN CER).

Capítulo 2. Implementaciones internacionales realizadas para la integración de fuentes de generación fotovoltaica a sus sistemas eléctricos: Para el desarrollo de este capítulo se realizará la revisión bibliográfica de cada país con el fin de identificar las implementaciones realizadas en temas de políticas energéticas, cambios regulatorios en aspectos técnicos y económicos y metas propuestas por cada país para cumplir con las metas energéticas mundiales y lograr una adecuada integración de fuentes de generación fotovoltaica a sus sistemas eléctricos.

Capítulo 3. Experiencias ante la integración de fuentes de generación fotovoltaica en los sistemas eléctricos: Este capítulo pretende mostrar las experiencias más relevantes que se presentaron al momento de vincular las FGFV a los sistemas eléctricos.

Capítulo 4. ¿Qué acciones está implementando Colombia frente a la integración de FGFV al sistema interconectado nacional?: Con base en esta pregunta, se pretende realizar la revisión bibliográfica de las decisiones que el país ha tomado desde el momento en que las FN CER comenzaron a vincularse a la matriz eléctrica nacional; de igual forma, pretende mostrar

adelantos técnicos, económicos y regulatorios que se están desarrollando por los diferentes entes gubernamentales con el fin de promover e incentivar la participación de este tipo de fuentes de generación que, a fin de cuentas, permitirá que Colombia pueda cumplir sus metas energéticas y ambientales propuestas a nivel internacional.

Capítulo 5. Contribuciones en el marco regulatorio (técnico y económico) desarrollado por Colombia para la integración de FGSFV al sistema eléctrico nacional, basado en la revisión internacional de Chile, Estados Unidos, España y Alemania: En este capítulo se presentarán las contribuciones en el marco regulatorio (técnico y económico) desarrollado a nivel internacional en países como Chile, Estados Unidos, España y Alemania, que se podrían tener en cuenta en el momento de formalizar la vinculación de FGSFV al sistema interconectado nacional en Colombia.

1. Generalidades

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en una fuente crucial en la contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para el sector eléctrico. Su implementación ha incrementado exponencialmente en el tiempo, y su desarrollo tecnológico ha logrado que estos sistemas hagan parte del proceso de energía limpia en diferentes países del mundo (“Volume I: main report,” Integr. Var. Renew. Energy, vol. I) .

Este capítulo pretende aclarar el por qué se selecciona como caso de estudio la integración de fuentes de generación solar fotovoltaica (de aquí en adelante FGSFV) a la red y no otras fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER); la importancia y motivación para la revisión de metodologías internacionales aplicables a la vinculación de proyectos de FGSFV al sistema eléctrico colombiano, y el por qué Chile, Estados Unidos, España y Alemania, fueron los países seleccionados para este estudio.

1.1 Energías Renovables

Las energías renovables son aquellos recursos que, en su proceso de transformación y aprovechamiento de la energía útil, generan impactos ambientalmente sostenibles a lo que produce una fuente energética convencional. Este tipo de energía se clasifica en convencionales y no convencionales, el cual depende del grado de desarrollo tecnológico para su aprovechamiento y su vinculación en el mercado energético mundial (UPME and BID, 2015).

1.1.1. Energía Solar: Es una fuente de energía renovable con la que se puede generar calor y electricidad. La energía que se recibe en la superficie de la tierra se conoce como Irradiancia,

donde su valor depende de la hora del día, del grado de inclinación que tengan los rayos del sol sobre la superficie de la tierra y de la cobertura de las nubes. La principal limitación que tiene esta fuente energética es que, requiere combinarla con otras fuentes de energía o asociarse a sistemas de almacenamiento para controlar su intermitencia diaria (Tobergte & Curtis).

La energía solar puede ser aprovechada a través de diferentes sistemas como: Sistemas fotovoltaicos (los cuales generan energía eléctrica a través de módulos solares), sistemas fototérmicos (los cuales generan calor a través de colectores solares), y sistemas termoelectricos (los cuales transforman el calor en energía eléctrica de forma indirecta (Tobergte & Curtis).

1.1.2. Sistemas fotovoltaicos. Está definido como el total de componentes y subsistemas que, combinados, convierten la energía solar en energía eléctrica adecuada para la conexión a una carga de utilización. Estos sistemas realizan cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
- Almacenar adecuadamente la energía generada.
- Proveer adecuadamente la energía producida y almacenada.
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada (Tobergte & Curtis).

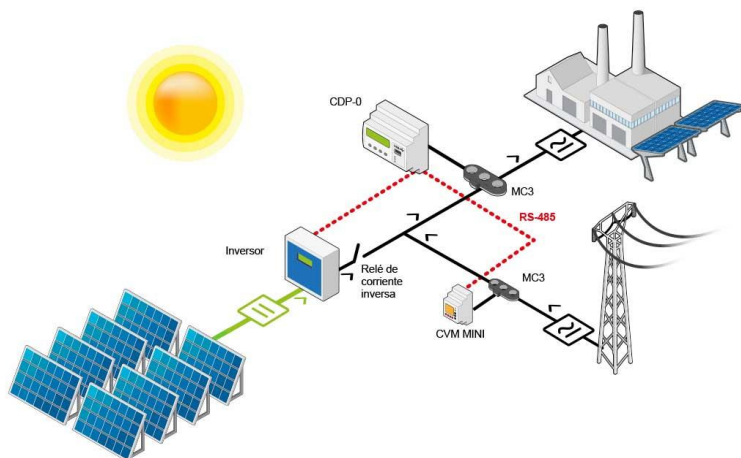


Figura 1. Esquema de Generación Fotovoltaica General. Adaptado de: Tobergte y Curtis. Manuales sobre energía renovable - Solar Fotovoltaica, vol. 53, no. 9. 2013

Para lograr lo anterior, el sistema requiere de los siguientes componentes principales:

a. Módulo o panel fotovoltaico: Compuesto por un conjunto de células conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte. Estos paneles pueden ser de tipo silicio cristalino (monocristalino y policristalino) o silicio amorfo. En la Tabla 1 se relacionan las diferencias de cada tipo de panel (Díaz & Carmona, 2012).

Tabla 1.

Diferencias entre los tipos de paneles fotovoltaicos según su tecnología de fabricación.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Nota: Diferencias entre los tipos de paneles fotovoltaicos según su tecnología de fabricación.

b. Batería: Dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. Se caracterizan por almacenar energía durante un periodo de tiempo donde haya un bajo consumo de energía eléctrica. De igual forma, proporcionan una potencia instantánea elevada y fija la tensión de trabajo de la instalación.

Existen varios tipos de batería el cual varía dependiendo de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la Tabla 2 se presentan los principales tipos de baterías con sus características básicas.

Tabla 2.

Tipos de baterías y sus principales características.

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Nota: Tipos de baterías y sus principales características. Adaptado de: Díaz & Carmona, 2012.

Componentes de una instalación solar fotovoltaica.

c. Regulador de Carga: Equipo instalado para regular el flujo de corriente de carga que viene de los módulos fotovoltaicos hacia la batería, y el flujo de corriente de descarga que va desde la batería hacia las cargas de consumo eléctrico.

d. Inversor: Se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna.

e. Las cargas de aplicación (El consumo): Dispositivos eléctricos y electrónicos utilizados para el consumo de energía.

Adicional a los equipos descritos, este tipo de sistemas requiere de sistemas de protección, medición y control de la carga eléctrica generada para un óptimo funcionamiento del mismo.

Los sistemas fotovoltaico se clasifican en:

- **Aplicaciones autónomas**: Producen electricidad sin estar conectadas a la red eléctrica.
- **Aplicaciones conectadas a la red**: La energía producida por el sistema va tanto para el consumidor final como para la red, es decir, se genera un mercado de energía con los excedentes que presente el sistema y se establece un precio con el operador de red (Díaz & Carmona, 2012).

En la Figura 2 se muestra prototipos de la clasificación de los sistemas fotovoltaicos; la primera parte (a), representa una instalación solar fotovoltaica conectada a la red donde el usuario tiene la opción de vender sus excedentes de generación a la red y adicionalmente, tener una supervisión de su consumo a partir de medidores bidireccionales donde se controla el flujo hacia el consumidor como el que recibe la red; la segunda parte (b), representa un sistema fotovoltaico autosuficiente, es decir, no es necesario que esté conectado a la red y permite suplir la demanda que requiera el consumido. Algo característico de la segunda opción, es que es usado principalmente en lugares donde el sistema eléctrico no presenta conexión.

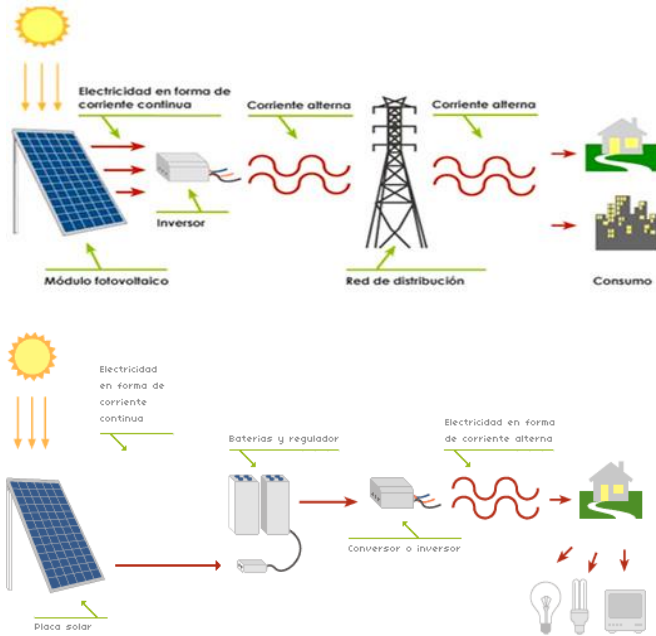


Figura 2. Sistema conectado a la red (a) y sistema aislado (b). Adaptado de: Díaz & Carmona, 2012. Componentes de una instalación solar fotovoltaica.

1.2. Contexto Internacional

De acuerdo a los escenarios planteados a nivel mundial, las energías renovables son consideradas como las principales fuentes que contribuyen a las metas ambientales que han establecido cada uno de los países tanto a través de acuerdos y/o protocolos mundiales, como a nivel local.

A raíz de estos objetivos, la generación renovable ha impactado la matriz energética mundial. La Figura 3 muestra la capacidad instalada de generación solar fotovoltaica a través del tiempo, donde en el año 2016, representó el 4.7% de la generación de energía eléctrica con fuentes renovables a nivel mundial.

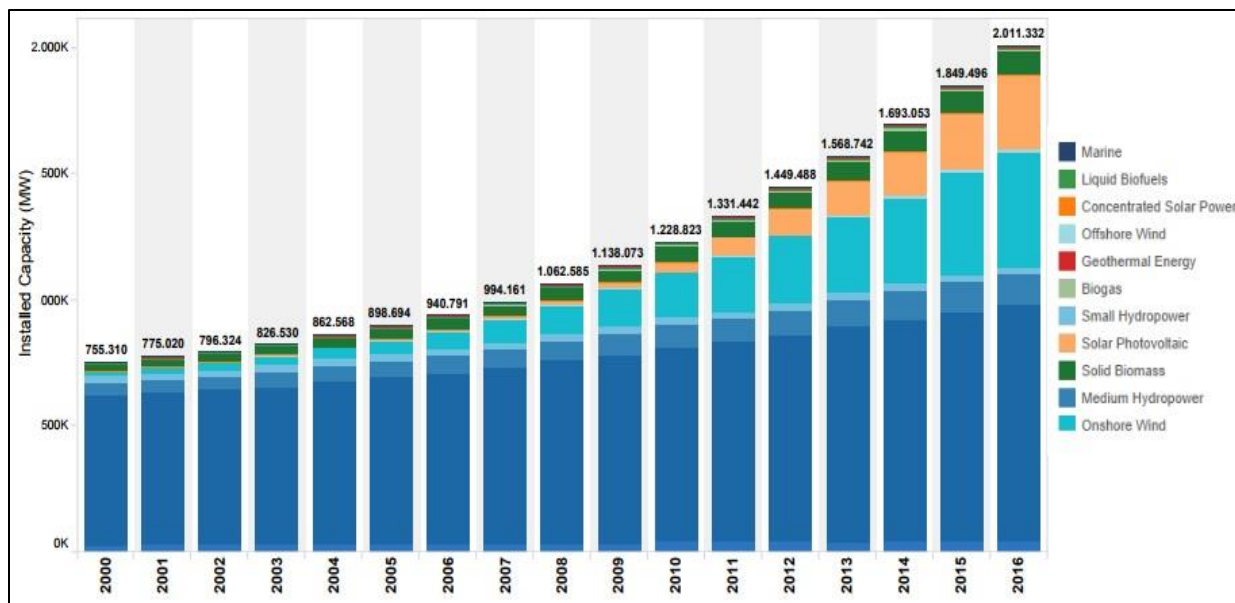


Figura 3. Capacidad instalada de energías renovables por tecnología entre 2001 – 2016. Adaptado de: IRENA -International Renewable Energy Agency, 2017.

La generación a partir de energía solar fotovoltaica ha contribuido en gran parte al incremento del uso de fuentes no convencionales de energía. Según reporte REN21-2017, durante el 2016 al menos 75 GW de capacidad solar fotovoltaica ha sido instalada en el mundo. En la Figura 4 se observa la capacidad instalada global desde el 2006 al 2016.

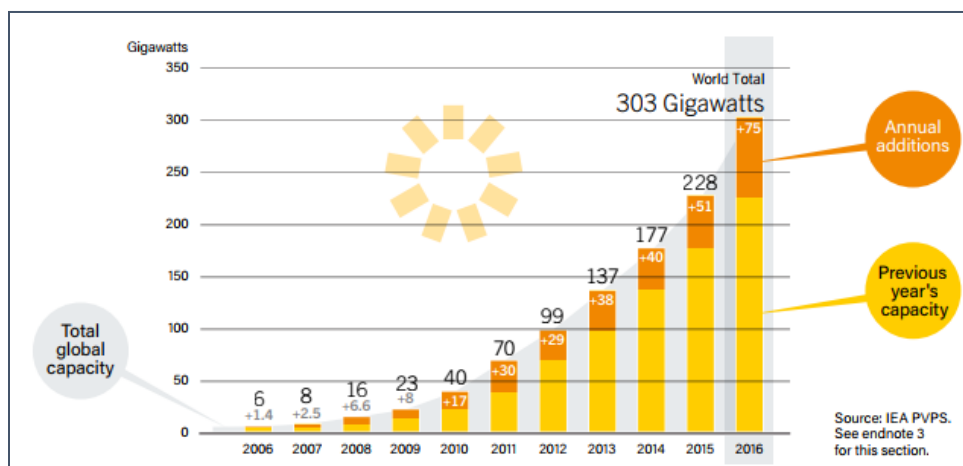


Figura 4 Capacidad instalada global a partir de generación solar fotovoltaica, identificando el aumento que ha tenido anualmente desde el 2006 al 2016. Adaptado de: Ren21, 2017

Acorde con las estimaciones del mercado, se identificaron cinco países que han incrementado el uso de fuentes de generación solar fotovoltaica para acrecentar la producción de energía formando un mercado más competitivo y contribuyente hacia la reducción de emisiones de CO₂, según las metas ambientales propuestas en cada uno de ellos. Los países destacados según reporte REN21-2017 fueron: China, Alemania, Japón, Estados Unidos e Italia. En la Figura 5 se muestra la capacidad instalada de los países que hacen parte del Top cinco en generación fotovoltaica y el resto del mundo.

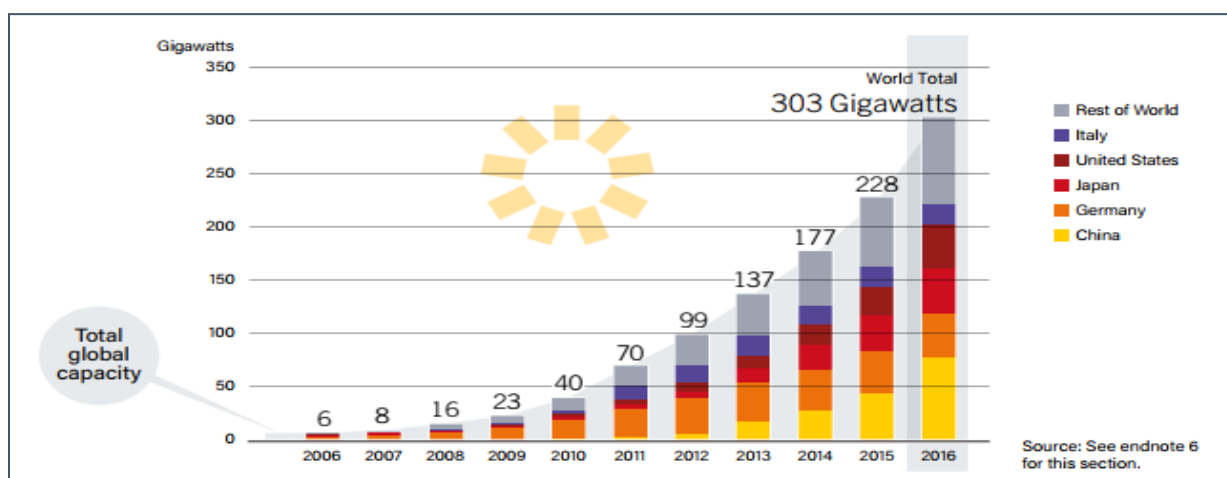


Figura 5. . Capacidad Instalada de los países que hacen parte del top 5 en el uso de energía solar fotovoltaica para generación de energía eléctrica. Adaptado de: Ren21, 2017

Otros países con porcentaje significativo en el uso de energía solar fotovoltaica como parte de generación de energía eléctrica son: Reino Unido, India, Francia, Australia y España. En la Figura 6 se muestran los aportes de cada país.

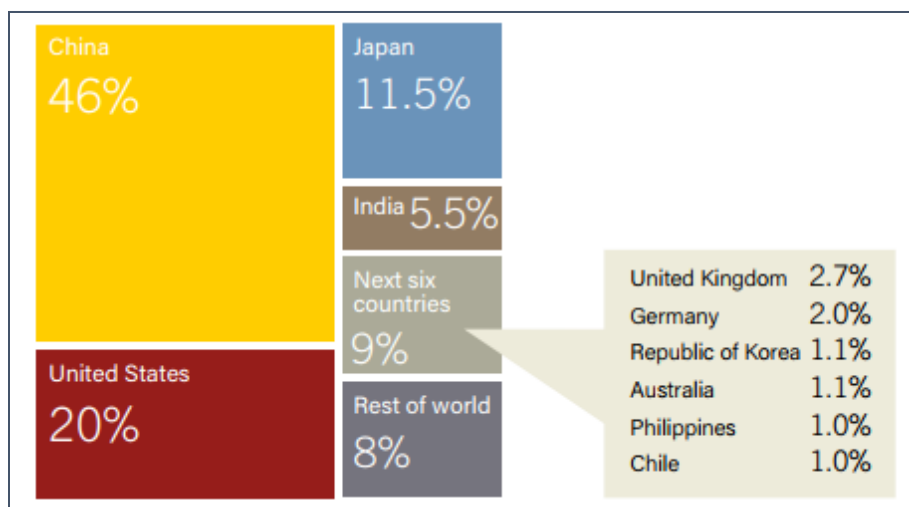


Figura 6. Porcentaje de participación de la capacidad instalada global con energía solar fotovoltaica.

Adaptado de: Ren21, 2017

De igual forma, en la Figura 7 se muestran los aportes en integración de sistemas de generación fotovoltaica al sistema a la red eléctrica, y los aportes como autogeneradores.

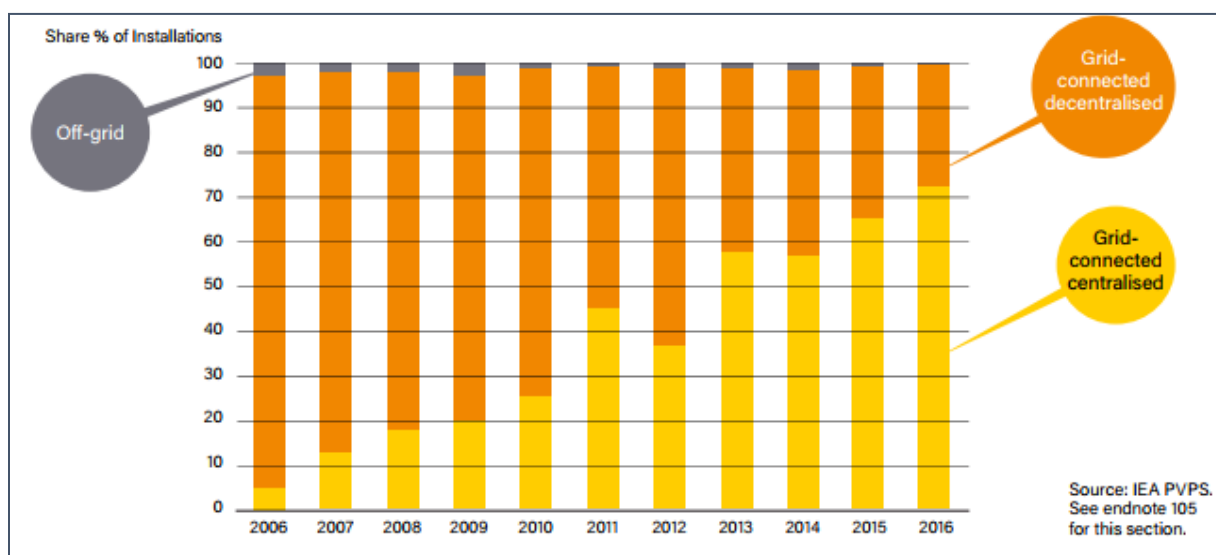


Figura 7. Porcentaje de participación según el tipo de instalación de los sistemas de generación fotovoltaica.

Adaptado de: Ren21, 2017

La energía solar fotovoltaica se ha considerado como una de las fuentes de mayor contribución energética para el sector. Sin embargo, esta tecnología presenta una variabilidad

que genera cambios en la operatividad del sistema; por tanto, plantea nuevos retos para el sector en términos de la efectividad en su integración a la red y los cambios que se deben realizar en el sistema para que su vinculación no afecte el adecuado funcionamiento del mismo.

1.2.1. Integración de energía solar fotovoltaica: Para lograr la efectividad en la integración de esta fuente de energía renovable, es necesario considerar cambios técnicos, institucionales, políticos, económicos (mercado eléctrico), sociales y ambientales.

La naturaleza física de un sistema eléctrico se basa en que tanto lo que se genere como lo que se consume se encuentre balanceado en todo momento, incluso cuando se presenten eventos inesperados. Esto se logra mediante una buena planeación, y establecer requerimientos técnicos que garanticen la seguridad, fiabilidad y calidad en la operatividad del sistema (Heal., 2014.).

Las dificultades que presenta la integración de sistemas de generación fotovoltaica son (Heal., 2014.):

- Las características de los sistemas fotovoltaicos: Estos sistemas presentan características específicas que afectan su contribución en la inversión y operación con el sistema eléctrico.

Dentro de las características más relevantes se encuentra:

- Una vez instalados pueden generar energía a un bajo costo.
- Son variables, por lo cual presentan una generación de energía fluctuante en el tiempo.
- Son inciertos, es decir, la disponibilidad del recurso sólo se puede predecir a corto plazo.
- Su ubicación es limitada. Esto se debe a que no en todos los lugares la instalación de este tipo de fuente resulta ser óptimo para su desarrollo e integración a la red.

- Son asíncronos. Estos sistemas requieren del uso de equipos electrónicos para mantener sincronizada la información y lograr coordina los cambios que se produzcan en la red.

- La flexibilidad del sistema eléctrico: Expresa la capacidad que tiene el sistema de mantener el servicio continuo de energía eléctrica sin que se vea afectado por los cambios que ocurran en la curva de la demanda eléctrica. Adicionalmente, se relaciona con la rapidez en el despacho de energía para los generadores, sin importar a que nivel de tensión se encuentre la planta de generación fotovoltaica. En la Figura 8 se muestra la flexibilidad que tiene cada uno de los países, el cual se ve reflejada en si es un sistema dinámico o un sistema estable (Heal., 2014.).



Figura 8. Representación de países con sistema eléctrico estable y/o dinámico. Adaptado de: Vithaya, Analyst, & Integration, June, 2017

A pesar de que los sistemas eléctricos presentan un grado de flexibilidad el cual brinda una confiabilidad para la demanda eléctrica, esto no significa que pueda ofrecer la misma confiabilidad cuando se integren sistemas variables (energía solar fotovoltaica) de energía a la red. Las principales acciones a tener en cuenta para lograr flexibilizar el sistema en cada fase de integración de plantas generadoras fotovoltaicas, son (Heal., 2014.):

- Asegurar que los estándares técnicos para las plantas fotovoltaicas se encuentren actualizados, dado que su compromiso a largo plazo en la inyección de energía al sistema puede generar aspectos críticos en su operatividad.
- Realizar estimaciones de producción de energía de las plantas fotovoltaicas a través del planeamiento de la operación de las mismas. Esto incluye análisis de flujo de carga en la red eléctrica.
- Asegurar que los operadores del sistema tengan acceso en tiempo real de la producción de energía a través de un esquema de redes inteligentes.
- Evitar la concentración local de plantas fotovoltaicas.

Los desafíos en la integración de fuentes variables de energía (solar fotovoltaica) se enmarcan en la estructuración del marco político, económico, técnico y regulatorio del sistema con el fin de lograr la interacción entre las características de funcionamiento de sistemas fotovoltaicos y la flexibilidad del sistema eléctrico. La Figura 9 muestra el esquema general de los desafíos que involucra la integración de fuentes variables de energía al sistema eléctrico nacional.

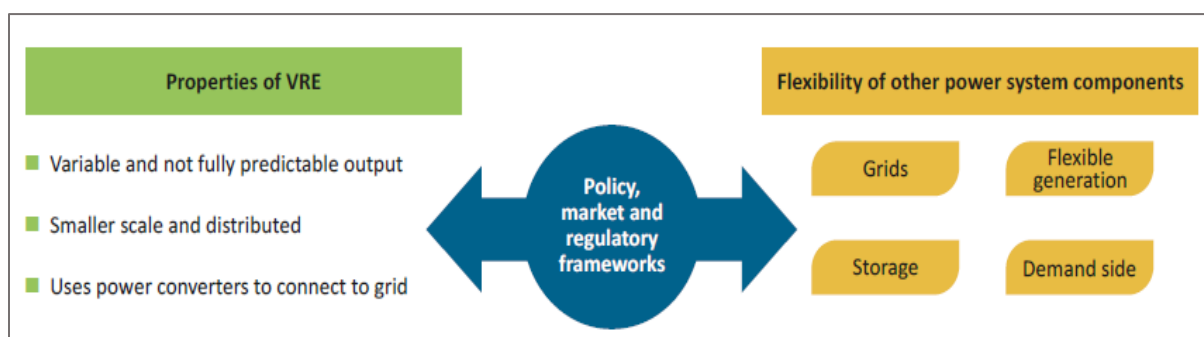


Figura 9. El desafío de la integración de fuentes variables de energía al sistema eléctrico. Adaptado de:

1.2.2. Transformación del Sistema Eléctrico: Las medidas técnicas y operacionales que los sistemas variables de energía (solar fotovoltaica) pueden adoptar a la hora de integrar fuentes fotovoltaicas a la red dependen del nivel en que se encuentre (Generación, Transmisión, Distribución). El desarrollo de una planta de generación solar fotovoltaica se puede clasificar en cuatro tipos de fases:

- **Fase 1:** La integración de sistemas variables de energía como la solar fotovoltaica es poco notoria, lo cual resulta poco preocupante para el operador del sistema, es decir, el aporte que pueda hacer un sistema fotovoltaico y su variabilidad a la red no es visible.

- **Fase 2:** La integración de sistemas variables de energía como la solar fotovoltaica es medianamente notoria, en este caso, se requiere mejorar algunas prácticas operacionales del sistema.

- **Fase 3:** La integración de sistemas variables de energía como la solar fotovoltaica es notoria, lo cual implica establecer nuevos procedimientos de operación del sistema donde la flexibilidad se convierte en la clave fundamental para asegurar la confiabilidad, seguridad y calidad del mismo.

- **Fase 4:** La integración de sistemas variables de energía como la solar fotovoltaica es muy alta. Para esta fase el aspecto técnico a considerar está relacionado con la estabilidad del sistema. Se requiere optimizar las prácticas operacionales y la inclusión de nuevas tecnologías para mantener la confiabilidad del sistema eléctrico.

Las características más relevantes de cada fase se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Características de la integración de sistemas variables de energía según su fase.

	Attributes (incremental with progress through the phases)			
	Phase One	Phase Two	Phase Three	Phase Four
Characterisation from a system perspective	VRE capacity is not relevant at the all-system level	VRE capacity becomes noticeable to the system operator	Flexibility becomes relevant with greater swings in the supply/demand balance	Stability becomes relevant. VRE capacity covers nearly 100% of demand at certain times
Impacts on the existing generator fleet	No noticeable difference between load and net load	No significant rise in uncertainty and variability of net load, but there are small changes to operating patterns of existing generators to accommodate VRE	Greater variability of net load. Major differences in operating patterns; reduction of power plants running continuously	No power plants are running around the clock; all plants adjust output to accommodate VRE
Impacts on the grid	Local grid condition near points of connection, if any	Very likely to affect local grid conditions; transmission congestion is possible, driven by shifting power flows across the grid	Significant changes in power flow patterns across the grid, driven by weather condition at different locations; increased two-way flows between high and low voltage parts of the grid	Requirement for grid-wide reinforcement, and improved ability of the grid to recover from disturbances
Challenges depend mainly on	Local conditions in the grid	Match between demand and VRE output	Availability of flexible resources	Strength of system to withstand disturbances

Nota: Características de la integración de sistemas variables de energía según su fase. Adaptado de: IEA. International and E. Agency, 2017

En la Figura 10 se muestra la generación anual de los sistemas variables de energía de los países más destacados en el uso de estas fuentes durante el año 2015.

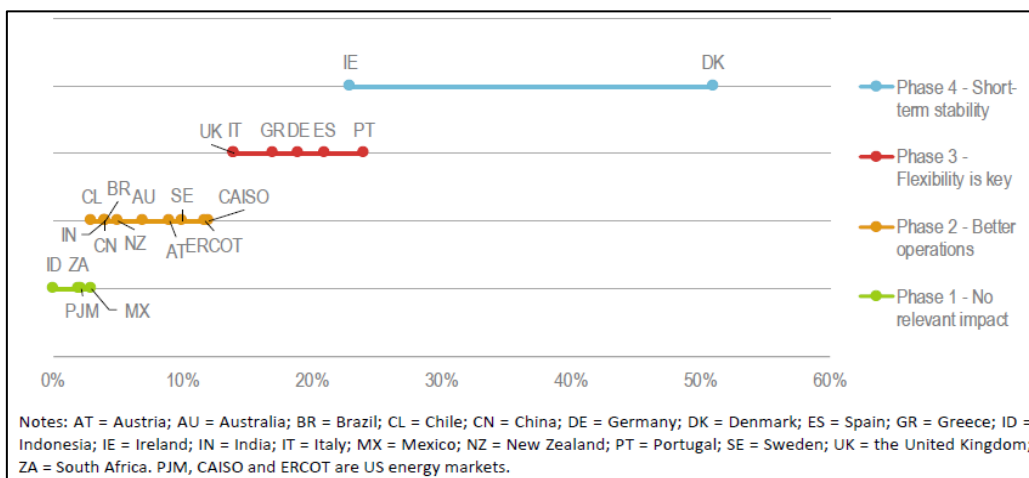


Figura 10. Generación anual de los sistemas variables de energía de los países más destacados en el uso de estas fuentes durante el año 2015. Adaptado de: IEA. International and E. Agency, 2017

Acorde con lo anterior, las medidas implementadas han sido categorizadas por las fases de los sistemas variables de energía que se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4.

Opciones tecnológicas y prácticas operacionales según la fase de los sistemas variables de energía (solar fotovoltaica)

Type	Measures	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Technical	Real-time monitoring and control		█		
	Enhancing capacity of transmission lines		█		
	Power plant flexibility			█	
	Special protection scheme			█	
	Advanced VRE technologies and design			█	
	System non-synchronous penetration (SNSP) limit			█	
	Inertia-based fast frequency response (IBFFR)				█
	Smart inverter				█
	Advanced pump hydro operation				█
	Grid level storage				█
Economic	Integrating forecasting into system operations	█			
	Incorporating VRE in the dispatch	█			
	Sophisticated sizing of operating reserves		█		
	Faster scheduling and dispatch		█		
	Co-ordination across balancing areas			█	

Nota: Opciones tecnológicas y prácticas operacionales según la fase de los sistemas variables de energía (solar fotovoltaica). Adaptado de: IEA. International and E. Agency, 2017

Los requerimientos técnicos que son prioritarios a tener en cuenta según el desarrollo de la generación variable de energía (solar fotovoltaica) se relacionan en la Tabla 5.

Tabla 5.

Requerimientos técnicos para la integración de la VRE en el sistema eléctrico

Sistema Electrico	Requerimientos Técnicos
Obligatorios	<ul style="list-style-type: none"> • Protección • Calidad de potencia. • Reducción de potencia durante sobrefrecuencias.
Poca participación de las fuentes variables de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicación. • Potencia reactiva ajustable. • Gestión de potencia activa.
Alta participación de las fuentes variables de energía	<ul style="list-style-type: none"> • LVRT • Modelos de Simulación.
Muy Alta participación de las fuentes variables de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Limitación de potencia activa. • Reducción de operatividad para provisión de reservas. • Inercia Sintetica.
Uso exclusivo de fuentes variables de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Integración general en el esquema de control de voltaje y frecuencia.

Nota: Requerimientos técnicos para la integración de la VRE en el sistema eléctrico. Adaptado de: Ackermann, y otros, 2016

Teniendo en cuenta lo anterior, los pilares para lograr una adecuada transformación en el sistema eléctrico son:

- Desarrollo de un sistema variable de energía (solar fotovoltaica) amigable con la red.

En la Tabla 6 se muestran las principales herramientas utilizadas para lograr un sistema eléctrico amigable para la integración de fuentes variables de energía.

Tabla 6.

Principales herramientas utilizadas para lograr un sistema eléctrico amigable para la integración de fuentes VRE

Estrategia	Herramienta política	Ejemplo de Países
Servicio del sistema de capacidades	Ajustar los códigos de red a las nuevas capacidades de generación. Diseños avanzados de los sistemas de servicio del mercado.	España presenta un balance entre la participación de fuente eólica en las redes de su sistema eléctrico nacional
Localización Implementada	Planeamiento integrado de la infraestructura eléctrica y de generación.	Brazil presenta un sistema de planeación integrada.
	Señales de localización en los esquemas de remuneración.	México presenta un sistema de subastas energéticas diferente a lo definido internacionalmente como el esquema "Feed-in tariff"
Tecnología Mixta	Subastas específicas por tecnología que reflejan el valor de cada una según lo determinado en el escenario de planeación a largo plazo.	Sudáfrica
	Los sistemas fotovoltaicas se ven como una tecnología de multi-subastas.	Mexico
Integración local con otras fuentes	Remuneración de la inyección a red a diferentes niveles para los recursos energéticos distribuidos.	Australia, Alemania

Estrategia	Herramienta política	Ejemplo de Países
Optimización en los perfiles de tiempo de generación.	Publicación de precios del mercado a partir de sistemas de información.	Alemania
	Los acuerdos de compra de energía ajustando la remuneración en el tiempo de entrega	Sudáfrica y Estados Unidos
Planeamiento integrada, monitoreo y supervisión	Establecer un plan integrado de la interacción entre fuentes variables de energía y recursos flexibles el cual debe permanecer actualizado en términos regulatorios.	Dinamarca

Nota: Principales herramientas utilizadas para lograr un sistema eléctrico amigable para la integración de fuentes VRE. Adaptado de: IEA, 2016

- Mejorar la operación del sistema y del mercado.
 - El rol del mercado eléctrico a corto plazo (de minutos a horas).
 - Movimiento de las decisiones operacionales y el cierre del comercio en tiempo real.
 - Mejoramiento del precio en tiempos de escasez.
 - Diseñar mecanismos de capacidad de generación (incentivos).
 - Reformas en los mecanismos de servicio del mercado eléctrico.
 - Intercambio de electricidad en áreas geográficas más grandes.
 - Asegurar inversión suficiente para la integración de fuentes variables de energía.
 - Definición de precios con externalidades negativas.
- Invertir en recursos flexibles para el sistema.
 - Un sistema estable ofrece diferentes desafíos y oportunidades comparado a un sistema dinámico.

- Una rápida integración de energías variables al sistema, tiende a crear exceso en la capacidad de generación.
- Es importante aclarar que no todos los tipos de generación contribuyen a las metas ambientales que establezca cada país.
- Los sistemas dinámicos facilitan la transformación del sistema, siempre y cuando las estrategias de inversión vayan priorizadas a la flexibilidad del mismo.

En términos generales, el desarrollo del sector que va desde la integración de fuentes variables de energía a una transformación del sistema eléctrico de potencia tal como se presenta en la Figura 11.



Figura 11. Aspectos a tener en cuenta en el marco de integración de fuentes variables de energía (solar fotovoltaica) al sistema eléctrico Adaptado de: Vithaya, Analyst, & Integration, June, 2017

La revisión general presentada en este capítulo evidencia la gran oportunidad que tiene la generación a partir de fuentes no convencionales de energía, específicamente, solar fotovoltaica

dentro del sistema eléctrico nacional, y su gran aporte en los planes, políticas y metas energéticas establecidas comparado con otras fuentes renovables de energía.

Con la finalidad de lograr el impacto deseado, los gobiernos deben establecer metodologías que logren la integración exitosa de este tipo de fuentes a la red eléctrica nacional. Dentro de las consideraciones a tener en cuenta está:

- Desarrollo de estrategias que reflejen la contribución de potencial energético que ofrecen este tipo de fuentes variables de energía.
- Adecuar el sistema eléctrico con el fin de operar de una forma dinámica y amigable al funcionamiento del sistema eléctrico en general.
- Hacer inversiones que permitan flexibilizar los recursos del sector.
- Tener en cuenta la realización de proyecciones energéticas y ambientales, dado que el óptimo funcionamiento de estas fuentes depende de su ubicación y las condiciones medio ambientales que persistan en el momento.
- Parte de la adecuada integración de los sistemas fotovoltaicos a la red, es que sus condiciones de diseño, instalación, construcción y operación, cumplan con los estándares técnicos establecidos nacional e internacionalmente.
- Reformar los protocolos de operación y provisión de servicios para las plantas fotovoltaicas.
- Reformar el marco regulatorio de las redes a cualquier nivel de tensión, dado que el proceso se convierte en un sistema descentralizado, lo cual, requiere de mayor exactitud en la operatividad del sistema para definir la actuación del mercado en el sector.

- Reformar las tarifas eléctricas dado el tiempo y la localización se convierten en los ejes principales para la determinación del mecanismo a implementar para la remuneración de la energía distribuida en el sistema eléctrico.

Lo descrito anteriormente justifica la importancia y motivación de este documento en la revisión de metodologías internacionales que han aplicado para la óptima integración de proyectos de fuentes de generación fotovoltaica al sistema eléctrico nacional.

Para revisar las metodologías que se han implementado, se seleccionaron los países de Estado Unidos, España y Alemania, que según reporte anual del REN21-2017, hacen parte del Top 10 en la integración de la fuente variable de energía solar fotovoltaica dentro de su sistema eléctrico nacional.

Por otro lado, Chile al ser un país latinoamericano se ha convertido en la representación a nivel mundial en el desarrollo de energías renovables. Se ha caracterizado por tener un excelente potencial energético solar, ha logrado desarrollar una gestión sólida para el sector energético y ha demostrado que la integración de estos sistemas resulta rentable siempre y cuando se desarrollen política e inversiones adecuada (Simons, 2016).

2. Implementaciones internacionales realizadas para la integración de fuentes de generación fotovoltaica a sus sistemas eléctricos

En este capítulo se presenta la metodología que se desarrolló en el sector eléctrico de los países de Chile, Estados Unidos, España y Alemania para la integración de la generación de energía a partir de la tecnología solar fotovoltaica, el cual es considerada como un recurso variable que puede afectar u optimizar el servicio eléctrico en términos de calidad, seguridad y confiabilidad.

La presentación de las acciones que se tomaron internacionalmente para la integración de este tipo de tecnología a la red eléctrica se fundamenta en la identificación de las características generales del sector en cada país objeto de revisión; luego se relacionan los planes y políticas energéticas establecidas destacando la reglamentación y/o normatividad establecida para la adecuada operación ante la red eléctrica de cada país.

Adicionalmente, se mencionan los programas, proyectos y herramientas desarrollados como soporte a la supervisión y control en la calidad y confiabilidad en el funcionamiento técnico y económico de las fuentes no convencionales de energía solar fotovoltaica; y finalmente se relacionan las diferentes maneras en que el estado y el sector privado de cada país ha dado financiamiento para el desarrollo de nuevas tecnologías que promuevan el desarrollo sostenible requerido para cumplir con las metas establecidas a nivel nacional e internacional.

2.1.Chile

2.1.1. Características generales: Para conocer cómo funciona el sector eléctrico de Chile, es importante tener en cuenta algunas consideraciones del país (Deloitte, Sector energía I: Marco regulatorio y matiz energética Chile, 2016):

1. El 99,6% de la población chilena tiene acceso a la energía eléctrica.

2. Es un país con gran dependencia en mercado eléctrico dado que su matriz energética primaria se basa combustible fósiles (petróleo crudo, gas natural y carbón) que suman un 70%. Esto lo hace depender de los mercados internacionales y por tanto su economía nacional se vuelve vulnerable.

3. Debido a las condiciones geográficas del país, Chile cuenta con una gran potencial para el desarrollo de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), como lo es la energía solar, eólica y geotérmica. Actualmente, el desarrollo de este tipo de energías no ha alcanzado un grado de madurez dentro del sistema eléctrico del país.

4. De acuerdo con la última versión del New Energy Finance Climасcope elaborado por Bloomberg New Energy Finance y el Banco Interamericano de Desarrollo, el país alcanzó el primer lugar en inversión de energías renovables y en la lucha contra el cambio climático, en la región de América Latina y el Caribe. En el 2014 se totalizó una inversión de 1,3 mil millones de dólares y en el 2015 se totalizó una inversión de 3,2 mil millones de dólares. (Bloomberg New Energy Finance, 2016)

- **Matriz energética.**

De acuerdo con el Anuario estadístico de energía (2016), la matriz de consumo de energía del balance nacional muestra una evolución en el tiempo en un 1,7% del país. En la Figura 12 se presenta la evolución del consumo entre el 2005 y 2015 (Gobierno de Chile, 2016).

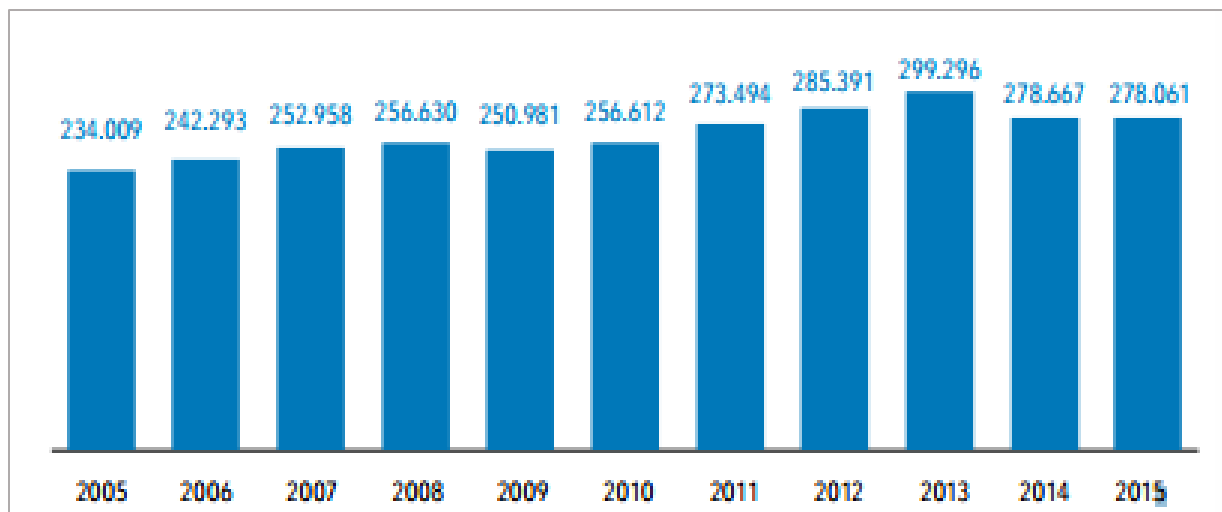


Figura 12. Evolución del consumo en Chile entre 2005 y 2015. Adaptado de: Gobierno de Chile, 2016.

En el 2015 la matriz energética del país alcanzó un valor total de 278,061 TCal, compuesto por combustible derivados del petróleo (56%), electricidad (22%), Biomasa (15%), Gas Natural (6%) y Carbón (1%). En la Figura 13 se muestra los porcentajes de participación de cada fuente de energía y su incremento entre los años 2005 y 2015.

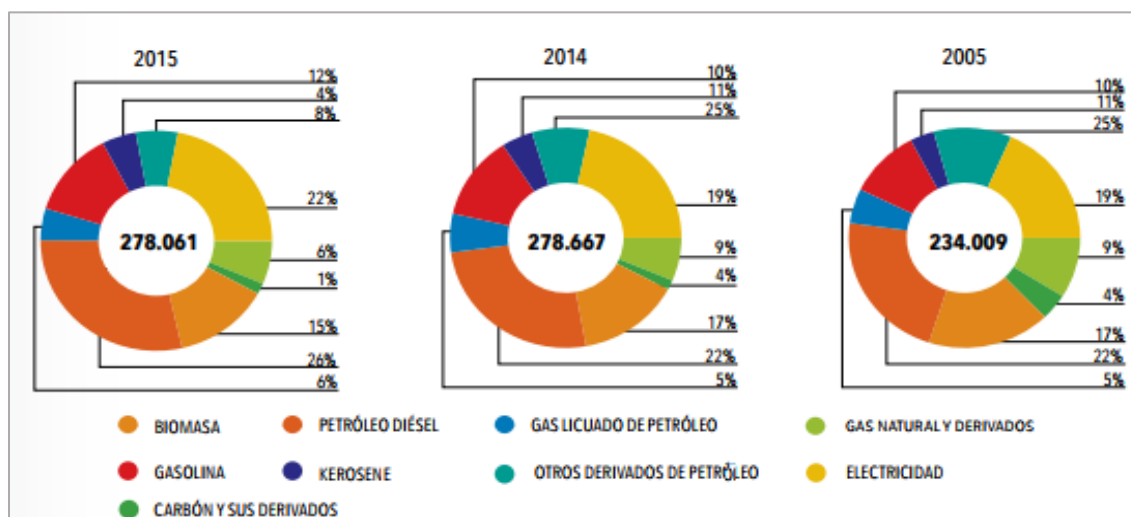


Figura 13. Consumo por energético Tcal. Adaptado de: Gobierno de Chile, 2016.

Se presenta el consumo energético por sector donde el sector Transporte está representando por un 35%, el sector industria y minería 39%, el sector consumo residencial 21% y los sectores: comercial y público y autoconsumo un 5%. Ver Figura 14.

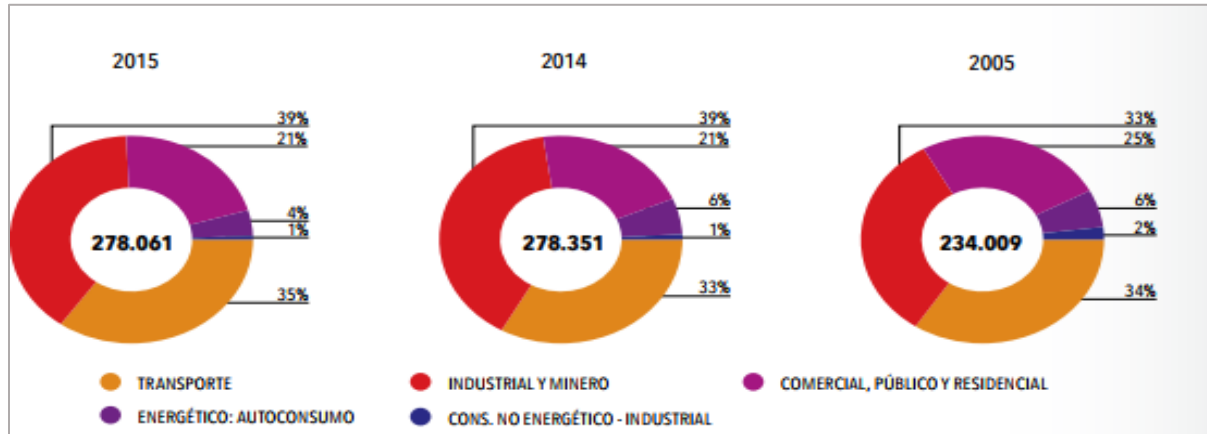


Figura 14. Consumo por energético por sector. Adaptado de: Gobierno de Chile, 2016.

- **Matriz energética renovable.**

En el 2016 la capacidad instalada en energías renovables no convencionales corresponde a un 13,5% de la capacidad eléctrica total de los sistemas eléctricos nacionales en Chile. En Figura 15 se muestra la matriz energética renovable del país.

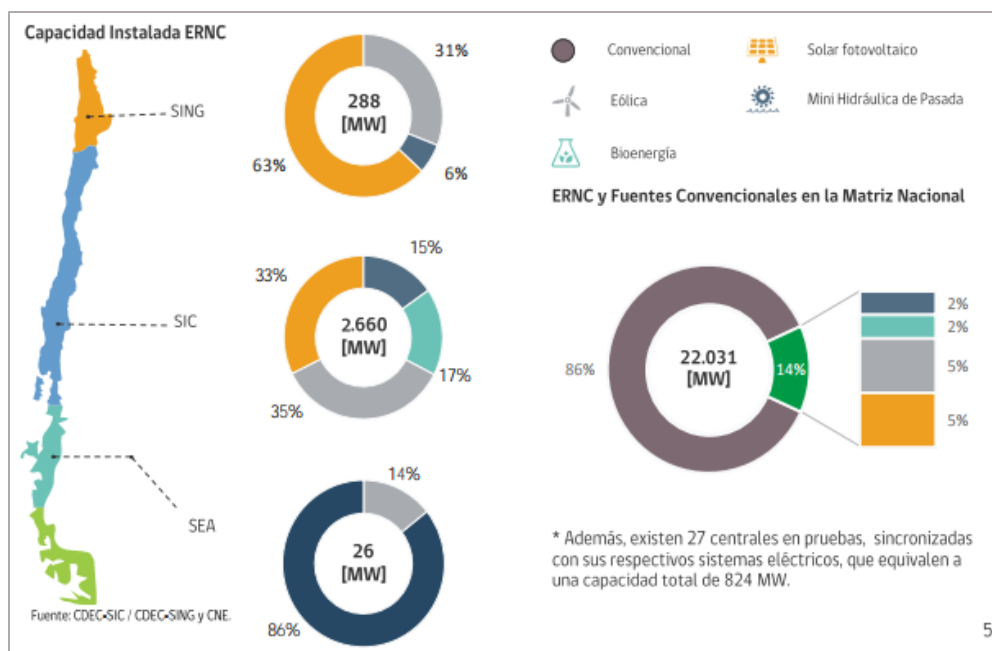


Figura 15. Reporte Mensual de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) – Enero 2017 – CNE. Adaptado de: Gobierno de Chile, 2016.

- **Relación entre consumo eléctrico y el crecimiento de la economía.**

Históricamente en el país ha existido una correlación entre el crecimiento económico y el consumo energético. En la Figura 16. Se observa cómo el crecimiento de la energía ha venido afectando la curvas PIB del país, esto gracias a las políticas que fomenta el uso eficiente de la energía (Ministerio de Energía).

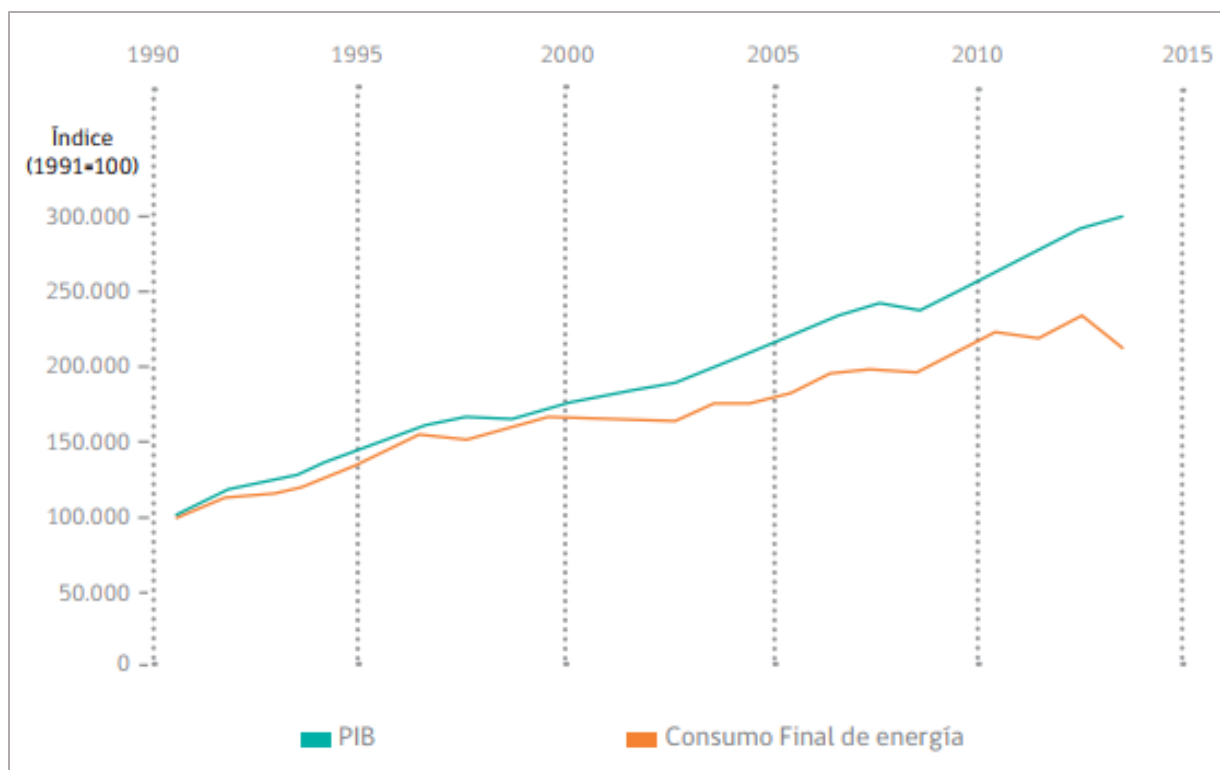


Figura 16. Comparación de correlación del consumo energético y crecimiento económico en Chile. Adaptado de: Gobierno de Chile, 2016.

- **La COP21 y el PNUD**

Un momento relevante para el desarrollo de las fuentes no convencionales de energía renovable, fue la participación de Chile en el acuerdo mundial COP21 para la mitigación de emisiones GEI y reducción de la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales y previstos del cambio climático. Ante esto, el país asumió el compromiso de reducir las emisiones GEI en un **30 %** por unidad de PIB (COP21 y el PNUD-CHILE, 2015.).

2.1.2. Planes y Políticas Energéticas: Las políticas y planes establecidos (parte de la metodología implementada) para el desarrollo de la integración de la generación de energía variable (solar fotovoltaica) en Chile fueron:

- **Plan de Acción de Chile Gobierno 2016 -2018**

Dentro del sector energético, el gobierno plantea promover estándares de calidad e integración de la ciudadanía en la gestión de la energía, donde involucran la integración de energías renovables como partes de las estrategias energéticas locales de desarrollo por parte de los ciudadanos (Secretaría General de la Presidencia, 2016.).

- **Política Energética**

En Mayo de 2014 el Ministerio de Energía presentó la Agenda de Energía donde se establecieron medidas para el sector con el fin de diseñar y ejecutar “una política energética de largo plazo que contara con validación social, política y técnica” (Gobierno de Chile, 2014).

1. Nuevo rol del estado para el desarrollo energético.
2. Participación de comunidades y ordenamiento territorial.
3. Desarrollar metodologías para el seguimiento y gestión de proyectos energéticos, generar licitaciones para proyectos de generación.
4. Establecer una nueva Ley de Eficiencia Energética con el fin de masificar el desarrollo de proyectos de eficiencia energética.
5. Actualizar el marco regulatorio de transmisión de energía, interconexión SIC-SING e interconexión regional.
6. Reducción de precios de la energía.
7. Desarrollar recursos energéticos propios.

Para cumplir con lo establecido en la agenda, se elaboró una política energética al año 2050 donde contempla las consideraciones, metas y acciones a desarrollar tanto a corto – mediano y largo plazo tal y como se muestra en la Tabla 7 (Ministerio de Energia).

Tabla 7.

Metas Establecidas Según Política Energética Escenarios a largo plazo 2035 y 2050.

N°	Descripción	Metas al 2035	Metas al 2050
1	Precio promedio de suministro eléctrico.	Se encuentra entre los 3 países del OCDE con menores precios a nivel residencial e industrial.	Se encuentra entre los 5 países del OCDE con menores precios a nivel residencial e industrial.
2	Indisponibilidad de suministro eléctrico promedio.	No debe superar 1 hora/año en cualquier localidad del país	No debe superar las 4 horas/año en cualquier localidad del país.
3	Familias vulnerables con acceso continuo y de calidad a los servicios energéticos.	Al menos el 50%.	Todos.
4	Trabajo en conjunto (Comunidad/Empresa).	80% de los proyectos energéticos desarrollados en el país.	Todos los proyectos energéticos desarrollados en el país.
5	Generación eléctrica de fuentes renovables.	Al menos el 60%.	Al menos el 70%.
6	Estándares de construcción eficientes.	El 100% de las nuevas edificaciones tienen altos estándares de construcción eficiente.	El 100% de las nuevas edificaciones tienen altos estándares de construcción eficiente, y cuenta con sistemas de control inteligente de energía.
7	Transporte público de pasajeros.	El 100% de vehículos nuevos incluyen criterios de eficiencia energética.	

N°	Descripción	Metas al 2035	Metas al 2050
8	Reducción de la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero.	Al 2030, se reduce al menos a un 30%.	Son coherentes con los límites definidos a nivel mundial.
9	Equipos energéticamente eficientes.		100% de los bienes que venden serán energéticamente eficientes.
10	PIB/Consumo energético.		Estar desacoplado del crecimiento del PIB.
11	Interconexión.		Lograr la interconexión con los demás países miembros del SINEA, así como con otros países de Sudamérica (Mercosur).

Adaptado de: Gobierno de Chile, 2016.

- **Políticas Ministeriales**

Dentro de los objetivos estratégicos planteados por el Ministerio de Energía está, impulsar el desarrollo de infraestructura energética renovable de alto estándar ambiental, que tienda reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) e impactos ambientales (MinEYM, 2016).

2.1.3. Marco normativo y/o regulatorio: Las modificaciones más relevantes que ha generado el uso de fuentes alternativas de energía dentro del proceso normativo y/o regulatorio son:

- Ley 19.940 (Ley Corta I)/2004: Mejora la tarificación en el sector de transmisión, incentivando un trato igualitario con las fuentes de energías renovables no convencionales, abriendo el mercado mayorista a generadores pequeños (menores a 9 MW) y garantizando el acceso a las redes de distribución (MINTRAB, 2004, Chile).

- Ley 20.018 (Ley Corta II)/2005: Modifica el marco normativo del sector eléctrico (Norma, Ordenanza, & Protección, 2005).

- Decreto 244/2006: Aprueba reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación (Ley Chilena, 2006). A raíz de esto, se estableció la norma técnica de conexión y operación de pequeños medios de generación distribuida en instalaciones de media tensión (CNE, Norma Técnica de PMGD Media Tensión, 2016).
- Ley 20.257 (Ley ERNC)/2008: Introduce modificaciones a la ley general de servicios eléctrico en cuanto a generación con energías renovables no convencionales, creando un sistema de cuotas ERNC obligatorio (10%) para aquellas empresas que comercializan energía en el SIC y SING (Norma T. , Ordenanza, Proteccion, & Medio, 2008).
- Modificaciones al Decreto 291/2009: Obliga a incluir en el Directorio del Centro Económico de Despacho de Carga (CDEC) la participación de generadores de tamaño pequeño (menores a 300 MW) (Dufey, Marzolf, & Ceppi, 2010).
- Ley 20.571/2012: Entrega el derecho a los usuarios a vender sus excedentes directamente a la distribuidora eléctrica, creando el sistema Net-Billing (Norma T. , Ordenanza, Proteccion, & Medio, Ley 20571. Chile, 2012). Los reglamentos asociados a esta ley y que contribuyen al planeamiento para la vinculación de generación de sistemas fotovoltaicos como fuente variable de energía renovable se relacionan en la Tabla 8.

Tabla 8.

Reglamentación y Normatividad según lo establecido en la Ley 20.571.

N°	Reglamentos / normas	Descripción
1	Noma técnica de conexión y operación de equipamiento de generación en baja tensión.	Establece procedimientos, metodologías y exigencias para la conexión y operación de equipamientos de generación cuya capacidad no supere 100 kW, en redes de distribución eléctrica (CNE, Norma Técnica de PMGD Media Tensión, 2016)
2	Procedimiento de comunicación	Procedimiento que establece comunicación de

N°	Reglamentos / normas	Descripción
	de puesta en servicio de generadoras residenciales.	energización de las instalaciones de generación según el reglamento Ley No. 20.571, que regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales (S. D. E. Electricidad and Y. Combustibles)
3	Diseño y ejecución de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.	Acota los requerimientos que se deben observar para el diseño, ejecución, inspección y mantenimiento de las instalaciones eléctricas fotovoltaicas conectadas a la red de distribución (SEC, 2014.)
4	Trámite eléctrico TE4	<p>Declaración de comunicación de puesta en servicio de generadoras residenciales.</p> <p>Este trámite se basa en unos documentos Checklist para validación de la instalación (C. y S. de electricidad y combustibles S. Ministerio de Energia, 2016.).</p> <p>Se crearon guías procedimentales que hacen parte de la adecuada integración de sistemas fotovoltaicos a la red:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Guía de buenas y malas prácticas de instalaciones fotovoltaicas sobre techos (Grandel & Oyazun). - Guía de evaluación inicial de los edificios para la instalación de sistemas fotovoltaicos (Guia_Evaluacion_Sistema_FV.pdf.). - Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos (Guia_Operacion_Mantenimiento.Pdf.).
5	Modalidades de contratación.	<p>Se definieron tres mercados básicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Concesionarias de distribución sujetas a precios para clientes regulados. - Grandes clientes cuya potencia conectada es

N°	Reglamentos / normas	Descripción
		<p>superior a 2MW que pueden optar por precios libremente contratados.</p> <p>- Mercado spot que determina precios spot de intercambio entre generadores, determinados por el costo marginal instantáneo de generación definido en forma horaria por el centro de despacho económico de carga (CEDC) (Altamonte, 2017.).</p>

Adaptado de: Gobierno de Chile, 2016.

- Ley 20.698/2013: Propicia la ampliación de la matriz energética mediante fuentes no convencionales de energía renovable (20%) (Norma T. , Ordenanza, Proteccion, & Medio, Ley 20698. Chile, 2013).
- Norma Técnica de Seguridad y Calidad del Servicio/2016: Se establecen las exigencias de seguridad y calidad de servicio de los sistemas interconectados (Comisión Nacional de Energía , 2016)

2.1.4. Programas, proyectos y herramientas: El gobierno chileno ha desarrollado programas que involucran el desarrollo de proyectos de generación fotovoltaica que contribuyen al desarrollo sostenible para el país. En la Tabla 9 se presentan cada uno de los programas y proyectos en mención.

Tabla 9.

Programas, Proyectos y Herramientas para integración de ERNC en Chile.

N°	Programas /proyectos	Descripción
1	Programa de energías renovables y eficiencia energética en Chile	Con investigación y desarrollo, asesoría para mejoramientos del marco regulatorio, actividades destinadas a propiciar negocios y financiamiento de proyectos, la Cooperación Alemana sigue apoyando el gobierno de Chile con el Programa 4e a mejorar la

N°	Programas /proyectos	Descripción
		<p>sustentabilidad del sector energético en Chile (Solares).</p> <p>Dentro de los proyectos en desarrollo que presenta el programa está:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Energía Solar para la generación de electricidad y calor</u>: Abre segmentos de mercado rentables para el uso de la energía solar, junto con el mejoramiento de las condiciones marco para la instalación de las plantas de energía solar (Federal & Ambiente, 2016.). • <u>Energías renovables para el autoconsumo en Chile (NAMA)</u>: Promover la incorporación de sistemas de energías renovables en pequeñas y medianas empresas abordando las barreras relevantes y creando condiciones financieras y técnicas adecuadas para el desarrollo de esta emergente industria (Sociedad para la Cooperacion Internacional (GIZ), 2014) <p>Las líneas de acción que trabaja es programa son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicaciones solares. - Autoconsumo. - Cogeneración. - Integración a las redes eléctricas. - Tecnologías de concentración solar.
2	Programa de Energía (Ministerios de Obras Públicas)	<p>Se definió un conjunto inicial de iniciativas que permitan aprovechar la singularidad del Desierto de Atacama para desarrollar una industria solar nacional con capacidad tecnológica (Programa de Energía Solar - Chile.) (Energía, Potencial, & Global).</p> <p>Los ejes estratégicos del programa son:</p>

N°	Programas /proyectos	Descripción
		<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo Tecnológico: A través de programas como Programa tecnológico de sistemas fotovoltaicos para desiertos. - Desarrollo Industrial. - Fortalecimiento de la infraestructura de la calidad.
3	Explorador Solar	Es una herramienta para la exploración del recurso solar en Chile y para la estimación de generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos (DGF, 2015.).
4	Programa de Techos Solares Públicos	<p>Es una iniciativa del Ministerio de Energía orientado a instalar sistemas fotovoltaicos en los techos de edificios públicos. Esto con el fin de estimular el mercado de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo, generar información de acceso público y gratuito sobre costos y características de los proyectos, mejorar el marco regulatorio sobre la generación distribuida, contribuir a la disminución de costos en edificios públicos y apoyar en la maduración de la oferta de sistemas fotovoltaicos (Programa Techos Solares Públicos).</p> <p>Para la validación de los proyectos que hacen parte de este programa, se creó una guía de pre-fiscalización para verificar el cumplimiento técnico y operativo del mismo (Programa Techos Solares Públicos).</p>
5	Programa Energética Comuna	Modelo de desarrollo energético donde se da énfasis a los proyectos levantados desde la comunidad, explotando el potencial de eficiencia energética y energías renovables en cada comuna y concientizando a la ciudadanía (Ministerio de Energía Chile, 2016.)

2.1.5. Financiamiento: Existen varias fuentes de financiamiento para proyectos ERNC, tanto nacional como internacional; este tipo de financiamiento se puede desarrollar las diferentes etapas y la disponibilidad financiera puede variar de un año a otro (Deloitte, Sector energía III: ERNC, perspectivas y dificultades. Chile, 2016.). En la Figura 17 se muestran algunas fuentes de financiamiento.



Figura 17. Fuentes de financiamiento en ERNC. Adaptado de: *Deloitte, 2016*

Chile ha realizado varias actividades que permiten el desarrollo de proyectos de generación renovables (caso fotovoltaico) donde ha modificado los procedimientos técnicos, económicos, sociales y ambientales para la óptima integración de este tipo de generación a las redes eléctricas del país.

Por otro lado, existen programas de cooperación internacional para el desarrollo de las ERNC en Chile, donde participa la Agencia de Cooperación Alemana GTZ (Dufey, Marzolf, & Ceppi, 2010)

En la Tabla 10 se muestra el resumen de la transición energética que ha realizado el país para la integración de fuentes no convencionales de energía renovables en general y en caso

específico para generación solar fotovoltaica (IRENA, June 2015.) (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2015).

Tabla 10.

Transición del sector energético – Chile.

Sector Energético Chile	
Política nacional	Objetivo de energías renovable.
	Estrategia / Ley de energías renovables.
	Ley / programa de energía solar.
Acceso a la red	Descuento / exención en la transmisión.
	Acceso a la red.
Instrumentos reguladores	Subastas.
	Cuota.
	Sistema de Certificados.
	Balance Neto.
Finanzas	Fondo Específico
	Apoyo previo a la inversión.
	Financiación directa.
Otros	Energías renovables en programas de acceso rural.

La siguiente figura presenta de manera dinámica la revisión de la implementación de la integración de generación de fuentes no convencionales de energía, especialmente (especialmente solar fotovoltaica) al sistema eléctrico de Chile (Ver Apéndice A).

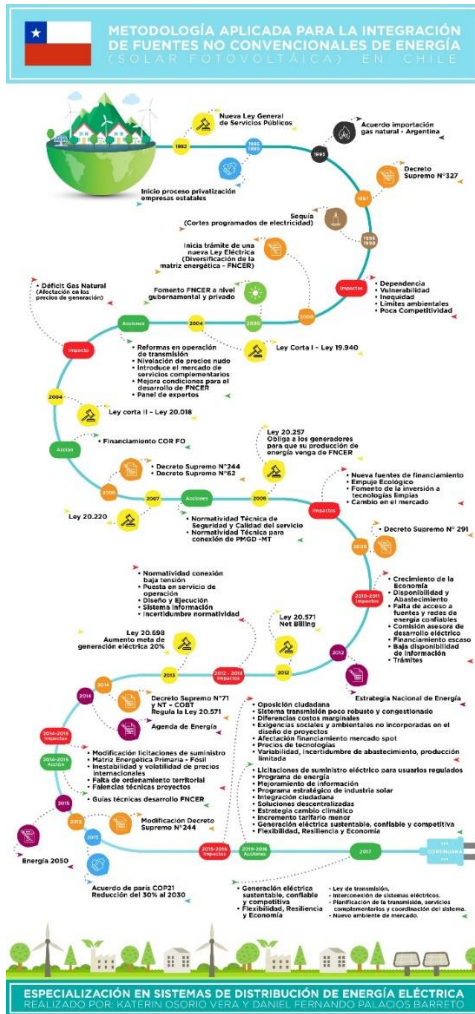


Figura 18. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía al sistema eléctrico en Chile. Adaptado de: Gobierno de Chile

2.2. Estados Unidos.

2.2.1. Características Generales: Estados Unidos presenta una serie de características del sector eléctrico, el cual ha motivado al desarrollo de fuentes no convencionales de energía renovable, logrando definir los potenciales energéticos más influyentes para generación futura con ese tipo de tecnología y así modificar la matriz energética del país. Estas características son:

a) La mayoría de la electricidad del país es producida por turbinas de vapor cuya fuente energética utilizada son los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) (Incremento Petróleo en U.S, 2017).

b) En términos meteorológicos, el país cuenta con gran potencial para desarrollo de fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER) (Potencial energético U.S., 2017).

c) Luego de la crisis económica del 2009, el gobierno decidió establecer metas que estimulara el desarrollo sostenible del país a partir de nuevas inversiones en energías limpias y estimulaciones para la creación de una legislación energética y ambiental como estrategia para la formación de una política energética para el país (IEA, 2014.).

d) En términos de inversión, el país ha incrementado el aporte en renovables por un valor cercano a USD 40 billones de dólares en el 2015, donde la mayor fuente renovable de inversión ha sido la solar fotovoltaica (World Energy Investment 2016, 2016).

- **Matriz Energética**

La energía primaria total suplida en el 2016 fue de 974000 billones de unidades de BTU's donde la mayor participación la tuvo el recurso energético del petróleo el cual conforma el 37% de la matriz energética primaria del país, seguido de un 29% de gas natural, 15% de carbón, 10%

de recursos renovables y un 9% de recurso nuclear (U.E. I. Administration, 2017). En la Figura 17 se muestra la matriz energética primaria de Estados Unidos.

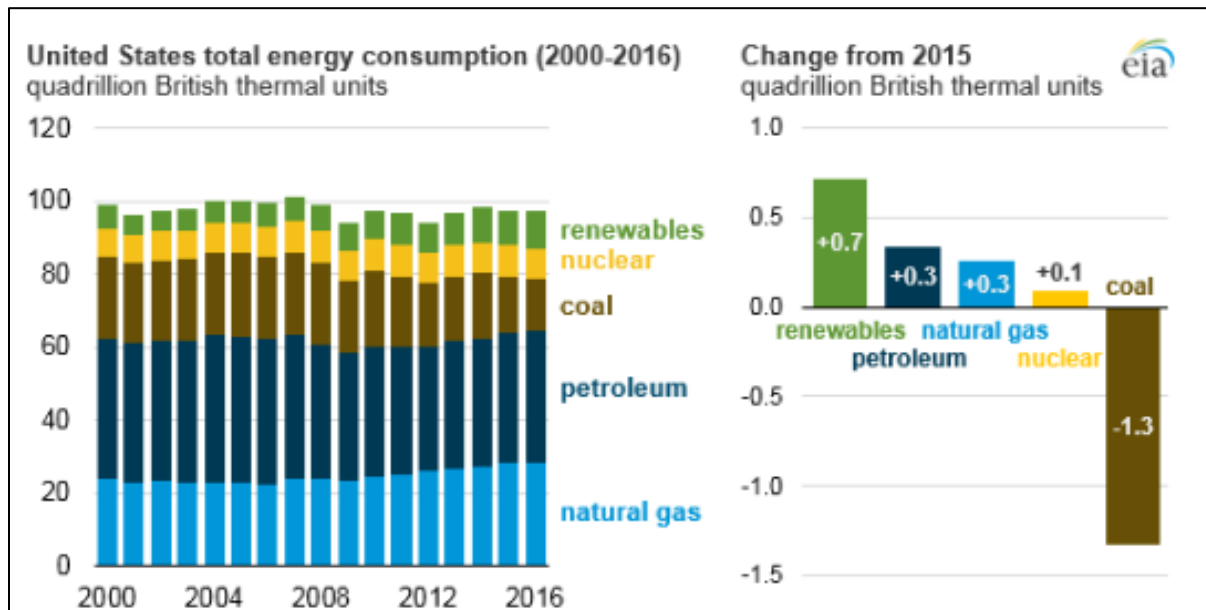


Figura 19. Matriz Energética Primaria (2000 – 2016) Adaptado de: U.S. energy consumption rose slightly in 2016 despite a significant decline in coal use, 2017

Acorde a lo anterior, se encontró que en términos de demanda el sector transporte representa el 29% del consumo energético, seguido del sector industrial con un 22%, sector residencial y comercial 11%; el sector eléctrico representa un 39% (U. S. primary energy consumption by source and sector , 2016). En la Figura 19 se muestra la contribución de cada una de las fuentes para cada sector.

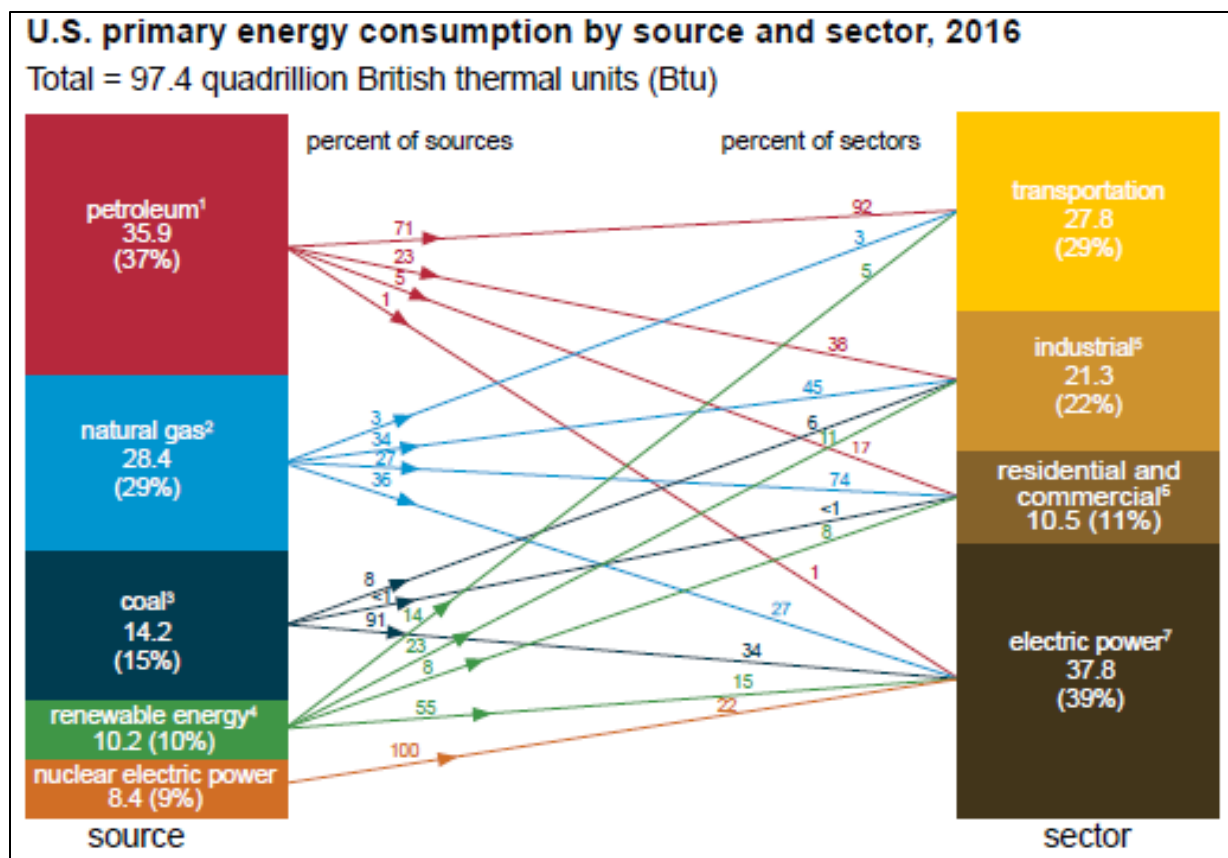


Figura 20. Consumo energético primario por fuente y por sector – 2016 Adaptado de: U.S.

energy consumption rose slightly in 2016 despite a significant decline in coal use, 2017

- **Matriz Eléctrica**

La generación eléctrica desde 1949 ha variado de recurso energético constantemente, sin embargo, el uso de combustibles fósiles continúa de forma prioritaria como fuentes de generación eléctrica del país. Algo importante de la transformación que ha tenido el sector, es la integración de fuentes no convencionales de energía renovables, el cual, al 2016 ha logrado que el uso de combustibles fósiles se reduzca. En la Figura 21 se muestra cómo ha variado la matriz eléctrica del país desde 1949 hasta 2016.

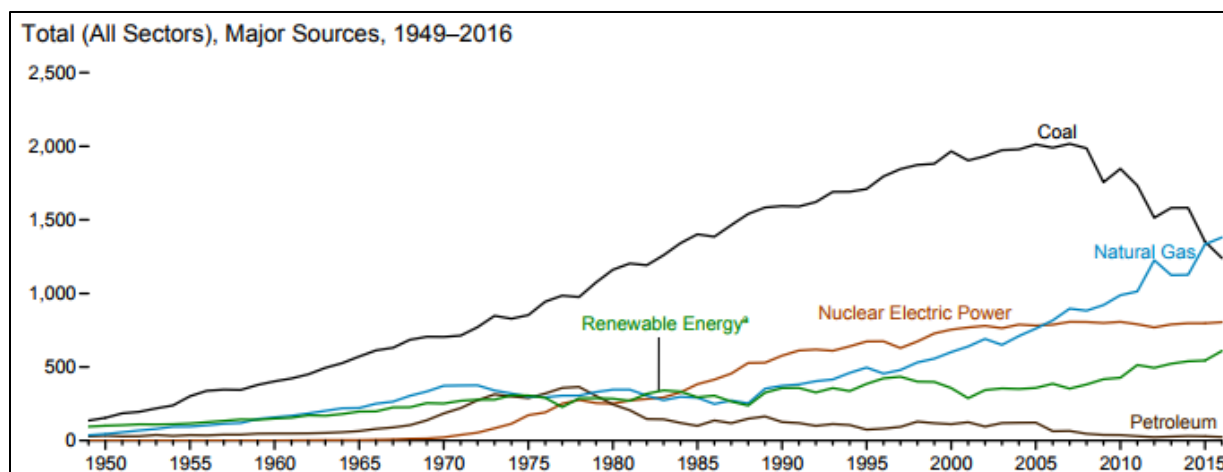


Figura 21. Generación Eléctrica Neta (1949-2016) Adaptado de: U.S. energy consumption rose slightly in 2016 despite a significant decline in coal use, 2017

Las fuentes no convencionales de energía renovables potenciales en el país están dadas por: Energía solar, eólica, geotérmica, biomasa, biocombustibles, hidroeléctrica y desperdicios. Ante esto, los estados que mayor participación han tenido en la vinculación de estas fuentes son: California, Virginia, Carolina del Sur, Georgia, Michigan, Pennsylvania, Massachusetts, Nueva York, Tennessee y Florida (Potencial energético U.S., 2017).

Los recursos renovables más utilizados en el país han sido: Energía Solar, Eólica, Hidroeléctrica y Biomasa (U.S Renewable Energy, 2016). En la Figura 22 se muestra el grado de participación en el periodo de tiempo 1949 – 2016 junto con el impacto en cada sector (Residencial, comercial, industrial, transporte, energía eléctrica).

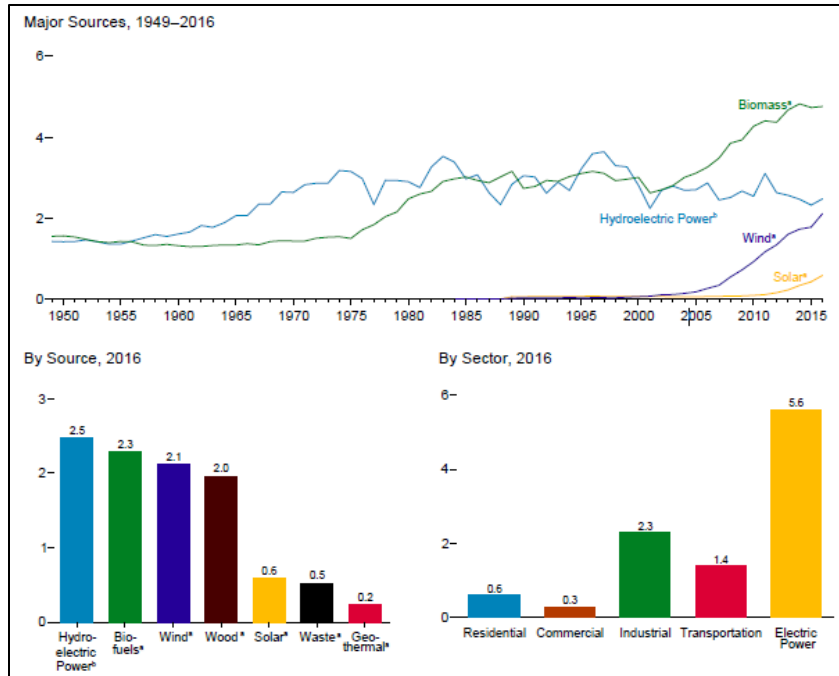


Figura 22. Consumo de Energía Renovable (1949 - 2016). Adaptado de: U.S. energy consumption rose slightly in 2016 despite a significant decline in coal use, 2017

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 21, es importante resaltar el grado de integración de que ha tenido las fuentes variables de energía (solar y eólica) en el sistema eléctrico del país. En marzo de 2017, la generación eléctrica por estas fuentes ha excedido el 10% de la generación total donde la energía solar representó un 2% (Wind and solar in March accounted for 10% of U.S.).

El porcentaje de generación a partir de energía solar fotovoltaica se clasificó en pequeña y escala - útil. La generación a pequeña escala representó el 37% de la generación anual de energía solar fotovoltaica en el país, el cual fue liderado por los estados de: California, Nueva Jersey, Arizona, Massachusetts, Nueva York, Hawaii, Maryland, Colorado, Nevada, y Texas (More than half of small-scale photovoltaic generation comes from residential rooftops, 2017); donde participaron los sectores residencial, comercial e industrial (EIA, Darling, & Marcy, 2017).

La generación a escala – útil se caracterizó por el tipo de operatividad del sistema, es decir, si incluía seguidor solar (sencillo o doble) o si la instalación era estática, cubriendo el 13% de generación anual de energía solar fotovoltaica en el país (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2017).

2.2.2. Planes y políticas energéticas:

- **Política Energética de 1992**

Se exime a los generadores de gran escala a participar en el mercado mayorista sin supervisión de la comisión de seguridad e intercambio (SEC). Clave el desarrollo de inversiones por parte de las compañías del sector privado (Bruner, Bolkcom, & Rourke, 2003).

- **Política Energética de 2005**

Se derogaron aspectos que se establecieron en la ley de servicios públicos PURPA y se dio lugar a la promoción de incentivos fiscales para el mejoramiento de las redes de transmisión. Esto incrementó la competitividad en el mercado y forzó a la salida de proyecto económicamente cero viables (Federal Energy Regulatory Commission, 2006)

- **Iniciativas Gubernamentales**

Luego de la crisis económica que vivió el país en el 2009, se presentaron una serie de publicaciones sobre estrategias energéticas para direccionar el futuro económico, dejando a un lado el uso de combustibles fósiles como fuente energética primaria para la generación de energía, y promoviendo el desarrollo de un sistema energético sustentable.

Uno de los actos más notables como iniciativa a este propósito fue un documento que presentó el gobierno del presidente Obama el cual se llamó “President’s blueprint for a secure energy future” donde busca el desarrollo de nuevas fuentes energéticas para lograr la sostenibilidad de país y asegurar el suministro energético sin dependencia alguna del exterior

(Office of the White House, 2011); otro documento destacado fue “All of the above energy strategy” donde enfatiza el desarrollo de nueva tecnologías que contribuyan a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (White House, 2014).

Luego de establecer la iniciativa para la integración de fuentes energética renovables, se realizaron reinversiones en la infraestructura energética para desarrollar proyectos de energía limpia (Congress, 2009)

Estados Unidos estableció metas de integración de fuentes de energía renovable donde las principales fueron: Solar, Eólica y Geotérmica; estableciendo un mecanismo que asegurara este objetivo como lo fue el portafolio de estándares renovables donde le da herramientas a los estados para el desarrollo de estas fuentes (RPS, 2017). El departamento de energía estableció un plan estratégico para lograr las metas energéticas que cada estado se comprometió a lograr y confirma la motivación del gobierno en ser parte de la investigación, desarrollo e innovación de las tecnologías limpias para generación de energía (U. S. Department of Energy, 2014.).

Cada estado estableció una metas para la integración de las fuentes energéticas renovables de energía (Metas, 2017), el cual se relaciona en la Tabla 11 (Únicamente se muestran las metas de los países que presentan uso de energía solar fotovoltaica).

Tabla 11.

Metas de Integración de Energías Renovables en los estados con alto uso de fuente solar fotovoltaica.

Estado	Meta
Arizona	“El estado tendrá el 15% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2025”
California	“El estado tendrá el 50% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2030”

Estado	Meta
Colorado	“El estado tendrá el 30% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2020”
Hawaii	“El estado tendrá el 100% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2045”
Maryland	“El estado tendrá el 25% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2020”
Massachusetts	“El estado tendrá el 15% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2020”
Nevada	“El estado tendrá el 25% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2025”
Texas	“El estado tendrá 10000 MW de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2025”
Nueva Jersey	“El estado tendrá el 24.5% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2020”
Nueva York	“El estado tendrá el 50% de generación energía eléctrica a partir de fuente renovables de energía al 2030”

Adaptado de: U. S. Department of Energy

Adicional a la metas establecidas por cada estado (en este caso, estados cuya fuente primaria de integración es la energía solar fotovoltaica); dentro de los planes y políticas, la asociación nacional de estados energéticos oficiales (NASEO) preparó una guía del procesos a tener en cuenta para un adecuado planeamiento energético, reconociendo el rol que tiene los líderes de cada estado para el cumplimiento del mismo (National Association of State Energy Officials (NASEO), 2014). Como soporte al proceso de planeamiento, en términos de mercado, el país estableció políticas como los estándares de energía renovable (RES), el cual, es un mandato

regulatorio que promueve el incremento de producción de energía a través de fuentes no convencionales de energía renovable (Hurlbut & Natl. Renew. Energy Lab, 2008).

Otra política implementada y que afecta el marco económico es el denominado balance neto o “net metering” el cual promueve la generación distribuida donde los consumidores tienen la oportunidad de recibir un crédito monetario por generar excedentes de energía que sean inyectados a la red en diferentes tiempos del día o del año (EPA and L. C. Change, 2017,). Estrategias como desgravamen fiscal, certificaciones de energía limpia y acuerdos de compra son otras de las políticas implementadas para motivar las inversiones del sector privado (Impact of public policy uncertainty on renewable energy investment: Wind power and the production tax credit, 2010); entre ellos está, certificados de energías renovables (RECs), subsidios ambientales y el esquema Feed-in tariffs (Jones, Irwin, & Izadian, 2010).

El gobierno federal a través de un acto de seguridad y energía limpia estableció que las compañías deberían generar 20% de su energía con renovables al 2020 y por parte del gobierno, adoptar nuevos incentivos y subsidios para que las inversiones se realizaran a satisfacción acorde a la meta establecida (Malmedal, Kroposki, & Sen, 2007). Es importante aclarar que los estados del país funcionan de manera independiente, por lo cual cada uno ha establecido políticas energéticas como estrategia para la integración de fuentes no convencionales de energía como lo es la energía solar fotovoltaica (Izadian, Girrens, & Khayyer, 2013).

Para las políticas de interconexión de las fuentes renovables de energía al sistema, existen dos entidades encargadas del tema. La comisión federal de energía (FERC) encargada de regular los requerimientos técnicos del servicio de la transmisión de energía eléctrica y de la venta de energía al por mayor; y la corporación de confiabilidad eléctrica de Norteamérica (NERC) quien

establece los estándares de conformidad para la construcción de un sistema confiable, seguro y de calidad (I. Chernyakhovskiy et al, 2016).

2.2.3. Marco normativo y/o regulatorio: Las modificaciones más relevantes que ha generado el uso de fuentes alternativas de energía dentro del proceso normativo y/o regulatorio son:

- Ley Federal de Energía (FPA) - (1935): La comisión federal de energía supervisa las transacciones de energía al por mayor e interestatal. Clave para la integración de renovables como la solar fotovoltaica a la red (FPA - 1935., 2017).
- Ley de regulación de servicios públicos (PURPA) – (1978): Regula la compra de energía eléctrica a través instalaciones calificadas en diferentes escalas de generación, logrando así una mayor competitividad en el mercado mayorista. Clave para el desarrollo de pequeños generadores (incluyendo promotores de energías renovables) (Bruner, Bolkcom, & Rourke, 2003).
- Orden 888&889 de FERC – (1996): Estableció el sistema de acceso a la información abierto (OASIS). Clave para reducir las barreras de transmisión eléctrica para los generadores renovables. Esto le permitió a los desarrolladores renovables, obtener información abierta sobre la capacidad de transmisión y precios para escoger los compradores de energía dentro del mercado (FERC, 2000).
- Orden 2000 de FERC – (1999): Describe las características técnicas y funciones a realizar por parte de las entidades operadoras de red. Clave para lograr un balance en tiempo real entre áreas de trabajo para una mayor integración de generación de energías renovables variables (FERC, 2000).
- Orden 2003 & 661 de FERC – (2003 y 2005): Presenta los procedimientos para la interconexión de generadores de gran escala (> 20MW). Clave para reducir el plazo y el costo de

interconexión para los generadores renovables de gran escala. Dentro de los procedimientos técnicos se incluyó el control de tensión, potencia reactiva, capacidad de generación y robustez en el sistema de información (SCADA) (Federal Energy Regulatory Commission, 2005).

- Orden 2006 & 792 de FERC – (2005, 2013): Presenta los procedimientos para la interconexión de generadores de pequeña escala (< 20MW). Clave para reducir el plazo y el costo de la interconexión para los generadores a pequeña escala. Se estableció una revisión rápida del proceso de conexión para pequeños generadores y se incluyó dentro del procedimiento la inclusión de dispositivos de almacenamiento y un acuerdo de interconexión (K. Fox et al., 2012) (Docket No. RM13-2-000 Small Generator Interconnection Agreements and Procedures, 2013).

- Orden 890 & 1000 de FERC – (2007 y 2011): Los proveedores de transmisión deberán llevar un planeamiento a nivel regional y local del sistema; de igual forma dio flexibilidad a los métodos de asignación de costos en los mejoramientos de las redes de transmisión. Clave para reducir la congestión de las redes y promover el acceso de nuevas fuentes de energía, incluyendo recurso solar y eólico; y reducir la carga financiera de las plantas renovables (Bloom, Forrester, & Klugman, 2010.) (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.).

- Orden 764 de FERC – (2012): Los transmisores están obligados a realizar una programación del sistema de 15 minutos. Clave para que los generadores de energía renovable puedan responder de mejor forma a la variabilidad de sus recursos y lograr el suministro de energía según lo programado (International Renewable Energy Agency - IRENA, 2015.).

- Orden 784 de FERC – (2013): Establece el mercado de servicios auxiliares para incluir los precios de “pago por desempeño” donde los parámetros de medida son la velocidad y precisión. Clave para incrementar las oportunidades e incentivar el almacenamiento de energía

para participar como servicios auxiliares en el mercado (Federal Energy Regulatory Commission, 2013.).

- Orden 819 & 827 de FERC – (2015 y 2016): Establece las normas para fomentar la competencia en el mercado de acuerdo con la respuesta de frecuencia primaria. Clave para los generadores renovables en recibir tarifas del mercado para la provisión de servicios en la respuesta de frecuencia primaria (Federal Energy Regulatory Commission, 2016).

La corporación de confiabilidad eléctrica de Norteamérica (NERC) ha publicado varios estándares frente al tema de la integración de fuentes renovables, especialmente las fuentes variables de energía como la solar fotovoltaica. En la Tabla 12 se relacionan los más relevantes con un resumen del contenido.

Tabla 12.

Estándares y reportes de la corporación de confiabilidad eléctrica de Norteamérica (NERC) - Integración de fuentes variables de energía renovable

NERC	
Estándares y Reportes	Descripción
Special Report – Accommodating High Levels of Variable Generation (2009)	Características de generación variable de energía, planeamiento de la transmisión de energía, operación del sistema eléctrico (North American Electric Reliability Corporation, 2009).
Winter Reliability Assessment (2010/2011)	Confiabilidad del sistema en invierno (Asses, 2010).
Flexibility Requirements and Metrics for variable generation: Implication for system planning studies (2010)	Presenta los requerimientos técnicos y de medida que debe tener el sistema en términos de flexibilidad (Nerc, Flexibility requirements and

NERC

Estándares y Reportes	Descripción
Special report: Standard models for variable generation (2010)	<p>metrics for variable generation: Implications for system planning studies, 2010).</p> <p>Modelos para las tecnologías de generación variable de energía (Nerc, Standard Models for Variable Generation, 2010.).</p>
Nerc IVGTF Task 2.1 Report. Variable generation power forecasting for operations (2010)	<p>Enfocado en los tiempos de operación de las plantas generadoras acorde con las proyecciones estimadas de las mismas (G. Observation, R. Algorithms, S. F. P. Gas, and E. Holding, 2002).</p>
Special Report: Potential reliability impacts of emerging flexible resources (2010).	<p>Ajusta los estándares regionales y locales frente al desarrollo de fuentes según la confiabilidad del sistema. Presenta una infraestructura operacional para la generación distribuida y algunas consideraciones que modifican las reglas del mercado (Report, 2010) .</p>
Nerc IVGTF Task 2.4 Report. Operating Practices, Procedures and Tools (2011)	<p>Cambios en la forma como opera el sistema de acuerdo a la integración de fuentes variables de energía, el cual, involucra modificación en las herramientas, procedimientos y prácticas de la operación del sistema. (N. A. E. R. C. (NERC), 2011)</p>
Special Report: Ancillary Service and Balancing Authority area solutions to integrate variable generation (2011)	<p>Revisión de los parámetros que enfrenta las energías renovables para su adecuada operación en términos de respuesta de frecuencia, regulación, entre otros. (G. Observation, R. Algorithms, S. F. P. Gas, and E. Holding, 2002).</p>

NERC

Estándares y Reportes	Descripción
Methods to model and calculate capacity contributions of variable generation for resource adequacy planning (2011)	Consideraciones técnicas para la integración de fuentes variables de energía (NERC, 2011).
Special Report: Potential bulk system reliability impacts of distributed resources (2011).	Se consideran todos los tipos de generadores distribuidos donde se analizan los impactos de confiabilidad que pueden generar al sistema (North American Electric Reliability Corporation, 2009).
Interconnection Requirements for variable generation (2012).	Procedimientos y estándares para la interconexión de fuentes variables de energía a la red (Tower, 2012).
Maintaining Bulk Power System reliability while integration variable energy resources – CAISO Approach (2013)	Consideraciones de los planeadores y operadores para lograr la óptima integración de fuentes variables de energía en grandes cantidades al sistema. Experiencia del operador de sistema independiente de California (Maintaining Bulk Power System Reliability While Integrating Variable Energy Resources – CAISO Approach A joint report produced by: the North American Electric Reliability Corporation, 2013.)
Probabilistic Methods (2014)	Informa a la industria de la variedad de métodos probabilísticos que puede utilizar para el estudio del riesgo que puede generar la integración de fuentes variables de energía. (Methods, 2014)
Summary and recommendations of 12 Tasks (2015)	Resumen y recomendaciones generales en la integración de fuentes variables de energía renovables (Dumas, 2015.).

2.2.4. Programas, proyectos y herramientas: El gobierno estadounidense ha desarrollado programas, proyectos y herramientas que involucran el desarrollo de proyectos de generación fotovoltaica que contribuyen al desarrollo sostenible para el país. En la Tabla 13 se presentan cada uno de los programas y proyectos en mención.

Tabla 13.

Programas, Proyectos y Herramientas para integración de ERNC en Estados Unidos

N°	Programas, proyectos / herramientas	Descripción
1	Sunshot initiative	Da soporte a la investigación en el desarrollo de tecnologías fotovoltaica que mejoren la eficiencia y confiabilidad del sistema, reduzca costos de manufactura y haga parte de la reducción de costos de la energía eléctrica.
2	Pvwatts	Estima la energía eléctrica producida donde el sistema se encuentra conectado a la red.
3	Solar deployment system (solarads)	Examina el mercado competitivo de las fuentes fotovoltaicas basado en el recurso solar regional, costos a capital, precio de la electricidad e incentivos federales y locales para el sector residencial y comercial (Denholm, Drury, & Margolis, 2009).
4	Solar training network	Capacitación del personal para desarrollar habilidades en la instalación de un sistema solar de alta calidad (Net Training, 2017)
5	The national energy research scientific computing center (nersc)	Permite analizar modelos de planeamiento para pronosticar las actividades del sector (IEA, 2014.).
6	Quadrennial technology review (qtr)	Revisión del estado técnico y potencial de diversas tecnologías como métricas de medición para el desarrollo e innovación (IEA, 2014.).

2.2.5. Financiamiento: Dentro de los esquemas de financiamiento para inversión y otros subsidios esta:

- Crédito fiscal de producción (PTC): Se provee un crédito fiscal para la producción de electricidad a partir de tecnologías renovables (excluida solar fotovoltaica) y venderlo (KPMG, 2015).
- Crédito fiscal de inversión (ITC): Se presenta crédito fiscal por la calidad de energía generada durante el año en que se recibió el crédito (KPMG, 2015).
- Se estableció una ley de reinversión donde habla de las subvención de energías renovables. (Regante, 2012)
- Otros beneficios fiscales: Depreciación (Regante, 2012).
- Entidades encargadas:
- Créditos fiscales para energías renovables (RETC)
- Oficinas de programas de préstamo.
- Programa de energía del estado.
- Laboratorio de energía renovable nacional provee un proyecto de financiación para proyectos de tecnología renovable.

En la Tabla 14 se muestra el resumen de la transición energética que ha realizado el país para la integración de fuentes no convencionales de energía renovables en general y en caso específico para generación solar fotovoltaica.

Tabla 14.

Transición del sector energético – Estados Unidos

Sector energético estados unidos	
Política nacional	Objetivo de energías renovable.
	Estrategia / ley de energías renovables.
	Ley / programa de energía solar.
Incentivos fiscales	Beneficios fiscales importación/exportación.
	Exención nacional de impuestos locales.
	Depreciación acelerada.
	Otros beneficios fiscales
Acceso a la red	Descuento / exención en la transmisión.
	Acceso a la red.
	Transmisión prioritaria/dedicada.
	Otros beneficios.
Instrumentos reguladores	Subastas.
	Feed – in - tariff
	Sistema de certificados.
	Balance neto.
Finanzas	Fondo específico
	Fondo elegible
	Apoyo previo a la inversión.
	Financiación directa.
Otros	Energías renovables en programas de acceso rural.

Nota: Resumen de Transición del sector energético en Estados Unidos.

La siguiente figura presenta de manera dinámica la revisión de la implementación de la integración de generación de fuentes no convencionales de energía, especialmente (especialmente solar fotovoltaica) al sistema eléctrico de Estados Unidos (Ver Apéndice B).

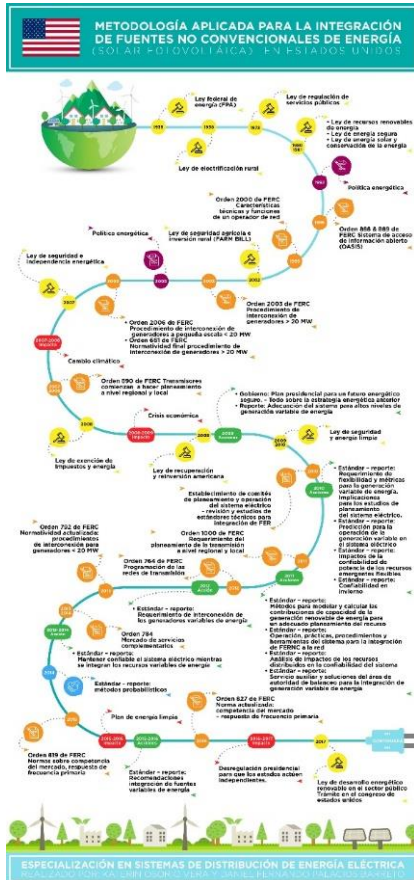


Figura 23. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía en el sistema eléctrico en Estados Unidos

2.3 España

2.3.1. Características Generales: El sector eléctrico español ha sufrido una profunda transformación desde el año 1998. Hasta entonces, la actividad estaba concentrada en empresas caracterizadas por una importante estructura vertical, y que ejercían monopolio en las distintas regiones españolas.

A partir de la aprobación de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del sector eléctrico supuso el inicio del proceso de liberalización progresiva del sector mediante la apertura de las redes de terceros, el establecimiento de un mercado organizado de negociación de la energía y la reducción de la intervención pública en la gestión del sistema.

La norma básica que en la actualidad regula la estructura y el funcionamiento del sector de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre del sector eléctrico. En esta norma se mantiene la distinción entre las actividades reguladas y las no reguladas, ya recogida en la norma anterior al tiempo que se impulsa la competencia efectiva del sector, introduciendo entre otras medidas, un aumento en la competencia de las comercializadoras de referencia, mejorando la posición del consumidor en cuanto a la información disponible y facilitando el avance de las fuentes de energía renovables. (Secretaría de Estado de Energía (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital))

- **Matriz energética**

España sigue teniendo una alta dependencia del petróleo, que represento el 42,2% del consumo de energía primaria, seguido del gas natural, con un 22,1% y la energía nuclear con un 12,6% como es posible observar en la Figura 24.

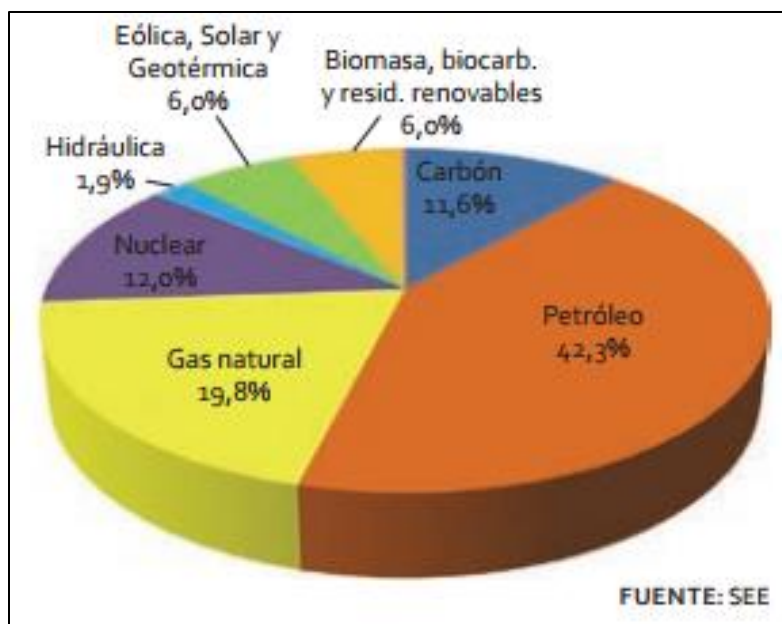


Figura 24. Matriz Energética España

Las energías renovables representaron el 16,2% del total de energía final bruta consumida en España en el año 2012, lo que supone un aumento de tres décimas respecto a 2011. El objetivo establecido para España en la Directiva Europea 2009/28/CE es alcanzar el 20% de consumo final bruto de energía en el año 2020. (APPA, 2012)

- **Matriz eléctrica**

La potencia neta instalada en España en 2016 contaba con 105.266 MW, con una reducción de 916 MW con respecto al año 2015 debida a la salida centrales térmicas de carbón que finalizaron su vida útil. En total las tecnologías convencionales representan el 63,7% del parque generador, tal y como se muestra en la Figura 25.

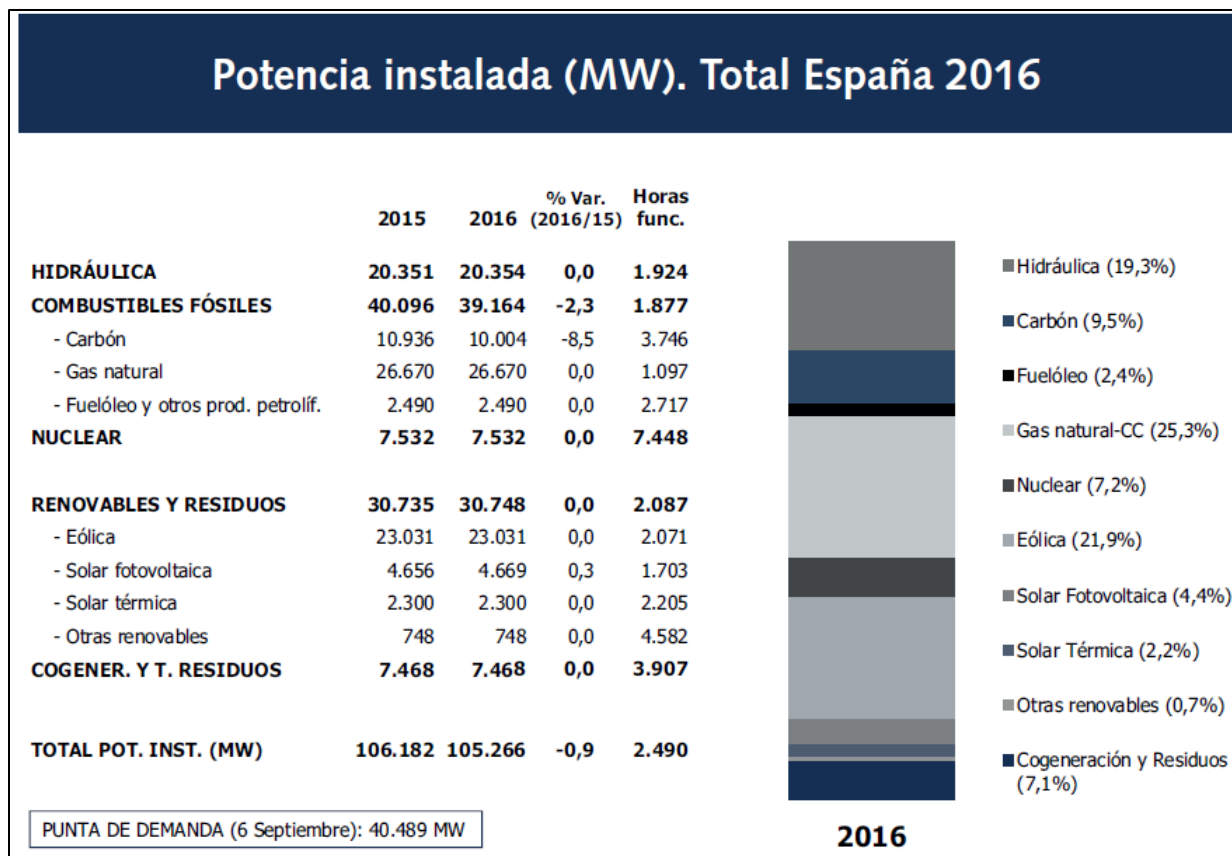


Figura 25. Matriz Eléctrica España - 2016

La potencia correspondiente a fuentes renovables o alternativas, residuos y generación del régimen retributivo representan el 36,3%. Cabe destacar el aumento debido al ingreso en operación de 13MW en instalaciones fotovoltaicas. Las centrales de ciclo combinado con el 25,3%, la energía eólica con el 21,9% y las centrales hidroeléctricas con el 19,3% son las tecnologías con una mayor cantidad de potencia instalada.

En la matriz eléctrica se destaca que más del 60% de sus fuentes de energía son libres de emisiones de CO2, impacto debido en gran parte al mix de generadores renovables que componen la matriz. La fuente solar Fotovoltaica tiene una potencia instalada de 4.669 MW, es decir el 4,4% del total de la potencia instalada para el año 2016 (Club Español De La Energia, 2016).

- **Histórico integración de energía solar fotovoltaica**

España debido a tener más horas de irradiación solar es un país estratégico para la UE en el aumento de generación renovable, así como disminuir la dependencia energética gracias a esta fuente solar fotovoltaica. En el año de 1984 se instaló la primera granja fotovoltaica a la red española como un programa piloto con 100KW de potencia. Sin embargo, se fueron llevando a cabo más proyectos que se conectaron a la red que a finales de 1995 contaba con una potencia total de 1,6 MW los cuales no estaba legalmente haciendo parte del sistema eléctrico debido a falta de legislación y se encontraban en un vacío legal. (Alonso, Amo, & Rodríguez González, 2015)

En 1998, con el fin de fortalecer las energías renovables el gobierno aprobó el Real Decreto 2818/1998 que reconocía la necesidad de un tratamiento específico para esta alternativa energética, estableciendo reconocimiento económico por KWh entregado a la red dependiendo de la potencia nominal instalada. Para el año 2000 solo dos sistemas habían logrado acceder a estos reconocimientos económicos por lo cual surgió un nuevo Real Decreto el 1663/2000, que estableció condiciones técnicas y administrativas específicas, lo cual significó el despegue de la fotovoltaica en España.

Finalmente, el marco regulador que disparó el crecimiento de centrales solares Fotovoltaicas conectadas a la red fue el Real Decreto 436/2004 y el RD 661/2007 en el que estipulaba una prima de 0,44 € por cada KWh fotovoltaico que se inyectaba a la red.

Gracias a esta regulación, España fue en el año 2008 uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada en el mundo, con 2708 MW instalados en un solo año como se aprecia en la Figura 26.

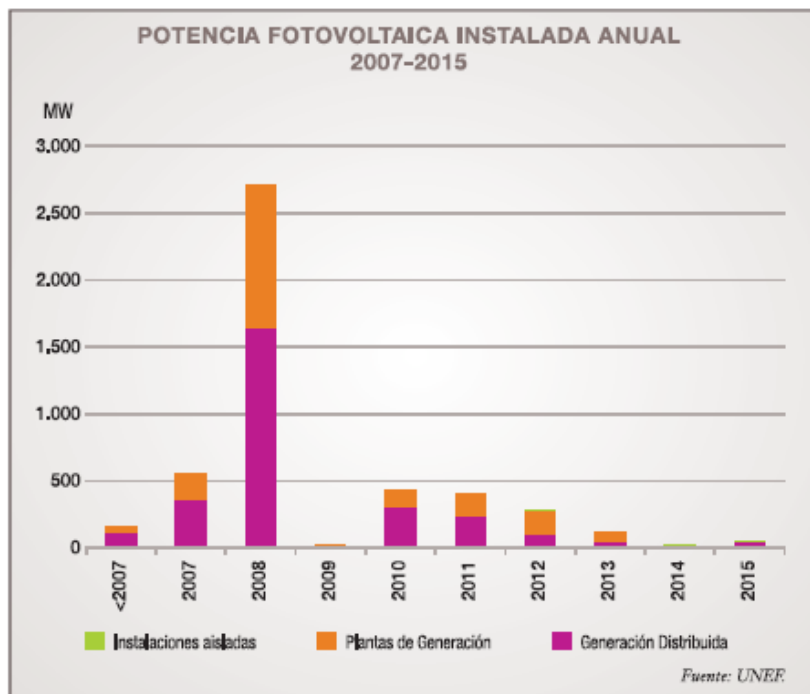


Figura 26. Registro anual potencia fotovoltaica instalada - España.

Sin embargo, por el crecimiento desbordado el 30 de Septiembre de 2008 fue necesario regular esta actividad mediante el RD 1578/2008 la cual establecía unas primas variables dependiendo de la ubicación de la instalación (suelo: 0.32€/KWh o tejado: 0.34 €/KWh), estando sujetas además a un cupo máximo de potencia anual instalada a partir de 2009 que se adaptaría año a año en función del comportamiento del mercado.

Por ende, el crecimiento de este tipo de fuente de energía se ralentizaron la construcción de nuevas plantas fotovoltaicas, de tal forma que en 2009 se instalaron solo 19MW, en 2010 420 MW y así crecimientos bajos con respecto al auge en 2008 como es posible apreciar en la siguiente gráfica. Este control del aumento de plantas se debió a aspectos económicos y sobre todo criterios técnicos como evitar problemas de regulación de tensión, pérdidas en líneas de transmisión y distribución, etc. (UNEF, 2016)

Una tendencia en el crecimiento de la tecnología fotovoltaica es que prolifera en mayor

cantidad en el sector agrícola y ganadero en sistemas de bombeo, riego y calefacción entre otros debido a sus ventajas en cuanto a la reducción de la dependencia de energía y reducción de costos económicos. El 9 de Octubre de 2015 se aprobó el Real Decreto 900/2015 que regula las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo que no las favorece mucho ya que impone una serie de barreras e impedimentos que disminuyen la rentabilidad de la misma de manera notable (UNEF, 2016).

La normativa vigente del impuesto sobre sociedades establece una deducción del 10% para las actividades destinadas a la protección del medio ambiente. En base a ello, las inversiones realizadas en bienes del activo material nuevos desnatadas al aprovechamiento de fuentes de energía renovable, por su contribución a la disminución de las emisiones contaminantes tienen una deducción de la cuota íntegra del 10% del importe de las mismas, gracias a la Ley24/2001 de 27 de diciembre de medidas fiscales, administrativas y de Orden Social además de la Ley43/1995 del impuesto de Sociedades.

La generación por fuentes fotovoltaicas a partir del 2008 aumento constantemente hasta el 2009 debido a la entrada en operación de este tipo de fuentes en todo el país. A partir del año 2009 el aumento en la energía generada ha crecido de manera más discreta lo cual es coherente de acuerdo a las regulaciones impuestas para ralentizar el aumento de este tipo de generadores, finalmente desde el 2013 se puede identificar un comportamiento constante en la energía generada de en promedio de 8.250 GWh. La Figura 27 muestra lo descrito.

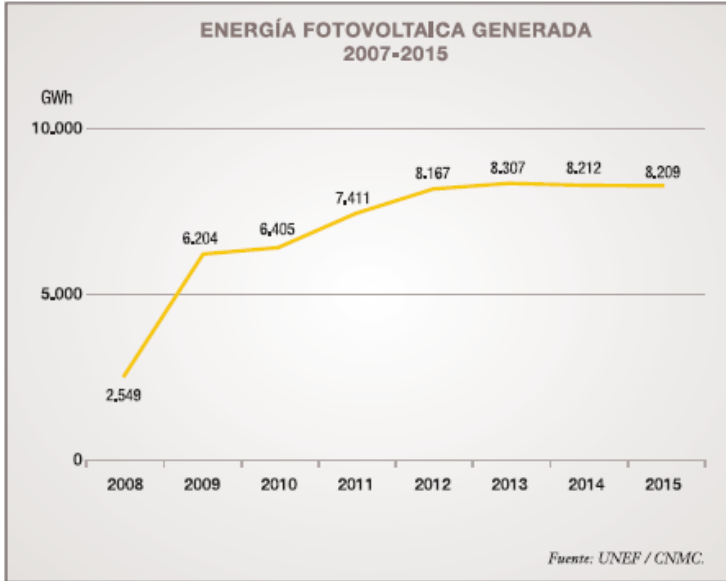


Figura 27. Histórico generación por fuentes fotovoltaica España 2008-2015.

Para el año 2012 la distribución geográfica de la potencia fotovoltaica instalada en España (Instituto de Energía Solar, 2017) se concentra en la parte baja del territorio como se ilustra en la Figura 28.

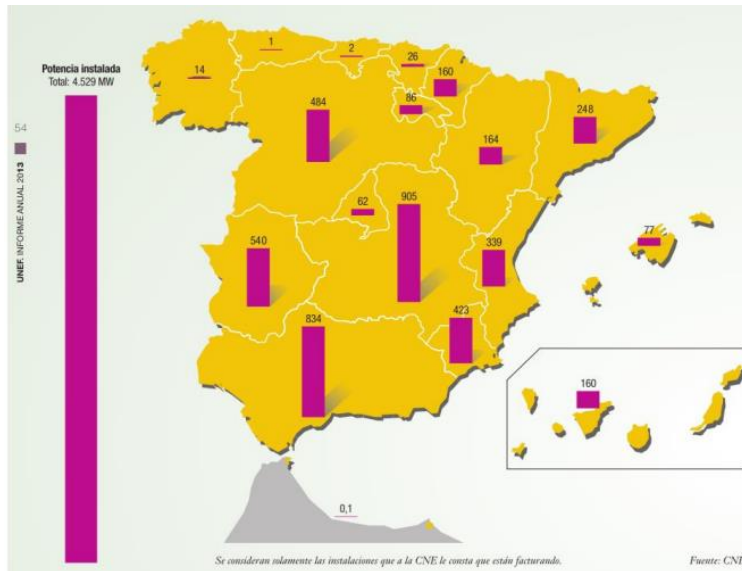


Figura 28. Distribución geográfica de fuentes fotovoltaicas en España.

2.3.2. Planes y políticas energéticas: España como políticas propias establece una serie de planes y estrategias para adaptarse a los cambios climáticos de manera que sus actividades económicas disminuyan el impacto ambiental, al contrario, proponer estrategias que de la mano con el desarrollo este el cuidado y recuperación del ambiente.

El sector eléctrico cuenta con una serie de medidas establecidas por el gobierno las cuales están consignadas en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) publicado en 2014 (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2014.).

De acuerdo al Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España se han adquirido una serie de compromisos con el fin de limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero, tanto en el ámbito de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto, como en el de la Unión Europea. Se tienen sus objetivos nacionales.

Para el periodo de 2013-2020 a través del Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático se establecieron objetivos concretos a alcanzar en el año 2020 en materia de energía renovable, eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Parlamento Europeo). En concreto, las emisiones del conjunto de la Unión Europea deben reducirse en un 20% respecto a los niveles del año 1990. Se dividen en dos grandes objetivos así:

- Por un lado, las emisiones de CO₂ de los sectores más intensivos en el uso de la energía (generación, refino, siderúrgica, fabricación de cemento, papel y cartón, vidrio, etc.) que se encuentren bajo el comercio europeo de derechos de emisión que crea la Directiva 2003/87/CE. El objetivo es reducir las emisiones de estos gases 21% respecto a los niveles de 2005. Este objetivo es global a nivel europeo, sin que exista un reparto de esfuerzos entre los estados miembros. (Alcántara & Roca, 1995)

- Las emisiones restantes quedan excluidas del ámbito del comercio de emisiones, contando también como un objetivo a alcanzar en el año 2020. En concreto a España le corresponde una reducción del 10%.

Los objetivos de reducción de emisiones a 2030 quedan recogidos en las Conclusiones del Consejo Europeo de octubre de 2014. En éstas se aprobó el Marco de Políticas de Energía y Cambio Climático 2021-2030 (“Marco 2030”) con el fin de dotar de continuidad al Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático. Como principales objetivos de dicho Marco 2030, se encuentran:

- Un objetivo vinculante para la UE en 2030 de, al menos, un 40% menos de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con 1990.
- Un objetivo vinculante para la UE en 2030 de, al menos, un 27% de energías renovables en el consumo de energía.
- La consecución urgente, a más tardar en 2020, del actual objetivo de interconexiones de electricidad del 10%, en particular para los Estados Bálticos y la península ibérica, y del objetivo de alcanzar el 15% de aquí a 2030.

Se estableció normativa por la que se regulan las actividades de la red eléctrica, atribuyéndole un régimen de exclusividad al ejercicio de las actividades de transporte y operación del sistema, así como de la función de gestor de la red de transporte. La Ley 24/2013 corrige el desajuste de ingresos y costes del sector eléctrico (Government of Spain, 2013).

La ley 413/2014 estableció una retribución por la venta de energía proveniente de fuentes renovables, lo cual permite recuperar el coste de la inversión por medio del valor de la energía suministrada al sistema que está compuesta por el valor de la energía en el mercado y una retribución a la inversión que viene descrita en dicha ley. Así mismo, establece derechos,

obligaciones, particularidades de funcionamiento en el mercado y los procedimientos en el registro administrativo de las instalaciones de producción de energía eléctrica (Rojas & Tubío, 2015.)

Debido a que la producción de energía por medio de solar fotovoltaica excedía en grandes cantidades la demanda del país se reglamentó el RD 900/2015 o más conocido como el impuesto al sol donde los usuarios pagan un impuesto por cada panel solar que posean, es decir, se establecieron las condiciones administrativas, técnicas y económicas para las modalidades de autoconsumo de energía eléctrica definidas en el artículo 9 de la Ley 24/2013 del sector eléctrico (Ministerio de Industria Energía y Turismo de España, 2015).

- **Precio voluntario para el pequeño consumidor (p.v.p.c)**

La Red Eléctrica, como transportista y operador del sistema eléctrico español publica los nuevos precios horarios de la electricidad, conforme a lo establecido en el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo (Fallis, 2013). Desde un punto de operación neutral, el proceso que realiza la red eléctrica deberá proporcionar al ciudadano una herramienta que le ayude a gestionar el consumo eléctrico de forma eficiente, de manera que puede adecuar sus hábitos de consumo adecuándolos al precio de la energía en cada momento, para así realizar un consumo inteligente.

En 2018 se debe tener al 100% de los consumidores residenciales españoles contar con un contador inteligente instalado, por lo que estos precios serán aplicados a los 16 millones de usuarios que están acogidos al PVPC.

2.3.3. Marco normativo y/o regulatorio: Las normas o leyes que han impulsado y controlado el desarrollo del sector de generación solar fotovoltaica que más se destacan en el ámbito político español son:

- **Real Decreto 661/2007:** Regula el registro administrativo de las instalaciones de producción en régimen especial, con el fin de aumentar el objetivo anual de potencia instalada fotovoltaica (MITYC, 2007) (Alonso, Amo, & Rodríguez González, 2015)
- **Real Decreto 1578/2008:** Establece nuevos objetivos de potencia instalada anual, que pueden incrementarse si se sobrepasan los cupos establecidos, disminuyendo en la misma proporción las tarifas (España, 2008).
- **Real Decreto 1565/2010:** Establece la obligatoriedad para las plantas fotovoltaicas ante los requisitos de continuidad en respuesta a los huecos de tensión (Jiménez, Gómez-Lázaro, Fuentes, & Mol, 2013.).
- **Real Decreto-Ley 9/2013:** Adoptaba medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico, sustituyendo el régimen de primas a las renovables por un sistema de retribución aplicable de carácter retroactivo y basado en rentabilidad razonable de la inversión de una empresa eficiente y bien gestionada (Mendoza, 2013.) (García-Sánchez, Gómez-Lázaro, & Molina, 2014.).
- **Ley 413/2014:** Establece una retribución por la venta de energía proveniente de fuentes renovables, así como, derechos, obligaciones, particularidades de funcionamiento en el mercado y los procedimientos en el registro administrativo de las instalaciones de producción de energía eléctrica. (Rojas & Tubío, 2015.)

- **Real Decreto 900/2015:** Impuesto al sol (Ministerio de Industria Energía y Turismo de España, 27548–27562).

La normatividad de operación del sistema tenida en cuenta para la óptima vinculación de sistemas fotovoltaicos es (Red eléctrica de España, 2017):

- P.O 3.2 Restricciones Técnicas.
- P.O 3.6 Comunicación y tratamiento de las indisponibilidades de las unidades de producción.
- P.O 8.2 Operación del sistema de producción y transporte.
- P.O 9.0 Información intercambiada por el operador del sistema.
- P.O 12.2 Instalaciones conectadas a la red de transporte: Requisitos mínimos de diseño, equipamiento, funcionamiento, seguridad y puesta en servicio.
- P.O 12.3 Requisitos de respuesta frente a huecos de tensión.
- P.O 14.11 Liquidación y facturación del servicio de gestión de la demanda de interrumpibilidad.
- P.O 15. 1/2 Servicio de gestión de la demanda de interrumpibilidad.

2.3.4. Programas, proyectos y herramientas. Se han desarrollado programas y sistemas económicos que motivan a los inversionistas e investigadores en el desarrollo de la tecnología solar fotovoltaica como fuente de generación.

1. Promoción mediante condiciones comerciales ventajosas como una retribución atractiva orientada a asegurar la rentabilidad razonable y darles prioridad de producción y venta al sistema (S.A seguridad al sistema) (Alonso, Amo, & Rodríguez González, 2015).

2. El IX Master (curso 2016-2017) es un programa del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid (IES-UPM) (Viaintermedia.com).
3. Programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes (IDAE).
4. Centro de control de energías renovables (CEGRE).

2.3.5. Financiamiento. El proceso de financiamiento básicamente se basa en entidades gubernamentales como el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) donde su objetivo es impulsar proyectos que, teniendo un claro componente de innovación tecnológica, gocen a la vez de replicabilidad.

La forma de participación del Instituto en los proyectos depende, en cada caso, del sector del que se trate, de la tecnología implicada y del volumen económico; materializándose, básicamente, a través de las siguientes fórmulas (IDAE):

- **Fondo JESSICA-F.I.D.A.E.** Fondo de Inversión para financiar proyectos de eficiencia energética y energías renovables.
- **Programa PAREER-CRECE.** Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes.
- **Programa Solcasa.** Este Programa pretende establecer un sistema de financiación que impulse una oferta de calidad y adaptada a las necesidades de los usuarios de agua caliente y climatización en edificios, utilizando energía solar térmica, todo ello en el marco del Plan de Energías Renovables en España 2005-2010.
- **La Financiación por Terceros (F.P.T.):** Constituye uno de los métodos disponibles más adecuado para acometer proyectos de inversión de ahorro y eficiencia energética y proyectos de generación de energía utilizando para ello distintas fuentes, incluidas las energías renovables.

- **Financiación de Proyecto y Arrendamiento de Servicios:** Modelo de financiación aplicable a proyectos de inversión en materia de ahorro, eficiencia energética y energías renovables, que dispongan de un análisis previo de viabilidad técnico-económica. Se trata de un nuevo modelo de colaboración financiera que supone la formalización de dos contratos: Un contrato marco de colaboración y arrendamiento de servicios y un Contrato de financiación de proyecto (crédito mercantil) (Tejado, Deniz, & Martinez).

En la Tabla 15 se muestra el resumen de la transición energética que ha realizado el país para la integración de fuentes no convencionales de energía renovables en general y en caso específico para generación solar fotovoltaica.

Tabla 15.

Transición del sector energético – España.

Sector energético España	
Política nacional	Objetivo de energías renovable.
	Estrategia / ley de energías renovables.
	Ley / programa de energía solar.
Incentivos fiscales	Exención nacional de impuestos locales.
	Depreciación acelerada.
	Otros beneficios fiscales
Acceso a la red	Descuento / exención en la transmisión.
	Acceso a la red.
	Otros beneficios.
Instrumentos reguladores	Primas

2.4 Alemania

2.4.1. Características generales: El sistema eléctrico alemán tiene algunas características especiales debido a su matriz energética y condiciones geográficas:

1. La generación de energía eléctrica depende en gran medida de los combustibles fósiles, razón por la cual lo vuelve susceptible a la disponibilidad de combustibles.

2. Aproximadamente el 50% de la matriz eléctrica alemana corresponde a fuentes de generación térmica a base de carbón.

3. La reconversión energética, con un 50% del consumo eléctrico en 2030 a base de energías renovables y un 80% a mediados del siglo, es la clave de la estrategia nacional de Alemania para lograr su próxima ventaja competitiva.

4. El 50% de la capacidad renovable instalada en Alemania ha sido desarrollada y es de propiedad de pequeños inversores (11% agricultores).

- **Matriz Energética**

La matriz energética alemana es considerablemente dependiente de energéticos como el Petróleo, Gas y Carbón (Hulla y Lignito) los cuales corresponden al 80% de la matriz energética compuesta por combustibles fósiles.

El 11.1% correspondiente a las energías renovables ha sido resultado de un esfuerzo a la inserción de energía solar y eólica principalmente, que busca en un principio sustituir la participación de nuclear que según políticas nacionales se pretende sacarlas de operación en su totalidad en el año 2022 (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016). Ver Figura 30.

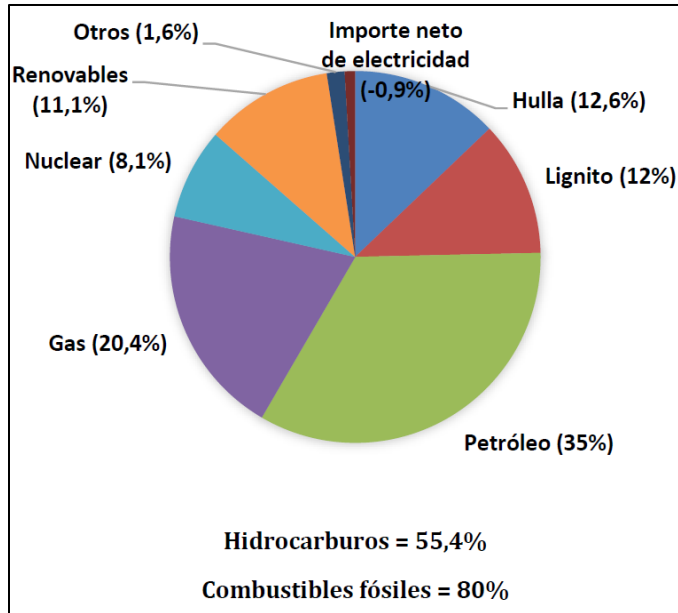


Figura 30. Matriz Energética en Alemania – 2014.

- **Matriz Eléctrica**

En el año 2014 en Alemania supuso el 21.2% del consumo en energía final correspondió a la electricidad. En ese mismo año Alemania contaba con una capacidad instalada total de 192.3 GW.

En el siguiente grafico (Figura 31) se puede apreciar que la capacidad instalada por tecnologías y el elevado porcentaje de potencia renovable (43.5%), donde se destacan la solar fotovoltaica y la eólica, superiores a cualquiera de las energías fósiles o a la nuclear.

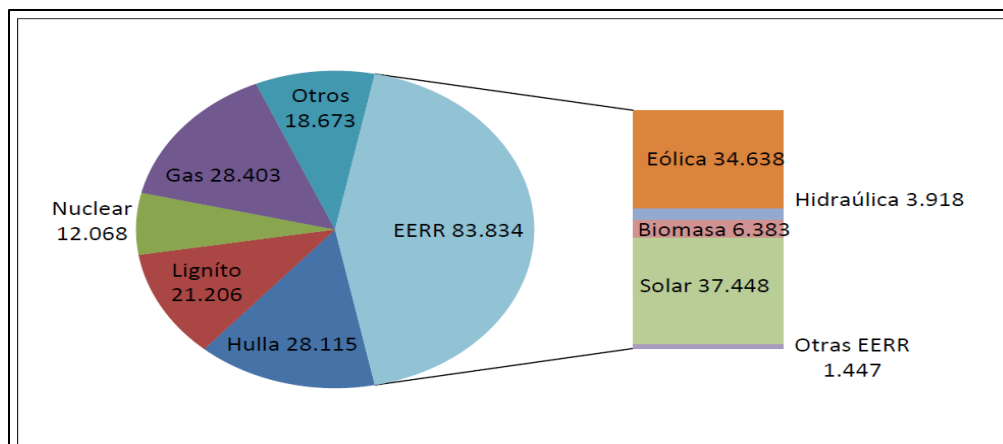


Figura 31. Potencia instalada en Alemania - 2014 (MW).

Las energías renovables (EERR) componen gran parte de la matriz eléctrica alemana, donde se destacan la solar y eólica seguida de la biomasa. Es importante destacar el poco aporte que tiene la generación hidráulica en la canasta energética. Además de las EERR, el carbón (Lignito y Hulla) cobra gran importancia en los procesos de oferta de energía eléctrica. El porcentaje de energía nuclear es el más pequeño debido a las políticas actuales que promueven el cierre de estas plantas y ser sustituidas por gas o las EERR. (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016), (OECD/IEA, 2013.)

2.4.2. Planes y políticas energéticas: Las bancadas SPD y Bündnis/Die Grünen de la cámara de diputados presentaron el proyecto de ley sobre el fomento de la producción de energía eléctrica a través de energías renovables (Ley de Energía Renovable, (EEG)). Cuyo objetivo era duplicar la cuota de renovables en generación eléctrica hasta el 2010.

A diferencia de la ley de 1991 se diferenció dando más detalles sobre el proceso de remuneración para la generación mediante fotovoltaica, se incluyeron nuevas tecnologías de generación como la energía producida por geotérmica. Además se estableció una tasa fija de remuneración por kilovatio para los titulares que generan electricidad mediante energías renovables por una duración de 20 años (Lauber & Mez, 599–623) (Buchan, 2012.).

Esta misma ley reglamento los costes de la red, para los operadores de las plantas que deberán asumir los costes que incurren al conectar estas plantas al punto de conexión que es técnicamente como económicamente más rentable de la red. Los operadores de la red asumen los costes para ampliar la red que es necesaria para satisfacer la demanda energética y recibir como transferir la energía suministrada por las fuentes renovables (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016).

Con el fin de promover una competencia más justa e incentivar aún más la inserción de fuentes renovables al sistema eléctrico alemán, se estableció una enmienda de la Ley EGG en 2004 la cual mejoro la posición jurídica de los operadores de las plantas en cuanto a la generación de energías renovables frente a los operadores locales de la red, es decir, ya no se debían celebrar contratos especiales para inyección de energía al sistema. Además se implementó un cambio en las tasas de financiación para facilitar proyectos futuros (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016).

En el año 2008 se trazó un nuevo objetivo el cual corresponde a aumentar el abastecimiento de electricidad basado en energías renovables hasta 2020 a una cuota mínima de 35%, aparte se publicaron reglamentos sobre el uso de ER para la generación de electricidad y reglamentos que definen el uso de ER para la refrigeración y calefacción.

Debido al aumento de plantas de gran tamaño la enmienda de la ley EGG presenta una digresión en cuanto a la remuneración de la energía fotovoltaica, como manera de controlar los costes totales para los usuarios de electricidad: si se instala una gran cantidad de plantas fotovoltaicas se reduce en el año siguiente la remuneración por kilovatio-hora (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016), (The expansion of electricity generation from renewable energies in Germany: A review based on the Renewable Energy Sources Act Progress Report 2007 and the new German feed-in legislation, 2009.).

Pacto de Coalición entre los partidos Unión Demócrata Cristiana (CDU), Unión Social Cristiana (CSU) y el Partido Democrático Liberal (FDP). Plantearon un concepto energético para el gobierno federal que se basaba en la premisa “una estrategia integral de políticas energéticas” en las cuales integraba seguridad del suministro, sostenibilidad ambiental y rentabilidad (Ver Tabla 16).

Tabla 16.

Metas propuestas para la eficiencia energética Alemana.

	Clima	Energías renovables		Eficiencia			
	Gases de efecto invernadero	cuota electricidad	cuota total	energía primaria (vs. 2008)	electricidad	productividad energética	renovación de edificios
2020	- 40 %	35%	18%	- 20%	10%	incrementar a 2,1 %/año	Incrementar a 2,1% al año
2030	- 55 %	50%	30%	↓	↓		Duplicar la cuota de 1% a 2%, hasta 2020 reducción de la demanda de calefacción por 20%
2040	- 70 %	65%	45%				
2050	- 80 - 95 %	80%	60%	- 50%	25%	Hasta 2050 reducción de la demanda de energías primarias por 80%	

Nota: Metas para el aumento de la eficiencia energética alemana a través de energías renovables

Como medida para el desarrollo de las redes de distribución y en mejora de la eficiencia energética basados en el incremento de las fuentes renovables de energía se estableció una política energética alemana hasta 2050. El 28 de Septiembre de 2010, el ministerio federal alemán de medioambiente, Protección de la naturaleza, construcción y seguridad nuclear (BMUB) y el Ministerio federal Alemán de Asuntos Económicos y Energía (BMW i) publicaron el documento Energy Concept (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016).

La catástrofe de Fukushima en marzo del 2011 produjo una reacción histórica entre los medios alemanes. Dando una imagen que este tipo de energía no era controlable y tenía un alto nivel de vulnerabilidad, lo que llevo a un revés en la industria atómica global razón por la cual

Alemania opto abrir sus puertas al suministro de energía 100% basado en energías renovables. Además de generar una motivación más profunda en el proceso de eliminación gradual de la energía nuclear hasta 2022 (Buchan, 2012.) (Cdu, 2015)

De esta forma, y siempre considerando los antecedentes regulatorios y políticos citados hasta ahora, se adoptó la “desconexión nuclear” en el plan del “Energy Concept”, propiciando su aprobación. Así, el 6 de junio de 2011, Alemania aprobó el paquete energético de 2010, fecha que es para algunos el inicio oficial, y desde luego un hito, de su transición energética, Energiewende. Debe considerarse también la influencia en la toma de esta decisión de un informe realizado por la Comisión de Ética para un Suministro Energético Seguro en 2011 (Alvarez Pelegrý & Ortiz Martínez, 2016). (Buchan, 2012.)

Para el 2012 se hace vital la implementación del Energy Concept para hacer visible la transición energética la cual tenía como prioridades: redes, plantas de energía, investigación científica y tecnológica, eficiencia y energías renovables.

Para el año 2014 se decide presentar el Plan Nacional de Eficiencia Energética (NAPE), describe la estrategia de eficiencia energética del Gobierno Alemán para el 18° periodo legislativo. La eficiencia energética y el ahorro energético.

Los objetivos principales del NAPE son los siguientes: Introducir un nuevo proceso competitivo de licitación sobre eficiencia energética. Establecimiento de recursos financieros para la renovación de edificios energéticamente sustentables (creación del Programa de Renovación para Edificios Eficientes), la creación de incentivos fiscales federales y estatales en el sector de la construcción en materia de eficiencia energética. Finalmente establecer redes de negocios en la industria de la eficiencia energética (Schneider, L., 2015).

- **Contrato de coalición entre CDU, CSU y SPD 2013-2017**

Se presentó una reforma fundamental de la Ley de Energías Renovables en la pascua de 2014 para crear condiciones marco fiable.

Entre estas propuestas se encuentra la determinación de un corredor para el desarrollo constante de las ER lo cual interviene la seguridad de planificación de todos los involucrados y mantener el crecimiento dentro de un camino confiable, limita la dinámica de costes al desarrollar las ER y permite una mejor conexión con el desarrollo de la red y se consigue una adaptación gradual del sistema de abastecimiento de electricidad en cuanto a desafíos de precios volátiles.

Se elimina el pago de bonificaciones y reforma el sistema de remuneración para acabar con el problema de la sobre-remuneración (digresión gradual de las tasas de remuneración de la Ley EEG), así mismo propone una integración mayor del mercado y del sistemas de las ER y finalmente ampliar la infraestructura de la red para hacerla más fiable con una planeación a largo plazo (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016).

La política de energías renovables en Alemania, más conocida como *Energiwende* (transición o revolución energética), se centra principalmente en la expansión a gran escala de las energías renovables, mientras que la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y el consumo de energía parecen estar en segundo plano. A pesar que las emisiones de GEI se han reducido un 23.8% en 2013, comparado con 1990, alrededor de un 70 de esta reducción se llevó a cabo entre 1990 y 2000. Esto como consecuencia de la reunificación alemana que trajo consigo el cierre de antiguas termoeléctricas de carbón.

Esta política ha generado una industria verde con el incremento de la demanda de renovables, que hoy en día es una de las más avanzadas del mundo gracias a las políticas nacionales que ha

estimulado la inversión en las nuevas tecnologías verdes, como la robusta industria manufacturera. (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016).

2.4.3. Marco normativo y/o regulatorio:

- **Regulación en el año 1974 (después de la primera crisis del petróleo):** Promoción de la investigación (desde la preparación de los trabajadores hasta el desarrollo de prototipos y producción en laboratorio). (Garcia, Mariz, & Llano Paz, 2012.)

- **Ley de Competencia Nacional (1979):** Esta ley conlleva la realización de los primeros esfuerzos en promover la demanda de energías renovables mediante el uso de la tarifa. Así, el gobierno obliga a los distribuidores a comprar electricidad producida a partir de fuentes de energía renovable en su área de oferta basada en el principio de los costes evitables. (Garcia, Mariz, & Llano Paz, 2012.)

- **Sistema regulatorio de apoyo a la tarifa (1991-2000):** Conlleva el establecimiento de varias medidas para la creación de mercados de tecnología de producción renovable. Entre los mismos, se encontraban el «Programa Eólico con 100/250 MW», el «Programa de 1.000 Tejados Solares» y el establecimiento de un sistema de primas como medida de promoción de determinadas tecnologías de producción (Garcia, Mariz, & Llano Paz, 2012.)

- **Ley de Energías Renovables (EEG) (2000):** Las bancadas SPD y Bündnis/Die Grünen de la cámara de diputados presentaron el proyecto de ley sobre el fomento de la producción de energía eléctrica a través de energías renovables (Ley de Energía Renovable, (EEG)), cuyo objetivo era duplicar la cuota de renovables en generación eléctrica hasta el 2010 (Lauber & Mez, 599–623)

- **Ley de Energías Renovables (EEG) enmiendas en los años 2004 y 2009:** La finalidad de esta regulación es incrementar la proporción de energías renovables en el suministro eléctrico.

En este contexto, los productores de energía renovable reciben un pago fijo durante quince o veinte años por la energía producida y las empresas comercializadoras están obligados a darles preferencia en su suministro (Garcia, Mariz, & Llano Paz, 2012.)

- **Enmienda de la Ley Fotovoltaica en junio de 2012:** Se modificó la tarifa de remuneración (hasta 10kW, hasta 40 kW, hasta 1000kW y hasta 10.000 kW) y limitación de la cantidad máxima de 10.000kW. También se estipuló una reducción en la remuneración por 15% al comienzo, seguido por una reducción mensual de 1% lo cual equivale a 11.4% por un año (Alvarez Pelegry & Ortiz Martínez, 2016)

2.4.4. Programas, proyectos y herramientas. Dentro de los programas, proyectos y herramientas que ha utilizado Alemania para la integración de generación renovable, especialmente, la solar fotovoltaica está:

- Programa “100 millones”.
- Programa “Energía Verde”.
- Cuarto programa de investigación de energía.
- Programa “100.000 Techos Solares”.
- Programa de incentivos de mercado.
- Programas de préstamos preferenciales ofrecidos por la corporación de préstamos de reconstrucción (Banco KfW).
- Programa de investigación de Klimazwei.
- Programa de cambio climático y energía.

2.4.5. Financiamiento: Dentro de los esquemas de financiamiento para inversión y otros subsidios esta:

- Financiación del banco KfW del programa producción de energía solar.

- Fundación del centro de desarrollo de energía solar.
- Fondo especial de energía y clima.
- Bancas privadas.
- Centros ecológicos.

En la Tabla 17 se muestra el resumen de la transición energética que ha realizado el país para la integración de fuentes no convencionales de energía renovables en general y en caso específico para generación solar fotovoltaica.

Tabla 17.

Transición del sector energético – Alemania

Sector energético Alemania	
Política nacional	Objetivo de energías renovable.
	Estrategia / ley de energías renovables.
	Ley / programa de energía solar.
Incentivos fiscales	Exención nacional de impuestos locales.
Acceso a la red	Otros beneficios fiscales
	Descuento / exención en la transmisión.
	Acceso a la red.
	Otros beneficios.
Instrumentos reguladores	Certificación verde
	Feed – in - tariffs
	Balance neto.
Finanzas	Fondo específico
	Apoyo previo a la inversión.

Sector energético Alemania

Financiación directa.

Nota: Transición del sector energético – Alemania

La siguiente figura presenta de manera dinámica la revisión de la implementación de la integración de generación de fuentes no convencionales de energía, especialmente (especialmente solar fotovoltaica) al sistema eléctrico de Alemania (Ver Apéndice D).

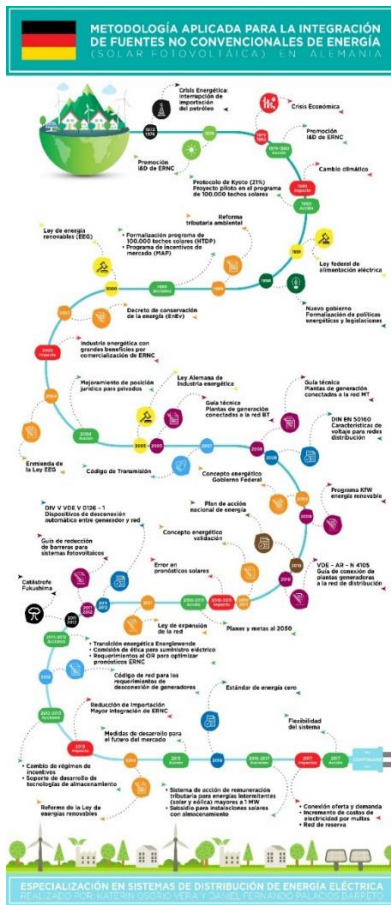


Figura 32. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía al sistema eléctrico en Alemania

3. Experiencias ante la integración de fuentes de generación fotovoltaica en los sistemas eléctricos

Los impactos presentados por la integración de generación variable de energía (solar fotovoltaica) se encuentran categorizados por cinco áreas donde su revisión depende del grado de penetración que tengan estas fuentes en los países objeto de estudio (Chile, España, Alemania y Estados Unidos). La Tabla 18 relaciona las áreas, y los tipos de impacto que se presentan en cada categoría (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.)

Tabla 18.

Relación de áreas y tipos de impactos según categoría

Categoría	Impacto
Planeamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de flexibilidad. • Escenarios de integración (Pronóstico). • Regulación y Normatividad.
Expansión de cobertura	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación.
Mercado eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Remuneración. • Despacho energético.
Operación del sistema (Generador, Transmisor y/o Distribuidor)	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad. • Estabilidad (Variabilidad e Incertidumbre). • Generación asíncrona. • Factor de capacidad. • Estándares y códigos de operación.
Ciudadano o usuario final	<ul style="list-style-type: none"> • Participación integral.

Nota: Relación de áreas y tipos de impactos según categoría

3.1. Planeamiento (Experiencias):

a) Estados Unidos

- Por alta generación variable de energía en una zona donde la infraestructura de generación era limitada, se presentaron varios recortes de energía que afectaron el sistema. Esto se debió a que la integración de la fuente variable de energía no estaba contemplada (Texas)

(Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.)

- Se decidió realizar una planeación a nivel local y regional, sin embargo, la red de transmisión del estado era bastante amplia, por lo cual generó que dentro de los pronósticos de integración se sugirieran nuevas interconexiones donde el precio de generación se elevó en zonas donde históricamente el costo de la energía era bajo. Como solución a lo presentado, el Departamento de Energía de Estados Unidos ha apoyado el proceso de coordinación, proporcionando servicios regionales y subvenciones para desarrollar modelos de generación y expansión a largo plazo, reflejo de una mayor complejidad y alcance de la correcta planeación del sistema (Colorado) (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.)

b) Chile

- No existe una planificación vinculante para los generadores ni otras formas de intervención estatal para asegurar el abastecimiento (Batlle, 2014)

- El sistema troncal de Chile no cuenta con una capacidad para evacuar en tiempo y forma las potenciales inyecciones de las fuentes de generación renovable; lo cual, implicó que el Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) realizara una planificación en la evaluación de operación de la integración de energías renovables (solar fotovoltaica) al sistema (IFC, 2012)

- La voluntad política de desarrollo de estas tecnologías ha logrado mantenerse independiente del partido político que gobierne. En esto se destaca la Ley Corta I (2004) y la Ley

corta III (2008) cuyo objetivo principal fue facilitar la incorporación de recursos renovables a la matriz energética y su operación en el mercado; posteriormente se estableció la Ley 20.698 que establece el objetivo de una generación del 20% con ERNC (Romero, 2017.)

3.2 Expansión de cobertura (Experiencias):

a) Chile

- Se presenta un estancamiento por falta de infraestructura de conexión la cual ha generado congestión en ciertos nodos del sistema eléctrico, lo cual, está provocando limitaciones significativas en la capacidad de evacuación de varios proyectos así como el desacople de precios entre distintos nodos, con proyectos vendiendo energía a ningún costo (Batlle, 2014)

b) Estados Unidos

- El uso de zonas de energías renovables (programa) ayudó a identificar las rutas de transmisión necesarias, alinear los cronogramas de planificación de la transmisión y generación; y agilizar el proceso de aprobación de proyectos de transmisión. Esto permitió el desarrollo de nuevos proyectos y diversificación de las fuentes variables de energía en diferentes áreas del estado (Texas) (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.)

- Se realizó un estudio de mercado donde el acceso a plantas renovables en diferentes ubicaciones geográficas reduce sustancialmente los requisitos de reservas y se logra compensar las diferencias entre generación y carga (Oeste) (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.)

- Se presenta gran dificultad en la construcción de nuevas líneas de transmisión como cobertura de la infraestructura eléctrica, debido a que los requisitos de permisos y licencia requeridas no son tramitadas en un marco institucional único y exclusivo (IRENA -International Renewable Energy Agency, 2017).

3.3 Mercado eléctrico (Experiencias):

a) Chile

- El acceso a los contratos para demanda regulados presenta problemas:

a) Las licitaciones de los proyectos se manejan por bloques de suministro de contratación mediante unos montos anuales de energía. De esta manera, los montos de energía establecidos en los sub-bloques de fuentes no convencionales renovables excede el tamaño de las instalaciones que presenta el país, lo cual resulta una barrera para la participación de estas nuevas tecnologías.

b) No se considera la indexación en la asignación de contratos respecto al posible aumento de precios de los combustibles fósiles, lo que genera un riesgo de precio a medio y largo plazo para los generadores.

c) El atributo renovable (Derecho o porcentaje de participación de las energías renovables no convencionales - ERNC) no está valorado en estas ofertas.

Adicionalmente, el acceso a los contratos no regulados presenta restricciones, ya que en general se oferta energía firme que con recursos intermitentes (solar fotovoltaica) no es posible cubrir (IFC, 2012).

- Se han presentado incrementos relevantes y estables de la demanda eléctrica, tanto residencial como de grandes consumidores (Romero, 2017.).

- El acceso que la Ley 20.698 dio a las tecnologías renovables (como solar fotovoltaica) para suscribir contratos de compraventa de energía con las compañías distribuidoras (Romero, 2017.)

- El declive del sector ERNC, provocó migración de empresas con capital financiero a otros territorios con mejores incentivos y perspectivas, como Chile (Romero, 2017.).

- El sector financiero local ha adoptado una posición mucho más conservadora. Eso debido a que los proyectos están sufriendo limitaciones en la evacuación, vendiendo su energía en el mercado spot y por tanto están inyectando en nudos con precios bajos e incluso nulos (Romero, 2017.)

- La quiebra de importantes empresas multinacionales y suministro EPC de activos energéticos ha afectado el sector financiero de las ERNC (Romero, 2017.).

b) Estados Unidos

- El mercado de desequilibrio energético que maneja este estado no tiene un mercado mayorista central organizado, lo cual limita la gestión de la integración de energías variables al sistema (Oeste) (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.)

- Después de la reestructuración del mercado, se permitió que los mercados de servicios auxiliares participaran en la respuesta a la demanda logrando un despliegue de la misma y flexibilización de la carga que entre al sistema (Texas) (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.).

- Las restricciones de interconexión están limitando del desarrollo de proyectos a pequeña escala, lo cual puede afectar la viabilidad económica de desarrollo de proyectos renovables de energía (IRENA -International Renewable Energy Agency, 2017).

- La voluntad política ha generado incertidumbre en la durabilidad de los incentivos fiscales federales para las energías renovables.

c) España

- Dado el déficit económico que presento el país por el alto impulso y motivación a la integración de fuentes renovables de energía, en el 2015 el gobierno tuvo que establecer el impuesto al sol como alternativa de solución para equilibrar el déficit financiero que estaban presentando los agentes del sector (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.)

d) Alemania

- Se creó un despacho sub-horario para reducir el tiempo de cierre de la compuerta – punto en el que el mercado se compromete a entregar electricidad – para minimizar los errores de pronóstico y operar a un costo potencialmente menor y así contribuir en la flexibilidad del sistema (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.).
- Se desarrolló un fondo para alentar a las nuevas plantas con combustibles fósiles a utilizar la tecnología más flexible disponible para maximizar su capacidad de rampa para satisfacer las necesidades de equilibrio del sistema (Cochran, Bird, Heeter, & Arent, 2012.).
- Se afectó al usuario final en términos del costo de la energía por el incremento de los costos en la red y de las energías renovables y la reducción de los precios al por menor, el cual también ha logrado cerrar generadores térmicos convencionales (Martinot, 2015.)
- Se redujo el precio del mercado por la fuerte integración de fuentes variables de energía (Weimar, Mylrea, Levin, A., & Botterud, E. O', 2016.)

3.4 Operación del sistema (Experiencias):

a) Chile

- Se presenta problemas en el procedimiento de los estudios de conexión al sistema de distribución y en zonas remotas, dado que hay demoras en los procedimientos, incertidumbre en la evaluación de las conexiones, en las zonas remotas la negociación de servidumbres ha sido una gran barrera para el desarrollo de tecnologías renovables. Adicionalmente, la volatilidad de los ingresos limita la posibilidad de obtener financiamiento a un costo razonable; y los procedimientos administrativos se han vuelto largos y tediosos, incrementando el costo del proyecto, sobre todo en pequeña escala (IFC, 2012)

- Para los distribuidores la generación distribuida ha tenido un fuerte impacto en la integración de fuentes no convencionales de energía a la red, sin embargo, se ha encontrado varias dificultades como (Castillo, 2014):

- a)* Sistemas de facturación no concebidos con funcionalidades necesarias para estos procesos.

- b)* Vacío normativo para instalaciones en BT (solucionado en el 2016).

- c)* Dificultad de automatizar respuestas a solicitudes.

- d)* Falta de experiencia en operación de red en baja tensión con generación distribuida (solucionado en el 2016).

- e)* Cuadrillas de mantenimiento limitadas en sus actividades.

- f)* Falta de sistematización de información al cliente (solucionado en el 2016).

Experiencia específica:

- Se detectó en Antofagasta un desarrollo inmobiliario reciente de 80 viviendas con sistemas fotovoltaicos instalados y en servicio que no estaban normalizados a la Ley 20.571.

- En la región Metropolitana, la mayoría de los acercamientos de clientes a la Distribuidora ha sido para normalizar instalaciones ya en servicio.

- Fallas técnicas en la manufacturación de los equipos que hacen parte de los sistemas de generación de energía renovable (caso solar fotovoltaica) (Encare and Energía 360, 2017.)

- b)* Estados Unidos

- Se presentaron diferentes niveles de recorte en la red ocasionados por actividades de operación del sistema en la integración de fuentes variables de energía (Bird, Cochran, & Wang, 2014). Las experiencias muestran cómo cada uno de los países objeto de estudio ha integrado la generación de fuentes renovables (como la solar fotovoltaica) al sistema y las acciones de

medida que han implementado para que su desarrollo no es estanque. Sin embargo, es importante resalta que actualmente se siguen presentando inquietudes técnicas, económicas, ambientales y sociales, que muy seguramente harán que otro tipo de impactos se desarrollen en la integración de nuevas tecnologías renovables a la red.

c) España

- Se establecieron varios procedimientos para abordar desafíos técnicos de seguridad de la red la incluir las energías renovables en una red aislada. Crearon un centro de control de energías renovables el cual monitorea las instalaciones de estos sistemas sobre la base de disponibilidad de información en tiempo real. Este sistema ha permitido que fuentes variables de energía cubran un gran porcentaje de la demanda eléctrica durante varias horas (Ministerio de Industria Energía y Turismo de España, 2015).

- El alto crecimiento de la integración de tecnologías renovables a la red, ha motivado al desarrollo de estrategias que aborden algunos desafíos técnicos de seguridad a la red. Una de ellas fue la creación de un centro de control de energía renovable (CREGRE) donde los transmisores pueden monitorear y controlar las instalaciones de energía renovable en tiempo real (IRENA, 2015)

d) Alemania

- Los inversores de los sistemas fotovoltaicos distribuidos en todo el país, se diseñaron con la misma frecuencia de corte, es decir, la frecuencia máxima a la cual opera adecuadamente el equipo era igual para todos los fabricantes. Sin embargo, por el alto grado de penetración que ha tenido este tipo de energía variable, la frecuencia de la red estuvo al límite que, si superaba los 50,2 Hz, todo el sistema solar se desconectaría. Esto generó una amenaza para la estabilidad del

sistema. Como solución a la problemática, se fabricó un inversor que tuviera la capacidad de integrarse con la red y transformar la energía de continua a alterna (Martinot, 2015.).

4. ¿Qué acciones está implementando Colombia frente a la integración de FGFV al Sistema Interconectado Nacional?

4.1. Características generales

4.1.1. Matriz energética: Colombia gran parte de su desarrollo económico, industrial y social se basa en la explotación de recursos naturales como fuente vital de energía para dichas actividades. El país cuenta con una amplia oferta en su matriz energética en las que se destaca el Petróleo, Gas natural, Carbón mineral y la hidroenergía en mayor proporción, sin embargo, existen otros tipos de energéticos con relevancia como es el bagazo y la leña que a pesar de ser considerada fuentes de energía poco eficiente u obsoleta en ciertas regiones del país son fuente importante de energía para las actividades económicas o residenciales, estas últimas sobre todo en el sector rural donde aún no se tiene cobertura de la red de gas natural (Upme, PEN 2010 - 2030. 2010.).

Esto demuestra que Colombia es un país con una matriz energética diversa, razón por la cual se posiciona como un potencial país en desarrollo económico si se hace uso eficiente y coordinado de dichos energéticos (Ver Tabla 19).

Tabla 19.

Matriz energética nacional colombiana - consulta octubre 2017.

Matriz energética colombiana [gbtu]	
Energético	Oferta interna bruta
Bagazo	85523,69
Carbón mineral	250434,10
Gas natural	407447,90

Matriz energética colombiana [gbtu]	
Hidroenergía	212098,20
Leña	61754,55
Petróleo	523785,20
Recuperación / residuos	6705,33
Otros renovables	26588,94
Total	1574338,00

Nota: Matriz energética nacional colombiana - consulta octubre 2017. Adaptado de: Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2017

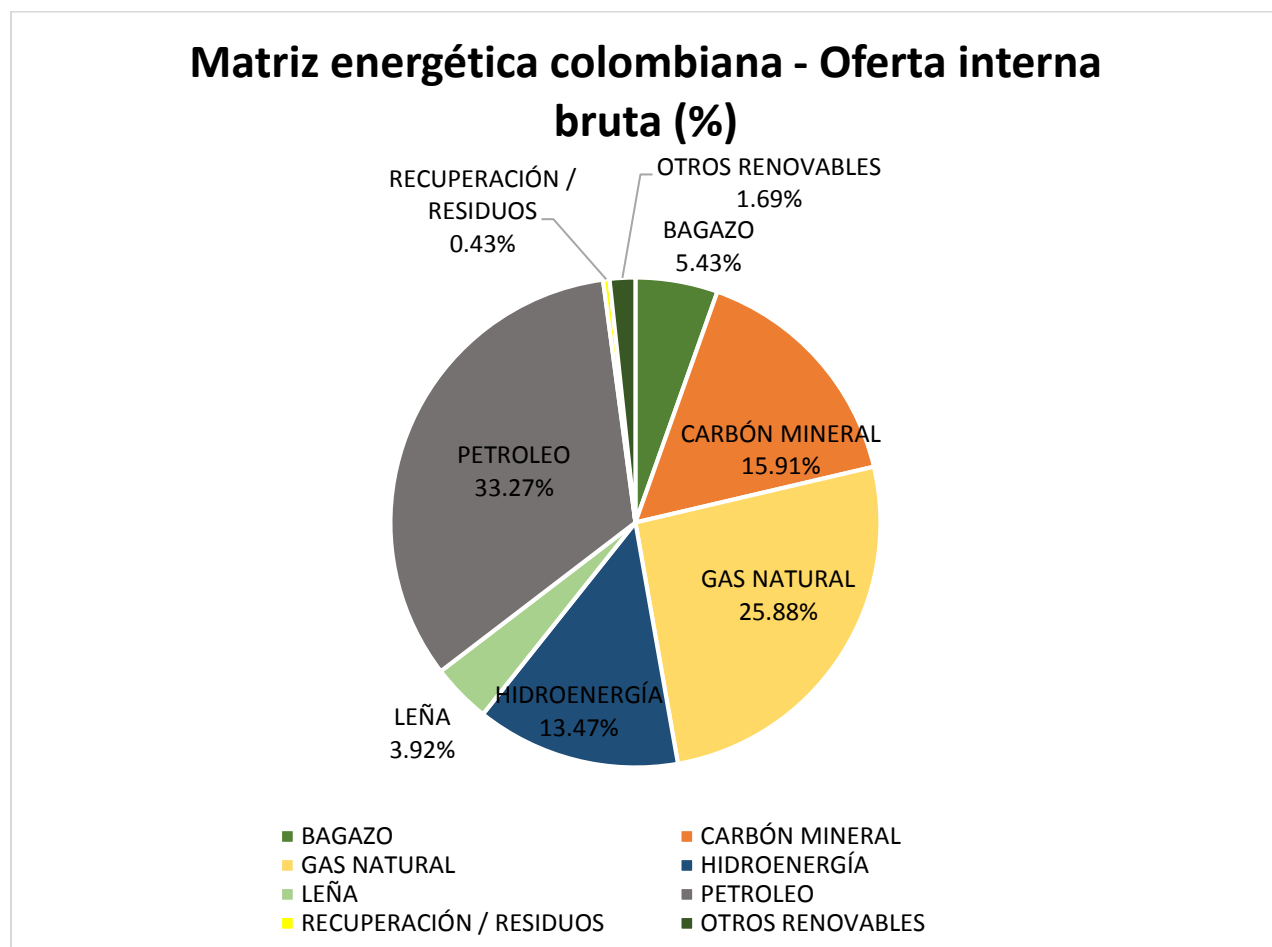


Figura 33. Matriz energética colombiana - Oferta interna bruta (%) - consulta octubre 2017

Adaptado de: Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2017

4.1.2. Matriz eléctrica: En Colombia la fuente de energía eléctrica que predomina en la canasta energética son las fuentes hidráulicas con alrededor del 66% lo cual indica que Colombia es un país dependiente de este tipo de fuente de energía. Sin embargo, en los últimos años ha venido creciendo la presencia de otras fuentes de generación térmicas y alternativas como eólica, solar y biomasa que buscan crear una canasta energética más dinámica (Upme, PEN 2010 - 2030. 2010.).

De manera fuerte se presentan las centrales térmicas con el 28,29% como respaldo o confiabilidad al sistema en caso de fenómenos hidrológicos que disminuyan el nivel de los embalses. Tal concentración hace que el sistema resulte vulnerable en el corto plazo debido a ciclos hidrológicos en el país, y en el mediano y largo plazo, a la disponibilidad de gas natural por hallazgos o por disponibilidad de las importaciones (Ver Tabla 20 y Figura 34).

Tabla 20.

Capacidad efectiva por tipo de generación - consulta septiembre 2017

Capacidad efectiva por tipo de generación [MW]	
Tipo/Combustible	Capacidad/Efectiva
Hidráulica	10 939
Térmica	4727
Autogenerador	32,4
Cogenerador	136,5
Eólica	18,42
PCH	739,82
Solar	9,8
Térmicas menores	105
TOTAL CAPACIDAD EFECTIVA	16 707,94
NETA	

Nota: Capacidad efectiva por tipo de generación - consulta septiembre 2017. Adaptado de: Autor adaptado de (P-XM).

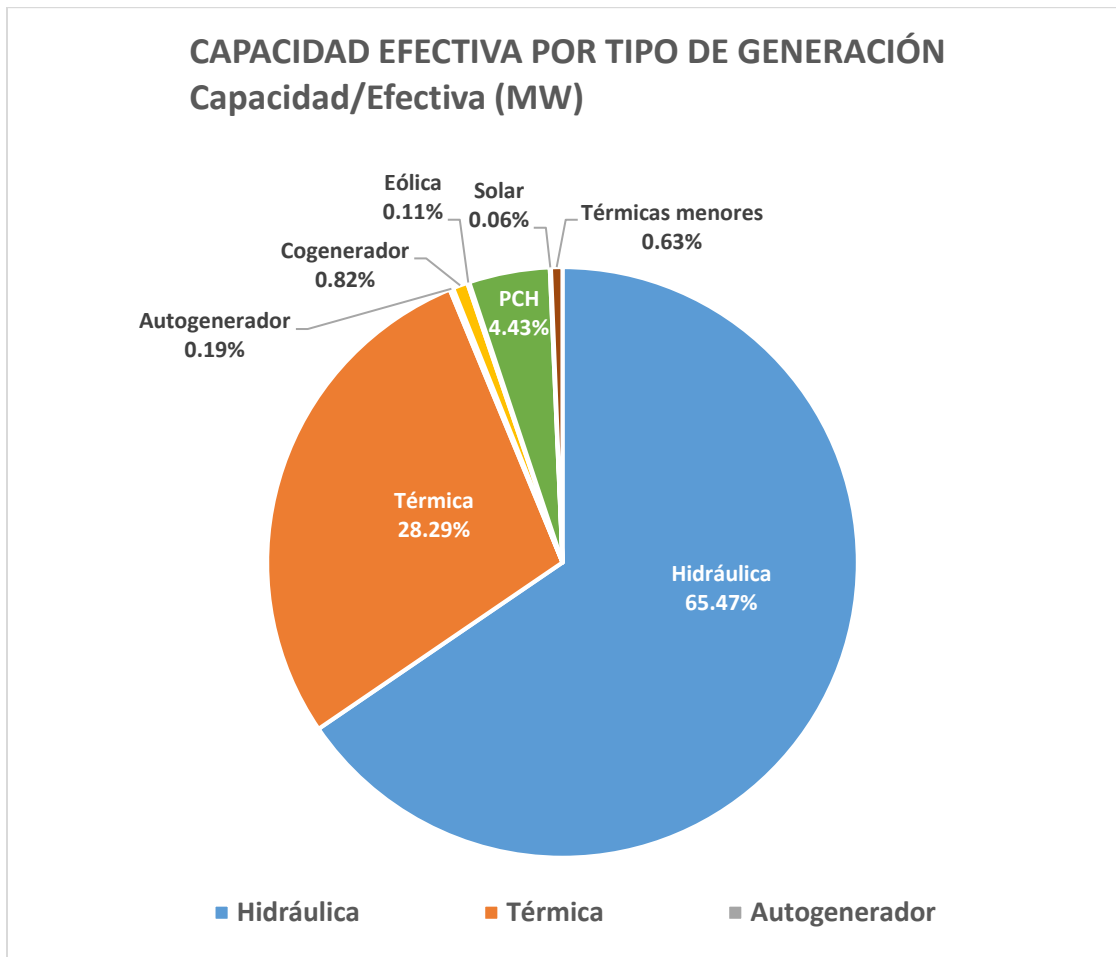


Figura 34. Capacidad efectiva por tipo de generación - consulta septiembre 2017 Adaptado de: P-XM.

4.1.3 Registro de proyectos FGSFV. En Colombia la entidad encargada de hacer el estudio de viabilidad energética, impacto ambiental y social de proyectos energéticos es la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). En esta entidad se debe llevar a cabo el registro de proyectos de generación en lo que refiere al sector de la energía eléctrica, teniendo así, un control de puntos de generación futuros y un crecimiento controlado, ordenado y eficiente de la canasta energética del país.

Para los proyectos de generación solar fotovoltaica se tienen 219 proyectos en la fase 1, 60 proyectos en fase 2 y 60 en la fase 3 para un total de 339 proyectos presentados ante la UPME. De los 339 proyectos contamos con 317 vigentes y 22 proyectos no vigentes según el informe dado a 5 de octubre de 2017 y consultado en el siguiente enlace:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNWlZNWFlMGUtMmExMy00MDg0LThjODQtYWUxMjJmOThlMTc1IiwidCI6IjgxNTAwZjZkLWJjZTktNDgzNC1iNDQ2LTc0YjVmYjIjZiEwZSIsImMiOi99>

En la siguiente figura se presenta el histórico de registros de proyectos de generación solar registrados a la UPME (colores resaltados), claramente vemos que a partir del año 2015 se empezaron a realizar registros lo cual es sinónimo de inversión en este tipo de generación como respuesta a los incentivos económicos y legales que se dieron en la ley 1715 de 2014. Para el año 2016 es claro un aumento significativo del registro de proyectos y con vigencia, de manera similar en el presente año se sigue con este comportamiento de crecimiento en ejecución de proyectos de este tipo (Unidad de Planeación Minero Energetica - UPME, 2016)

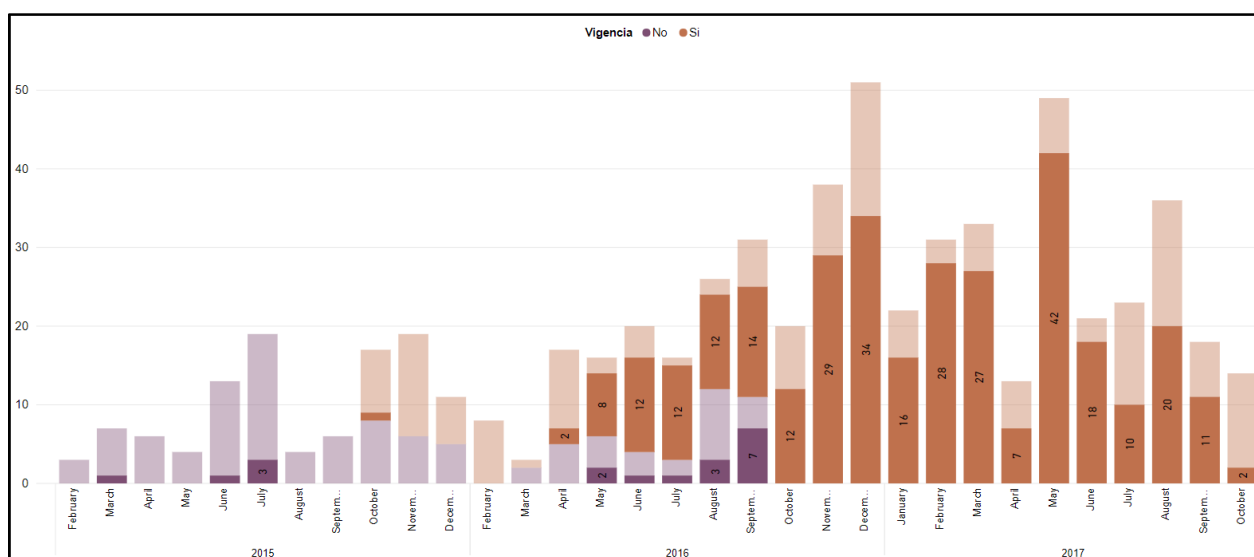


Figura 35. Histórico de registros de proyectos de generación solar registrados a la UPME.

4.2. Planes y políticas energéticas

Las políticas energéticas en Colombia consolidan objetivos fundamentales en el aumento de disponibilidad, confiabilidad del sistema eléctrico y diversificación de la canasta energética, los cuales, traerán consigo una serie de desarrollos tecnológicos y económicos, además de dar cumplimiento a una serie de compromisos internacionales de esta manera se tiene (Upme, 2015):

- Suministro confiable y diversificación de la canasta de energéticos: Es preciso darle cabida a la instalación de otras fuentes de energía que logre diversificar la canasta y garantizar el suministro de energía confiable, lo cual viene respaldado desde la Ley 1715 de 2014, como primer paso en lograr este objetivo, dado que promueve la integración de fuentes no convencionales (FNCE), principalmente las de carácter renovable, en el sistema eléctrico nacional (Upme, 2015).

Sin embargo, en los planes de expansión de la UPME se tiene en los escenarios un comportamiento común el cual consiste en aumentar la generación con Carbón y pasar de una participación del 6.52% en 2015 a 12.5% para el 2020. Esto con el fin de aumentar la disponibilidad de energía ante circunstancias climáticas y brindar más confiabilidad al suministro de energía en el país.

Actualmente, la energía solar y eólica en Colombia tiene una participación marginal en la canasta de generación eléctrica. En paneles Fotovoltaicos se estima actualmente unos 9MW a 11MW instalados en sistemas aislados o aplicaciones profesionales, mientras que energía eólica se cuenta con 19.5MW del parque eólico Jepirachi. De esta manera, la ley 1715 de 2014 contempla una serie de incentivos fiscales, en primer lugar, se establece una reducción del

impuesto de renta hasta el 50% de la inversión que es aplicada en los 5 años siguientes a su realización. Adicionalmente exime del pago del IVA a todos los equipos y servicios acotados por la UPME para estos proyectos. El país debe trabajar en la integración de las FNCE al Sistema Energético Nacional, que no está compuesto solo por el SIN sino igualmente por las ZNI, las fuentes y medios de transformación que hacen posible tener energía útil para cada sector productivo del país.

En el caso de las fuentes solar fotovoltaica se espera explotar las potencialidades de las regiones con altos niveles de irradiación solar como lo es en la costa caribe y en la alta Orinoquia principalmente. Para el control técnico de estas instalaciones en el SIN la CREG ha dispuesto una resolución en donde se mutualice la inversión con las exigencias ambientales, según el nuevo esquema en la Resolución CREG 028 de 2014. De esta manera según el escenario más factible presentado por la UPME en el plan de expansión en generación y transmisión 2015-2020 se considera la posible instalación de 239MW de energía solar (Minist. Minas y Energía. UPME, 2016.).

- Esquemas que promuevan la universalización y asequibilidad al servicio de energía eléctrica: El país lleva décadas esforzándose mediante fondos de recursos para aumentar la cobertura del servicio de energía eléctrica a lugares apartados donde los prestadores del servicio no ven viable económicamente aumentar sus redes.

Estos esfuerzos arrojan una cobertura del 96.1% de energía eléctrica. Si bien los avances en lo que se refiere a disponibilidad del servicio han sido satisfactorios, no existe consenso sobre los niveles de asequibilidad de los servicios energéticos, entendida como la capacidad monetaria para sufragar las necesidades energéticas en una vivienda. Por ende, la UPME considera

necesario definir en forma clara que significa pobreza energética en el contexto específico colombiano (Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050).

Para ello se propone desarrollar una metodología que defina claramente los parámetros que deben considerarse para calcular los niveles de pobreza energética en el país y en forma regional, como primera etapa que permita aumentar el conocimiento sobre la situación energética actual de los hogares colombianos. Esto con el fin de presentar un plan de mejora de la prestación del servicio, que tenga en cuenta los usos energéticos vitales, los cuales son importantes para generar desarrollo y bienestar si consideramos que el servicio de energía es solo un eslabón envuelto de proyectos productivos, industriales, agrícolas, etc.

4.2.1. Plan Nacional De Desarrollo 2014 – 2018: En consideración a tener un desarrollo integral es de vital importancia en todos los procesos llevar de la mano el cuidado y preservación de los recursos naturales, por ende Colombia como un país que tiene un uso intensivo de recursos naturales para su desarrollo económico y social sugiere que se debe tener un enfoque ambiental especial para hacer del crecimiento económico un escenario sostenible ambientalmente, de acuerdo a esta consideración el Plan Nacional de Desarrollo 2014 -2018 presenta un capítulo denominado “Crecimiento Verde” en donde se enfocará especialmente en lo concerniente al sector eléctrico (D. nacional de Planeación, 2015):

- Objetivo 1: avanzar hacia un crecimiento sostenible y bajo en carbono: La implementación de un enfoque de crecimiento verde busca priorizar opciones de desarrollo y crecimiento del país, basados en la innovación y aumento en la productividad de los recursos, la producción sostenible, la reducción de los costos de contaminación y la mitigación al cambio climático, con cambios hacia procesos más eficientes e incluyentes que maximicen los beneficios económicos, sociales y ambientales, propendiendo por la equidad y la reducción de la pobreza.

Se proponen acciones que se realizarán en los sectores para impulsar transformaciones hacia sendas más eficientes buscando lograr un crecimiento sostenible.

Estas acciones se implementarán en el marco de diferentes instrumentos técnicos, normativos, económicos y de planificación de los sectores, entre los que se encuentra los Planes de Acción Sectorial de mitigación de Gases de Efecto Invernadero, GEI, de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC):

- Energías renovables: Se avanzará en la reglamentación e implementación de la Ley 1715 de 2014 sobre fuentes no convencionales de energía renovable y gestión eficiente de la energía; un esquema de incentivos para fomentar la inversión en fuentes no convencionales de energía renovable y eficiencia energética; y del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), para lo cual se definirá una fuente inicial de capitalización para el fondo, proveniente de la cadena de valor del sector energético. Adicionalmente, se pretende lograr ahorros en los sectores industrial, residencial, comercial, público y de servicios, lo cual contara con el apoyo de una institucionalidad que diseñe, desarrolle, promueva e implemente proyectos con este alcance. (D. N. DNP, 2014)

- Objetivo 2: Proteger y asegurar el uso sostenible del capital natural y mejorar la calidad y gobernanza ambiental: Acciones que parten de un ordenamiento integral del territorio donde los actores hacen uso adecuado del mismo, reduciendo los conflictos y promoviendo la sostenibilidad. Mantener el flujo de servicios ecosistémicos también requiere de una gestión sectorial y urbana sostenible y del impulso de negocios que promuevan el uso adecuado de la biodiversidad, obteniendo como resultado una mejora en la calidad de los recursos naturales. Lo anterior en un contexto de cambio climático, requiere de una institucionalidad ambiental

fortalecida que facilite la reducción de los conflictos ambientales, impulse la competitividad de los sectores, genere beneficios sociales y contribuya con la reducción de la inequidad territorial.

4.2.2. Compromisos ambientales pactados en Colombia, enfoque COP21: Colombia busca establecer compromisos nacionales ambiciosos y equitativos de cara a la COP21 y para ello se ha propuesto, a través de su Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (INDC), abordar la problemática del cambio climático de la forma más balanceada posible, incluyendo la mitigación, la adaptación y los medios de implementación. Este enfoque es particularmente importante para el país, dada su alta vulnerabilidad por impactos socio-económicos asociados a la variabilidad y el cambio climáticos.

La Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) y la Estrategia Nacional REDD+, constituyen referentes fundamentales para la definición de la INDC en materia de mitigación. El enfoque que ha tenido el proceso de consolidación de la INDC del país se basa en desligar el aumento progresivo de emisiones de GEI del crecimiento económico nacional, a través del diseño e implementación de medidas sectoriales de mitigación que buscan reducir las emisiones, maximizando la carbono-eficiencia de la actividad económica del país, y contribuyendo al desarrollo social y económico nacional (E., García Arbeláez, & Vallejo, 2016)

Colombia se comprometió a reducir el 20% de sus emisiones de gases de efecto invernadero para 2030. Esto quiere decir que Colombia tomo como punto de referencia el inventario de emisiones nacionales de 2010 y proyectó el crecimiento de las emisiones si no se toman medidas de mitigación. Con base en esta proyección creo un escenario para 2030. La reducción del 20% sobre ese escenario proyectado. El país podría aumentar su ambición para pasar de reducción del 20% hasta una del 30% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030, ya que está sujeto a provisión internacional (Barrera, Gomez, & Suarez Castaño, 2015)

4.3. Marco normativo y/o regulatorio

El marco regulatorio en Colombia busca promover el desarrollo y la utilización de FNCE en el sistema eléctrico colombiano, teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos que permitan tener una integración amigable con cada sector productivo y la economía del usuario final. De esta manera se deben tener en cuenta dos enfoques como la integración de estas tecnologías al mercado eléctrico y su participación en las ZNI. Para este desarrollo de nuevas fuentes de energía se tienen una serie de leyes que incentivan y reglamentan el uso de las mismas.

Los incentivos a la inversión en proyectos de FNCE constan de deducción de renta, es decir reducir anualmente de su renta por los 5 años siguientes al año gravable en que haya realizado la inversión, el cincuenta por ciento del valor total de la inversión realizada. La exclusión del IVA y el pago de aranceles de importación para los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la reinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos excluidos del IVA. Finalmente, la depreciación acelerada de activos que será aplicada a la maquinaria, equipos y obras civiles que sean necesarias para la pre inversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos exclusivamente para este fin.

En Colombia, la temática regulatoria y legislativa que se ha presentado con el pasar de los años permite identificar aspectos importantes desde la creación de las leyes 142 Y 143 de 1994 hasta la resolución CREG 121 de 2017 (en consulta 08/10/2017) la cual regula las actividades de

autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional:

- Constitución política de Colombia 1991: Artículo 80, aprovechamiento de los recursos naturales, y Artículo 334 donde se estipula que el estado intervendrá en la explotación de recursos naturales.
- Ley 99 de 1993 del ministerio de ambiente vivienda y desarrollo: Se formula la realización de programas que sustituyan los recursos no renovables.
- Ley 142 de 1994 – Artículo 74.1: considera la posibilidad de comercialización de la energía proveniente de productores marginales, independientes o para uso particular y le asigna a la CREG la facultad de expedir la reglamentación para esta generación (Ley 142 de 1994, 1994.)
- Ley 143 de 1994, Artículo 11: Define al “autogenerador” como aquella persona natural o jurídica que produce energía para atender sus propias necesidades. Por tanto, no usa la red pública para fines distintos a los de obtener respaldo del SIN (Ministerio de Minas y Energía, 2002.)
- Ley 629 del 2000: Formaliza las estrategias a aplicarse en el país frente a la firma del protocolo de Kyoto.
- Ley 697 del 2001: Se establece el plan nacional URE (Uso racional de la energía - PROURE) que es aplicable tanto a eficiencia como al uso de FNCER.
- Decreto MME 70 del 2001: Se adoptan políticas nacionales para el desarrollo de fuentes de energía renovables no convencionales.
- Plan energético nacional 2003 – 2020: Se sugieren líneas de investigación de fuentes alternas.

- Resolución MME 181401 del 2004: donde se establece el factor de emisión para el cálculo de emisiones de CO₂ para los proyectos de FNCER.
- Estudio de metodología simplificada para el cálculo de línea base para proyectos de generación a pequeña escala (generación de energía eléctrica con fuentes renovables interconectadas a la red) 2004 (Subdirección de energía, Comité ambiental, Grupo de Generación, 2004).
- Resolución CREG 091 de 2007: reglamentación de la metodología para la determinación de costos de servicio en el caso de cargos regulados incluyendo la FNCE.
- Plan nacional de desarrollo PND 2010 – 2014: El gobierno viabiliza la promoción de programas de expansión de FNCE en las ZNI.
- Plan nacional de desarrollo para FNCE en Colombia 2010: se formulan propuestas de ampliación de alternativas de cobertura contribuyendo al desarrollo de regiones rurales remotas, preservación del medio ambiente, estabilidad de precios y desarrollo científico, la estrategia central para la actualización de energías renovables ZNI es la construcción de soluciones estándar en el campo de biomasa, solar eólica y micro-centrales a partir de la estructuración de proyectos de investigación, desarrollo y proyectos pilotos.
- Plan de acción indicativo 2010 – 2015: Se estipulan subprogramas estratégicos para la promoción de FNCE.
- Estatuto de la agencia internacional de energías renovables IRENA, se enmarca en la ley 1665 del año 2013, donde se promueve el uso sostenible de las energías renovables.
- Ley 1715 de 2014: Promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema eléctrico nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no

interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones GEI y la seguridad del abastecimiento energético (Congreso de Colombia, 2014.).

- Decreto MME 2469 de diciembre de 2014: Establece los lineamientos sobre la política de entrega de excedentes de autogeneración (Ministerio de Minas y Energía, 2014).
- Decreto MME 2492 de diciembre de 2014: Se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta a la demanda (Ministerio de Minas y Energía, 2014)
- Resolución CREG 024 de marzo de 2015: Regula la actividad de autogeneración a gran escala (conexiones al SIN) (Comision de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2015.)
- Resolución UPME 281 de junio de 2015: Establece el límite máximo de potencia de autogeneración a pequeña escala (1MW) (UPME, 2015)
- Decreto MME 2143 de noviembre de 2015: Se establece los incentivos definidos en el capítulo III de la Ley 1715 de 2014 (Ministerio de Minas y Energía, 2015)
- Estudio UPME 2015, Integración de las FNCER en Colombia, en el cual se analizan los instrumentos internacionalmente utilizados para promover el desarrollo de tecnologías que permiten el uso de las fuentes no convencionales de energía renovable y formulación para el caso colombiano (UPME and BID, 2015)
- Resolución UPME 045 de febrero de 2016: Establece los requisitos y procedimientos para solicitar la exclusión de IVA y exención de gravamen arancelario para proyectos de FNCER (Unidad de Planeación Minero Energetica (UPME), 2016)

- Resolución UPME 143 de marzo de 2016: Esta modifica la resolución UPME 0520 de 2007 y se establece el registro de proyectos de generación incluyendo la generación por medio de FNCER (Ministerio de Minas y Energía, 2002.)
- Resolución CREG 121 de agosto de 2017: Se establece la regulación de actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional. Supeditado a funcionamiento después de formalización de criterios mínimos de conexión a los diferentes niveles de tensión los cuales se establecen por medio del Consejo Nacional de Operación (CON) y los operadores de red. A fecha de octubre de 2017, se encuentra en consulta para su posterior formalización como resolución (CREG, 2017)
- Decreto MME 1543 de septiembre de 2017: Se reglamenta el fondo de energías no convencionales y gestión eficiente de la energía FENOGE. Este fondo se enfoca en los estratos 1, 2 y 3 y busca fomentar la implementación de las energías renovables no convencionales principalmente a nivel del Sistema de Distribución Local (SDL) (Ministerio de Minas y Energía, 2017).
- Estudio UPME 2017. Incorporación del recurso solar en diferentes escalas al SIN, recomendaciones técnicas que afectan el código de redes, el código de distribución y el código de conexión {Anónimo}
- Elaboración del Plan Energético Nacional enmarcado en establecer una política energética para el país con el objetivo de mantener el enfoque sin que éste se afecte con los cambios de gobierno.
- En la circular CREG 121 de 2017 se mencionan algunos aspectos técnicos referentes a la integración de fuentes de generación alternativas (incluyendo la solar fotovoltaica) (CREG, 2017):

- La disponibilidad de la red basada en la instalación de estas fuentes para autogeneradores residenciales y para autogeneradores o generadores distribuidos en etapa 1 donde máximo se puede conectar a la red de distribución de energía eléctrica el 5% de la capacidad del circuito y/o el 50% de la demanda mínima.

- La herramienta en línea que suministrará cada operador de red con el fin de identificar las zonas en donde se podría realizar la instalación de este tipo de generación en el Sistema de Distribución Local (SDL) y en el Sistema de Transmisión Regional (STR) donde se debe incluir para cada circuito el código del circuito, la identificación del transformador, la demanda mínima del circuito, la capacidad de autogeneración instalada y la capacidad disponible.

El consejo nacional de operación por medio del subcomité de plantas y la comisión temporal de trabajo de plantas solares realizó la VI JORNADAS TÉCNICAS 2017 en donde se desarrollaron actividades referentes a la integración de fuentes de generación de energía eléctrica por medio de plantas solares. {Fuente CNO}

Durante estas jornadas, XM como operador del mercado de energía eléctrica en Colombia, realizó una presentación sobre los aspectos operativos asociados a la operación con recursos solares donde realizaron una propuesta regulatoria para la vinculación de fuentes asíncronas al sistema eléctrico nacional (XM, 2017)

En esta presentación se destacan los requerimientos de conexión necesarios, los requerimientos de información y procedimientos y, los requerimientos operativos que este tipo de fuentes demandarían en el sistema eléctrico nacional colombiano (XM, 2017)

En lo que concierne a requerimientos de conexión, XM propone que temas como respuesta en frecuencia, rampas operativas, permanencia ante huecos de tensión, respuesta de reactivos, permanencia ante variaciones de frecuencia, supervisión y control de las fuentes, requerimientos

de calidad y requerimientos de protecciones, sean requisitos fundamentales antes de la vinculación de fuentes variables de energía a las redes eléctricas con el fin de mantener la operatividad del sistema (XM, 2017).

Los requerimientos operativos van enfocados a la predicción de la demanda, la declaración de la disponibilidad de la planta generadora, la posibilidad de redespacho, las desviaciones que se presenten y el balance generación-carga en tiempo real (XM, 2017).

Los requerimientos de información y procedimientos van desde la presentación de las variables requeridas en un histórico y en tiempo real, el establecimiento de procedimientos realizados para el seguimiento a la calidad y disponibilidad de la información, los procedimientos de entrada en operación y las pruebas que sean necesarias para vincular estos proyectos a la red eléctrica (XM, 2017).

La siguiente figura presenta de manera dinámica la revisión de la implementación de la integración de generación de fuentes no convencionales de energía, especialmente (especialmente solar fotovoltaica) al sistema eléctrico de Colombia (Ver Apéndice E).

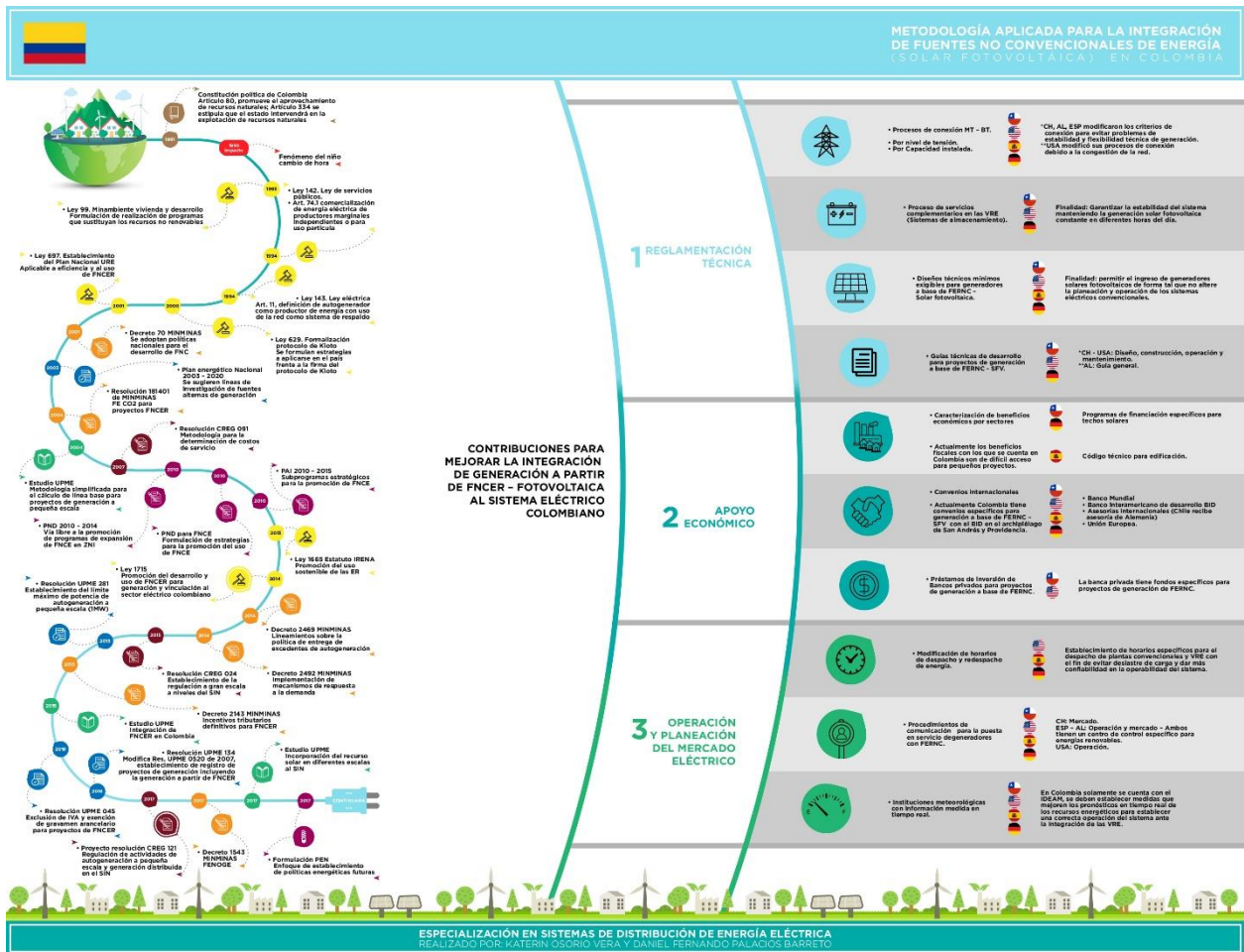


Figura 36. Metodología aplicada para la integración de fuentes no convencionales de energía al sistema eléctrico en Colombia.

5. Contribuciones en el marco regulatorio (técnico y económico) desarrollado por Colombia para la integración de FGSFV al Sistema Eléctrico Nacional, basado en la revisión internacional de Chile, Estados Unidos, España y Alemania.

Mediante la consulta realizada en los capítulos anteriores, el enfoque del presente capítulo se centrará en comparar y aportar a la metodología colombiana empleada, los aspectos técnicos y económicos pertinentes en el marco regulatorio para la correcta vinculación de fuentes variables de energía como lo es la generación solar fotovoltaica, a partir de la revisión internacional consultada en los países de Chile, Estados Unidos, España y Alemania.

La matriz energética de Colombia en comparación con los cuatro países consultados, los cuales se caracterizan por depender de recursos energéticos fósiles, presenta una gran dependencia del recurso hidráulico, el cual, a raíz de los fenómenos del Niño ocasionados en los últimos años, ha dado la iniciativa de vincular fuentes de generación no convencionales de energía renovable, para diversificar los recursos primarios para generación de energía.

Otra de las motivaciones por el cual Colombia le apuesta a la integración de FNCER, es el compromiso que ha adquirido mediante la firma de acuerdos internacionales, entre el que se destaca el firmado en París, donde se compromete a disminuir sus emisiones de CO₂ en un 20% para el año 2030.

Dados los compromisos adquiridos, es necesario revisar si las acciones que está tomando el país son adecuadas para la integración de las FNCER, de esta manera, en este documento se analizó el proceso de integración de las fuentes renovables enmarcado en generación fotovoltaica en cuatro países destacados por su gran avance en la diversificación de su matriz primaria de generación, para definir las consideraciones aplicables a Colombia con el fin de mejorar la forma

en la que el país está realizando este proceso. Es importante aclarar que en varios aspectos, los cuatro países analizados tienen consideraciones los cuales fueron tomados como referencia a las contribuciones que los autores consideran necesarios para continuar con el proceso de integración de generación variable de energía como la solar fotovoltaica a sistema eléctrico nacional.

5.1. Reglamentación Técnica

5.1.1. Procesos de conexión de fuentes de generación solar fotovoltaica: Chile, Estados Unidos, Alemania y España inicialmente definieron los procesos de conexión basados en la creciente integración de fuentes no convencionales de energía (solar fotovoltaica) al sistema, con el fin de dar cumplimiento a las metas trazadas en su política energética; estos procesos estuvieron enmarcados en criterios mínimos exigibles que permitieron que los usuarios consumidores o las centrales de generación del país participaran en la vinculación de este tipo de fuentes al sistema; sin embargo, esto trajo consigo problemas de estabilidad y flexibilidad técnica en la operación del sistema y de los agentes generadores. El proceso de conexión fue modificado en los cuatro países para solventar los inconvenientes presentados en la red.

En Colombia los procesos de conexión los define la UPME para el STR y STN; y, con la propuesta de la resolución CREG 121 de 2017, el CNO y los operadores de red deberán establecer los criterios mínimos exigibles manteniendo la estabilidad, seguridad, confiabilidad y flexibilidad en el sistema como: Control de frecuencia, Control de potencia activa, control de tensión, definición de tensión de operación en falla, coordinación de protecciones, medición y

supervisión, definición de rangos de potencia, definición de porcentaje de aceptación de corto circuito entre otras.

5.1.2. Procesos de servicios complementarios en las energías variables renovables - VRE (Plantas Convencionales). Los procesos de despacho y redespacho de plantas de generación variables de energía con las convencionales, permite que en países como Chile, Alemania y Estados Unidos, se desarrollen de forma tal que se garantice el servicio continuo del suministro de energía; para esto, es indispensable contar con los procesos de servicios complementarios encargados de desconectarse en horas valle donde la generación de energía eléctrica es más alta que el consumo; y, en horas pico conectarse a la red manteniendo la confiabilidad y estabilidad del sistema.

En Colombia, XM como operador del sistema planea el despacho y redespacho de plantas eléctricas en muy corto tiempo con un día de anterioridad con el fin de garantizar la confiabilidad en el sistema; pero con el fin de mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico en el momento en el que grandes y pequeños generadores conformados por fuentes variables ingresen a la red, se tendrá que adaptar el mercado horario e intra-horario para poder suplir las necesidades de consumo con base en la variabilidad de estas fuentes; caso de referencia está Estados Unidos, España y Alemania.

5.1.3. Diseños técnicos mínimos exigibles para generadores solares fotovoltaicos: En Colombia, el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE no tiene aún parámetros de diseño mínimos exigibles para las instalaciones eléctricas que integren generación fotovoltaica a los sistemas; en los países consultados, estos reglamentos se establecieron con el fin de evitar que cualquier tipo de equipos fuesen instalados en la red y así generar fallas poco detectables debido a la calidad de producto.

Así mismo, en la consulta se encontró que Chile y Estados Unidos capacitaron a personal específico para realizar verificación de las instalaciones solares fotovoltaicas con el fin de garantizar y certificar que las instalaciones cumplen con los criterios mínimos exigibles; para esto, en Colombia se debe regular y asignar las funciones de verificación a los entes certificadores actuales. Se debería crear una rama adicional que permita capacitarse como certificador RETIE de instalaciones eléctricas que integren generación con FNCER entre las que se encuentran la generación solar fotovoltaica.

Chile por su parte, fue un poco más estricto en lo que concierne a la limitación de equipos que se puedan instalar. Este país estableció una serie de equipos de marca específica que, después de realizar un análisis en los centros de investigación, cumplieron con los criterios mínimos exigibles.

En Colombia, debido a los tratados de libre comercio que se tienen con otros países, no es posible establecer marcas tipo para que sean instaladas pues se estaría negando el derecho al libre comercio, pero con el establecimiento de requisitos mínimos exigibles mediante el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, es posible establecer más control frente a este tema.

5.1.4. Guías técnicas de desarrollo para proyectos de generación a base de FERNC – sistema solar fotovoltaico: Las guías técnicas son de gran utilidad para los usuarios finales debido a que, con ellas, se estarían estableciendo instalaciones tipo que son más fáciles de verificar y certificar; Chile, Estados Unidos y Alemania establecieron guías técnicas en diseño, construcción operación y mantenimiento con características específicas de cada país.

En Colombia se deben establecer guías similares a las mencionadas anteriormente, pero con las características propias del país (en estos países se promueve y orienta la instalación del

seguidor solar, elemento que en Colombia sería de muy poco uso por la cercanía que se tiene con la línea del ecuador).

Para tal fin, se deben crear convenios con las entidades educativas o con consultores internacionales que realicen el análisis de las características del país basándose en la capacidad energética aprovechable que se puede obtener del sol en las diferentes regiones del país.

5.2. Apoyo económico

5.2.1. Caracterización de beneficios económicos por sectores: Los beneficios económicos con los que actualmente Colombia apoya y fomenta el uso de generadores con fuentes de energía renovable no convencional se encuentran generalizados para cualquier tipo de público objetivo; en el caso de proyectos de gran capacidad o cuya infraestructura necesita equipos y elementos en alta cantidad, los usuarios realizan solicitud de incentivos fiscales que le traerán beneficios económicos para el desarrollo del proyecto que vale la pena esperar (Basado en la Ley 1715 de 2014 con el Decreto de Ministerio de Minas y Energía No 2143 de 2015, Resolución UPME No. 045 de 2016 y Resolución ANLA No 1283 de 2016).

Sin embargo, para proyectos de baja capacidad instalada que tienen baja cantidad de equipos y elementos, el procedimiento para acceder a estos beneficios fiscales es de bajo interés debido a que mientras se realiza el estudio del proyecto por parte de la UPME y la ANLA el tiempo que se debe esperar no es beneficioso para el proyecto.

Es importante aclarar que una vez recibido el concepto de validación de los beneficios tributarios, los solicitantes podrán realizar la compra o facturación de los bienes y servicios objeto de la solicitud (esto únicamente aplicado a los beneficios fiscales de IVA y Arancel). Para

los beneficios fiscales de Renta y Depreciación, el único requisito es que el proyecto haya entrado en operación luego de definirse el decreto establecido por Ministerio de Minas y Energía No 2143 de 2015.

En Chile y Alemania se crearon programas de financiación específicos para techos solares, en el cual, el gobierno destina recursos para sectores donde se tenga un techo (sectores residencial, terciario, comercial e industrial). En España, el proyecto pionero se dio en torno al código técnico para edificación, en donde los recursos económicos se enfocan en la instalación de tecnologías no convencionales en edificaciones entre las que se encuentran los generadores solar fotovoltaicos a nivel de techo o pared.

Una forma de facilitar el fomento de estas nuevas tecnologías es crear procedimientos por sector (Residencial, Comercial, Industrial, Terciario, etc.), así, Colombia estaría volviendo más accesible los recursos destinados para este fin, y el interés por parte de los promotores aumentaría, promoviendo así el desarrollo de proyectos con tecnologías renovables no convencionales.

5.2.2. Convenios internacionales: Los convenios internacionales son fundamentales para el desarrollo de proyectos que integren generación fotovoltaica a las redes. La asesoría técnica internacional que se puede obtener por parte de los países que tienen una trazabilidad en el tema, puede ser de alto beneficio para todos los agentes que intervienen en el negocio de la energía eléctrica en Colombia. Países como Chile, México y Brasil en Latinoamérica, firmaron convenios internacionales con el gobierno alemán para fomentar la inclusión de energías renovables y eficiencia energética.

En Chile el decreto 78 de 2014 promulga el acuerdo entre Chile y Alemania para un proyecto de fomento específico de la energía solar en Chile; En Brasil, los proyectos de infraestructura

sostenible fomentan el uso sostenible de selvas tropicales, energías renovables y eficiencia energética mediante el decreto 7685 de 2012; en México el convenio Eficiencia energética y energías renovables – Energía solar a gran escala en México firmado durante el periodo 2015 – 2019 promueve el aprovechamiento a gran escala de la energía solar con enfoque de mercado y transferencia de tecnologías de sistemas innovadores, mejorar las capacidades de las instituciones financieras y armonizar el desarrollo de la energía solar.

En Colombia, se tienen convenios con el gobierno alemán en temas relacionados con el desarrollo de la paz, la política ambiental y la protección del medio ambiente enfocado a recursos naturales, clima y prevención de desastres naturales y el fomento económico sostenible, pero aún no existe un convenio tangible entre el gobierno alemán y el gobierno colombiano con el fin de promover el uso de energías renovables enmarcado en el uso de energía solar.

Entre los convenios firmados se destaca el convenio Colombo-holandés firmado en diciembre de 2016 con el fin de fortalecer la implementación de las fuentes no convencionales de energía renovable por medio del intercambio de información, fortalecimiento técnico e institucional, desarrollo tecnológico y normativo e implementación de proyectos piloto en materia de FNCER.

5.2.3. Préstamos de inversión de bancos privados para proyectos de generación a base de FNCER.: La banca privada juega un papel importante en el fomento de este tipo de generación; en países como Chile y Estados Unidos, las bancas privadas generan rubros específicos para la promoción de proyectos de generación de FERNC donde, el usuario final puede obtener el capital necesario para poder invertir en estos proyectos.

El gobierno colombiano puede intervenir ante las bancas privadas para que estos convenios se puedan establecer, si las propuestas del gobierno ante la banca privada para construcción de viviendas se han podido realizar para poder viabilizar el cumplimiento de las políticas

gubernamentales a una tasa de interés accesible; propuestas como el fomento de generación a base de FNCER incluyendo la solar fotovoltaica pueden trazarse y así aumentar la posibilidad de instalación de este tipo de proyectos.

5.3 Operación y planeación del mercado eléctrico

Para poder integrar las fuentes variables de energía al sistema interconectado nacional colombiano, es necesario redefinir el mercado y la operación del sistema con el fin de garantizar la confiabilidad del servicio. Es por esto que principalmente se deben hacer ajustes en varios aspectos del entorno.

5.3.1. Procedimientos de comunicación para la puesta en servicio de generadores con FNCER. La comunicación que los operadores de red y/o el operador del sistema deben tener con las centrales de generación variables debe ser adecuada con el fin de garantizar la confiabilidad del servicio. En España y Alemania se cuenta con un centro de control específico para generadores con fuentes de energía renovable con el que mantiene comunicación directa para conectar y desconectarlos cuando sea necesario para el sistema, claro está, mediante un mercado intrahorario que permite conocer la capacidad de generación de las VRE.

En Chile, aunque su mercado no es intra horario, estableció reglas específicas de comunicación entre las centrales de generación variables con el fin de determinar el despacho económico. En Estados Unidos, la comunicación empleada se usa para la operación del sistema principalmente.

5.3.2. Modificación de horarios de despacho y redespacho de energía. Las plantas de generación variable de energía a gran escala presentan su intermitencia con el paso de las horas,

lo que indica que el mercado debe ajustarse para evitar deslastres de carga o apagones repentinos a falta de la predicción de la capacidad a generar por estas centrales. Es por eso que Estados Unidos, España y Alemania establecieron horarios específicos para el despacho de plantas convencionales y energías variables renovables (VRE) en donde se garantiza la confiabilidad y operatividad del sistema.

5.3.3. Mejora en las instituciones meteorológicas con información medida en tiempo real.

Es indispensable que en Colombia se fomente la medición de recursos naturales como nivel de radiación y velocidad del viento en tiempo real para poder tener una estimativa más confiable de las regiones del país. Esto mejora la operatividad del sistema eléctrico ante la integración de las energías variables renovables (VRE).

6. Conclusiones

- La revisión realizada en los procesos implementados por los países consultados, permite tener una mayor visión referente al futuro que se espera luego de la vinculación de las fuentes de generación solar fotovoltaica al sistema eléctrico del país. Teniendo en cuenta que la experiencia y trayectoria que estos países han tenido en la vinculación de este tipo de fuentes, es importante realizar una serie de recomendaciones y complementos a las normativas reglamentarias y políticas establecidas por las entidades encargadas de la planeación y operación del sector eléctrico colombiano con el fin de aprovechar que en entornos similares, hubo una serie de acciones y correcciones que se pueden evitar si se realiza una correcta planificación en la integración de este tipo de fuentes.

- La consulta realizada permite a los autores identificar que aún existen desafíos técnicos y económicos por afrontar en este proceso, pues, a pesar que el avance de implementación a nivel internacional es muy alto, existen inconvenientes de infraestructura, operación y control de este tipo de fuentes variables de energía como lo es la solar fotovoltaica representando un gran cambio en el sector eléctrico mundial.

- En la estructura actual del sector eléctrico colombiano, la vinculación de este tipo de fuentes representa un gran desafío para los operadores de red, el operador del sistema, el operador del mercado y las entidades de planificación y regulación del país. El hecho de permitir que estas fuentes se empleen a nivel del usuario final abre la posibilidad de interacción entre el usuario y los agentes participantes del sector con el gran reto de modificar los estándares convencionales pensando en el beneficio operacional del sistema sin afectar económicamente cualquiera de las partes.

- Aunque en Colombia el proceso de vinculación de este tipo de fuentes de generación no está profundizado en el sector, se debe pensar en un futuro donde el impacto que se genere al tener mayor desarrollo pueda alterar los parámetros operacionales del sistema si no se planifica desde el inicio. Es importante y fundamental pensar en el cumplimiento de políticas y metas energéticas propias e internacionales sin sacrificar el sistema eléctrico del país.
- La presente monografía deja el precedente de consulta bibliográfica de países referentes en la integración de generación solar fotovoltaica para que, futuros autores, puedan profundizar en aspectos técnicos, económicos, de operación y mercado, con el fin de aportar con mayor nivel de investigación y detalle aspectos que no se enmarcaron en el alcance de este documento.

Bibliografía

- A. Por et al. (s.f.). Programa Techos Solares Públicos.
- Ackermann, T., Martensen, N., Brown, P., Schierhorn, P., Boshell, F. G., & Ayuso, M. (2016). Scaling Up Variable Renewable Power: The Role of Grid Codes. 106.
- Alcántara , V., & Roca, J. (1995). Energy and CO2 emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-1990. *Energy Econ.*, vol. 17, no. 3, 221–230.
- Alonso, J., Amo, D., & Rodríguez González, R. (2015). Análisis Del Sector Eléctrico Español Y Cuadro De Mando Integral Empresa Eléctrica.
- Altamonte, H. (2017.). Las energías renovables no convencionales en la matriz de generación eléctrica. Tres estudios de caso. 154.
- Alvarez Pelegry , E., & Ortiz Martínez, I. (2016). La transición energética en Alemania (Energiewende). 210.
- Alvarez Pelegry,, E., & Ortiz Martínez, I. (2010). La transició energètica als polígons industrials: una oportunitat per al món local' 'Dialogo Transición Energética e Industria. 2016.
- APPA. (2012). Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España. 114.
- Asses, L. (2010). 2010 Long-Term Reliability Asses s ment reliability of the bulk power system the.
- Barrera, X., Gomez, R., & Suarez Castaño, R. (2015). EL ABC DE LOS COMPROMISOS DE COMLOMBIA PARA LA COP 21, no. 45.

- Battle, C. (2014). Análisis del impacto del incremento de la generación de energía renovable no convencional en los sistemas eléctricos latinoamericanos Herramientas y metodologías de evaluación del futuro de la operación, planificación y expansión.
- Bird, L., Cochran, J., & Wang, X. (2014). Wind and solar energy curtailment : experience and practices in the United States. *Natl. Renew. Energy Lab., no. March*, 58.
- Bloom, D., Forrester, J., & Klugman, N. (2010.). Current Conflicts in U.S. Electric Transmission Planning, Cost Allocation and Renewable Energy Policies: More Heat than Light. *Electr. J., vol. 23, no. 10*, 8–17.
- Bloomberg New Energy Finance. (2016). The Clean Energy Country Competitiveness Index.
- Bruner, E., Bolkcom, C., & Rourke, R. (2003). Electricity Restructuring Background: The Public Utility Regulatory Policies Act of 1978 and the Energy Policy Act of 1992. 1–6.
- Buchan, D. (2012.). The Energiewende – Germany ’ s gamble.
- C. Comision de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2015.). Resolución CREG 024 de 2015, Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones.” Comision de Regulación de Energía y Gas (CREG), Colombia. 1–9, .
- C. y S. de electricidad y combustibles S. Ministerio de Energia. (2016.). “Checklist Técnico.”. 3.
- Castillo, R. (2014). Generación Distribuida en Chile Situación actual de la Ley 20 . 571 en Distribuidoras.
- Cdu, P. D. (2015). HISTORIA DE LA POLÍTICA AMBIENTAL EN ALEMANIA.
- Club Español De La Energia. (2016). Balance Energético de 2016 y Perspectivas para 2017.
- CNE. (2014.). Norma técnica de conexión y operación de equipamiento de generación en baja tensión. 32.

CNE. (2016). Norma Técnica de PMGD Media Tensión. 73.

Cochran, J., Bird, L., Heeter, J., & Arent, D. (2012.). Integrating Variable Renewable Energy in Electric Power Markets: Best Practices from International Experience, Summary for Policymakers. 16.

Comisión Nacional de Energía . (2016). Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio. 1–179.

Congreso de Colombia. (2014.). Ley N° 1715 del 13 de mayo de 2014. *Upme, no. May,, 26.*

Congress. (2009). HITECH ACT 2009: TITLE XIII OF the American Recovery and Reinvestment Act 2009 Public Law 111–5 111th Congress An Act. 112 .

COP21 y el PNUD-CHILE. (2015.). *Copenhagen, E.,; 2.*

CREG. (2017). RESOLUCIÓN CREG 121 DE 2017 - CONSULTA.

CREG. (2017). TallerAGPE20171011.

D. N. DNP. (2014). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018,” Dep. Nac. Planeación, vol. 2., 783.

D. nacional de Planeación. (2015). Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 Todos por un nuevo país, vol. 1.

Deloitte, C. (2016). Sector energía I: Marco regulatorio y matiz energética Chile.

Deloitte, C. (2016.). Sector enregía III: ERNC, perspectivas y dificultades. Chile.

Denholm, P., Drury, E., & Margolis, R. (2009). The Solar Deployment System (SolarDS) Model: Documentation and Sample Results. *Natl. Renew. Energy Lab., no. September, 52.*

DGF. (2015.). Explorador Solar para Autoconsumo Manual del Usuario. 19.

Díaz, G., & Carmona, T. (2012,). Componentes de una instalación solar fotovoltaica. *Instalaciones solares fotovoltaicas, 24.*

Docket No. RM13-2-000 Small Generator Interconnection Agreements and Procedures. (2013).

Dufey, A., Marzolf, N., & Ceppi, P. (2010). Instrumentos Fiscales y No Fiscales a las Energías Renovables en Chile.

Dumas, J. (2015.). Integration of Variable Generation Task Force (IVGTF) Agenda. 4–5.

E., M. L., García Arbeláez, C., & Vallejo, G. (2016). El Acuerdo De París Así Actuará Colombia Frente Al Cambio Climático.

EIA, Darling, D., & Marcy, C. (2017). *About 30% of distributed solar capacity is owned by third parties - Today in Energy - U.S. Energy Information Administration (EIA)*. Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29052>.

Eléctrica , R., & Alonso, J. (2011). Integración de la Generación Renovable en el Sistema Eléctrico Español.

Encare and Energía 360. (2017.). Estudio Benchmarking de Plantas Solares Fotovoltaicas en Chile. *Encare and Energía 360*, 55.

Energía, P., Potencial, S., & Global, E. (s.f.). Desafío de transformación productiva - Programa de Estratégico Solar.

EPA and L. C. Change. (2017,). Net Metering.

España. (2008). Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661. *Boletín Of. Estado*, vol. 27–09–2008 no. 234, 39117–39125.

Fallis, A. (2013). ENERGIA SOLAR imp. vol. 53, no. 9.

Federal Eenergy Regulatory Commission. (2005). FERC Order 661. vol. 20426, no. 202, p. 18 CFR Part 35.

Federal Energy Regulatory Commission. (2006). Energy Policy Act of 2005: Fact Sheet. 1-6.

Federal Energy Regulatory Commission. (2013.). Order 784 - Third Party Provision of Ancillary Services; Accounting and Financial Reporting for New Electric Storage Technologies no. 784.

Federal Energy Regulatory Commission. (2016). Essential Reliability Services and the Evolving Bulk - Power System - Primary Frequency Response.

Federal, M., & Ambiente, D. (2016.). Energía solar para la generación de electricidad y calor.

FERC. (2000). Federal Energy Regulatory Commission (FERC) Order No. 2000 & 2000A. 1–128.

FPA - 1935. (2017). Obtenido de <https://www.law.cornell.edu/uscode/text/16/chapter-12>

G. Observation, R. Algorithms, S. F. P. Gas, and E. Holding. (2002). *Special Report: Ancillary Service and Balancing Authority Area Solutions to Integrate Variable Generation NERC's Mission*,” vol. 4, no. 8,.

García, M., Mariz, R., & Llano Paz, F. (2012.). Políticas de promoción de las energías eólicas y solar: los casos de Alemania y España. 20.

García-Sánchez, T., Gómez-Lázaro, E., & Molina, Á. (2014.). Integración de recursos renovables y requerimientos de conexión en el sistema eléctrico Español: Análisis de datos en instalaciones fotovoltaicas. *Dyna*, vol. 89, no. 6, 649–655.

Gobierno de Chile. (2014). Agenda de Energía: un desafío país, progreso para todos.

Gobierno de Chile. (2016). Anuario Estadístico de Energía 2016. *Com. Nac. Energía*, 1–146.

Government of Spain. (2013). Ley 24/2013, de 26 de Diciembre, del Sector Eléctrico. *Boe*, vol. 310, 105198–105294.

Grandel, M., & Oyazun, C. (s.f.). Guía de buenas y malas prácticas de instalaciones fotovoltaicas sobre techos.

Guia_Evaluacion_Sistema_FV.pdf. (s.f.).

Guia_Operacion_Mantenimiento.Pdf. (s.f.).

Heal., J. R. (2014.). The power of transformation. *IEA, International Energy Agency; vol. 10 no. 2*, 160–179.

Hurlbut, D., & Natl. Renew. Energy Lab. (2008). State Clean Energy Practices: Renewable Portfolio Standards. 1-15.

I. Chernyakhovskiy et al. (2016). U . S . Laws and Regulations for Renewable Energy Grid Interconnections U . S . Laws and Regulations for Renewable Energy Grid Interconnections.

IDAE. (s.f.). La financiación del IDAE.

IDAE. (s.f.). Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (Programa PAREER-CRECE).

IEA. (2014.). Energy Policies of IEA Countries: The United States 2014 Review.

IEA. (2016). Next Generation Wind and Solar Power - From cost to value. *Energy Agency books online*, 40.

IEA, I. E. (2017). Getting Wind and Sun onto the Grid. *Insight Ser*, 64.

IEA. International and E. Agency. (2017). *Status of Power System Transformation, Energy Agency*.

IEA-RETD. (January, 2015). “Volume I: main report,” *Integr. Var. Renew. Energy*, vol. I.

IFC. (2012). Chile-Sef: Componente De Análisis Regulatorio. Informe Final: Identificación De Barreras Regulatorias Y Propuestas De Solucion Para El Desarrollo De Medidas De Ee Y Ernc. 1–100.

Impact of public policy uncertainty on renewable energy investment: Wind power and the production tax credit. (2010). *Energy Policy*, Vol 38, No 12, 7698–7709.

Incremento Petróleo en U.S. (Agosto de 2017). Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=31892#>

Instituto de Energía Solar. (2017). Gráficos significativos energía solar fotovoltaica.

International Renewable Energy Agency - IRENA. (2015.). Renewable energy prospects: United States of America. 243.

IRENA - International Renewable Energy Agency. (2015). Energías Renovables en América Latina 2015 : Sumario de Políticas. 12–19.

IRENA. (2015). The Age of Renewable Power: Designing National Roadmaps for a Successful Transformation.

IRENA -International Renewble Energy Agency. (2017). IRENA - Renewable energy topic - Capacity and generation.

IRENA. (June 2015.). Renewable Energy Policy Brief: Chile. 8.

Izadian, A., Girrens, N., & Khayyer, P. (2013). Renewable energy policies: A brief review of the latest U.S. and E.U. policies. *IEEE Ind. Electro vol. 7, no. 3*, 21–34.

J. Cochran et al., (2015.). Grid Integration and the Carrying Capacity of the U . S . Grid to Incorporate Variable Renewable Energy Grid Integration and the Carrying Capacity of the U . S . Grid to Incorporate Variable Renewable Energy.

- Jiménez, F., Gómez-Lázaro, E., Fuentes, J., & Mol, A. (2013.). Validation of a DFIG wind turbine model submitted to two-phase voltage dips following the Spanish grid code. *Renew. Energy*, vol. 57, 27–34.
- Jones, A., Irwin, M., & Izadian, A. (2010). Incentives for microgeneration development in the U.S. and Europe. *IECON*, 3018–3021.
- K. Fox et al. (2012). Updating Small Generator Interconnection Procedures for New Market Conditions Updating Small Generator Interconnection Procedures for New Market Conditions.
- KPMG. (2015). KPMG Taxes and Incentives for Renewable Energy 2015.
- Lauber , V., & Mez, L. (599–623). Three decades of renewable electricity policy in Germany. *Energy Environ.*, vol. 14, no. 4, 2004.
- Ley 142 de 1994. (1994.). Ley 142 de 1994, D. Of., vol. 1994, no. 41.433. 597.
- Ley Chilena. (2006). Decreto 244 de 2016.
- Maintaining Bulk Power System Reliability While Integrating Variable Energy Resources – CAISO Approach A joint report produced by: the North American Electric Reliability Corporation. (2013.). *N. American and E. Reliability*.
- Malmedal, K., Kroposki, B., & Sen, P. (2007). Energy Policy Act of 2005 and its impact on renewable energy applications in USA. *Ieee Power Eng. Soc. Gen. Meet. Vols 1-10*, 3588–3595 \r4962.
- Martinot, E. (2015.). How is Germany integrating and blancing renewable energy today? 1–5.
- Mendoza, A. (2013.). RDL 9/2013 por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico. Comentario de urgencia. 1–8.

Metas. (2017). Obtenido de <http://www.ncsl.org/research/energy/renewable-portfolio-standards.aspx>.

Methods, P. (2014). Task 1.6. 1–36.

MinEyM. (2016). Políticas - Ministerio de Energía y Minería. 21.

Minist. Minas y Energía. UPME. (2016.). Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión 2015-2029. 616, .

Ministerio de Energía Chile. (2016.). Comuna Energética - Guía para el desarrollo de Estrategias Energéticas Locales. 60.

Ministerio de Energia. (s.f.). Política Energética de Chile.

Ministerio de Industria Energía y Turismo de España. (2015). Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. *Boe*, 27548–27562.

Ministerio de Industria Energía y Turismo de España. (27548–27562). Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. *Boe*, 2015.

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. (2014.). Plan Nacional De Adaptación. 22.

Ministerio de Minas y Energía. (2002.). Ley 143 de 1994 - Ley Eléctrica D. Of., vol. 1994, no. 41434. 347.

Ministerio de Minas y Energía. (2014). Decreto 2469,” p. 3.

Ministerio de Minas y Energía. (2014). Decreto 2492 de 3 Diciembre de 2014,. 2.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). DECRETO 2143 DE 2015,” vol. 1, no. 47. 1–7.

Ministerio de Minas y Energía. (2017). DECRETO 1543 DE SEPTIEMBRE DE 2017, vol. 1. 1-6.

MINTRAB. (2004, Chile). Ley 19940 (Ley Corta I). 38.

MITYC. (2007). REAL DECRETO 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. *Boletín Of. del Estado*, vol. 126, 22846–22886.

More than half of small-scale photovoltaic generation comes from residential rooftops. (Agosto de 2017). Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=31452>.

N. A. E. R. C. (NERC). (2011). NERC IVGTF Task 2.4 Report Operating Practices, Procedures, and Tools.

National Association of State Energy Officials (NASEO). (2014). State Energy Planning Guidelines.

Nerc. (2010). Flexibility requirements and metrics for variable generation: Implications for system planning studies. 1–63.

Nerc. (2010.). Standard Models for Variable Generation. 60.

NERC. (2011). Methods to Model and Calculate Capacity Contributions of Variable Generation for Resource Adequacy Planning. 63.

NERC IVGTF Task 2.1 Report - Variable Generation Power Forecasting for Operations. (2002.). *G. Observation, R. Algorithms, S. F. P. Gas, and E. Holding* vol. 4, no. 8, 1–32.

Net Training. (2017). Obtenido de <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-training-network>

Norma, T., Ordenanza, A., & Protección, M. (2005). Ley 20018 - (Ley Corta II). Chile. 10.

Norma, T., Ordenanza, A., Protección, M. D., & Medio, D. E. (2012). Ley 20571. Chile. 3.

Norma, T., Ordenanza, A., Proteccion, M. D., & Medio, D. E. (2013). Ley 20698. Chile. 4.

Norma, T., Ordenanza, A., Proteccion, M., & Medio, D. (2008). Ley 20257 - (Ley ERNC), Chile. 5.

North American Electric Reliability Corporation. (2009). Accommodating High Levels of Variable Generation. *North Am. Electr. Reliab. Corp.*, no. April, 104.

OECD/IEA. (2013.). Germany 2013 Review.

Office of the White House. (2011). Blueprint for a Secure Energy Future. 1–44.

orden 888 FERC. (s.f.).

Pacheco , M., & Ministerio de Energía. (2015). Energía 2050 - Política Energética Chile - Resumen. 16.

Parlamento Europeo. (s.f.). La política energética: principios generales | Fichas técnicas sobre la UE | Parlamento Europeo.

Potencial energético U.S. (Agosto de 2017). Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=31372>.

Potential Bulk System Reliability Impacts of Distributed Resources. (2011.). *North American Electric Reliability Corporation*.

Programa de Energía Solar - Chile. (s.f.).

Programa Techos Solares Públicos. (s.f.). Guía Check List.

P-XM. (s.f.). Parámetros técnicos del SIN - Capacidad efectiva por tipo de generación.

Red eléctrica de España. (2017). *Procedimientos de Operación*. Obtenido de <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/procedimientos-de-operacion>

Regante, M. (2012). Tax Issues in Financing Renewable Energy Projects About Milbank.

Renewable Energy Practice.

Ren21. (2017). Renewables 2017 global status report.

Report, S. (2010). Special Report: Potential Reliability Impacts of Emerging Flexible Resources.

Rojas , A., & Tubío, B. (2015.). Spain' s renewable energy regime: Challenges and uncertainties. *Spanish Econ. Financ. Outlook, vol. 4, no. 2.*

Romero, J. C. (2017.). El mercado de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en Chile : un sector de éxito , incertidumbres y futuros. 5–8.

RPS. (2017). Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=4850#>.

S. D. E. Electricidad and Y. Combustibles. (s.f.). Procedimientos de comunicación de energización de instalaciones fotovoltaicas y buenas y malas prácticas.

Schneider, L. (2015). El Plan Nacional de Acción para la Eficiencia Energética de Alemania (NAPE). *OETEC.*

SEC, R. (2014.). Diseño y Ejecución de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red. 24.

Secretaría de Estado de Energía (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital). (s.f.). Catastro minero - Mo de Energía, Turismo y Agenda Digital.

Secretaría General de la Presidencia. (2016.). Plan de Acción de Chile Gobierno Abierto 2016-2018. 88.

Simons, P. (2016). Energía Renovable en América Latina y el Mundo.

Sociedad para la Cooperacion Internacional (GIZ). (2014). Energías Renovables para Autoconsumo en Chile.

Solares, P. (s.f.). Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética (4e) en Chile.

Subdirección de energía, Comité ambiental, Grupo de Generación. (2004). Metodología simplificada para el cálculo de la línea base para proyectos de pequeña escala.

Tejado, Ó., Deniz, J., & Martinez, A. (s.f.). Eficiencia Energética y Energías Renovables en España: Recomendaciones sobre directrices estratégicas y prioridades de inversión para el periodo de programación FEDER 2014-2020.

The expansion of electricity generation from renewable energies in Germany: A review based on the Renewable Energy Sources Act Progress Report 2007 and the new German feed-in legislation. (2009.). *Energy Policy*, vol. 37, no. 7, 2536–2545.

Tobergte , D. R., & Curtis, S. (s.f.). *Manuales sobre energía renovable - Solar Fotovoltaica vol. 53 no. 9. 2013.*

Tower, M. (2012). 2012 Special Assessment Interconnection Requirements for Variable Generation September 2012.

U. S. Department of Energy. (2014.). Strategic Plan 2014-2018.

U. S. primary energy consumption by source and sector , 2016 . (2016).

U.E. I. Administration. (2017). Monthly Energy Review - September 2017.

U.S Renewable Energy. (2016).

U.S. energy consumption rose slightly in 2016 despite a significant decline in coal use. (Agosto de 2017). Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=30652#>.

U.S. Energy Information Administration (EIA). (2017). More than half of utility-scale solar photovoltaic systems track the sun through the day.

UNEF. (2016). Informe Anual 2016, ” Unión Española Fotovoltaica. 100.

Unidad de Planeación Minero Energetica - UPME. (2016). Registro Proyectos Generación UPME no. 0520.

Unidad de Planeación Minero Energetica (UPME). (2016). Resolución N°045 de 2016. 7.

Unidad de planeación Minero Energética (UPME). (2017). Balance energético colombiano. 5.

UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia.

Upme. (2015). Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2015. 184.

UPME. (2015). Resolución 281 del 2015.” p. 2.

UPME and BID. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia.

UPME, Unidad Planeación Min. Energética, Repub. Colomb. (184). Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. 2015.

Upme, PEN 2010 - 2030. 2010. (s.f.).

Viaintermedia.com. (s.f.). Fotovoltaica - IX Máster en Energía Solar Fotovoltaica del Instituto de Energía Solar - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias.

Vithaya, P., Analyst, E., & Integration, S. (June, 2017). Integrating variable renewables : Implications for energy resilience.

Weimar, M., Mylrea, M., Levin, A., T., & Botterud, E. O'. (2016.). Integrating Renewable Generation into Grid Operations. 116.

White House. (2014). The All-of-the-above Energy Strategy as A Path to Sustainable Economic Growth. 1-43.

Wind and solar in March accounted for 10% of U.S. (s.f.). 2017.

World Energy Investment 2016. (2016).