



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

---

# **Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables**

Bogotá  
Abril de 2018

---

# GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

*Proyecto: Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050*



Informe elaborado para la Unidad de Planeación  
Minero Energética - UPME  
**Bogotá Abril de 2018**

## **PROYECTO IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y REQUISITOS MÍNIMOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN, ESTRUCTURACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN OBSERVATORIO DE ENERGÍA QUE RECOPILE Y ANALICE INFORMACIÓN QUE CONDUZCA A OPORTUNIDADES DE INNOVACIÓN PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS DEL PEN 2050**

### **REPÚBLICA DE COLOMBIA**

Germán Arce Zapata – Ministro de Minas y Energía

Jorge Alberto Valencia Marín – Director Unidad de Planeación Minero Energética UPME

Carlos García - Subdirector de Demanda, Unidad de Planeación Minero Energética UPME

### **EQUIPO DE TRABAJO DEL PROYECTO**

---

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en el sector energético colombiano GRISEC

Modelamiento Y Análisis Energía Ambiente Economía

InTIColombia.

UNIVERSIDAD DEL VALLE

Grupo de Investigación en Alta Tensión – GRALTA

Instituto de Prospectiva de la Universidad del Valle

CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS

Director de proyecto: Omar Prias, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

### **EQUIPO DE TRABAJO PARA EL DESARROLLO DE EJERCICIOS DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA**

---

Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano GRISEC,  
Unversidad Nacional de Colombia

Director: Omar Prias

Asesora Metdológica: Jenny Marcela Sánchez Torres

Coordinación: David Bernardo Rojas Rodríguez

Vigías Tecnológicos: Jair Armando Castañeda Rodríguez, Laura Milena

Cruz Moreno, Luis Rafael de la Rosa Ramos Ramos, Sergio Andrés

Rodríguez Blanco, Oscar Darío Zambrano.

Apoyo: Laura Marcela Quiroga Calderón

## Contenido

<b>Índice de Gráficos</b>	<b>5</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>6</b>
<b>Presentación</b>	<b>7</b>
<b>1. Resumen Ejecutivo</b>	<b>9</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>13</b>
2.1 Objetivo principal del informe	14
2.2 Objetivos específicos del informe	15
2.3 Metodología	15
2.4 Estructura del informe	16
<b>3. Integración de energías renovables al sistema energético</b>	<b>18</b>
3.1. Generalidades de las energías renovables	19
3.2. Políticas para el cambio de modelo tecnológico de energías convencionales a renovables.	21
3.2.1. Políticas a nivel internacional.	22
3.2.2. Política Nacional	25
<b>4. Tendencias asociadas al cambio de modelo tecnológico.</b>	<b>26</b>
4.1. Tendencias de desarrollo tecnológico para renovables:	31
4.1.1. Tendencias de costo y eficiencia en tecnología solar fotovoltaica	31
4.1.2. Gestión de la demanda	32
4.1.3. Agregadores de mercado	34
4.1.4. Servicios auxiliares para el sistema	35
4.1.5. Infraestructura avanzada de medición	36
4.1.6. Efectividad de costo de generación renovable	37
4.1.7. Sistemas avanzados de información	40
4.2. Tendencias en políticas para energías renovables	41
4.2.1. Buenas prácticas de las políticas para renovables	41
4.2.2. Aspectos regulatorios	42
4.2.3. Aspectos Complementarios	45
<b>5. Análisis cuantitativo de artículos científicos</b>	<b>46</b>
<b>6. Análisis cuantitativo básico de patentes</b>	<b>56</b>
<b>7. Conclusiones</b>	<b>62</b>
<b>8. Referencias Bibliográficas</b>	<b>66</b>



<b>Anexos</b>	<b>74</b>
<b>Anexo 1. Políticas para fuentes renovables de energía</b>	<b>75</b>
A.1 Mecanismos de incentivos	76
A.2 Países de referencia	79
A.3 Subsidios para energía renovable	81
A.4 Modelos de Negocio	82
A.5 Categorización de Mecanismos financieros	84
A.6 Barreras de mercado	85
A.7 Indicadores de política	87
A.8 Etapas de madurez de política para renovables	87
A.9 Estandarización y normalización	88
A.10 Cambio del modelo de riesgo	90
A.11 Mercados intradiarios	92
<b>Anexo 2. Tecnologías emergentes</b>	<b>94</b>
B.1 Tecnologías para producción de energía solar fotovoltaica	94
B.2 Gestión de la demanda	98
B.3 Agregadores de mercado	99
B.4 Servicios auxiliares para el sistema	101
B.5 Infraestructura avanzada de medición	102
B.6 Efectividad de costo de generación renovable	104
B.7 Sistemas avanzados de información	109
<b>Anexo 3. Anexo Metodológico</b>	<b>112</b>
<b>Anexo 4. Definición de necesidades de vigilancia</b>	<b>113</b>
<b>Anexo 5. Ecuaciones de Búsqueda</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 6. Estudio de Necesidades de vigilancia y Protocolo de KIT</b>	<b>117</b>
<b>Anexo 7. Bitácora de ecuaciones de búsqueda</b>	<b>120</b>

## Índice de Gráficos

- Ilustración 1.** Árbol temático de las tecnologías de energía renovable.
- Ilustración 2.** Capacidad adicional de energía eléctrica 2012 y proyectada a 2040
- Ilustración 3.** Árbol temático de las políticas para energías renovables
- Ilustración 4.** Cadena Eléctrica del siglo 21, Flujo de 2 vías
- Ilustración 5.** Tendencia de publicación científica, por año y país, para DSR.
- Ilustración 6.** Valor de agregadores basado en el contexto regulatorio y tecnológico.
- Ilustración 7.** Costo nivelado de la energía por región (2016)
- Ilustración 8.** Costo nivelado de Energía Eólica proyectado 2020
- Ilustración 9.** Costo nivelado de Energía Fotovoltaica proyectado 2050
- Ilustración 10.** Análisis cienciométrico para costo y eficiencia de celdas fotovoltaicas
- Ilustración 11.** Análisis cienciométrico para gestión de la demanda
- Ilustración 12.** Análisis cienciométrico para agregadores de mercado
- Ilustración 13.** Análisis cienciométrico para Medición Inteligente
- Ilustración 14.** Análisis cienciométrico para Costo Nivelado de la Electricidad
- Ilustración 15.** Análisis cienciométrico para tendencias en políticas para renovables – Solar Fotovoltaico
- Ilustración 16.** Análisis cienciométrico para tendencias en políticas para renovables - Eólico
- Ilustración 17.** Registro de patentes para renovables entre 2000 y 2016
- Ilustración 18.** Correlación de patentes con el índice de desarrollo de políticas
- Ilustración 19.** Resultados de patentes para tecnología solar fotovoltaica.
- Ilustración 20.** Resultados de patentes para tecnología eólica
- Ilustración 21.** Esquema Feed-In Tariff
- Ilustración 22.** Sistema Competitivo de Subasta
- Ilustración 23.** Adiciones de capacidad por tecnología al 2040 - Escenario Nuevas Políticas de la IEA
- Ilustración 24.** Barreras para las energías renovables
- Ilustración 25.** Etapas de madurez para políticas renovables
- Ilustración 26.** Estándares y categorías para las energías renovables
- Ilustración 27.** Mejores eficiencias celdas solares en laboratorio
- Ilustración 28.** Precio promedio de instalaciones fotovoltaicas en EEUU.
- Ilustración 29.** Relación Costo Beneficio de la Gestión de la demanda
- Ilustración 30.** Clasificación de agregadores de mercado
- Ilustración 31.** Recursos requeridos para satisfacer la confiabilidad y flexibilidad de la red.
- Ilustración 32.** Diagrama de Bloques de un medidor inteligente
- Ilustración 33.** Capacidad Generación Fotovoltaica por Región (2006-2016)
- Ilustración 34.** Costo de celdas de C-Si contra capacidad global fotovoltaica
- Ilustración 35.** Penetración de la energía fotovoltaica en la demanda final, países seleccionados.

- Ilustración 36.** Costo nivelado de la energía fotovoltaica por región  
**Ilustración 37.** Capacidad Global Generación Eólica (2006-2016)  
**Ilustración 38.** Penetración de la energía eólica en la demanda final, países líderes.  
**Ilustración 39.** Costo nivelado de la energía eólica por región  
**Ilustración 40.** Costo nivelado de la energía por tecnología 2010 y 2016  
**Ilustración 41.** Proceso de vigilancia tecnológica

## Índice de Tablas

- Tabla 1.** Lista general de medidas y políticas energéticas renovables  
**Tabla 2.** Lista general de medidas y políticas energéticas renovables en Colombia  
**Tabla 3.** Tendencias en Renovables: Tecnología y Políticas  
**Tabla 4.** Fuentes de información para las tendencias encontradas.  
**Tabla 5.** Fortalezas y oportunidades de las tecnologías de celdas solares.  
**Tabla 6.** Aspectos de costo y Beneficio de la DSR  
**Tabla 7.** Servicios Auxiliares de gestión de generación distribuida y DSR.  
**Tabla 8.** Características y desafíos de los medidores inteligentes  
**Tabla 9.** Sistemas de Información en el nuevo modelo del sector.  
**Tabla 10.** Mejores prácticas en políticas para renovables  
**Tabla 11.** Lista general de modelos de negocio para recursos distribuidos  
**Tabla 12.** Tendencias en el ámbito regulatorio  
**Tabla 13.** Tendencias complementarias para actores del sector  
**Tabla 14.** Clasificación de patentes para energía eólica y solar fotovoltaica  
**Tabla 15.** Resumen de políticas e instrumentos para promoción de renovables  
**Tabla 16.** Políticas energéticas recientes en Países seleccionados  
**Tabla 17.** Lista general de modelos de negocio para recursos distribuidos  
**Tabla 18.** Características de mecanismos financieros  
**Tabla 19.** Requerimiento de los interesados en la estandarización de renovables  
**Tabla 20.** Ventajas y desventajas de nuevos enfoques del riesgo del sistema  
**Tabla 21.** Mercados Intradiarios en Europa  
**Tabla 22.** Características y desafíos del mercado intradiario en España  
**Tabla 23.** Tendencias tecnológicas en celdas y paneles solares  
**Tabla 24.** Tecnologías actuales de celdas solares  
**Tabla 25.** Incertidumbre por intervalos de tiempo de la generación distribuida y la DSR.  
**Tabla 26.** Sistemas de gestión de energía que utilizan medidores inteligentes  
**Tabla 27.** Ficha de necesidades de vigilancia  
**Tabla 28.** Ecuación de búsqueda en bases de datos estructuradas  
**Tabla 29.** Ecuación de búsqueda en bases de datos de patentes  
**Tabla 30.** Bitácora de ecuaciones de búsqueda



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

# Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

## Presentación

Bogotá  
**Abril de 2018**

## Presentación

El Plan Energético Nacional 2050 (PEN 2050) se presentó en el 2015 como una base para la implementación de una política energética colombiana a largo plazo. En él se realiza una revisión de los cambios técnicos, de negocios, el aumento de la cobertura, la garantía del suministro, la diversificación de la canasta energética y el aumento de la competitividad como elementos modeladores del futuro energético del país. De igual manera se hace un análisis de la relación economía – energía en Colombia, se estudian las perspectivas del mercado de los hidrocarburos y se plantea un escenario energético base nacional a 2050 y cuatro escenarios alternativos.

Teniendo como foco el PEN, en el marco del proyecto Universidad Nacional - UPME para la “Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050”, se estructuraron un conjunto de ejercicios de vigilancia tecnológica para identificar las tendencias actuales asociadas con las variables principales que modelan los escenarios energéticos del PEN a 2050.

En consecuencia, el presente documento recoge los resultados del ejercicio de vigilancia en tecnologías emergentes y políticas para energías renovables, el cual se desarrolló motivado al carácter estructural y fundamental del marco regulatorio como instrumento para articular los objetivos de implementación de un escenario con alta penetración de tecnologías de alta dinámica de desarrollo para la producción de energía renovable, mediante la fijación de los términos legales, incentivos tributarios, esquemas de remuneración, participación de actores y mitigación de barreras de mercado. Lo cual deriva en la identificación de una necesidad permanente de vigilar las tendencias en esta temática.

Mediante las conclusiones del ejercicio, se espera contar con elementos para facilitar el monitoreo sistemático de los aspectos más relevantes en la dinámica energética del país de cara al 2050. Lo anterior representa una de las funciones principales del Observatorio de Energía que se plantea desde el proyecto para facilitar la toma de decisiones en materia de política energética.





GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

# Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

## 1. Resumen Ejecutivo

Bogotá  
**Abril de 2018**



## 1. Resumen Ejecutivo

A continuación, se presentan los resultados en términos de adopción, oportunidades y desafíos asociados a la política y el marco regulatorio, como elementos clave en el éxito de la transición energética, que responden a los factores claves de vigilancia relacionados con el cambio del modelo tecnológico de los sistemas eléctricos.

- La efectividad de las políticas energéticas para energías renovables alcanza un alto nivel de madurez en China, Alemania, Japón, Estados Unidos e Italia, considerados como los países líderes. Sin embargo, en estos mismos países el cambio del modelo tecnológico de generación convencional centralizada y demanda pasiva a **un modelo con generación renovable distribuida y demanda activa implica desafíos de integración mayores que los desafíos de promoción.**
- Es necesario preparar oportunamente la regulación del mercado para eliminar o mitigar las barreras no económicas ya que, al margen del mecanismo de remuneración, **factores como la pedagogía con el usuario, la capacitación y preparación de los profesionales del sector, los modelos de financiación y los aspectos ambientales y sociales, garantizan la efectividad de las políticas para renovables.**
- Bajo determinadas condiciones, los incentivos financieros para las renovables las hacen tan o más competitivas que las tecnologías convencionales. **En este aspecto se requiere complementar con incentivos que reduzcan los costos económicos** (fabricación de tecnología local, optimización operacional, barreras institucionales). Igualmente adoptar los nuevos modelos de gestión del riesgo y ampliar la capacidad de integración a la infraestructura de transmisión, evitando capacidad de generación renovable inoperante.
- **La regulación presenta tres etapas que relacionan la priorización de necesidades en función del tiempo: la iniciación, despegue y estabilización.** Las necesidades regulatorias (Bench-marking de políticas internacionales, Implementación y Precio de las tecnologías) presentan ciclos asociados a las etapas de la regulación, por lo que identificar periódicamente las necesidades regulatorias como función de la madurez de la regulación, se convierte en un factor de éxito.
- Un elemento fundamental para un país que promueva las energías renovables es **determinar el grado de efectividad de las políticas para renovables, mediante indicadores** como el nivel de impacto y remuneración, indicador de impacto de políticas, indicadores de suficiencia de remuneración e indicadores de costo total entre otros.
- En el ámbito internacional, en el último quinquenio según publicaciones de IRENA, **los esquemas e integración de criterios para la normalización y estandarización de las fuentes renovables de energía, se han promovido como herramienta para facilitar diversos aspectos. Entre tales aspectos se encuentran i) Política y regulación, ii) Organismos de estandarización, iii) Fabricantes e instaladores, iv) Inversionistas y apoyo fiscal, v) Verificación y auditoría y, vi) Usuarios de los bienes y servicios.** Se espera para inicios de 2018 contar con grupos de interesados bajo la sombrilla de la *"Global Solar Energy Standardization Initiative"* conjunta de IRENA y Terrawatt Initiative.
- En países de referencia como EEUU, Alemania, España donde **la participación de las energías renovables es significativa en la capacidad total instalada y/o en la participación en la demanda total atendida, aparecen actores de mercado que promueven el papel y beneficio de pequeños**

**agentes de generación.** Estas organizaciones son dirigidas por la comunidad o cooperativas de inversión en energía verde y se orientan a la democratización de la transición energética.

- Según el escenario "Nuevas Políticas" de la IEA, para el año 2040 se espera que las adiciones en capacidad de generación con fuentes renovables superen el 60% de la capacidad total global adicionada. Bajo este **escenario, existiría paridad de red entre la tecnología solar fotovoltaica y las tecnologías de combustibles fósiles.**

- En Colombia se presentan avances en algunas de las políticas y medidas para la promoción e integración de las renovables, pero **persiste el rezago en términos de acceso a la red de interconexión, aspectos socio ambientales así como de capacidades locales de financiamiento, capacidad técnica y estandarización.**

- **Los modelos de negocio asociados a la generación distribuida** requieren de esquemas regulatorios que se adapten a las necesidades y recursos disponibles en cada geografía. Sin embargo, **existen modelos de negocio genéricos sobre los cuales, a partir del flujo de energía, información y dinero entre los actores y fundamentado en un modelo base, se generan modelos de negocio adaptativos.**

- **Los agregadores son compañías que actúan como intermediarias entre el usuario final de la energía que dispone de recursos distribuidos de energía y aquellos participantes del sistema que deseen explotar esos servicios.** Fundamentados en los sistemas de energía, la gestión de la demanda y la infraestructura avanzada de medición, los agregadores de mercado representan una gran oportunidad para articular los pequeños actores con el mercado. Sin embargo, **los entes deben garantizar que los agregadores creen valor para el mercado en lugar de valor privado para una limitada parte de los participantes en la cadena.**

- **Los mercados intradiarios** son un mecanismo financiero adoptado en Europa que **mejora la posición de despacho de las fuentes de energía renovable variable (solar fotovoltaica y eólica), administra la demanda flexible, aprovecha las condiciones climáticas en tiempo real, y funciona como mitigador del riesgo para los esquemas tarifarios de renovables.** Este mecanismo presenta una gran oportunidad en términos de armonización de los mercados de corto plazo.

En cuanto al factor crítico de vigilancia sobre la dinámica de costos y desarrollo de las tecnologías emergentes para fuentes renovables no convencionales de energía, a continuación, se presentan los principales hallazgos y focos de atención.

- **Es necesario iniciar investigación y desarrollo en los efectos técnicos de los servicios auxiliares de las fuentes renovables para el sistema de potencia local** (regulación, balanceo, reserva rodante, entre otros). Los países que propenden por la integración de los recursos distribuidos de generación, cuentan con una alternativa eficiente y con potencial ahorro económico para optimizar la operación del sistema, siendo los agregadores de mercado y la gestión de la demanda, instrumentos clave para apoyar la implementación de estos servicios.

- Es importante alinear la investigación en el país con los esfuerzos globales de desarrollo de tecnologías para las fuentes de energía renovables no convencionales. Por ejemplo, **en el campo de la energía solar, los avances tecnológicos se centran en la investigación y desarrollo de materiales para la construcción de las celdas solares que permitan mejorar la eficiencia en la**

**transformación de la energía;** materiales como la Perovskita o materiales híbridos presentan el mayor potencial en este campo.

- **El uso de grandes volúmenes de información y alta capacidad de procesamiento, como el Big Data, favorecen la optimización del control de generación.** En grandes parques eólicos, al procesar en tiempo real las condiciones de viento, se optimiza el desempeño de las turbinas, se controla el ángulo de las aspas y se mejoran las condiciones de despacho de energía. En parques solares la adquisición y procesamiento de información de radiación permite mejorar los pronósticos de generación ante la variabilidad de la fuente.
- **La detección y el pronóstico de fallas son un factor crítico en los parques de generación eólica. Por ello existen oportunidades de desarrollo tecnológico e investigativo en dispositivos para medir magnitudes físicas en los componentes** de los aerogeneradores, construcción de modelos de predicción y esquemas de programación de mantenimientos. Lo anterior resulta importante especialmente en la generación eólica, debido a que estas máquinas rotativas presentan un desgaste muy superior a cualquier otra máquina en su tipo.
- **La dinámica de patentes asociada a fuentes renovables tiene una proporción directa con el nivel de madurez en políticas de promoción e integración de estas fuentes a la matriz energética de los países de referencia.** Esta tendencia se complementa con publicaciones que relacionan la promoción de la investigación, el desarrollo y la innovación como un incentivo de carácter no financiero fundamental para el éxito en la integración de las energías renovables al mercado de energía.

**Descriptores:** *Renewable Energy Resources, Wind Power, Solar Photovoltaic Power Generation, Smart metering, advanced metering infrastructure, Energy demand management, demand-side management (DSM), demand-side response (DSR), Energy demand management, energetic transition, smart grid, super grid, micro grid, Prosumers, system integration, levelised cost of energy, levelised cost of storage, community led organizations, green power investment cooperatives, investment in renewable energies, transactions in renewable energy, renewable portfolio standard, feed-in tariff scheme, Policy makers, regulation, regulatory framework, market barriers.*





GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

# Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

## 2. Introducción



Bogotá  
**Abril de 2018**

## 2. Introducción

Según cifras del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático<sup>1</sup>, la producción mundial de energía eléctrica y calor representa el 25% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2014), lo cual corresponde aproximadamente a 12.25 GTON equivalentes de dióxido de carbono. Por tanto, la generación de energía eléctrica a través de fuentes de energía libres de emisiones de gases de efecto invernadero (o de bajas emisiones) es una ruta crítica para mitigar los efectos potenciadores sobre el cambio climático.

Colombia, como firmante del acuerdo de París comparte “una visión a largo plazo sobre la importancia de hacer plenamente efectivos el desarrollo y la transferencia de tecnología para mejorar la resiliencia al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”(UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2015). En consecuencia, el país ha adoptado como meta unilateral e incondicionada el compromiso de “reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030” (Gobierno de Colombia, 2015).

El plan energético nacional 2050 y la Ley 1715 de 2014 articulan los aspectos de planeación a largo plazo y política nacional para alcanzar los objetivos energéticos mediante la integración al sistema energético nacional de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCR) y la eficiencia energética. Lo anterior representa implícitamente una transición del modelo tecnológico del sector eléctrico, desde el actual, basado en la producción de energía con fuentes térmicas e hídricas a gran escala centralizadas, transportas y distribuidas hacia los centro de consumo; hacia un modelo que implica fuentes alternativas (sol, viento, residuos sólidos, entre otros), de capacidad variada (generación distribuida, autogeneración, gran escala) y con participación activa de la demanda (eficiencia energética, prosumidores, gestión de la demanda). Esta situación demanda capacidades tecnológicas muy superiores a las actuales para lograr el éxito en el cumplimiento de los objetivos fijados.

Frente a este panorama, a continuación se presentan los aspectos claves identificados en términos de la dinámica tecnológica de las fuentes de generación de energía eléctrica libre o baja en emisiones de carbono, su competitividad en costos tanto de implementación como de servicio, y el marco regulatorio que permita al mercado interactuar de manera eficiente e incluyente con todos los actores involucrados, que obligue a configurar un ejercicio sistemático y permanente de vigilancia para proponer líneas de acción y desarrollo, para que Colombia logre la adopción y maduración del nuevo modelo tecnológico del sector eléctrico.

**Tema Principal:** Políticas, tecnologías y costos de las fuentes renovables de energía

**Ámbito de Aplicación:** Modelo tecnológico del sector eléctrico.

### 2.1 Objetivo principal del informe

Generar información referente al nuevo modelo tecnológico de producción y consumo de energía eléctrica, las nuevas tecnologías y los nuevos actores para facilitar la orientación de la política energética, el modelo de mercado energético y la regulación del sector para que con suficiente antelación se adopten las medidas necesarias para alinearse con los objetivos del plan energético nacional.

1. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 para que facilitara evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

## 2.2 Objetivos específicos del informe

Identificar y caracterizar las tecnologías emergentes con alta dinámica de innovación y desarrollo para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables no convencionales de energía solar fotovoltaica y eólica.

Identificar las tendencias en términos de costo de las tecnologías asociadas a las fuentes renovables no convencionales de generación de energía eléctrica y de la energía producida a través de ellas.

Identificar las dinámicas mundiales en términos de adopción de políticas para promoción e integración de nuevos actores para participar en el mercado eléctrico bajo los nuevos modelos tecnológicos que involucran las fuentes de energía renovables no convencionales.

## 2.3 Metodología <sup>2</sup>

La vigilancia, “es el esfuerzo sistemático y organizado por la empresa de observación, captación, análisis, difusión precisa y recuperación de información sobre los hechos del entorno económico, tecnológico, social o comercial, relevantes para la misma por poder implicar una oportunidad u amenaza para ésta”(Palop & Vicente, 1999) y tal como plantean Sánchez-Torres & Palop Marro (2002) es un proceso sostenido en el tiempo de carácter cíclico denominado Ciclo de Vigilancia Tecnológica.

Este ciclo inicia con la fase de identificación de necesidades, fuentes y medios de acceso de información con el fin de determinar qué información se necesita y cuales fuentes de información, recursos y tecnologías de información y comunicación hay disponibles en la organización (Arango Alzate, Tamayo Giraldo, & Fadul Barbosa, 2012), para este caso, se realizó con un experto un estudio de necesidades de inteligencia competitiva, de acuerdo con el modelo de Herring (Herring, 1999), a partir del cual se construyó una ficha de necesidades de vigilancia, que recibió validación por parte de la Unidad de planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía (En adelante UPME).

Posteriormente se realiza la fase de búsqueda y análisis de la información, considerando su pertinencia, calidad y fiabilidad; y que el sistema permita disponer de esta información en el momento oportuno para difundirlo dentro de la organización (Arango Alzate et al., 2012), para ello, se realizan dos clases de búsquedas, la primera en bases de datos No Estructuradas mediante el motor de búsqueda de Google principalmente para hallar los documentos tendenciales de las temáticas de interés, la segunda clase de búsqueda se realizó en la base de datos científica Scopus.

Posteriormente, se realizó la fase de análisis a partir de la información recolectada en la fase de la búsqueda, se realizaron procesos de lectura de primer y segundo nivel, filtrado y categorización de la información, análisis cuantitativo de las publicaciones, mediante el Software Mattheo Analyzer, y organización general de los resultados que responden a las cuestiones críticas de vigilancia identificadas en la ficha de necesidades.

Finalmente, se realiza la fase de inteligencia, la cual “consiste en el análisis de los impactos que la información, antes recolectada, puede tener sobre la estrategia de la empresa [de UPME para este caso]. Es decir, da el valor añadido a la información. Esta fase está íntimamente ligada con la etapa de análisis (Sánchez-Torres, 2017). El ciclo debe finalizar con la comunicación de los resultados de vigilancia a los entes decisores. El presente documento constituye esta etapa.

2. Para mayor detalle consultar el anexo 3. Marco Metodológico



## 2.4 Estructura del informe

Para orientar el contenido del informe se presenta una breve descripción de los capítulos donde se desarrolla el tema de estudio.

El capítulo tres consiste en una descripción básica de las fuentes renovables y las políticas para su integración a la matriz energética. Con el fin de orientar al lector no especializado con la temática, se muestran generalidades y cifras que facilitan la comprensión del contexto de la investigación y el entorno colombiano con respecto a la materia, para dimensionar el impacto de la transición del modelo tecnológico del sector eléctrico.

El cuarto capítulo se divide en dos partes. En la primera se presenta la información referente a las tecnologías emergentes en el campo de las fuentes renovables de energía, acotadas a las de naturaleza solar fotovoltaica y eólica. Esta información comprende no solo el proceso de transformación entre formas de energía, sino las tecnologías emergentes para control, medición, modelado de sistemas, participación de la demanda, entre otros aspectos claves en la integración de estas fuentes a la matriz energética.

De igual forma se realiza una descripción de los costos de implantación y producción de la energía eléctrica a partir de las fuentes renovables objeto de estudio, indicadores como el costo de inversión por unidad de potencia instalada y el costo nivelado de electricidad, buscan dar información clave respecto al proceso de maduración de estas tecnologías hasta el punto de alcanzar competitividad con las fuentes convencionales.

El cuarto capítulo presenta las tendencias generales a nivel de política y promoción de las fuentes renovables. Se describen los instrumentos de incentivos y los aspectos regulatorios y complementarios que tienen potencial impacto en el diseño de las políticas locales.

En el quinto capítulo, se presentan de manera general las tendencias más significativas de discusión e investigación sobre las temáticas tecnológicas y regulatorias identificadas en el capítulo anterior, se resalta principalmente la capacidad de investigación y desarrollo en los países líderes en la integración de fuentes renovables a su matriz energética<sup>3</sup>.

Un sexto capítulo, busca demostrar la relación directa que existe entre la producción de patentes y desarrollo tecnológico con las tendencias de costo y penetración de energías renovables. Para ello, se presentan resultados de producción general de grupos de patentes en un periodo de tiempo análogo con las adiciones de capacidad de generación renovable a nivel global y países de referencia.

El anexo No. 1 presenta detalladamente los hallazgos en términos de políticas para renovables con mayor detalle teórico y con la información que sirvió de base para la elaboración del capítulo 4 y el resumen ejecutivo.

El anexo No. 2 amplía la información obtenida tanto en bases de datos no estructuradas como estructuradas (producción científica, académica y gubernamental referente a las tecnologías emergentes para fuentes renovables convencionales de energía.

En el Anexo No. 3 se presenta la metodología que orientó el desarrollo del informe de vigilancia en tecnologías emergentes para fuentes renovables, dinámica de costos e instrumentos de política y promoción.

3. Todas estas temáticas precisan de ejercicios individuales, este ejercicio es general y descriptivo, para el caso de aspectos relacionados con el almacenamiento de energía, transmisión de grandes volúmenes de energía renovable, energía solar térmica y vehículos eléctricos se desarrollan ejercicios de vigilancia paralelos vinculados al mismo proyecto de establecimiento de un observatorio de energía para Colombia.

El Anexo No. 4 presenta la ficha de necesidades de vigilancia y el Anexo No. 5 las ecuaciones para la obtención de la información cuantitativa de la base de datos Scopus, en relación con los países líderes en integración de fuentes renovables, instituciones y autores de renombre en el área. Dichos resultados fueron indexados en las herramientas *Matheo Analyzer* y *Matheo Patent*.

En el anexo No. 6 se presentan los cuestionarios para identificación de factores clave de búsqueda. Finalmente, en el anexo 7 se listan los resultados obtenidos por ecuación de búsqueda en las bases de datos utilizadas.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

## Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

# 3. Integración de energías renovables al sistema energético



Bogotá  
Abril de 2018

### 3. Integración de energías renovables al sistema energético

Para identificar las tecnologías emergentes y las políticas asociadas al nuevo modelo del sector eléctrico, es necesario dar un contexto previo mediante la presentación de información básica y generalidades de las fuentes de energía renovables para la producción de energía eléctrica, enmarcado dentro del contexto local y las prioridades identificadas acorde con los escenarios energéticos que prevé el país para el año 2050.

Posteriormente se desarrolla un marco teórico de las principales políticas para promoción de las energías renovables dentro de la matriz energética, esta información es resultado de los hallazgos en búsquedas de bases de datos no estructuradas, con las cuales se identificaron las tendencias en cuantas tecnologías emergentes y dinámica de las políticas de promoción e integración de las fuentes renovables a los sistemas eléctricos y su impacto en el modelo tradicional del negocio. Esta información es insumo para los capítulos posteriores donde se sintetizan las tendencias, se realiza análisis cuantitativo y de patentes, con los principales hallazgos en bases de datos estructuradas. Información con la cual se realiza la fase de inteligencia con las tecnologías emergentes ya identificadas.

#### 3.1. Generalidades de las energías renovables

De acuerdo con el IPCC la energía renovable es "cualquier forma de energía a partir de fuentes solares, geofísicas o biológicas que se repone a través de procesos naturales en una tasa que es igual superior a su tasa de uso"(Edenhofer et al., 2011), para Colombia, la ley 1715 de 2014 define las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) como "aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializa ampliamente"(Congreso de Colombia, 2014).

La Organización de las Naciones Unidas define la sostenibilidad como la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987).

En el contexto colombiano se incluyen dentro de las fuentes no convencionales de energía:

- Energía de la Biomasa: A partir de la degradación espontánea o inducida de materia orgánica.
- Energía de los mares: A partir de las mareas, oleaje, corrientes marinas, gradientes térmicos entre otros.
- Energía de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos: A partir de los cuerpos de agua a pequeña escala.
- Energía Eólica: A partir del movimiento de las masas de aire.
- Energía Geotérmica: A partir del calor que subyace en el suelo terrestre.
- Energía Solar: A partir de la radiación electromagnética proveniente del sol.

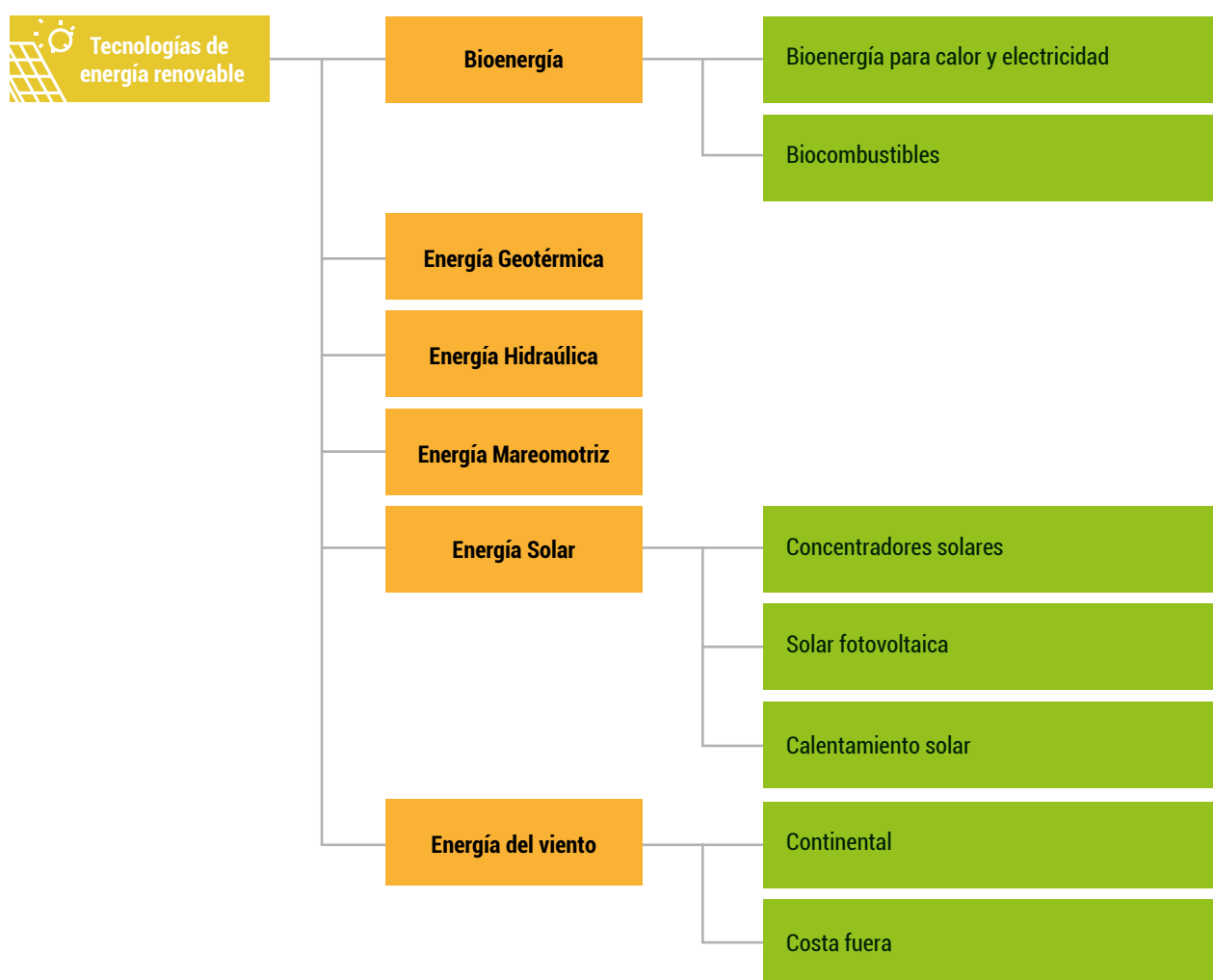
En la **ilustración 1** se muestra un árbol temático de la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), donde se sintetizan las fuentes y las tecnologías clasificadas internacionalmente como renovables no convencionales. Sin embargo, es preciso realizar la salvedad, que dentro de las definiciones para Colombia la energía eléctrica producida a través de energía hidráulica, sólo se considera no convencional cuando se realiza a pequeña escala.



De acuerdo con el Plan Energético Nacional Ideario 2050 las energías solar y eólica en Colombia tienen una participación marginal en la canasta de generación eléctrica [...], ante esta situación la ley 1715 de 2014 busca promover la inclusión de este tipo de tecnologías (Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2015), como resultado de ello, de acuerdo con UPME, a Febrero de 2018, se tenían registrados proyectos por un total de 2075 MW para generación eólica y 3755MW para generación solar fotovoltaica (Sistema de Información eléctrico Colombiano, 2018).

Como señales adicionales de la relevancia actual de estas tecnologías se inauguró en Septiembre de 2017 la primera planta solar fotovoltaica de capacidad instalada significativa: 9.8MW (Celsia, s/f), y la UPME adjudicó en Febrero de 2018 la convocatoria 06-2017 para el desarrollo del primer proyecto de transmisión de energía en alta tensión en corriente continua (HVDC por sus siglas en Inglés) para la evacuación de gran capacidad de energía eólica (Grupo Energía Bogotá, 2018).

**Ilustración 1.** Árbol temático de las tecnologías de energía renovable.

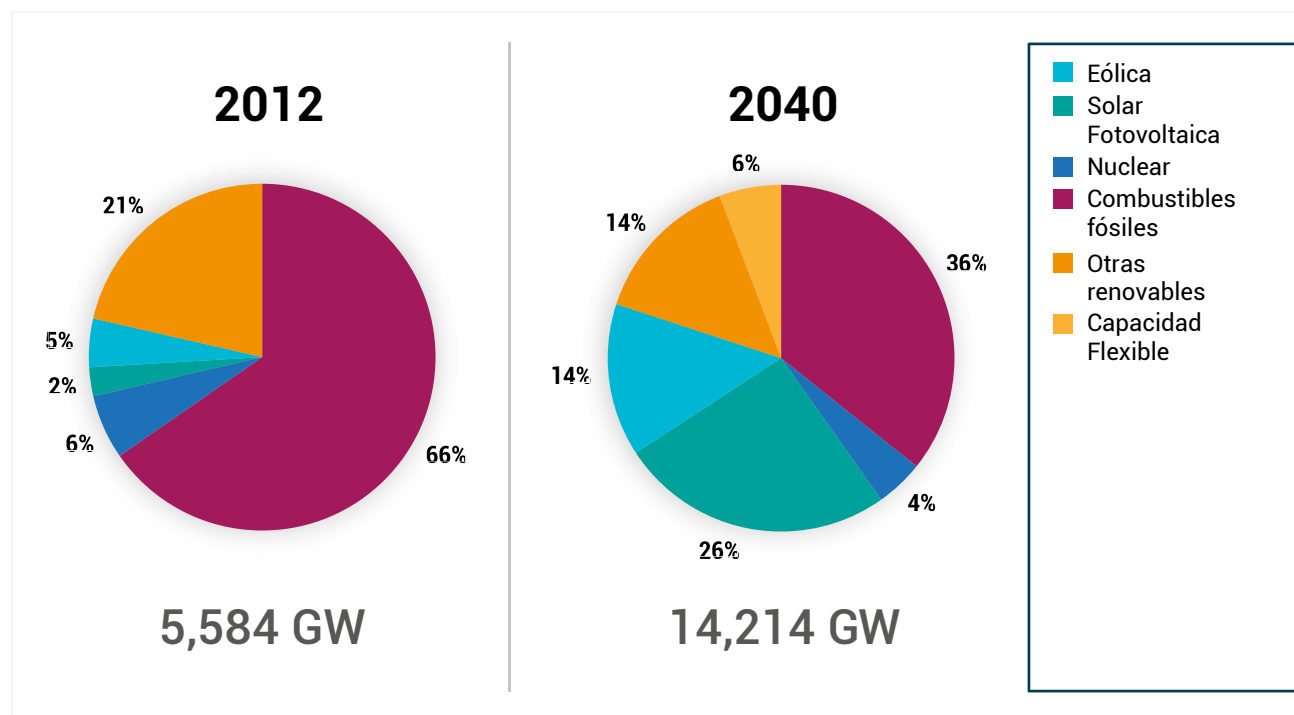


**Fuente.** Traducción libre de (IEA, 2011)

El vertiginoso avance tecnológico de los últimos años en tecnología solar fotovoltaica y eólica ha facilitado la implantación y masificación de plantas de generación renovable. Según información de REN21 (2017b) la capacidad instalada de generación renovable (excluyendo generación hidráulica de gran capacidad) pasó de 160GW en 2004 a 785GW en 2015, particularmente para la energía eólica en el mismo periodo el cambio de la capacidad instalada fue de 48GW a 433GW, y de 2GW a 227GW para el caso de la energía solar fotovoltaica.

Así mismo el costo de instalación de capacidad y de generación de energía ha pasado a valores altamente competitivos con respecto a las fuentes convencionales de generación como térmica e hidráulica a gran escala (Instituto Tecnológico de Massachusetts, 2017). La siguiente gráfica elaborada con información de KMPG, ilustra la adición de capacidad mundial en generación de energía eléctrica en 2012 contra la proyección de Bloomberg Energy Finance en el año 2040.

**Ilustración 2.** Capacidad adicional de energía eléctrica 2012 y proyectada a 2040



**Fuente:** Traducción libre de KPMG (2016)

### 3.2. Políticas para el cambio de modelo tecnológico de energías convencionales a renovables.

Las funciones tradicionales de la política energética y la regulación son asegurar el acceso adecuado y suministro confiable, protección al usuario de precios altos, y asegurar que las entidades del sector privado estén en la capacidad de recuperar su inversión. Una cuarta meta, disminuir impacto ambiental, es frecuentemente agregada. Estas metas algunas veces están en conflicto entre sí. El acceso mejorado a energía confiable, segura, accesible, amigable con el ambiente y sostenible puede representar un desafío formidable. (Meier, Vagliasindi, & Imran, 2014)

Las políticas gubernamentales juegan un rol crucial en la aceleración del despliegue o implantación de las tecnologías de energía renovable; el acceso a la energía y el desarrollo socioeconómico han sido los principales propulsores del cambio en los países en desarrollo.



Mientras que en los países desarrollados, ha sido la seguridad energética y los asuntos ambientales, dichas políticas abarcan desde una concentración principalmente en electricidad a partir de fuentes renovables hasta la inclusión de energía renovable para refrigeración y transporte (Meier et al., 2014). La tabla 1 resume estas políticas.

**Tabla 1.** Lista general de medidas y políticas energéticas renovables

Política Nacional	Instrumento Regulatorio	Incentivo Fiscal	Acceso a la red	Acceso a la financiación	Beneficio Socioeconómico
Objetivo de energía renovable	-Feed-in tariff	Exención de IVA o impuesto al ingreso	Excepción o descuento por uso de la transmisión	Cobertura Monetaria	Electrificación rural, cambio cocción tradicional
	-Feed-in Premium				
Ley/Estrategia para renovables	Subastas	Beneficio fiscal de aranceles	Transmisión dedicada o priorizada	Fondos dedicados	Requisitos con contenido local (tecnología nacional)
Ley/Programa específico de tecnología	Cuota	Exención de impuestos locales	Acceso a la red de distribución	Fondos elegibles	Regulaciones ambientales especiales
	Sistema de Certificados	Impuesto al carbono	Despacho preferencial	Garantías	Políticas de agua y alimentación vinculadas
	Medición Neta	Depreciación acelerada	Otros beneficios en la red	Apoyo pre-inversión	Requerimientos sociales
	Mandato	Otros beneficios fiscales		Fondos directos	

**Fuente:** (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017)

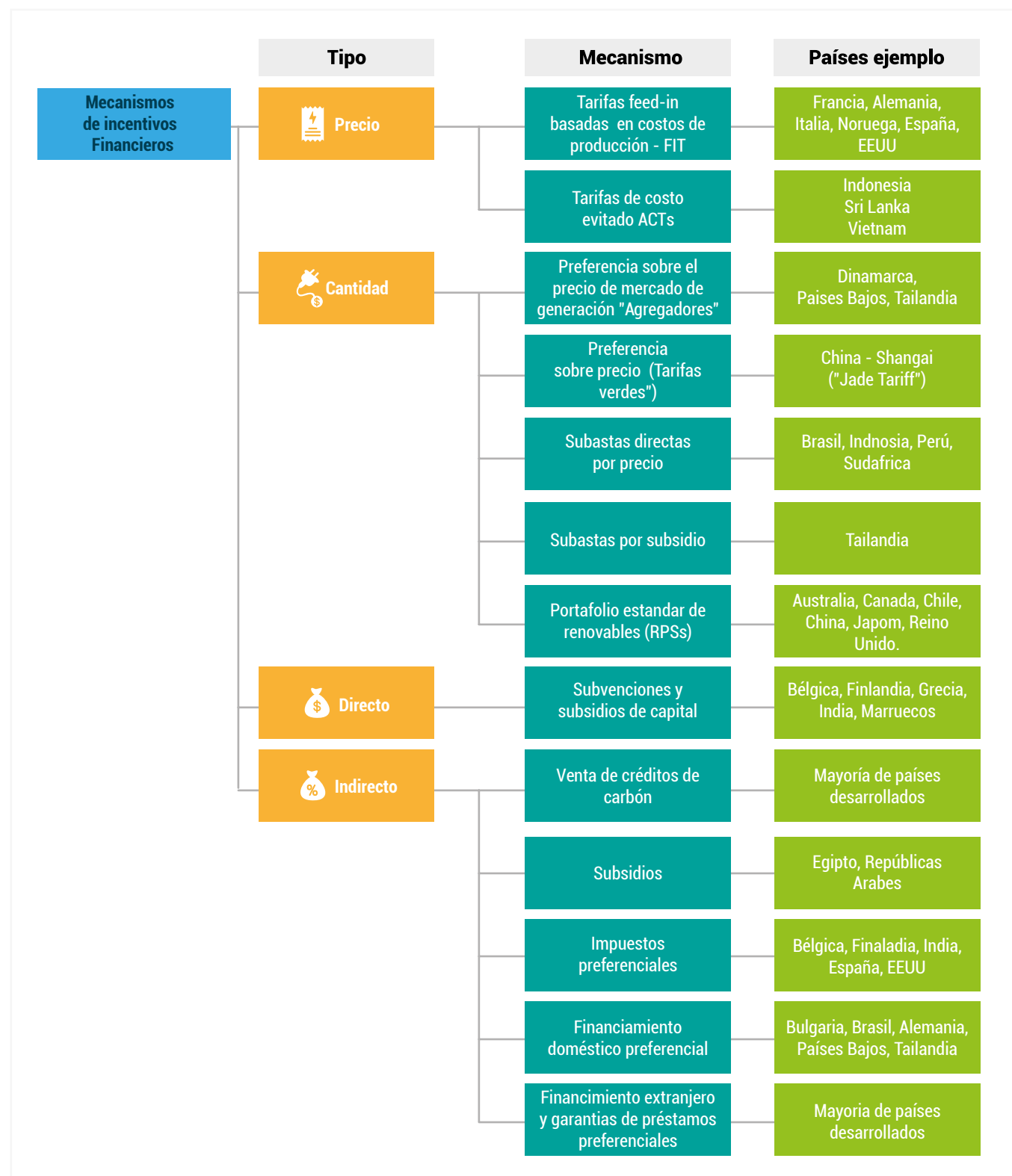
### 3.2.1. Políticas a nivel internacional.

La generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables no convencionales a nivel internacional, se estructura en la creación de mecanismos de incentivos fiscales. En la ilustración 3, con base en el World Bank, se agrupan los diferentes mecanismos de incentivos, de acuerdo con el tipo de generalización, responsable del cargo y país que ha implementado esta política.

Sin embargo, esta estructura de promoción e integración debe acompañarse de medidas complementarias, en términos de financiamiento de los altos costos de capital iniciales,

factores de gobernanza, alianzas público privadas y capacidad de integración al sistema de transmisión, entre otros. Medidas complementarias que evitan atrasos constructivos debido a los atrasos por causa de incertidumbres regulatorias, y atrasos por acceso a la infraestructura de transmisión (Meier et al, 2014).

Estudios recientes del sector privado han determinado importantes conclusiones acerca de la efectividad de los mecanismos por incentivos, entre estas, se determinó que las tarifas feed-in (FIT) son hasta 4 veces más probables de atraer inversión privada en energía renovable, lo que resulta en cerca de 7 veces inversión total que aquellos países donde aun no se introducen mecanismo como este (Vagliasindi, 2012).

**Ilustración 3.** Árbol temático de las políticas para energías renovables

**Fuente:** Elaborado a partir de (Meier et al., 2014)

### 3.2.2. Política Nacional

Colombia como firmante del acuerdo de París comparte “una visión a largo plazo sobre la importancia de hacer plenamente efectivos el desarrollo y la transferencia de tecnología para mejorar la resiliencia al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”(UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2015), y ha adoptado como meta unilateral e incondicionada el compromiso de “reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030”(Gobierno de Colombia, 2015).

La Ley 1715 de 2014 es parte fundamental de la política nacional para alcanzar las metas del acuerdo de París, mediante la promoción e integración de energías renovables no convencionales y la eficiencia energética, con el fin de apoyar y fortalecer el abastecimiento a la demanda nacional de energía, enmarcado en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, de tal manera que el consumo de energía eléctrica sea sostenible económica y ambientalmente (Quitian & Escobar, 2015).

La reglamentación de esta ley actualmente puede resumirse como se presenta en la tabla

**Tabla 2.** Lista general de medidas y políticas energéticas renovables en Colombia

Política Nacional	Instrumento Regulatorio	Incentivo Fiscal	Acceso a la red	Acceso a la financiación	Beneficio Socioeconómico
Ley/Estrategia para renovables	En definición	Exención de IVA o impuesto al ingreso	Acceso a la red de distribución	Fondos dedicados (FENOGE)	Electrificación rural, cambio cocción tradicional
		Beneficio fiscal de aranceles	Otros beneficios en la red (beneficio por medición bidireccional)		Revisión expédita de permisos ambientales
		Exención de impuestos locales			
		Depreciación acelerada Depreciación acelerada			

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la tabla 1.  
(International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017)

Esta información esta ampliada y detallada en el Anexo A1.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

## Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

# 4. Tendencias asociadas al cambio de modelo tecnológico.



Bogotá  
Abril de 2018



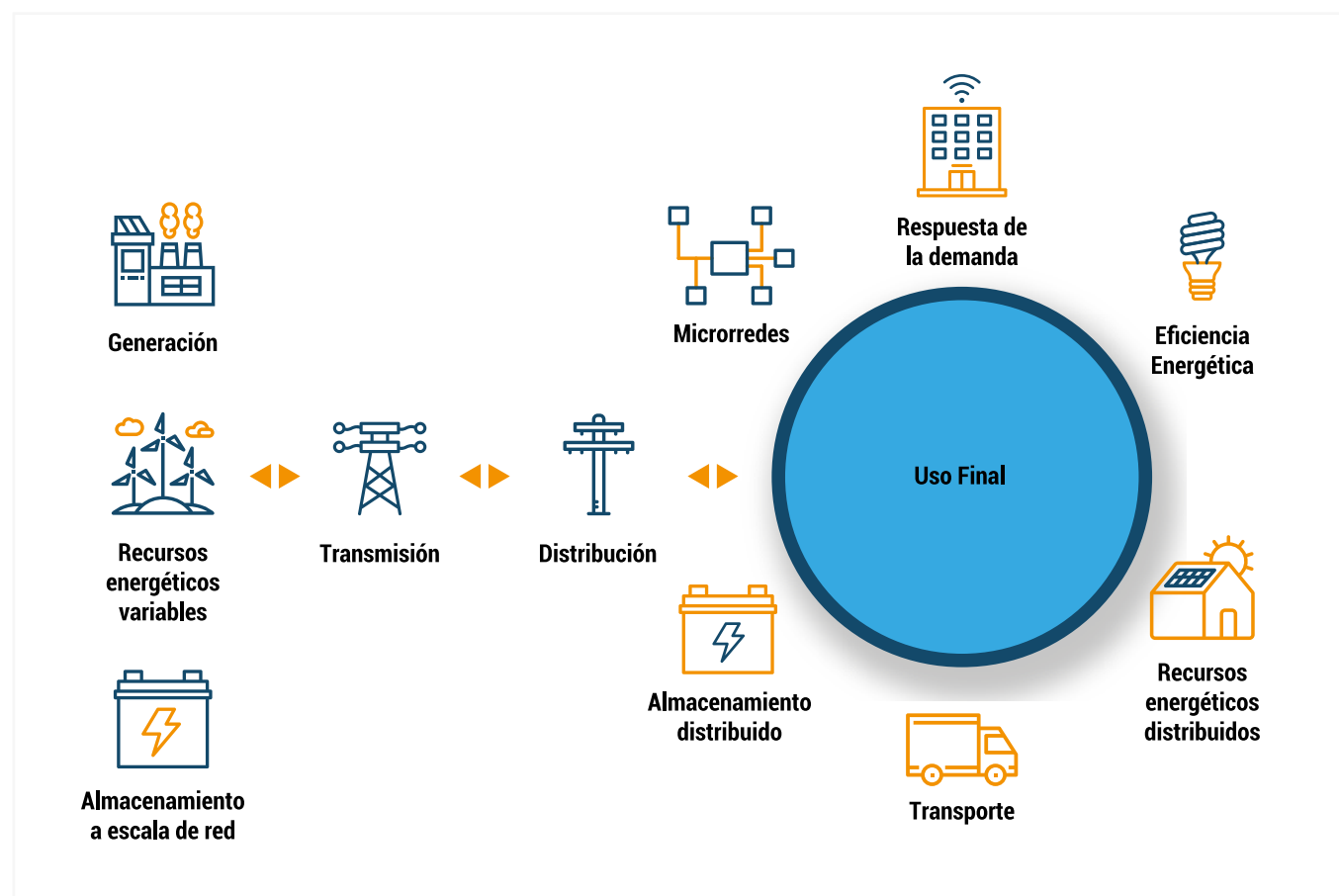
## 4. Tendencias asociadas al cambio de modelo tecnológico.

En el presente capítulo se presentan los hallazgos sobre la revisión de las tendencias emergentes en función de los referentes institucionales y bibliográficos. Posteriormente, se documentan las políticas y su dinámica actual en términos de oportunidades de mejora y nuevos instrumentos. Tradicionalmente, la transmisión y la distribución se han encargado de conectar la generación (en gran volumen y distanciada del centro de consumo) con la demanda. En las pasadas décadas las grandes disrupciones se presentaban en términos de reducción de costo e incrementos de eficiencia. Con la fijación de los objetivos internacionales de desarrollo sostenible, el avance tecnológico de la generación limpia de energía, en diversas escalas, es el motor para el cambio del paradigma en los sistemas eléctricos.

El cambio de la red eléctrica pasando de ser un elemento pasivo a un elemento activo del sistema, genera nuevos productos, servicios y mercados, facilitando la conexión con alta eficiencia de los centros de suministro con altos recursos con los sitios de demanda, y permitiendo la interacción de los recursos de generación distribuida y las tecnologías de uso final (La ilustración 4 presenta este nuevo esquema).

La consecuente integración de tecnologías de generación al sistema, (distribuidas y centralizadas), sectores (transporte, edificios e industria) y medios (electricidad, datos, calentamiento), conlleva sinergias o cambios de paradigmas que minimizan los costos y los impactos ambientales mientras maximiza la confiabilidad, resiliencia y estabilidad del sistema (IEA International Energy Agency, 2013).



**Ilustración 4.** Cadena Eléctrica del siglo 21, Flujo de 2 vías

**Fuente:** (Department of Energy, 2017)

A partir de los resultados de la búsqueda de información en bases de datos No Estructuradas, se elaboró la Tabla 3, en esta se relacionan las tendencias asociadas al cambio de modelo tecnológico, en función de lo identificado por las principales autoridades mundiales en la materia. En esta tabla se relaciona el numeral del presente documento donde se desarrolla la tendencia emergente o política. Las instituciones relacionadas están referenciadas en cada sección y en la respectiva lista de referencias.

**Tabla 3.** Tendencias en Renovables: Tecnología y Políticas

	ÁREA / SECCIÓN / CONCEPTO	IRENA	REN 21	IEA	WEC	REA (KMPG)	BLOOMBERG ENERGY FINANCE	BRITISH PETROLEUM	US -DEPT DE ENERGIA	SOLAR POWER EUROPE	EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL	EUROPEAN WIND ENERGY ASSOS.	COMENTARIO
Pequeña Escala	Costo y Eficiencia de paneles fotovoltaicos (PV)	•	•	•	•	•	•	•		•	•		
	Sistemas de Almacenamiento de Energía (ESS)	•	•	•	•	•	•						-1
	Gestión de la demanda (DSP)	•	•	•		•	•	•	•	•			
	Agregadores de Mercado					•							
	Servicios auxiliares para el sistema		•			•	•	•	•		•	•	
	Infraestructura avanzada de Medición (AMI)				•	•							
	Generación Distribuida	•	•			•							-2
	Vehículos eléctricos (EV)	•	•	•		•	•	•					-3
	Efectividad de Costo generación	•	•	•	•	•	•	•			•	•	
	Flexibilidad del Sistema		•			•	•		•	•		•	
Gran Escala	Efectividad en el despacho					•			•			•	
	Integración del sistema		•						•		•		-4
	Reforzamiento de la interconexión		•								•		-4
	Sistema Avanzados de Información								•				
	Cambios rápidos del mercado	•		•	•		•	•			•		
	Modelos de negocio y de red	•	•	•	•		•	•	•	•		•	
	Costo nivelado de la electricidad	•		•			•						
	Subsidios para energía renovable	•			•		•					•	
	Mecanismos Financieros	•		•						•			
	Estandarización	•	•			•				•	•		
Políticas	Distribución del riesgo		•				•			•			
	Mercados intradiarios										•	•	

**Fuente:** Elaboración Propia con base en las referencias de la tabla 3.

**Para un mejor entendimiento se presentan a continuación los comentarios a la tabla 3.**

- (1) Los sistemas de almacenamiento de energía son una gran temática en la actualidad, para generación distribuida, vehículos eléctricos y a gran escala, por tanto se realizan ejercicios paralelos donde se abordan en detalle.
- (2) La generación distribuida es una temática que obliga a estudios detallados fuera del alcance del presente documento, sin embargo se entiende que esta temática es transversal a la mayoría de las tendencias emergentes y políticas tratadas en el documento.
- (3) Un ejercicio paralelo para vehículos eléctrico fue desarrollado dentro del Observatorio de energía, tratando aspectos de almacenamiento, infraestructura de carga y programas de masificación de uso.
- (4) Un ejercicio paralelo para evacuación e interconexión de líneas de transmisión de energía fue desarrollado dentro del observatorio de energía, tratando aspectos de tecnologías, tipos y tendencias de uso en países de referencia.

**Tabla 4.** Fuentes de información para las tendencias encontradas.

Fuente	Documento	Año
International Renewable Energy Agency (IRENA)	Rethinking Energy	2017
Global renewable energy policy network (REN 21)	Renewable Global Status Report	2018
International Energy Agency (IEA)	World Energy Outlook	2017
World Energy Council (WEC)	World Energy Trilemma	2016
Renewable Energy Association REA	Renewable Energy View	2016
Bloomberg energy finance	New Energy Outlook	2017
British petroleum	Energy Outlook	2017
US – Department of Energy	Transforming the nation electricity system	2017
Solar power Europe	EU policy advisory paper	2017
European renewable energy council	Rethinking 2050	2010
European wind energy association (EWEC)	Meeting the 2030 renewable energy objective	2014

**Fuente:** Elaboración propia

Aunque las tendencias son más amplias que las presentadas, se ha tenido en cuenta para la elaboración de los siguientes apartados, tanto los restrictores definidos en la ficha de necesidades de vigilancia, como los aspectos que están más relacionados con los escenarios planteados por la UPME en el PEN 2050.

#### 4.1. Tendencias de desarrollo tecnológico para renovables:

##### 4.1.1. Tendencias de costo y eficiencia en tecnología solar fotovoltaica

En términos de eficiencia se identifica la tendencia investigativa hacia la optimización de las tecnologías dominantes del mercado como de promover el uso de nuevos materiales cuyas propiedades pueden ser disruptivas en términos de eficiencia. La tabla 5 permite identificar de manera resumida estas tendencias, (MIT, 2015) y (Kalkman, Merhaba, Bose, & Bradley, 2015) coinciden con parte de estas tendencias pero se presenta la investigación de (Polman, Knight, Garnett, Ehrler, & Sinke, 2016) por ser la mas completa:

**Tabla 5.** Fortalezas y oportunidades de las tecnologías de celdas solares.

Material	Eficiencia (%)		Fortalezas y opciones	Investigación y desarrollo
	Celda	Módulo		
Tecnologías maduras implementadas a gran escala				
Silicio Monocristalino	25.6 2	2.4	Material abundante; mas de 25 años de desarrollo	Reducción pérdidas; Nuevos esquemas de metalización; Mejorar diseños
Silicio Policristalino	21.3 1	8.5	Material abundante; mas de 25 años de desarrollo	Mejorar la calidad de oblea
CIGS	21.7 1	7.5	Substratos flexibles	Mejorar manejo de la luz; Incremento de eficiencias para gaps entre bandas; reducción pérdidas
CdTe	21.5 1	8.6	Substratos flexibles; menor tiempo de retorno de inversión.	Reducir espesor celdas; reducción de pérdidas
Tecnologías emergente implementadas a pequeña escala				
Sensibilizada por colorante TiO2	11.9 1	0	Colores ajustables	Mejora oxidación-reducción; reducción pérdidas, incremento estabilidad
Película delgada de Silicio	11.4 1	2.2	Módulos flexibles;	Reducción de pérdidas de recombinación; mejorar manejo de la luz
Orgánica	11.5 9	.5	Módulos flexibles;	Reducción de pérdidas de recombinación; mejorar manejo de la luz
Tecnología en proceso de fabricación				
Galio Arseniuro de Galio	28.8 2	4.1	Módulos flexibles y semitransparentes	Mejorar manejo de la luz; desarrollo de multijunción de película delgada
Tecnología en desarrollo				
Perovskita	21 n	.a.	Módulos flexibles	Reducción de pérdidas de recombinación; reducción pérdidas; incremento estabilidad, tándem de perovskita
Kesterita (CZTS)	12.6 n	.a.	Módulos flexibles	Mejorar manejo de la luz; reducción pérdidas;
Puntos Cuanticos	9.9	n.a.	Módulos flexibles	Mejorar manejo de la luz; reducción pérdidas;

**Fuente:** Traducción libre de (Polman et al., 2016), validado con (MIT, 2015) y con (Kalkman et al., 2015)

Así mismo, la tendencia a reducción de costos ha sido continua en los últimos años, lo que supone un comportamiento similar para la próxima década; teniendo en cuenta los escenarios futuros propuestos por la IEA (2050 Bluemap y 2050 Roadmap), entre los años 2028 y 2040 se lograría paridad de red con respecto a plantas térmicas con precios de emisión de carbono entre 25 y 50 USD/Ton de CO<sub>2</sub>; es decir con valores de entre 8 y 15 centavos de Dólar por KWh generado (Hernández-Moro & Martínez-Duart, 2013).

Bajo este panorama es importante alinear la investigación y desarrollo local con los esfuerzos globales en términos de mejoras de eficiencia, nuevos materiales y producción a gran escala, lo que se traduce en reducción de costos de los paneles.

#### **4.1.2. Gestión de la demanda**

Se ha identificado alta producción científica en términos de modelos de gestión de la demanda (DSR por sus siglas en inglés), la cual, según lo definido por Pilo, Pisano y Soma (2009), es un sistema avanzado de gestión de la distribución de la energía eléctrica, capaz de gestionar activamente una red de distribución de manera económica y segura.

La DSR permite optimizar los flujos de potencia en la red, regular los perfiles de tensión, actuar en los flujos reactivos, en los cambiadores de tomas de los transformadores, minimizar las pérdidas de energía, reconfigurar la red, aprovechar los dispositivos de almacenamiento y las cargas con respuesta de una manera integral (Pilo, Pisano, & Soma, 2009). La tabla 6 relaciona los elementos constitutivos de beneficio y de costo en la implementación de un sistema de gestión de la demanda.



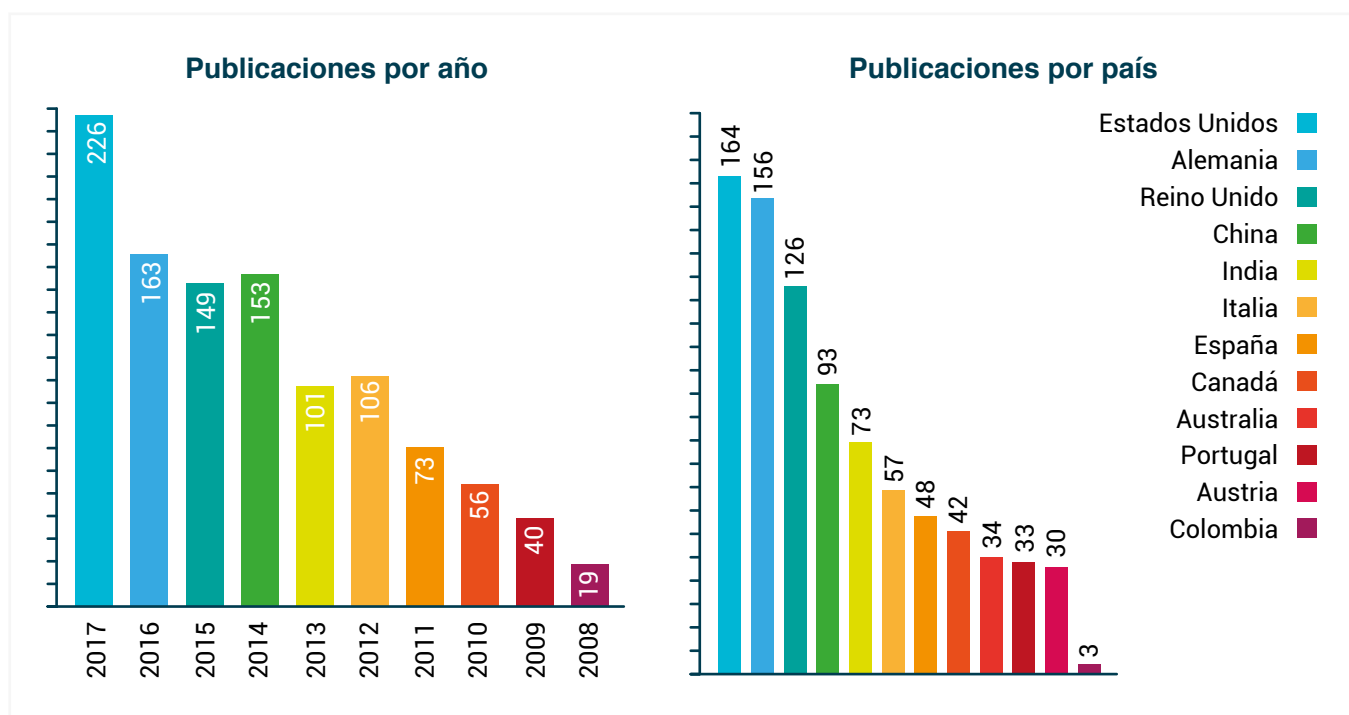
**Tabla 6.** Aspectos de costo y Beneficio de la DSR

Tipo	Aspecto	Descripción
Beneficio	Económicos	Descuentos en la factura de energía eléctrica contra el cumplimiento del cambio de patrones de consumo contratados.
	Reducción de precio	El precio de mercado disminuye con la reducción del consumo y la consecuente reducción en uso de plantas de generación más costosas.
	Riesgo y confiabilidad	La respuesta de la demanda puede llegar a ser más satisfactoria que la de recursos convencionales ante necesidades de regulación de tensión, respuesta en frecuencia, reserva rodante y reserva suplementaria.
	Eficiencia del mercado	El concepto de gran respuesta de la demanda, permite mayor transparencia para los involucrados en el mercado, favoreciendo el monitoreo y la respuesta entre ellos
	Costos del sistema	Efectos directos en la reducción de requisitos en horas pico, reducción de los costos de capital y operación de T&D y distribución, entre otras.
	Servicio al cliente	La elección del cliente para utilizar la proporción de energía eléctrica a su libre escogencia.
	Ambiental	La gestión de la demanda motiva la penetración de las energías renovables, consecuentemente se reducen las emisiones de GEI.
Costo	Capital	Medidores inteligentes
		Infraestructura de comunicación
		Termostatos (consumo de energía eléctrica para climatización)
		Control de cargas pico
		Sistemas de gestión de energía (EMSs)
	Operación	Operación del sistema
		Mantenimiento
		Pedagogía y capacitación

**Fuente:** Elaborado a partir de (Aghaei & Alizadeh, 2013)

En Colombia es importante iniciar la investigación y documentación de esta tecnología, ya que existe un rezago en términos de documentación, adopción e implementación de tecnologías para la DSR respecto a los países líderes en publicaciones (Estados Unidos, el Reino Unido y Alemania).

Se ha identificado una tendencia creciente en la última década y particularmente en el 2017, en términos de publicaciones científicas en cuanto a DRS. Dicha tendencia se presenta en la ilustración 5 y se amplía en el capítulo de análisis científico.

**Ilustración 5.** Tendencia de publicación científica, por año y país, para DSR.

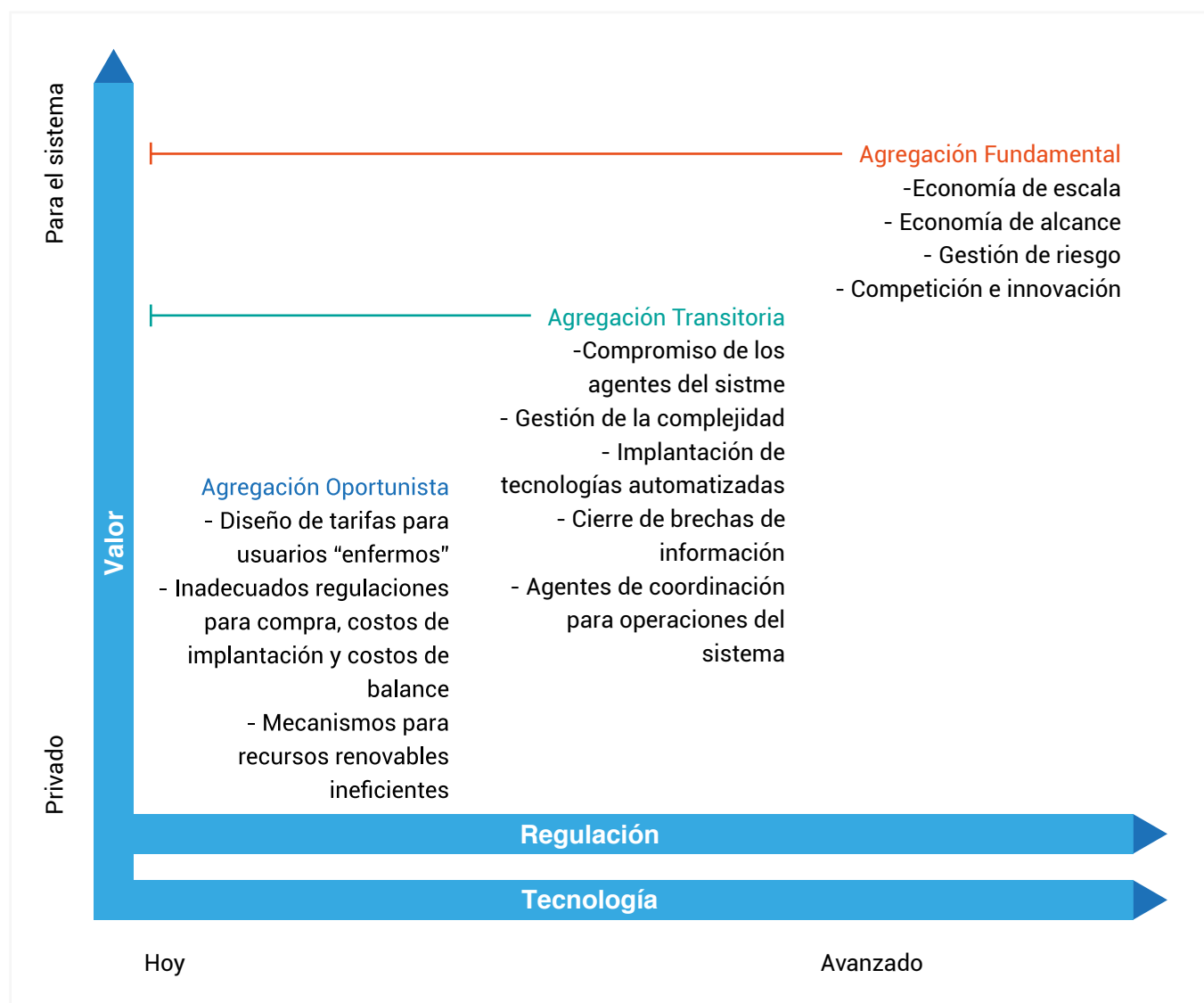
**Fuente:** Autor con información de Scopus y tratamiento con Matheo Analyzer

#### 4.1.3. Agregadores de mercado

La aparición de nuevos actores en el mercado eléctrico, particularmente de menor tamaño y poder, conlleva a la necesidad de integración y representación ante los grandes actores, para poder participar de manera significativa en el mercado con la oferta de la producción de energía y/o servicios para el sistema.

Un agregador de mercado es una compañía que actúa como intermediario entre los usuarios finales de la electricidad, quienes suministran recursos distribuidos de energía (DER por sus siglas en Inglés), y aquellos participantes del sistema de potencia que deseen explotar esos servicios (Ikäheimo, Evens, & Kärkkäinen, 2010), este a su vez puede tener varias calificaciones, según su identidad, según sus clientes o según los servicios ofrecidos.

Se han identificado estudios que alertan sobre el papel que juegan estos intermediarios en el sentido del valor generado para el sistema. Donde la tecnología y la regulación son incipientes, estos actores crean valor para actores privados y obtienen beneficio a partir de los vacíos regulatorios, mientras que en mercados maduros en términos de tecnología y regulación, se genera valor para el sistema. En la ilustración 6 se muestra gráficamente esta relación entre madurez y valor generado.

**Ilustración 6.** Valor de agregadores basado en el contexto regulatorio y tecnológico.

**Fuente:** Traducción libre de (S. Burger, Chaves-Ávila, Batlle, & Pérez-Arriaga, 2016)

Como resultado de esta investigación se identifica que Colombia requiere de anticipar la regulación y la evolución de las tecnologías a la aparición de nuevos actores en el mercado, en particular de los agregadores. Esta anticipación facilitará la creación de valor para el sistema que acompañe el desarrollo e implementación de las energías renovables y la generación distribuida.

#### 4.1.4. Servicios auxiliares para el sistema

Es crucial la preparación del sistema de potencia en términos de confiabilidad para la integración de las energías renovables. La gestión de demanda opera como instrumento para contrarrestar la incertidumbre que las fuentes de energía variables suponen mediante la prestación de servicios auxiliares del sistema (Aghaei & Alizadeh, 2013). A continuación la tabla 7 describe de manera general los servicios auxiliares para el sistema:

**Tabla 7.** Servicios Auxiliares de gestión de generación distribuida y DSR.

Servicio Auxiliar D	Descripción
Reserva Rodante	Parte de la capacidad sin carga, de unidades sincronizadas con la red que pueden suministrar energía en 10 minutos y operar hasta por 2 horas.
Reserva Suplementaria	Reserva adicional a la capacidad de generación que no está sincronizada o conectada con la red, pero con la capacidad de operar en 10 minutos
Regulación	Medio de control de la frecuencia del sistema, responden al control automático de generación para graduar por encima o por debajo sus niveles de operación.
Máxima rampa continua	Es la cantidad de potencia por la cual la carga neta (Carga – Energía Solar/Energía Eólica) se espera que aumente o disminuya en un mes dado.
Seguimiento de carga	Es la capacidad en rampa de un recurso de alcanzar la potencia máxima a la cual una carga cambia en una hora de un mes.

**Fuente:** Adaptado de (Aghaei & Alizadeh, 2013)

Se han identificado estudios sobre gestión de la demanda orientada a recopilar los principales aspectos regulatorios y publicaciones relacionadas con los servicios, para la integración de la generación convencional con los recursos renovables.

En Colombia las restricciones operativas que genera la integración de las fuentes renovables al sistema de potencia ya son objeto de estudio, particularmente las restricciones de inercia del sistema y de nivel de corto circuito en el punto de instalación (XM, 2017). Por tanto es fundamental ahondar en la investigación en términos de los servicios para el sistema, para operar con las condiciones necesarias en términos de seguridad y calidad.

#### 4.1.5. Infraestructura avanzada de medición

Como resultado del cambio de una demanda pasiva a una demanda activa, se han intensificado los requerimientos para el intercambio de información entre los diferentes actores del sistema. Estos requerimientos de información abarcan aspectos más allá de los perfiles de consumo de energía, pues implica el intercambio de grandes volúmenes de información, operación bajo diferentes esquemas tarifarios y alta capacidad de comunicación e integración entre otras.

Estos requerimientos han derivado en la siguiente generación de sistemas de medición de energía (Sistemas de medición inteligente o AMI por sus siglas en inglés). Los cuales con la integración de computación avanzada y tecnologías de comunicación mejoran la eficiencia y la confiabilidad de los sistemas de potencia del futuro con las fuentes renovables de energía, la inteligencia distribuida y la gestión de la demanda (Sharma & Mohan Saini, 2015).

Este nuevo mercado naturalmente demanda estandarización, especificación y certificación en las fronteras comerciales<sup>4</sup>.

Sin embargo, las tendencias de desarrollo e investigación, se encaminan hacia las características y desafíos que tienen los medidores inteligentes en términos de seguridad de la información y protección del usuario, los cuales se resumen en la tabla 8.

**Tabla 7.** Servicios Auxiliares de gestión de generación distribuida y DSR.

Medidores Inteligentes	
Características	Desafíos
i. Altamente integrados, costo razonable, diseño seguro	i. Protección contra ataques físicos y alteración de contenido de la memoria
ii. Tarifa flexible entre semana y fines de semana	ii. Exposición a la clonación del software
iii. Soporte en tiempo real, supervisión y comunicación basada en SCADA y unidades de medida fasorial (P.M.U.)	iii. Irrupción en la interface de comunicación
iv. Soportan gestión de la demanda y mediciones de calidad de energía para los consumidores	iv. Ataques cibernéticos: integridad de los datos, negación de los servicios (excesos innecesarios de energía solicitados), Hombre en el medio (Entidad falsa entre la comunicación del consumidor y el operador de la red de distribución)
v. Soportan sistema de seguridad en la información y privacidad del cliente	

**Fuente:** Adaptado de (Aghaei & Alizadeh, 2013)

De acuerdo con la conclusión del estudio de Sharma y Saini, la medición inteligente es una nueva área de investigación en redes inteligentes (Smart Grids), que ha atraído rápida atención entre entes gubernamentales, industria y academia, bajo lo cual es fundamental orientar esfuerzos locales hacia la investigación y desarrollo de la AMI.

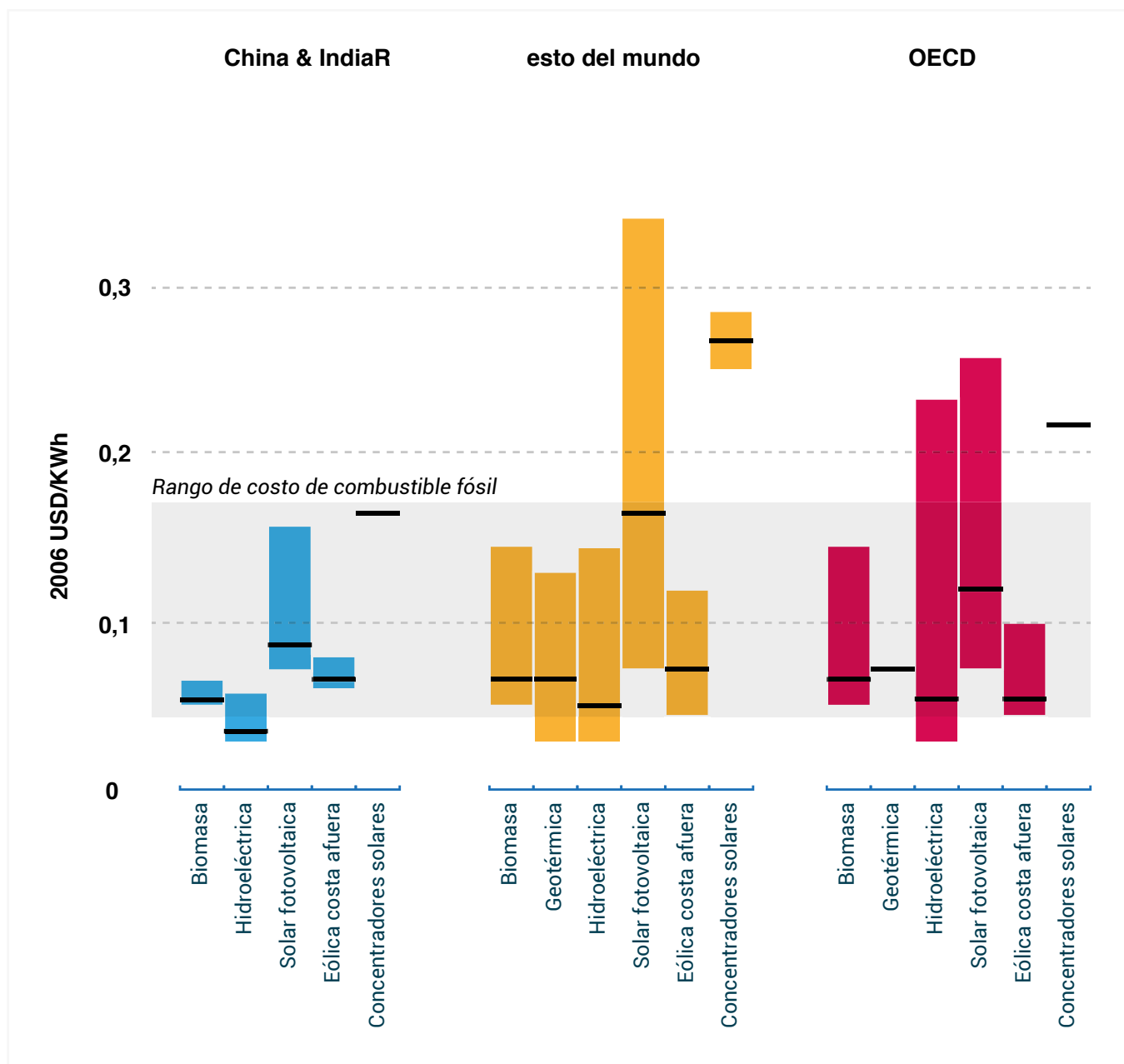
#### 4.1.6. Efectividad de costo de generación renovable

El costo nivelado de energía (LCOE por sus siglas en inglés) es un indicador que convierte en una cifra de precio estándar (USD/MWh) los costos de generación (Costos de Inversión + Costos de Operación) en función de la producción de energía, independientemente de la tecnología utilizada. Cuando el costo de generar energía con renovables es igual o menor que con tecnología convencionales se entiende que existe paridad de red (SER Colombia, 2016).

La literatura actual indica que, aunque el indicador ya cruza los rangos de las energías convencionales en países de referencia (China, India y el promedio de la OCDE), existen países y tecnologías donde aun está distante la paridad de red. Esta situación se grafica en la ilustración 7.

4. Se define como frontera comercial entre el OR, o el Comercializador y el Usuario los puntos de conexión del equipo de medida, a partir del cual este último se responsabiliza por los consumos, y riesgos operativos inherentes a su Red Interna (Fuente: R. CREG-070-1998)



**Ilustración 7.** Costo nivelado de la energía por región (2016)

**Fuente:** Adaptado de (Aghaei & Alizadeh, 2013)

De acuerdo con los valores históricos, el panorama para la energía eólica es positivo pues el horizonte de tiempo es el 2020 para alcanzar paridad de red. Existe un registro por parte de la IEA de subastas de energía con precios dentro del rango de las plantas convencionales que utilizan combustibles fósiles.

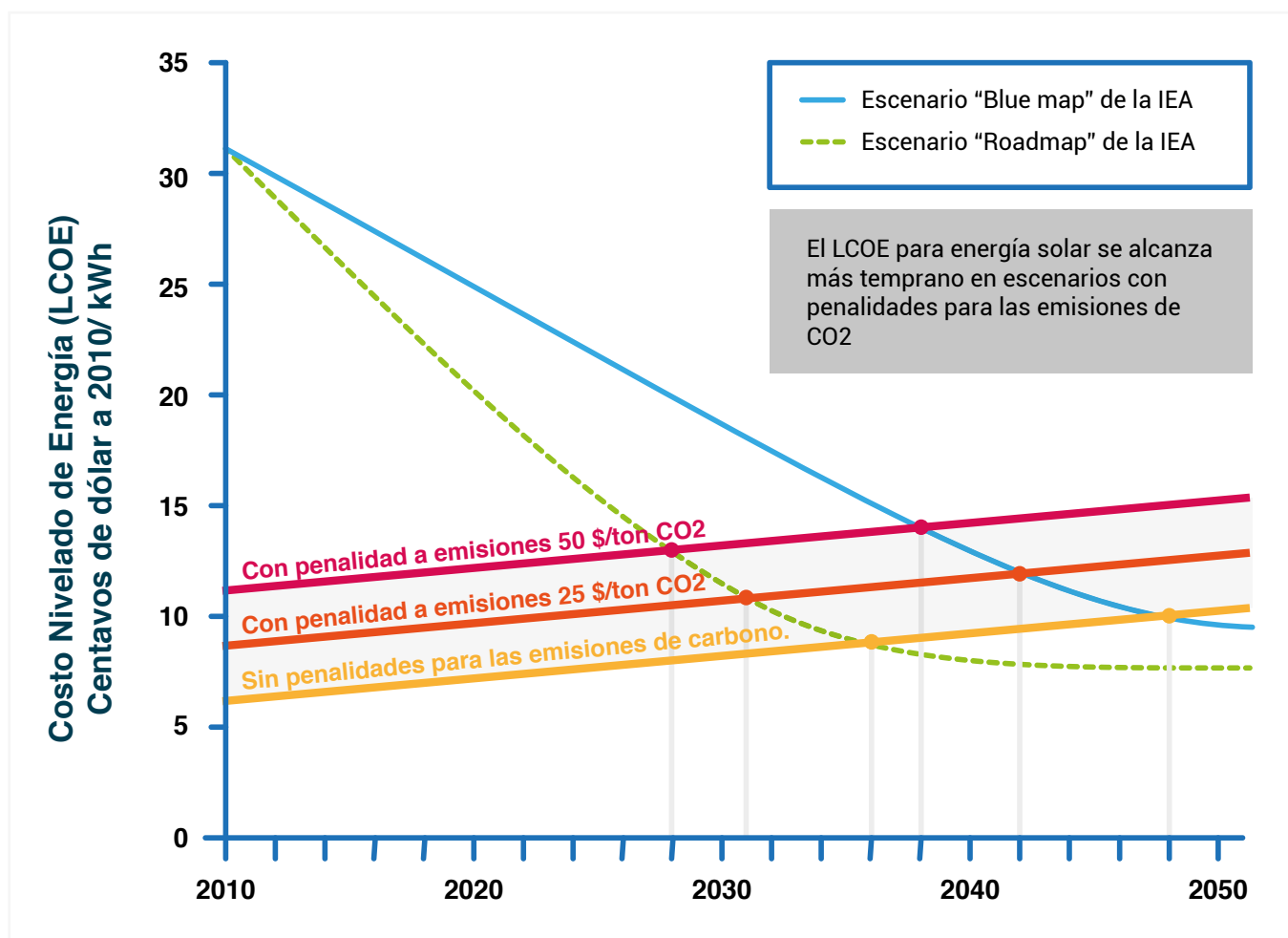
Para el caso de la energía solar fotovoltaica, como ya se indicó anteriormente, dependiendo del escenario de la IEA que se cumpla, se alcanzaría la paridad de red respecto a plantas térmicas

entre el año 2028 y 2040 (Hernández-Moro & Martínez-Duart, 2013), esta proyección se presenta en la ilustración 9.

Para Colombia es crítico identificar oportunamente bajo el mecanismo financiero definido, cuáles serán los costos de producción de energía eléctrica, ya que con la perspectiva internacional es posible anticipar una paridad de red para determinadas tecnologías renovables con respecto a las convencionales, en un horizonte de mediano y plazo.

Esto es de particular importancia cuando se realizan contratos de cobertura de suministro a largo plazo estimulado por incentivos financieros. Bajo un escenario que proyecte la tendencia actual, el costo de generación podrá ser tan competitivo que se tendrán que rediseñar el mecanismo de incentivos.

**Ilustración 9.** Costo nivelado de Energía Fotovoltaica proyectado 2050



**Fuente:** (Hernández-Moro & Martínez-Duart, 2013)

#### 4.1.7. Sistemas avanzados de información

Dentro de las fuentes de información consultadas fue posible identificar el papel fundamental que jugarán los sistemas avanzados de información en el nuevo modelo tecnológico de los sistemas de energía, en la tabla 9 se sintetiza esta información que es ampliada en el anexo 2.

**Tabla 9.** Sistemas de Información en el nuevo modelo del sector.

Características	Desafíos
Utilización del Big Data e inteligencia Artificial	Software para analizar la información de la potencia generada, procesada junto con información satelital, estaciones climáticas, y otras granjas para realizar pronósticos con mayor precisión reduciendo el costo de la energía renovable.
Monitoreo inteligente de plantas fotovoltaicas	Algoritmos para predicción de confiabilidad y desempeño de los equipos basado en datos históricos de falla y simulación de modelos que prevengan fallas.
Dinámica de fluidos computacional	Apoyo a los operadores de parques eólicos para minimizar el impacto de los efectos de estela de las turbinas, investigando el rendimiento de la planta en una amplia gama de condiciones atmosféricas
Sistema de prueba de interfaz de red controlable	Mayor comprensión de cómo los aerogeneradores, inversores fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento de energía reaccionan a las perturbaciones en el sistema de energía eléctrica.
Predicción de la producción de energía	algoritmos capaces de acertar los pronósticos climáticos para predecir la producción de energía solar en un rango de dos días hacia adelante
Optimización del portafolio de AOM	Apoyo al cumplimiento de las obligaciones contractuales de administración, operación y mantenimiento, vinculado alarmas y posicionamiento satelital en tiempo real.
Mantenimiento automatizado	Gestión de la intervención y reprogramación basada en parámetros de desempeño.

**Fuente:** Elaborado a partir de (Chiantore et al., 2015), (Hameed, Hong, Cho, Ahn, & Song, 2009), (Hameed et al., 2009).

Con base en la tendencia de aprovechamiento y utilización aplicada a la integración de las fuentes renovables no convencionales de energía a los sistemas de potencia, para Colombia es altamente pertinente desarrollar capacidades en torno al fortalecimiento e integración de los centros de investigación, universidades y profesionales para aunar el progreso de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones con el desarrollo tecnológico de fuentes a pequeña y gran escala de generación limpia de energía eléctrica.

## 4.2. Tendencias en políticas para energías renovables

Para facilitar la descripción de las tendencias en políticas para energías renovables, estas se dividirán en secciones, la cuales se presentan a continuación:

### 4.2.1. Buenas prácticas de las políticas para renovables

De acuerdo con la IEA las buenas prácticas en políticas energéticas para fuentes renovables deben contar con una serie de principios rectores y una serie de objetivos que varían en función de la etapa de implantación de las renovables. Estas prácticas se extraen de IEA en la tabla 10.

Es claro que no existe una fórmula general para la implantación de políticas energéticas de fuentes renovables aplicables para todas las geografías, ya que dependerán de cada país y su contexto tecnológico, madurez y barreras, la matriz energética de renovables y las tendencias de demanda de energía.

Por ello es pertinente que en Colombia se definan políticas que evolucionen en la medida que los actores adquieran experiencia y se adapten a las condiciones cambiantes, la tecnología, los mercados y otros factores.

**Tabla 10.** Mejores prácticas en políticas para renovables

Principios generales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionar un marco de política renovables predecible y transparente, integrando la política de renovables en una estrategia energética general, adoptando un enfoque de Portafolio, centrándose en las tecnologías que mejor satisfagan las necesidades de políticas a corto y largo plazo, y respalde el paquete de políticas con objetivos ambiciosos y creíbles.</li> <li>• Adoptar un enfoque dinámico para la implementación de políticas, diferenciando de acuerdo con la madurez actual de cada tecnología renovable (en lugar de usar un enfoque neutral de tecnología), mientras se monitorean de cerca las tendencias del mercado nacional y global y se ajustan las políticas en consecuencia.</li> <li>• Abordar las barreras no económicas de manera integral, simplificando los procesos y procedimientos en la medida de lo posible.</li> <li>• En una etapa temprana, identifique y aborde los problemas generales de integración del sistema (como la infraestructura y el diseño del mercado) que pueden convertirse en restricciones a medida que aumentan los niveles de implementación.</li> </ul>

Incepción	Despegue	Consolidación
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar una hoja de ruta clara, que incluya objetivos que generen confianza.</li> <li>• Proporcionar una combinación adecuada de soporte, que puede incluir soporte tanto de capital como de ingresos.</li> <li>• Asegurar que el marco regulatorio necesario establecido y simplificado.</li> <li>• Proporcionar soporte esté para el continuo trabajo de I + D dirigido por la industria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar un entorno de soporte predecible, respaldado por objetivos creíbles y ambiciosos.</li> <li>• Asegurar que la adaptabilidad a los desarrollos tecnológicos y de mercado esté incorporada como una característica clave del paquete de políticas.</li> <li>• Proporcionar incentivos adecuados para garantizar un crecimiento continuo en la implementación, la administración, así dinámicamente se controlan los costos totales de las políticas y para fomentar una mejor competitividad de los costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solucionar problemas de integración (como el muro de mezclas de biocombustibles o la integración de sistemas de energía renovable variable) y concéntrese en las tecnologías habilitantes.</li> <li>• Asegurar que el diseño del mercado de la energía sea proporcional a los altos niveles de penetración de renovables y que el apoyo económico se pueda eliminar progresivamente.</li> <li>• Mantener la aceptación del público a medida que crecen los niveles de implementación y los proyectos tienen mayor visibilidad e impacto.</li> </ul>

**Fuente:** Traducción libre de (IEA, 2011)

#### 4.2.2. Aspectos regulatorios

Para la etapa actual de la regulación de renovables en Colombia (Fase de Inicio o incepción) es fundamental un diseño holístico sobre los aspectos complementarios al esquema de remuneración y los mecanismos de incentivos financieros.

La IEA ha identificado que el portafolio de Energías Renovables se está volviendo competitivo en costos en un campo cada vez más amplio de circunstancias, en algunos casos brindando oportunidades de inversión sin la necesidad de un apoyo económico específico, pero las barreras económicas siguen siendo importantes en muchos casos y constituyen significativos obstáculos que están retrasando el progreso de las renovables (IEA, 2011).

En el campo de la generación distribuida, aunque ante cada necesidad se adaptará un modelo



de negocio particular, se realizan investigaciones sobre la creación de modelos genéricos de generación distribuida para diferentes configuraciones. En la tabla 11, se resumen las principales características de estos modelos de negocio.

**Tabla 11.** Lista general de modelos de negocio para recursos distribuidos

Modelo	Flujos	Pago	Beneficio	Agentes	Base Mercado
Gestión demanda basado en el mercado	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Tarifas sobre los rendimientos del OR Tarifas de suscripción	Distribuidores, Transmisores, Generadores Distribuidos, Usuarios Finales	Basado en Capacidad y reserva de la generación distribuida
Gestión demanda basado en el operador de red	Monetarios Energía Información	Servicios eléctricos, tarifas de suscripción	Tarifas sobre los rendimientos del OR	Operador de Red Regulado, Generadores Distribuidos, Usuarios Finales	Basado en Capacidad base del operador de red y la reserva de la generación distribuida
Gestión de la energía	Monetarios Energía Información	Por Energía, Uso de redes	Tarifas de suscripción, ahorros compartidos	Proveedor del suministro eléctrico, Usuarios Finales, Proveedor sistema gestión de energía	Minimización de los costos del servicio de energía eléctrica
Almacenamiento térmico	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Compra de activos, leasing, compra de commodities	Distribuidores y Transmisores, regulados, Usuarios Finales	Almacenamiento de energía para optimización de usuario y servicios de red
Almacenamiento de energía	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Compra de activos, leasing, compra de commodities	Proveedor del suministro eléctrico, Usuarios Finales, tenedor de recursos ETS	Almacenamiento de energía para optimización de usuario y servicios de red
Optimizado de sistema y usuario final	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Tarifas sobre los rendimientos del OR, venta de activos, prestamos	Distribuidores y Transmisores, regulados, Usuarios Finales, tenedor de recursos ETS	Sistema de negociación de emisiones (ETS) optimizado para el sistema y usuario
Generación solar fotovoltaica y almacenamiento	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Tarifas sobre los rendimientos del OR, venta de activos, prestamos	Distribuidores y Transmisores, regulados, Usuarios Finales.	Solar mas almacenamiento optimizado para el sistema y usuario

**Fuente:** Elaborado a partir de (S. P. Burger & Luke, 2016)

De la misma forma, varias tendencias adicionales se identifican y se presentan en la tabla 12.

**Tabla 12.** Tendencias en el ámbito regulatorio

Temática	Aspectos relacionados	Descripción
Subsidios para energía renovable	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Expansión a niveles de Capacidad Inoperante</li> <li>-En mercados maduros, disparidad entre crecimiento económico y aumento de demanda de energía</li> <li>-Restricciones de la infraestructura existente.</li> <li>-A pequeña escala, techos de remuneración (Deployment caps)</li> </ul>	El cambio del modelo tecnológico de generación convencional centralizada y demanda pasiva a un modelo con generación renovable distribuida y demanda activa implica desafíos de integración mayores que los desafíos de promoción.
Caracterización de los mecanismos financieros	Evaluación de los mecanismos en función de aspectos tales como: <ul style="list-style-type: none"> <li>-Gestión de la capacidad instalada</li> <li>-Control de precio</li> <li>-Seguridad para el inversionista</li> <li>-Costos de transacción y complejidad</li> </ul>	Los mecanismos bajo determinados diseños hacen más competitivas las renovables, por ende dichos mecanismos deben armonizarse con las restricciones técnicas, de mercado y los intereses de los actores.
Modelos de Negocio	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Gestión de la demanda basada en el mercado</li> <li>-Gestión de la demanda basada en el operador de red</li> <li>-Gestión de la energía</li> <li>-Almacenamiento térmico</li> <li>-Almacenamiento de energía</li> <li>-Optimizado de sistema y usuario final</li> <li>-Generación solar y almacenamiento</li> </ul>	Con base en el flujo de energía, información y dinero entre los actores y fundamentado en un modelo base se generan modelos de negocio adaptativos, que podrán ser implementados acorde con las necesidades específicas de cada país.
Barreras de Mercado	Económicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>-Costo inicial de inversión</li> <li>-Selección de la locación</li> <li>-Costo de Capital</li> <li>-Costo del beneficio externo</li> <li>-Diseño de política</li> </ul> No Económicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>-Incertidumbre regulatoria y política</li> <li>-Administrativas e institucionales</li> <li>-Financieras</li> <li>-Capacitación</li> <li>-Aceptación pública y ambiental</li> </ul>	Factores como la pedagogía con el usuario, la capacitación y preparación de los profesionales del sector, los modelos de financiación y los aspectos ambientales y sociales los que garantizan la efectividad de las políticas para renovables
Establecimiento de indicadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Indicador de impacto de políticas (PII).</li> <li>-Indicador de adecuación de la remuneración (RAI)</li> <li>-Indicador de costo total (TCI).</li> </ul>	Favorecen el control y medición del éxito de las políticas para renovables y cobran mayor importancia en países que recién inician la promoción.

**Fuente:** Elaborado a partir de (Browne, 2014), (International Energy Agency, 2017), (The UK Government's Taskforce on Sustainable Consumption and, 2008), (S. P. Burger & Luke, 2016) y (Dunlop, Roesch, & Watson, 2017).

Para comprender en detalle cada tendencia se sugiere remitirse al anexo A1.

#### 4.2.3. Aspectos Complementarios

La tabla 13 muestra los aspectos complementarios que representan desafíos para los actores del mercado de energía. El detalle de cada uno de estos aspectos puede ser consultado en el anexo 2.

Estos aspectos se traducen en recomendaciones de estudios para entes reguladores, normalizadores y gestores de riesgo con el fin de que preparen y fortalezcan sus capacidades para las necesidades particulares que representa para cada uno de ellos la implantación de las renovables.

**Tabla 13.** Tendencias complementarias para actores del sector

Aspecto	Desafío
Estandarización y normalización	Orientación a la satisfacción de requerimientos de los interesados.
Cambio del modelo de riesgo	-Ventajas y desventajas de nuevos modelos de riesgo en mercados de largo plazo. -Pronóstico y distribución del riesgo. -Planeación e integración con el sistema.
Mercados Intradiarios	Cambio del modelo de despacho de las plantas generadores garantizan de mejores condiciones para las fuentes con alta variabilidad y ofertas de energía de mayor flexibilidad en función de

**Fuente:** Elaborado a partir de (International Renewable Energy Agency, 2013), (Klessmann, Nabe, & Burges, 2008), (Perez-Arriaga, 2011).



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

## Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

# 5. Análisis cienciométrico de artículos científicos

Bogotá  
Abril de 2018

## 5. Análisis cuantitativo de artículos científicos

Para realizar la vigilancia sobre la producción científica se utilizó la base de datos estructurada de citas y resúmenes Scopus, aunque la mayor parte de la información para responder las preguntas críticas de vigilancia fue encontrada en las bases de datos de información no estructurada.

En la gráfica superior izquierda de **ilustración 10** se muestran los países líderes en producción de artículos científicos y en la gráfica superior derecha se presentan los autores con mayor número de publicaciones. Esta información corresponde a un rango de tiempo de los últimos 10 años, cuya tendencia anual se presenta en la gráfica inferior izquierda, los principales descriptores de esta temática son presentados en la gráfica inferior derecha. Esta estructura se repite para todo el capítulo.

Se evidencia, según la **ilustración 10**, que los países con mayor penetración de energía solar fotovoltaica (China, Estados Unidos, India, Italia, Alemania) son los que lideran la producción científica; este comportamiento junto con el incremento de las publicaciones anualmente coincide con las tendencias de capacidad instalada por países líderes.

Para el caso de gestión de la demanda, como se observa en la **ilustración 11**, es bastante particular el aumento de las publicaciones en el año 2017, EEUU, Alemania y el Reino Unido lideran la producción investigativa, Javahid y Zhang lideran en autoría sobre la materia.

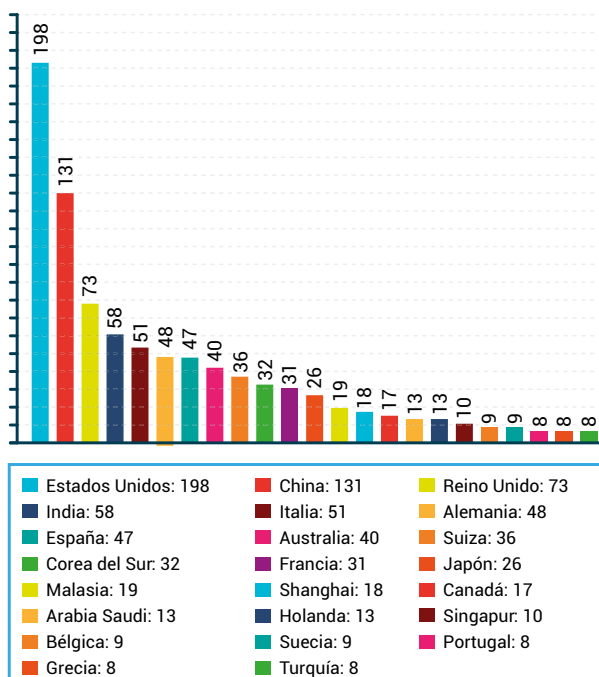
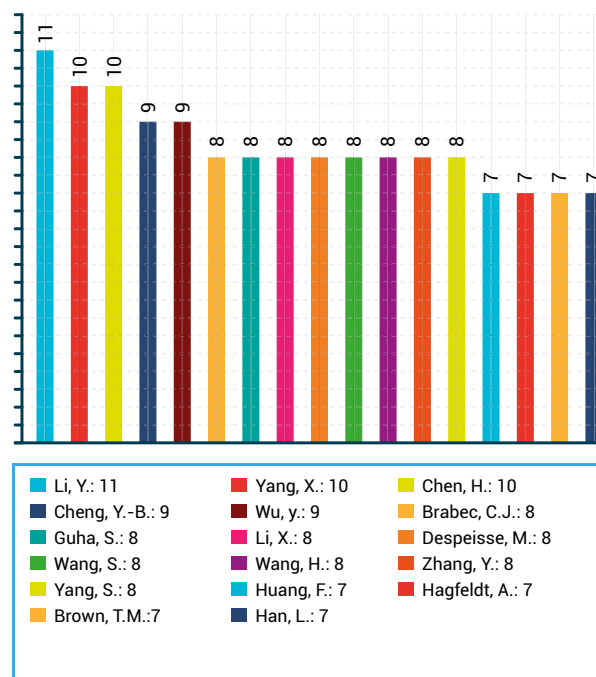
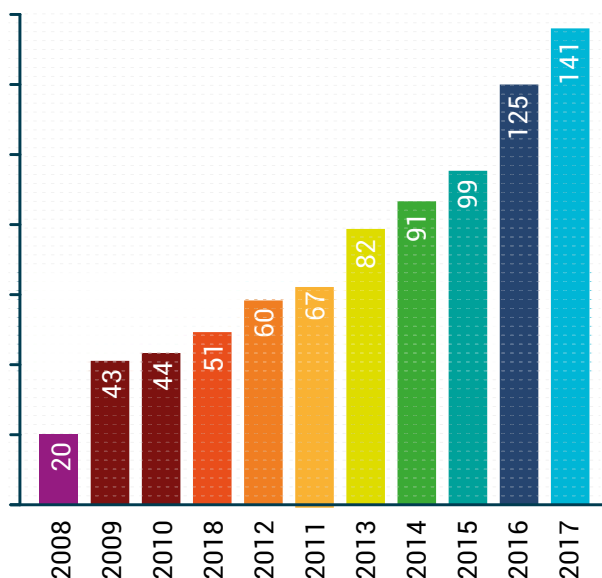
En la **ilustración 12** se evidencia que Estados Unidos lidera la producción investigativa para los agregadores de mercado. La temática presenta una tendencia creciente en los últimos años y el autor Vale sobresale en publicaciones científicas. Es particular encontrar dentro de los descriptores que la palabra clave “Aggregator” no figura entre las más citadas tanto por los autores como por la indexación de la publicación, el tema está intrínsecamente ligado en términos de publicación con las redes inteligentes, la generación distribuida y la gestión de la demanda.

En Estados Unidos existe un absoluto dominio de las publicaciones referentes a medición inteligente o infraestructura avanzada de medición, como se presenta en la **ilustración 13**; aquí se repite la particularidad sobre la relación de los descriptores con redes inteligentes y generación distribuida, aunque en 2014 se tuvo un rezago en el número de publicaciones, la tendencia investigativa claramente refleja una disrupción relacionada con esta temática.

Realizando el análisis para las tendencias en costo de las tecnologías de generación con energía renovable, el cual se presenta en la **ilustración 14**, partiendo del sintagma del indicador Costo Nivelado de Electricidad (LCOE), se encuentra la particularidad de la generación eólica y solar fotovoltaica como las palabras clave que comparten tendencia con el sintagma principal, este resultado permite identificar que los restrictores del presente ejercicio para estas tecnologías están acorde con la dinámica investigativa.

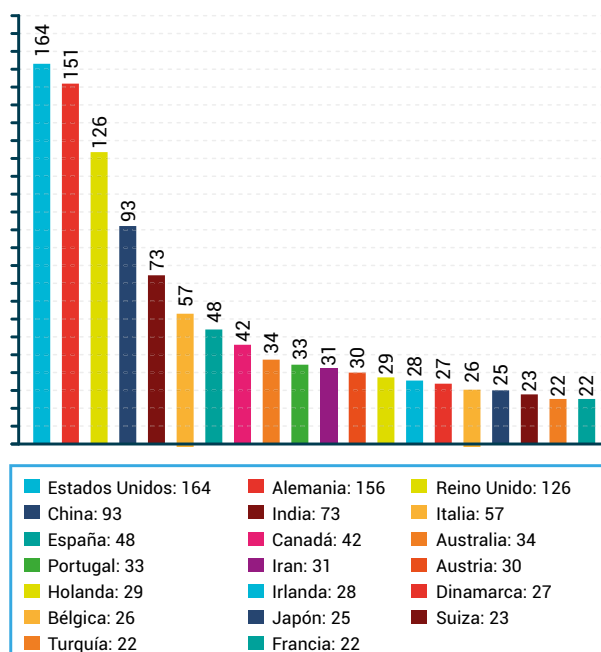
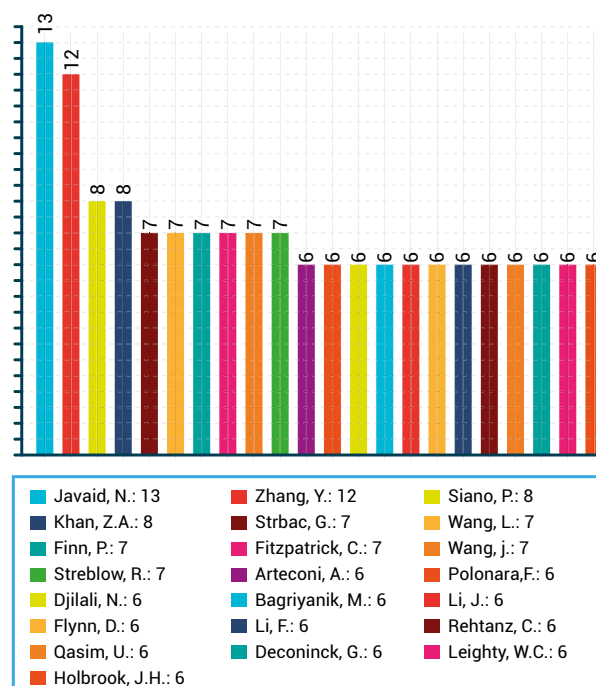
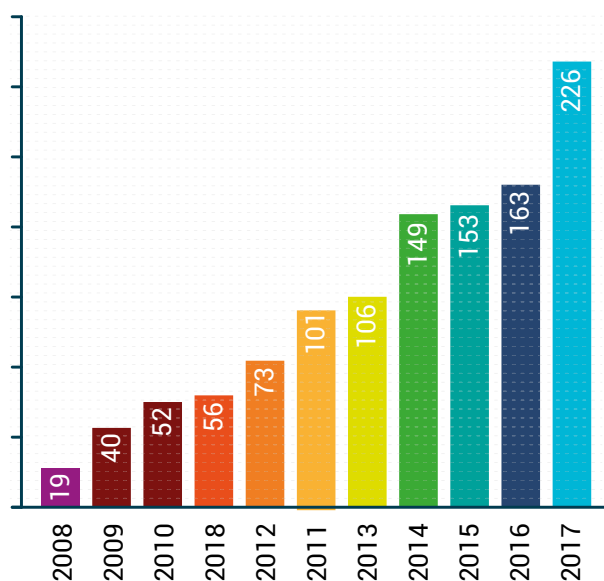
Aunque no existe un autor que lidere o sobresalga en términos de volumen de publicación, la tendencia es creciente en la última década y Estados Unidos lidera la producción investigativa.



**Ilustración 10.** Análisis cienciométrico para costo y eficiencia de celdas fotovoltaicas**Publicaciones por País****Publicaciones por Autor****Publicaciones por Año****Dinámica de los descriptores**

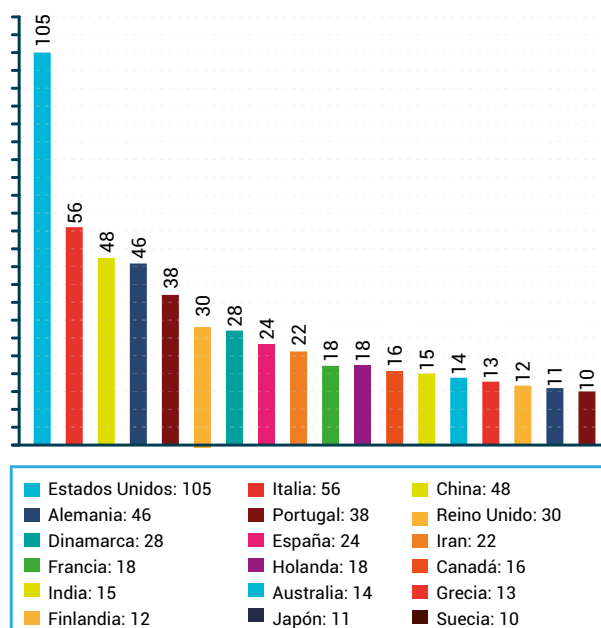
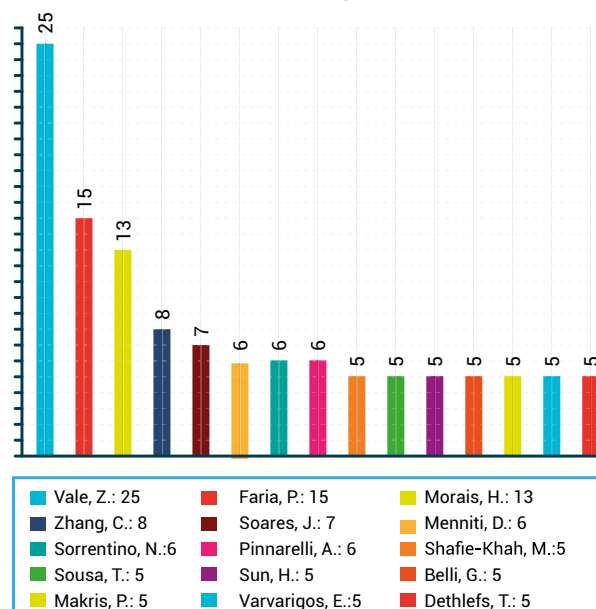
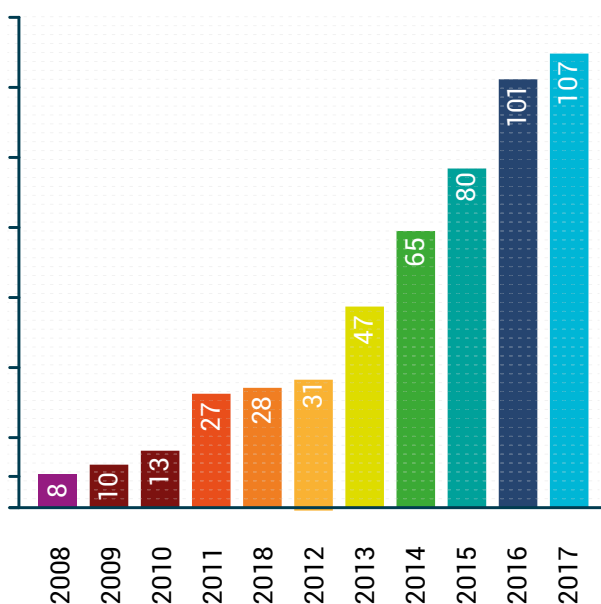
	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
Photovoltaic Technology	37	72	60	58	49	40	34	37	22	8
Solar Cells	72	63	54	37	28	16	32	12	21	5
Solar Power Generation	74	64	54	23	9	21	26	10	19	6
Photovoltaic Cells	36	22	27	24	15	4	7	9	13	3
Solar Energy	24	17	16	16	12	19	3	15	13	10
Efficiency	35	26	16	14	12	5	14	10	2	1
Perovskite	46	33	19	7	2		22	1		
Perovskite Solar Cells	46	27	5	1	1		25			
Power Conversion Efficiency	31	21	17	7	4	2	13	2	1	3
Thin Films	14	16	13	11	10	9	6	6	6	2
Photovoltaic Effects	8	2	4		2	36	3	10	8	17
Photovoltaic System	17	21	8	8	10	3	3	5	3	3
Empty Field	10	14	9	8	6	9	4	4	7	8
Silicon	10	19	6	9	12	6	1	3	1	4
Conversion Efficiency	14	6	7	6	4	10	2	10	6	6
Photovoltaics	9	10	6	10	5	7	2	12	3	5
Energy Efficiency	17	12	8	8	7	6	3	5	2	1

**Fuente:** Elaboración propia con apoyo de Scopus y Matheo Analyzer

**Ilustración 11.** Análisis cienciométrico para gestión de la demanda**Publicaciones por País****Publicaciones por Autor****Publicaciones por Año****Dinámica de los descriptores**

	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
Electric Utilities	31	143	115	101	58	21	22	19	12	12	4
Renewable Energy Resource	27	96	70	64	51	42	42	15	13	14	7
demand-side management	12	77	44	50	69	35	34	26	29	21	7
Demand Side management	22	105	75	51	52	27	28	15	9	5	3
Demand side managements		1	11	64	70	55	64	34	23	13	9
Renewable Resource	8	42	27	40	54	28	29	21	22	16	6
Smart Power Grids	11	59	51	46	38	24	31	18	2	1	
Renewable Energies	3	42	32	34	43	29	32	19	20	16	5
Smart Grid	14	57	41	31	37	22	35	18	8	3	
Electric Power Transmissi...	15	70	57	47	25	7	8		4		1
Renewable Energy Source	13	47	33	24	19	19	27	12	14	2	
Energy Efficiency	8	33	29	20	30	7	12	18	8	9	4
Costs	10	50	35	26	18	6	9	8	6	6	2
Renewable Energy	2	27	18	24	31	16	12	11	6	9	4
Optimization	9	39	25	21	25	10	14	5	7	4	1
Energy Efficiency	11	35	23	14	15	11	16	12	11	5	4

**Fuente:** Elaboración propia con apoyo de Scopus y Matheo Analyzer

**Ilustración 12.** Análisis cienciométrico para agregadores de mercado**Publicaciones por País****Publicaciones por Autor****Publicaciones por Año****Dinámica de los descriptores**

	2017	2016	2015	2014	2013	2018	2011	2012	2009	2010	2008
Renewable Energy Resource	35	32	25	12	6	13	7	9	4	2	3
Smart Power Grids	28	28	21	18	14	6	10	7			
Energy Resources	39	20	20	7	16	9	6	7	2	2	1
Commerce	32	28	18	8	9	11	6	6	2	3	2
Electric Power Transmissi...	29	37	20	9	3	5	1	2	2		
Smart Grid	21	23	16	13	8	6	8	7	2		
Demand Response	27	26	13	12	4	5	2	4	1		1
Renewable Energies	16	17	17	9	4	5	5	8	3	2	1
Optimization	22	15	10	12	6	7	4	4	1		
Distributed Energy Resour...	23	13	10	7	12	5	5	3	1	1	
Electric Vehicles	13	16	17	10	7	3	6	6	1	1	
Renewable Energy Source	16	16	11	7	3	4	3	4	1	1	
Costs	18	14	12	4	3	4	5	4			
Power Markets	19	11	13	4		8	1	2			
Scheduling	12	14	9	10	4	3	3	2			
Distributed Power generat...	6	5	7	9	10	1	6	8	1	1	1
Renewable Energy	11	10	11	9	2	5	5	1			
Aggregator	11	9	9	8	7	1		4	1	1	
Energy Management	12	19	6	5	1	2	4		1	1	

**Fuente:** Elaboración propia con apoyo de Scopus y Mattheo Analyzer



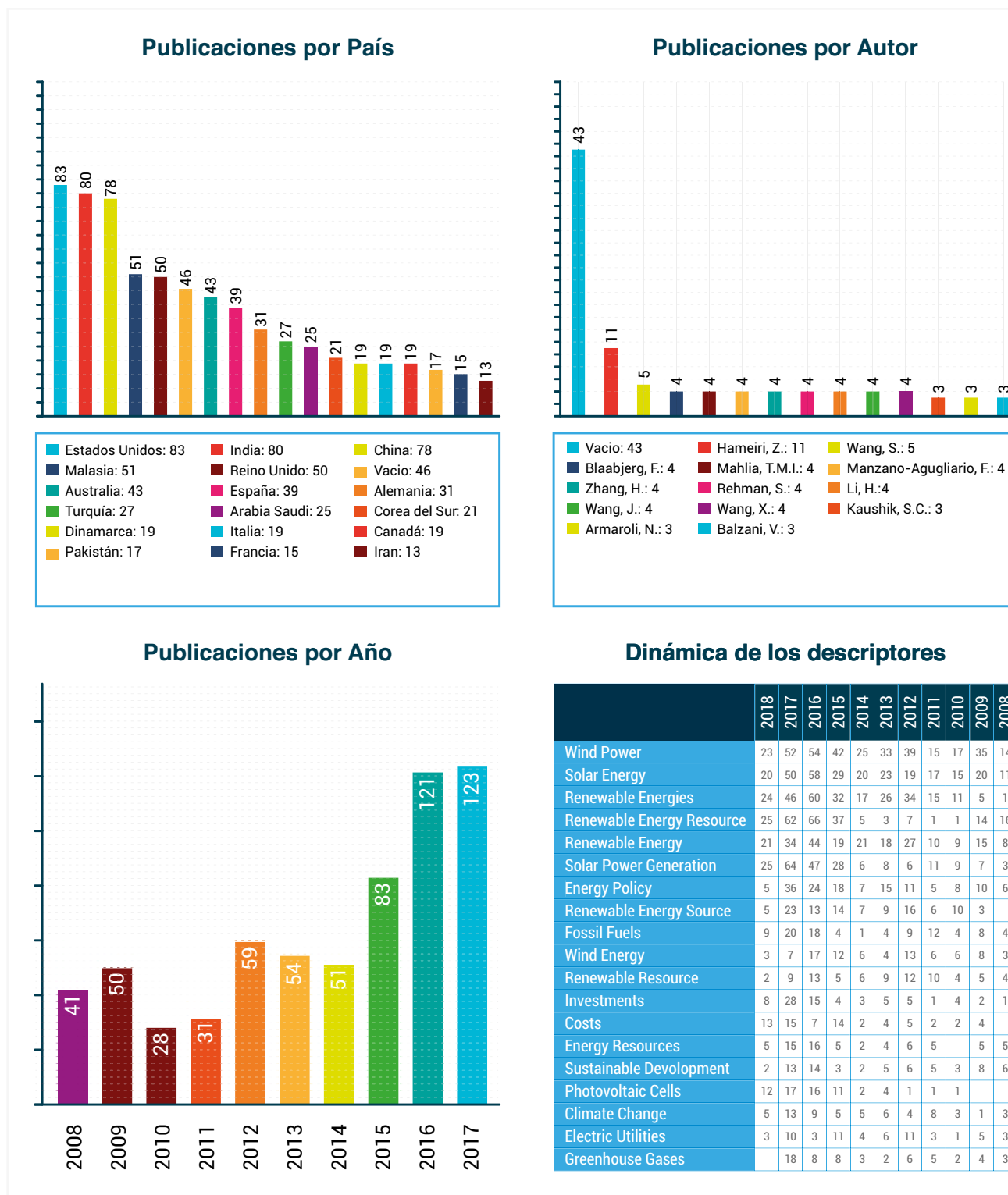




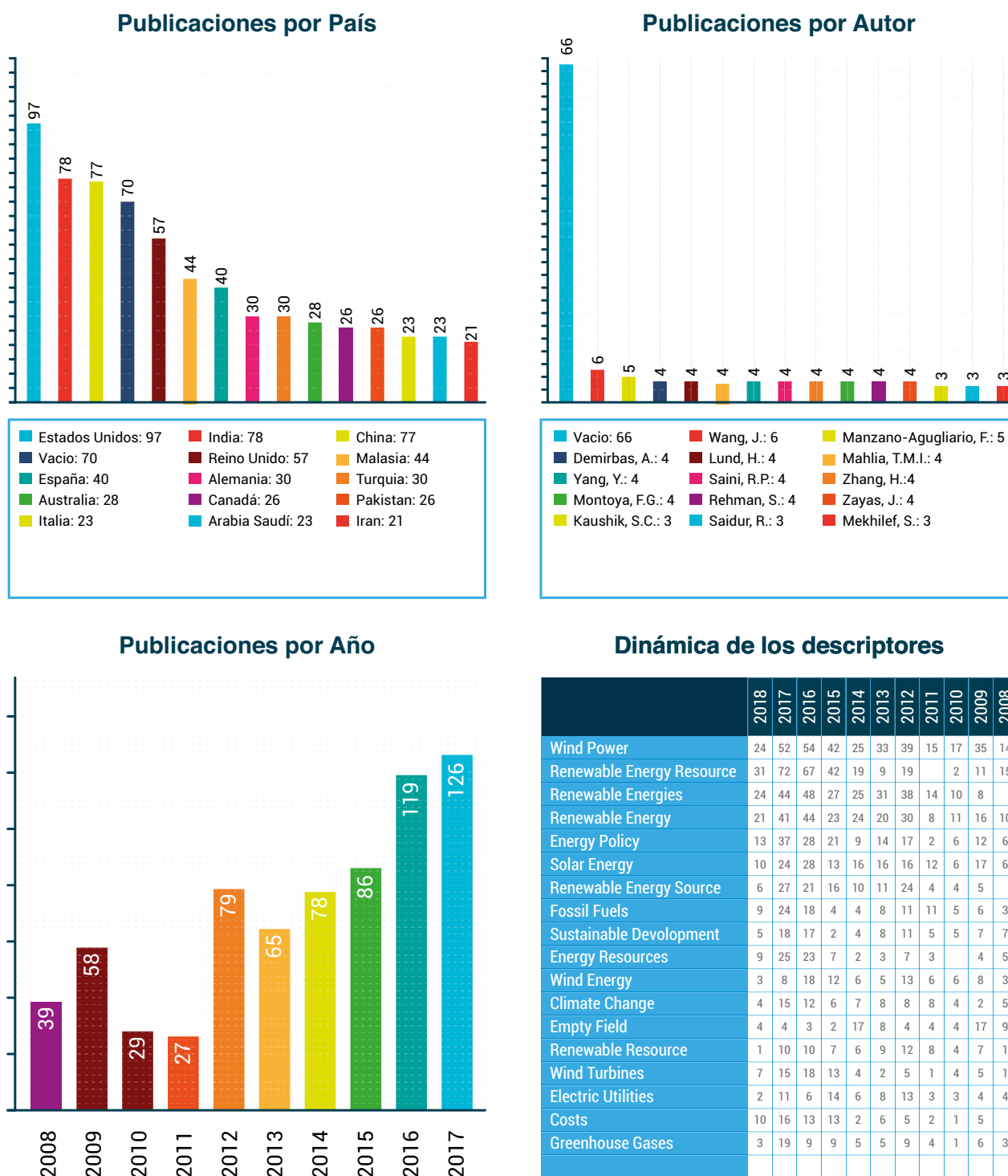
En la revisión de la dinámica de investigación en política energética y marco regulatorio para las fuentes renovables de energía, se encontró que las tecnologías solar fotovoltaica y eólica figuran dentro de las principales palabras claves relacionadas con el tema, coincidiendo con los resultados de las anteriores secciones. Aunque la ecuación estaba restringida para generación solar fotovoltaica, los resultados relacionan en similar proporción a la energía eólica, esto demuestra la complementariedad entre estas dos fuentes, y se presenta en la **ilustración 15**.

Con el ánimo de validar el resultado anterior se repitió el ejercicio con el cambio de la energía solar para energía eólica (como es presentado en la **ilustración 16**), los resultados son análogos. Para los dos casos anteriores, es importante resaltar que, en términos de política, muchas publicaciones son realizadas por instituciones o entes reguladores, por eso se incluyó dentro de estos resultados el campo vacío "Empty Field" que tiene una producción significativa dentro de las publicaciones, sobresale a su vez, como se disparó la investigación en 2016 y 2017 lo que denota las grandes desafíos que se presentan en términos de investigación y desarrollo en este campo.

**Ilustración 15.** Análisis cienciometrico para tendencias en políticas para renovables – Solar Fotovoltaico



**Fuente:** Elaboración propia con apoyo de Scopus y Matheo Analyzer

**Ilustración 16.** Análisis cienciométrico para tendencias en políticas para renovables - Eólico

**Fuente:** Elaboración propia con apoyo de Scopus y Mattheo Analyzer



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia en Tecnologías  
Emergentes y Políticas para Energía  
Renovables

## 6. Análisis cienciométrico básico de patentes

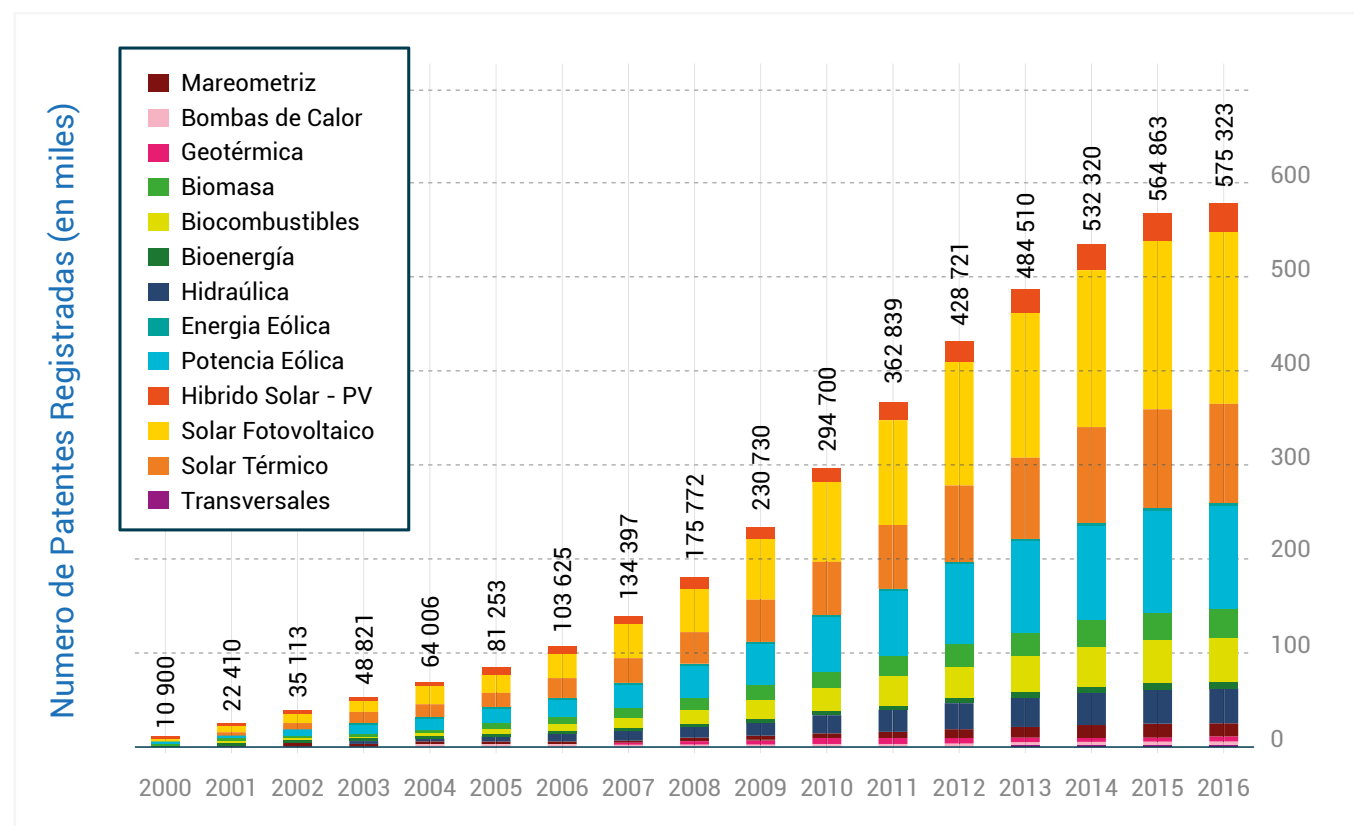


Bogotá  
Abril de 2018

## 6. Análisis cuantitativo básico de patentes

La actividad en patentes relacionadas con las fuentes renovables de energía, de acuerdo con IRENA, muestra que se ha experimentado innovación en los años recientes. Creciendo a una tasa del 12% por año, desde 1995 muy por encima de otros sectores. Esto proporciona un mensaje tranquilizante en los prospectos de desarrollo de las tecnologías renovables.

**Ilustración 17.** Registro de patentes para renovables entre 2000 y 2016



**Fuente:** Traducción libre de (IRENA, 2017)

De acuerdo con investigaciones del inicio de la década, se estableció el efecto entre las políticas ambientales y la innovación tecnológica específicamente para el caso de la energía renovable, donde se realizó un análisis con una amplia ventana de tiempo (1978 a 2003), que permitió identificar que las políticas públicas juegan un rol significativo en la aplicación de patentes (Johnstone, Haščić, & Popp, 2010).

Este estudio ha sido repetido para años más recientes y comparado tanto por (Nesta, Vona, & Nicolli, 2014) como por (IRENA, 2017), con respecto a los indicadores de políticas para renovables. De esta forma se encuentra la correlación entre las políticas y mecanismos de promoción e incentivos para fuentes renovables de energía con el registro patente de invenciones.

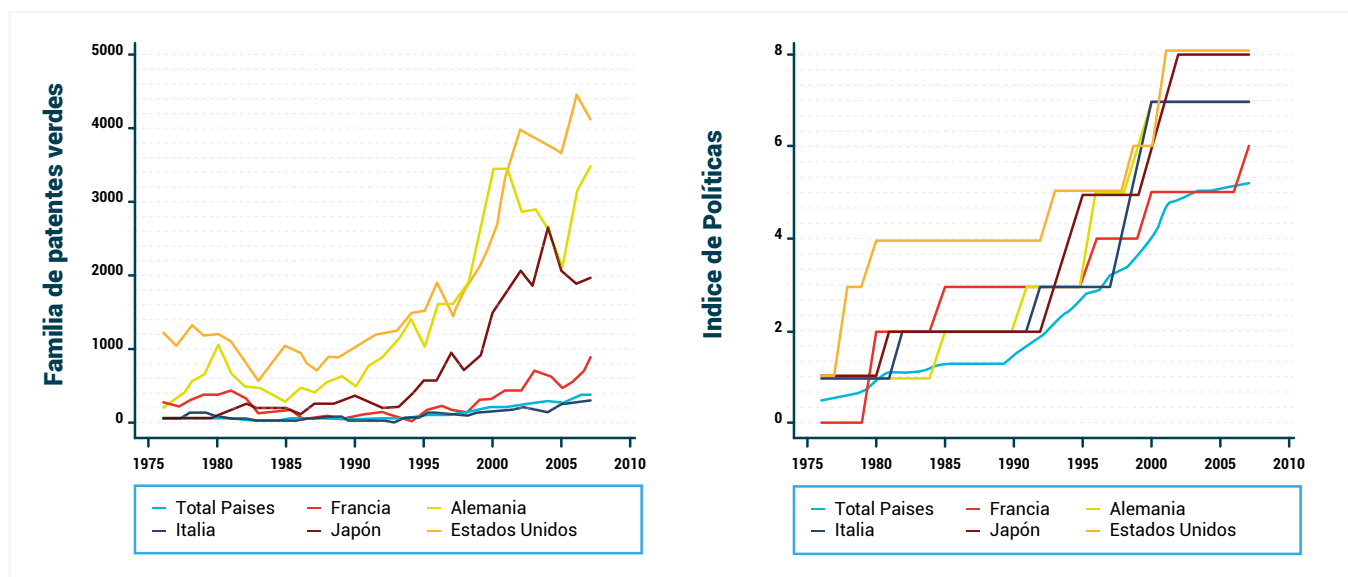
El estudio compara la evolución de la producción de patentes de familias verdes (es decir aquellos relacionados con energía renovable), los índices de políticas de energía renovable REP (Renewable Energy Policy) y PMR (Product Market Regulation). El análisis comprende el periodo entre 1976 y



2007 y se dividió en dos grupos de países, según su tamaño. La tendencia a la convergencia en el índice de política PMR y, en menor medida, en REP contrasta con el patrón divergente observado en el flujo de solicitudes de patente.

Esta evidencia descriptiva sugiere que la adopción temprana de políticas y de la liberalización es importante para el establecimiento de ventajas tecnológicas. A modo de ejemplo se extrae de la investigación de (Nesta et al., 2014) la **ilustración 18**, que muestra como los países líderes, en términos de innovación ecológica, liberalizaron sus sectores eléctricos a finales de los años ochenta y principios de los noventa, significativamente antes que la mayoría de los demás países (Nesta et al., 2014); actualmente presentan índices altos de eficiencia en política energética.

**Ilustración 18.** Correlación de patentes con el índice de desarrollo de políticas



**Fuente:** (Nesta et al., 2014), Traducción libre.

De la investigación de (Johnstone et al., 2010) y complementado por (Albino, Ardito, Maria, & Messeni, 2014), es posible extraer a partir de la clasificación internacional de patentes, los códigos correspondientes a tecnologías renovables. Para el interés de la presente investigación se presenta a continuación en la **tabla 14**, lo referente a fuentes eólicas y solares.

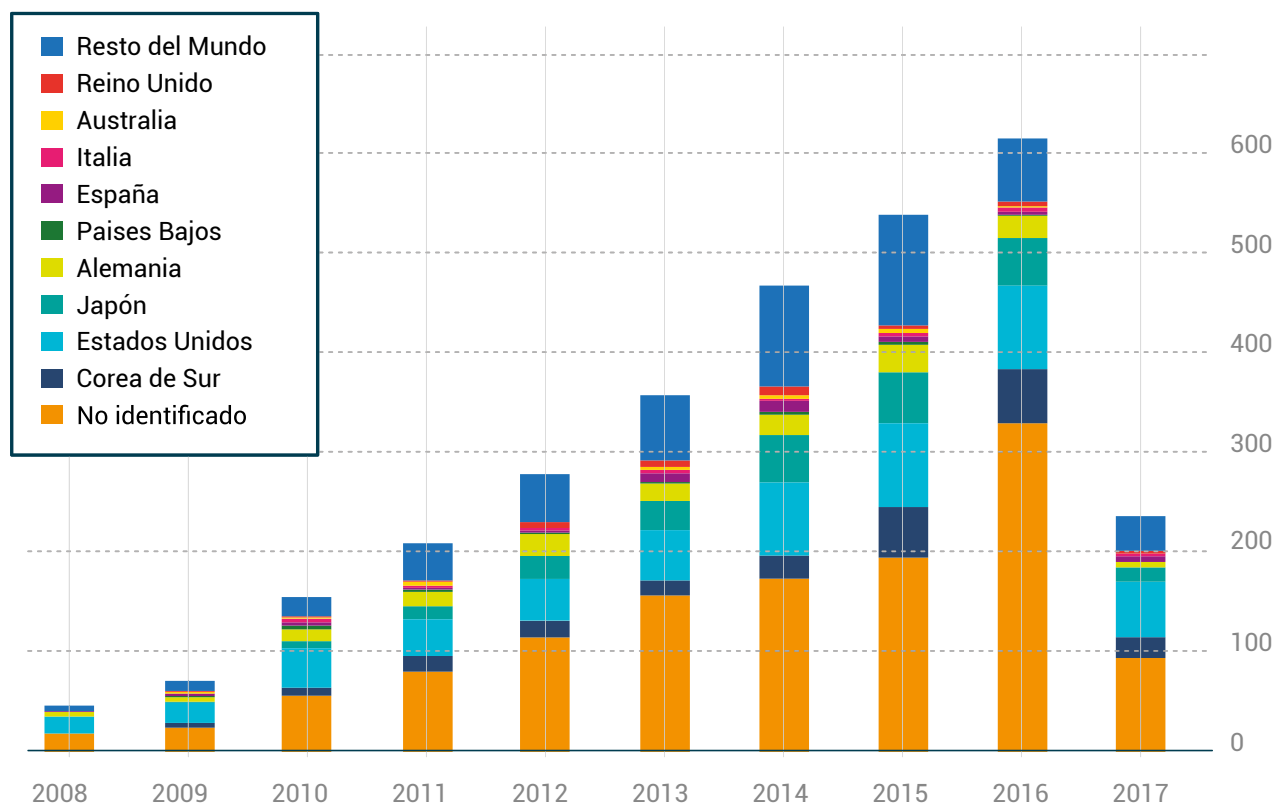


**Tabla 14.** Clasificación de patentes para energía eólica y solar fotovoltaica

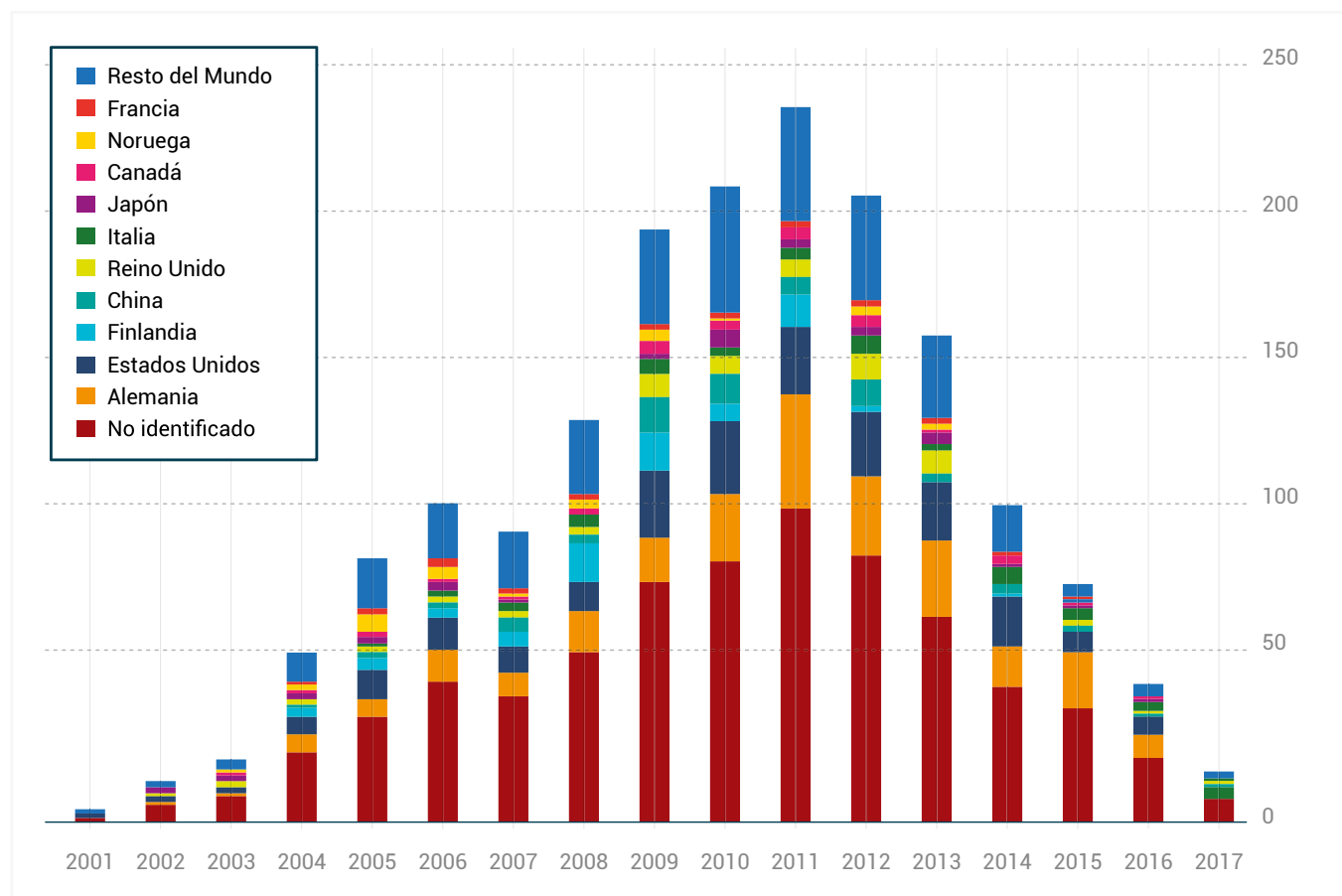
Sección	Código IPC	
Energía Eólica	F03D, H02K 7/18, B63B 35/00, E04H 12/00, F03D 11/04, B60K 16/00, B60L 8/00, B63H 13/00	
Energía Solar	H01L 27/142, 31/00–31/078, H01G 9/20, H02N 6/00, H01L 27/30, 51/42–51/48, H01L 25/00, 25/03, 25/16, 25/18, 31/042, C01B 33/02, C23C 14/14, 16/24, C30B 29/06, G05F 1/67, F21L 4/00, F21S 9/03, H02J 7/35, H01G 9/20, H01M 14/00, F24J 2/00–2/54, F24D 17/00, F24D 3/00, 5/00, 11/00, 19/00, F24J 2/42, F03D 1/04, 9/00, 11/04, F03G 6/00, C02F 1/14, F02C 1/05, H01L 31/058, B60K 16/00, B60L 8/00, F03G 6/00–6/06, E04D 13/00, 13/18, F22B 1/00, F24J 1/00, F25B 27/00, F26B 3/00, 3/28, F24J 2/06, G02B 7/183, F24J 2/04	
Descripciones Principales	Clase	Subclase
Motores de viento con eje de rotación sustancialmente en la dirección del viento	F03D 1	
Motores de viento con eje de rotación sustancialmente en ángulo recto a la dirección del viento	F03D	3
Otros motores de viento F	03D	5
Controladores de motores de viento	F03D	7
Adaptaciones de motores de viento para usos especiales F	03D	9
Detalles, componentes o accesorios no previstos en, o de interés aparte de, los otros grupos de esta subclase	F03D	11
Tecnología Solar C	lase	Subclase
Dispositivos para producir energía mecánica a partir de energía solar	F03G	6
Uso del calor solar (i.e. colectores de calor solar)	F24J 2	
Dispositivos que consisten en una pluralidad de componentes semiconductores sensibles a la radiación infrarroja, luz especialmente adaptada para la conversión de la energía de dicha radiación en energía eléctrica	H01L	27/142
Dispositivos semiconductores sensibles a la radiación infrarroja, adaptados a la luz como dispositivos de conversión	H01L	31/04-078
Generadores en los que la radiación de luz se convierte directamente en energía eléctrica	H02N	6
Aspectos de los techos para los dispositivos de recolección de energía. (por ejemplo incluye paneles solares)	E04D	13/18

**Fuente:** Elaborado a partir de (Nesta et al., 2014) y (Johnstone et al., 2010)

Con base en los códigos identificados, se ejecutó una búsqueda experimental del comportamiento de patentes en los últimos años, debido a que la información consultada está restringida hasta 2010, para ello con apoyo de Matheo Patent se realizaron las búsquedas para energía solar (fotovoltaica no híbrida) y energía eólica. Los resultados de dichas búsquedas se presentan a continuación:

**Ilustración 19.** Resultados de patentes para tecnología solar fotovoltaica.

**Fuente:** Elaboración propia con apoyo de Scopus y Matheo Patent

**Ilustración 20.** Resultados de patentes para tecnología eólica

**Fuente:** Elaboración propia con apoyo de Scopus y Matheo Patent

De la información anterior es necesario precisar que el tiempo que toma la revisión de patente, conlleva a que a la fecha los resultados para 2017 se muestren bajos, sin embargo, la tendencia claramente es creciente. Además de una situación análoga para las tecnologías eólicas, también es importante precisar que, dado que esta opera por principios mecánicos, su estado de evolución puede considerarse maduro. En el anexo metodológico se amplía la información del análisis de patentes.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

## Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

# 7. Conclusiones



Bogotá  
**Abril de 2018**

## 7. Conclusiones

A continuación, se presentan los resultados en términos de adopción, oportunidades y desafíos asociados a la política y el marco regulatorio, como elementos clave en el éxito de la transición energética, que responden a los factores claves de vigilancia relacionados con el cambio del modelo tecnológico de los sistemas eléctricos.

- La efectividad de las políticas para energías renovables alcanza un alto nivel de madurez en China, Alemania, Japón, Estados Unidos e Italia, considerados como los países líderes. Sin embargo, en estos mismos países el cambio del modelo tecnológico de generación convencional centralizada y demanda pasiva a un modelo con generación renovable distribuida y demanda activa, implica desafíos de integración mayores que los desafíos de promoción.
- Es necesario preparar oportunamente la regulación del mercado para eliminar o mitigar las barreras no económicas del mercado, ya que al margen del mecanismo de remuneración, son factores como la pedagogía con el usuario, la capacitación y preparación de los profesionales del sector, los modelos de financiación y los aspectos ambientales y sociales los que garantizan la efectividad de las políticas para renovables.
- Bajo determinadas condiciones, los incentivos financieros para las renovables las hacen tan o más competitivas que las tecnologías convencionales. En este aspecto se requiere complementar con incentivos que reduzcan los costos económicos (fabricación de tecnología local, optimización operacional, barreras institucionales). Igualmente adoptar los nuevos modelos de gestión del riesgo y ampliar la capacidad de integración a la infraestructura de transmisión, evitando capacidad de generación renovable inoperante.
- La regulación presenta tres etapas que relacionan la priorización de necesidades en función del tiempo, estas etapas son: la iniciación, despegue y estabilización. Las necesidades regulatorias (Bench-marketing de políticas internacionales, Implementación y Precio de las tecnologías) presentan ciclos asociados a las etapas de la regulación, por lo que es un factor de éxito identificar periódicamente las necesidades regulatorias como función de la maduración de la regulación.
- Un elemento fundamental para un país que promueva las energías renovables es determinar el grado de efectividad de las políticas para renovables, mediante indicadores como el nivel de impacto y remuneración, indicador de impacto de políticas, indicadores de suficiencia de remuneración e indicadores de costo total entre otros.
- En el ámbito internacional, en el último quinquenio según publicaciones de IRENA, los esquemas e integración de criterios para la normalización y estandarización de las fuentes renovables de energía, se han promovido como herramienta para facilitar diversos aspectos. Entre tales aspectos se encuentran i) Política y regulación, ii) Organismos de estandarización, iii) Fabricantes e instaladores, iv) Inversionistas y apoyo fiscal, v) Verificación y auditoría y, vi) Usuarios de los bienes y servicios. Se espera para inicios de 2018 contar con grupos de interesados bajo la sombrilla de la "Global Solar Energy Standardization Initiative" conjunta de IRENA y Terrawatt Initiative.

- En países de referencia como EEUU, Alemania y España, donde la participación de las energías renovables es significativa en la capacidad total instalada y/o en la participación en la demanda total atendida, aparecen actores de mercado que promueven el papel y beneficio de pequeños agentes de generación. Estas organizaciones dirigidas por la comunidad o cooperativas de inversión en energía verde, se orientan a la democratización de la transición energética.
- Según el escenario "Nuevas Políticas" de la IEA, para el año 2040 se espera que las adiciones en capacidad de generación con fuentes renovables superen el 60% de la capacidad total global adicionada. Bajo este escenario, existiría paridad de red entre la tecnología solar fotovoltaica y las tecnologías de combustibles fósiles.
- En Colombia se presentan avances en algunas de las políticas y medidas para la promoción e integración de las renovables, pero persiste el rezago en términos de acceso a la red e interconexión, aspectos socio ambientales así como de capacidades locales de financiamiento, capacidad técnica y estandarización.
- Los modelos de negocio asociados a la generación distribuida requieren de esquemas regulatorios que se adapten a las necesidades y recursos disponibles en cada geografía. Sin embargo, existen modelos de negocio genéricos sobre los cuales, a partir del flujo de energía, información y dinero entre los actores y fundamentado en un modelo base se generan modelos de negocio adaptativos.
- Los agregadores son compañías que actúan como intermediarias entre el usuario final de la energía que dispone de recursos distribuidos de energía y aquellos participantes del sistema que deseen explotar esos servicios. Fundamentados en los sistemas de energía, la gestión de la demanda y la infraestructura avanzada de medición, los agregadores de mercado representan una gran oportunidad para articular los pequeños actores con el mercado. Sin embargo, los entes deben garantizar que los agregadores creen valor para el mercado en lugar de valor privado para una limitada parte de los participantes en la cadena.
- Los mercados intradiarios son un mecanismo financiero adoptado en Europa que mejora la posición de despacho de las fuentes de energía renovable variable (solar fotovoltaica y eólica), administra la demanda flexible, aprovecha las condiciones climáticas en tiempo real, y funciona como mitigador del riesgo para los esquemas tarifarios de renovables. Estos mercados presentan una gran oportunidad en términos de armonización de los mercados de corto plazo.

En cuanto al factor crítico de vigilancia sobre la dinámica de costos y desarrollo de las tecnologías emergentes para fuentes renovables no convencionales de energía, a continuación, se presentan los principales hallazgos y focos de atención.

- Es necesario iniciar investigación y desarrollo en los efectos técnicos de los servicios auxiliares de las fuentes renovables para el sistema de potencia local (regulación, balanceo, reserva rodante, entre otros), los países que propenden por la integración de los recursos distribuidos de generación, cuentan con una alternativa eficiente y con potencial ahorro económico para optimizar la operación del sistema; los agregadores de mercado y la gestión de la demanda son instrumentos clave para apoyar la implementación de estos servicios.



- Es importante alinear la investigación en el país con los esfuerzos globales de desarrollo de tecnologías para las fuentes de energía renovables no convencionales. En el campo de la energía solar, los avances tecnológicos se centran en la investigación y desarrollo de materiales para la construcción de las celdas solares que permitan mejorar la eficiencia en la transformación de la energía, materiales como la Perovskita o materiales híbridos presentan el mayor potencial en este campo.
- El uso de grandes volúmenes de información y alta capacidad de procesamiento, como el Big Data, favorecen la optimización del control de generación. En grandes parques eólicos, al procesar en tiempo real las condiciones de viento, se optimiza el desempeño de las turbinas, se controla el ángulo de las aspas y se mejoran las condiciones de despacho de energía; En parques solares la adquisición y procesamiento de información de radiación permite mejorar los pronósticos de generación ante la variabilidad de la fuente.
- La detección y el pronóstico de fallas son un factor crítico en los parques de generación eólica. Por ello existen oportunidades de desarrollo tecnológico e investigativo en dispositivos para medir magnitudes físicas en los componentes de los aerogeneradores, construcción de modelos de predicción y esquemas de programación de mantenimientos. Lo anterior resulta importante especialmente en la generación eólica, debido a que estas máquinas rotativas presentan un desgaste muy superior a cualquier otra máquina en su tipo.
- La dinámica de patentes asociada a fuentes renovables tiene una proporción directa con el nivel de madurez en políticas de promoción e integración de estas fuentes en la matriz energética de los países de referencia. Esta tendencia se complementa con publicaciones que relacionan la promoción de la investigación, el desarrollo y la innovación como un incentivo de carácter no financiero fundamental para el éxito en la integración de las energías renovables al mercado de energía.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

## Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

# 8. Referencias Bibliográficas

Bogotá  
Abril de 2018

## 8. Referencias Bibliográficas

- Aghaei, J., & Alizadeh, M. I. (2013). Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.019>
- Albino, V., Ardito, L., Maria, R., & Messeni, A. (2014). Understanding the development trends of low-carbon energy technologies : A patent analysis q. *Applied Energy*, 135, 836–854. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.012>
- Arango Alzate, B., Tamayo Giraldo, L., & Fadul Barbosa, A. (2012). Vigilancia tecnológica: metodologías y aplicaciones. *Gestión de las Personas y Tecnología*, (13), 154–161. Recuperado a partir de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4125293>
- Borggrefe, F., & Neuhoff, K. (2011). Balancing and Intraday Market Design : Options for Wind Integration. *Climate Policy*, (January), 1–30. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1945724>
- Browme, A. (2014). The Tipping Point: Shifting Policy Focus from Renewable Energy Targets towa...: libros, revistas, artículos y mas. *Renewable Energy Law & Policy Review*. Recuperado a partir de <http://eds.b.ebscohost.com.ezproxy.unal.edu.co/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=438f6752-d7b9-4b94-bf7d-ffa40dd83fff%40sessionmgr120>
- Brundtland, G. H. (1987). Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations Commission, 4(1), 300. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- Bullis, K. (2017). Big data and artificial intelligence are producing ultra-accurate forecasts that will make it feasible to integrate much more renewable energy into the grid. Recuperado el 26 de marzo de 2018, a partir de <https://www.technologyreview.com/s/526541/smart-wind-and-solar-power/>
- Burger, S., Chaves-Ávila, J. P., Batlle, C., & Pérez-Arriaga, I. J. (2016). The Value of Aggregators in Electricity Systems The Value of Aggregators in Electricity Systems, 77(January), 395–405. Recuperado a partir de [https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/01/CEEPR\\_WP\\_2016-001.pdf](https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/01/CEEPR_WP_2016-001.pdf)
- Burger, S. P., & Luke, M. (2016). Business Models for Distributed Energy Resources: A Review and Empirical Analysis, 109(June), 230–248. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.007>
- Celsia. (s/f). Granjas Solares. Recuperado el 21 de marzo de 2018, a partir de <http://www.celsia.com/granjas-solares>
- Chaves-Ávila, J. P., & Fernandes, C. (2015). The Spanish intraday market design: A successful solution to balance renewable generation? *Renewable Energy*, 74, 422–432. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.017>

Chiantore, P. V., Gordon, I., Hoffmann, W., Perezagua, E., Philipps, S., Román, E., ... Martínez, A. (2015). Future renewable energy costs: solar photovoltaics. Recuperado a partir de <http://www.innoenergy.com/wp-content/uploads/2014/09/KIC-InnoEnergy-Solar-PV-anticipated-innovations-impact.pdf>

Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Recuperado el 4 de marzo de 2018, a partir de [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

Couture, T., & Gagnon, Y. (2010). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy Policy*, 38(2), 955–965. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2009.10.047>

Department of Energy. (2015). Research Cell Efficiency Records. Recuperado el 1 de abril de 2018, a partir de <https://www.energy.gov/eere/solar/downloads/research-cell-efficiency-records>  
Department of Energy, U. (2017). Transforming the Nation ' s Electricity System : The Second Installment of the Quadrennial Energy Review.

Dunlop, S., Roesch, A., & Watson, J. (2017). Designing Eu Policy To Encourage New Solar Business Models Eu Policy Advisory Paper, (646554).

Ecorys Nederland BV. (2010). Assessment of non-cost barriers to renewable energy growth in EU Member States - AEON, (May), 129.

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Eickemeier, P., Matschoss, P., ... Stechow, C. Von. (2011). IPCC, 2011: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.49-6309>

Fatehi, I. (2015). The Law and Policy for Electricity Generated By Renewable Energy : Greening the Power in Three Middle eastern jurisdictions. Queensland University of Technology.

Fathima, A. H., & Palanisamy, K. (2015). Optimization in microgrids with hybrid energy systems - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 431–446. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.059>

Federal Energy Regulatory Commission. (2017). FERC: Industries - Reports on Demand Response & Advanced Metering. Recuperado el 1 de abril de 2018, a partir de <https://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/demand-response/dem-res-adv-metering.asp>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. (2018). Photovoltaics report. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems,. Freiburg. Recuperado a partir de [www.ise.fraunhofer.de/mwginternal/de5fs23hu73ds/progress](http://www.ise.fraunhofer.de/mwginternal/de5fs23hu73ds/progress)

Gardner, P., Garrad, A., Hansen, L. F., Jamieson, P., Morgan, C., Murray, F., ... Fichaux, N. (2009). Wind Energy The Facts Part I: Technology. *Wind Energy - The Facts: A Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power*, 29–152. Recuperado a partir de <http://www.wind-energy-the-facts.org/images/chapter1.pdf>



- Gobierno de Colombia. (2015). Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional iNDC. Gobierno de Colombia. Bogotá D.C. Recuperado a partir de [http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/mexico\\_indc\\_espanolv2.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/mexico_indc_espanolv2.pdf)
- Grupo Energía Bogotá. (2018). El GEB construirá el primer proyecto de transmisión de electricidad en Colombia para la conexión de los parques de energía eólica de la Guajira / 2018 / Sala de Prensa / Grupo Energía Bogotá. Recuperado el 22 de marzo de 2018, a partir de <https://www.grupoenergiabogota.com/sala-de-prensa/2018/el-geb-construira-el-primer-proyecto-de-transmision-de-electricidad-en-colombia-para-la-conexion-de-los-parques-de-energia-eolica-de-la-guajira>
- Hameed, Z., Hong, Y. S., Cho, Y. M., Ahn, S. H., & Song, C. K. (2009). Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(1), 1–39. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.008>
- Henriot, A. (2014). Market design with centralized wind power management: Handling low-predictability in intraday markets. *Energy Journal*, 35(1), 99–117. <https://doi.org/10.5547/01956574.35.1.6>
- Hernández-Moro, J., & Martínez-Duart, J. M. (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.082>
- T4 - Present LCOE values and their future evolution M4 - Citavi
- Herring, J. P. (1999). Key intelligence topics: A process to identify and define intelligence needs. *Competitive Intelligence Review*, 10(2), 4–14. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6386\(199932\)10:2<4::AID-CIR3>3.3.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6386(199932)10:2<4::AID-CIR3>3.3.CO;2-3)
- Huang, X., Han, S., Huang, W., & Liu, X. (2013). Enhancing solar cell efficiency: the search for luminescent materials as spectral converters. *Chem. Soc. Rev.*, 42(1), 173–201. <https://doi.org/10.1039/C2CS35288E>
- IEA. (2011). Deploying Renewables 2011: Best and Future Policy Practice. <https://doi.org/10.1787/9789264124912-en>
- IEA. (2017a). Snapshot of Global Photovoltaic Markets - IEA PVPS, 1–16. <https://doi.org/10.1787/9789264124912-en>
- IEA. (2017b). World Energy Outlook 2017. International Energy Agency: Paris, France (Vol. 8). <https://doi.org/10.1787/weo-2017-en>
- IEA International Energy Agency. (2013). Game Changers in the Energy Field " Future Power Systems ".
- IEADSM. (2008). Worldwide Survey of Network-driven Demand-side Management Projects. (D. Crossley, Ed.). Hornsby Heights: Energy Futures Australia Pty Ltd 11. Recuperado a partir de <http://www.efa.com.au>

Ikäheimo, J., Evens, C., & Kärkkäinen, S. (2010). DER Aggregator Business: the Finnish Case, 38. Instituto Tecnológico de Massachusetts. (2017). For Wind Power, Bigger Is Better. Recuperado el 27 de marzo de 2018, a partir de <https://www.technologyreview.com/s/608621/for-wind-power-bigger-is-better/>

International Energy Agency. (2017). Renewables 2017: Analysis and Forecasts to 2022 - Executive Summary. Journal for Quality Participation. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603395103>

International Renewable Energy Agency. (2013). International Standardisation in the Field of Renewable Energy, (March), 74. <https://doi.org/10.1002/2014GB005021>

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2017). RETHinking Energy. RETHinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation (Vol. 55).

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2018). Renewable power Generation Cost 2017. SpringerReference. Abu Dhabi. Recuperado a partir de [http://www.solarpaces.org/wp-content/uploads/IRENA\\_2017\\_Power\\_Costs\\_2018.pdf%0Ahttp://www.springerreference.com/index/doi/10.1007/SpringerReference\\_7300](http://www.solarpaces.org/wp-content/uploads/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf%0Ahttp://www.springerreference.com/index/doi/10.1007/SpringerReference_7300)

IPCC. (2014). Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416>  
IRENA. (2017). Renewable Energy Innovation : Accelerating Research For A Low-Carbon Future, 20.

Johnstone, N., Haščič, I., & Popp, D. (2010). Renewable energy policies and technological innovation: Evidence based on patent counts. Environmental and Resource Economics, 45(1), 133–155. <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9309-1>

Kalkman, J., Merhaba, A., Bose, S., & Bradley, H. (2015). Emerging technologies in Solar PV : identifying and cultivating potential winners Content. Arthur D. Little. Recuperado a partir de [http://www.adlittle.com/downloads/tx\\_adlreports/ADL-Renewable-Energy-Emerging-PV-Technology.pdf](http://www.adlittle.com/downloads/tx_adlreports/ADL-Renewable-Energy-Emerging-PV-Technology.pdf)

Klessmann, C., Nabe, C., & Burges, K. (2008). Pros and cons of exposing renewables to electricity market risks-A comparison of the market integration approaches in Germany, Spain, and the UK. Energy Policy, 36(10), 3646–3661. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.06.022>

KPMG. (2016). Global Trends In Renewable Energy. Global Trends in Renewable Energy.

Leiva, J., Palacios, A., & Aguado, J. A. (2016). Smart metering trends, implications and necessities: A policy review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 55, 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.002>

Meier, P., Vagliasindi, M., & Imran, M. (2014). The Design and Sustainability of Renewable Energy Incentives: An Economic Analysis. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0314-7>



- Menanteau, P., Finon, D., & Lamy, M.-L. (2003a). Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. *Energy Policy*, 31(8), 799–812. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00133-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00133-7)
- Menanteau, P., Finon, D., & Lamy, M.-L. (2003b). Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy : : Menanteau, P. et al. *Energy Policy*, 2003, 31, (8), 799–812. *Energy Policy*, 31(5), 799–812. [https://doi.org/10.1016/S0140-6701\(03\)91979-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6701(03)91979-5)
- MIT. (2015). The Future of Solar Energy. Massachusetts. Recuperado a partir de <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2015/05/MITEI-The-Future-of-Solar-Energy.pdf>
- Nesta, L., Vona, F., & Nicolli, F. (2014). Environmental policies, product market regulation and innovation in renewable energy. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67, 396–411. Recuperado a partir de <http://services.bepress.com/feem/paper741/>
- Ogbomo, O. O., Amalu, E. H., Ekere, N. N., & Olagbegi, P. O. (2017). A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(March 2016), 1225–1238. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.109>
- Palop, F., & Vicente, J. M. (1999). Vigilancia Tecnológica E Inteligencia Competitiva. Su Potencial Para La Empresa Española. ... *Gestión de las Persona y ...*, 116. Recuperado a partir de [http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:Ei24Mz8j1yMJ:scholar.google.Competitiva:+Una+Contribución+al+Desarolo+de+Regiones+o+Teritorios+Inteligentes&hl=es&as\\_sdt=0,5%5Cnhttp://www.delfos.co.cu](http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:Ei24Mz8j1yMJ:scholar.google.Competitiva:+Una+Contribución+al+Desarolo+de+Regiones+o+Teritorios+Inteligentes&hl=es&as_sdt=0,5%5Cnhttp://www.delfos.co.cu)
- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625–1636. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>
- Pelosi, R. (2016). The Next Generation in Wind Power Technology - Renewable Energy World. Recuperado el 1 de abril de 2018, a partir de <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-19/issue-4/features/wind/the-next-generation-in-wind-power-technology.html>
- Perez-Arriaga, I. J. (2011). Managing large-scale penetration of intermittent renewables. *Anesthesiology* (Vol. 115). <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3182318466>
- Pilo, F., Pisano, G., & Soma, G. G. (2009). Advanced DMS to manage active distribution networks. 2009 IEEE Bucharest PowerTech: Innovative Ideas Toward the Electrical Grid of the Future, 1–8. <https://doi.org/10.1109/PTC.2009.5281947>
- Polman, A., Knight, M., Garnett, E. C., Ehrler, B., & Sinke, W. C. (2016). Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges. *Science*, 352(6283). <https://doi.org/10.1126/science.aad4424>
- Quitian, D., & Escobar, W. (2015). Impactos de la reglamentación de la ley 1715 de energías renovables no convencionales en Colombia. *Econografos*, 84, 1–33. Recuperado a partir de <http://www.fcenew.unal.edu.co/publicaciones/images/econografos/documentos-econografos-economia-84.pdf>

REN21. (2017a). Renewables 2017 Global Status Report. Paris. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.082>

REN21. (2017b). Renewables Global Futures Report. Paris. Recuperado a partir de [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/10/GFR-Full-Report-2017\\_webversion\\_3.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/10/GFR-Full-Report-2017_webversion_3.pdf)

Sánchez-Torres, J. M. (2017). Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. Guía de aplicación Vigilancia Tecnológica, Inteligencia Competitiva y Prospectiva. Versión Preliminar. (Vol. 1). Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

Sánchez-Torres, J. M., & Palop Marro, F. (2002). Herramientas de Software especializadas para Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. *Triz XXI*, 1, 1–15. Recuperado a partir de [https://www.researchgate.net/publication/31842359\\_Herramientas\\_de\\_software\\_para\\_la\\_practica\\_en\\_la\\_empresa\\_de\\_la\\_vigilancia\\_tecnologica\\_e\\_inteligencia\\_competitiva\\_evaluacion\\_comparativa\\_JM\\_Sanchez\\_Torres\\_pref\\_de\\_Eduardo\\_Rios\\_Pita\\_presen\\_de\\_Fernando\\_Pa](https://www.researchgate.net/publication/31842359_Herramientas_de_software_para_la_practica_en_la_empresa_de_la_vigilancia_tecnologica_e_inteligencia_competitiva_evaluacion_comparativa_JM_Sanchez_Torres_pref_de_Eduardo_Rios_Pita_presen_de_Fernando_Pa)

SER Colombia. (2016). Experiencias de la Asociacion de Energias renovables de Colombia. Recuperado a partir de <http://energycolombia.org/images/MEMORIAS/2016/ENERGIASRENOVABLES/ExperienciasdelaAsociaciondeEnergiasrenovablesdeColombia.pdf>

Sharma, K., & Mohan Saini, L. (2015). Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 720–735. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.170>

Sistema de Información eléctrico Colombiano. (2018). Inscripción de proyectos de Generación. Recuperado el 21 de marzo de 2018, a partir de <http://www.siel.gov.co/Inicio/Generación/InscripcióndeproyectosdeGeneración/tabid/113/Default.aspx>

The UK Govenment's Taskforce on Sustainable Consumption and. (2008). Decentralised Energy: Business Opportunity in Resource Efficiency and Carbon Management. Energy.

UNFCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Paris Agreement (Spanish) (2015). Recuperado a partir de [http://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf)

Unidad de planeación Minero Energética (UPME). (2015). Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. Unidad de Planeación Minero Energética, Republica de Colombia, 184. Recuperado a partir de [http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN\\_IdearioEnergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf)

Vagliasindi, M. (2012). The role of policy driven incentives to attract PPPs in renewable-based energy in developing countries : a cross-country analysis, (July), 1–27. Recuperado a partir de <http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/07/16481342/role-policy-driven-incentives-attract-ppps-renewable-based-energy-developing-countries-cross-country-analysis>

Willis Towers Watson. (2018). Power and Renewable Energy Market Review 2018. Power and Renewable Energy Market Review 2018. Recuperado a partir de <https://www.willistowerswatson.com/-/media/WTW/PDF/Insights/2017/12/WTW-Power-Renewables-Market-Review-2017.pdf>. Wind Energy Technology Office. (2016). Next-Generation Wind Technology | Department of Energy. Recuperado el 1 de abril de 2018, a partir de <https://www.energy.gov/eere/next-generation-wind-technology>

Woo, C. K., Horowitz, I., Moore, J., & Pacheco, A. (2011). The impact of wind generation on the electricity spot-market price level and variance: The Texas experience. *Energy Policy*, 39(7), 3939–3944. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.084>

XM. (2017). Integración fuentes renovables no convencionales en la operación del Sistema Interconectado Nacional. Bogotá D.C.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

# Informe de Vigilancia en Tecnologías Emergentes y Políticas para Energía Renovables

## Anexos



Bogotá  
Abril de 2018

## Anexo 1. Políticas para fuentes renovables de energía

Un cambio hacia una solución de baja emisión de carbono puede ser particularmente costoso si se implementa a través del aumento en la participación de energía renovable. La mayoría de las fuentes de energía renovable son más costosas que las convencionales; en la mayoría de los casos, esto es debido a los altos costos de capital, cambios inducidos en el nivel y en la composición de capital. Adicionalmente, la mayoría de formas de generación renovable (a través de sustitutos para fuentes de energía convencionales) son pobres para proporcionar capacidad en periodos pico. (Meier et al., 2014)

En el campo de las energías renovables se fijan políticas de investigación, desarrollo, demostración e implementación, para ayudar a nivelar el terreno de juego para las energías renovables. Estas políticas incluyen regulaciones tales como esquemas feed-in tariff, cuotas, prioridad de despacho, mandatos para construcción, requisitos de mezclas de biocombustibles, y criterios de bioenergía sostenible. Otra categoría de políticas son los incentivos fiscales, mecanismos tales como préstamos y garantías. Políticas más amplias, orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero -GEI- tales como mecanismos de bonos de carbón también soportan la energía renovable. (Meier et al., 2014)

Otro aspecto importante es la asociación significativa y positiva que existe entre los mecanismos de incentivos y las alianzas público privadas en la generación de energía renovable, y aspectos como la cobertura de factores de gobernanza, el grado de corrupción y la competencia política, los cuales son frecuentemente consideradas por los inversionistas privados a la hora de invertir en generación basada en energía renovable, lo que demuestra que están protegidos contra el riesgo, y una vez han entrado al mercado, pueden acomodarse al entorno del gobierno (Meier et al., 2014).

Los países que han mejorado las inversiones en transmisión también han abierto el camino para atraer mejor inversión en renovables. Lo que confirma que la inversión privada no depende, en el aspecto más amplio de las políticas, únicamente de apoyo financiero y mecanismos de incentivos, evitando atrasos constructivos debido a los atrasos por causa de incertidumbres regulatorias, y atrasos por acceso a infraestructura y transmisión (Meier et al., 2014).

En tabla 15 (Fathima & Palanisamy, 2015) propone una clasificación entre incentivos monetarios y no monetarios. Posteriormente se desarrollan teóricamente los dos principales mecanismos y se da una breve descripción de los demás grupos de incentivos existentes.

**Tabla 14.** Clasificación de patentes para energía eólica y solar fotovoltaica

Tipo de Incentivo	Categoría E	Ejemplo
Monetario	Basado en Precio	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Feed-in tariff</li> <li>-Medición neta</li> <li>-Crédito en Impuesto (Producción o inversión)</li> <li>-Reducción/Exención de impuestos</li> <li>-Tarifa Verde/Tarifa al por menor</li> </ul>
	Basado en Inversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Subsidios de capital</li> <li>-Subvenciones y descuentos</li> <li>-Etiqueta Verde</li> <li>-Depreciación acelerada</li> <li>-Prestamos</li> <li>-Garantías</li> <li>-Subsidios de investigación y desarrollo</li> </ul>
	Basado en Cantidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cuota, obligación o mandato</li> <li>-Subastas / Licitaciones</li> <li>-Certificados de energía renovable</li> <li>-Compras de Energía Verde</li> <li>-Bonos de Carbón</li> </ul>
No Monetario	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Despacho priorizado</li> <li>-Prioridad por tecnología específica</li> <li>-Apoyo al desarrollo de capacidad</li> <li>-Conexión internacional</li> <li>-Código de Red</li> <li>-Acceso garantizado a la red</li> </ul>

**Fuente:** Elaborado a partir de (Nesta et al., 2014) y (Johnstone et al., 2010)

## A.1 Mecanismos de incentivos

### A.1.1 Incentivos por precio

De esta forma un gobierno interviene para garantizar a los generadores de energía renovable precios de venta preferenciales, de tal manera que el mercado determina la cantidad de energía renovable suministrada a un precio estipulado; en algunos países se fija un techo para esta cantidad.

El incentivo más utilizado es el conocido como Feed-In Tarriffs (FTI's en adelante), el cual implica una obligación por parte de las empresas de energía a comprar la electricidad producida por generadores de energía renovables en su área de servicio a una tarifa determinada por las autoridades públicas y garantizada por un periodo de tiempo determinado, generalmente cerca de quince años (Menanteau, Finon, & Lamy, 2003b).

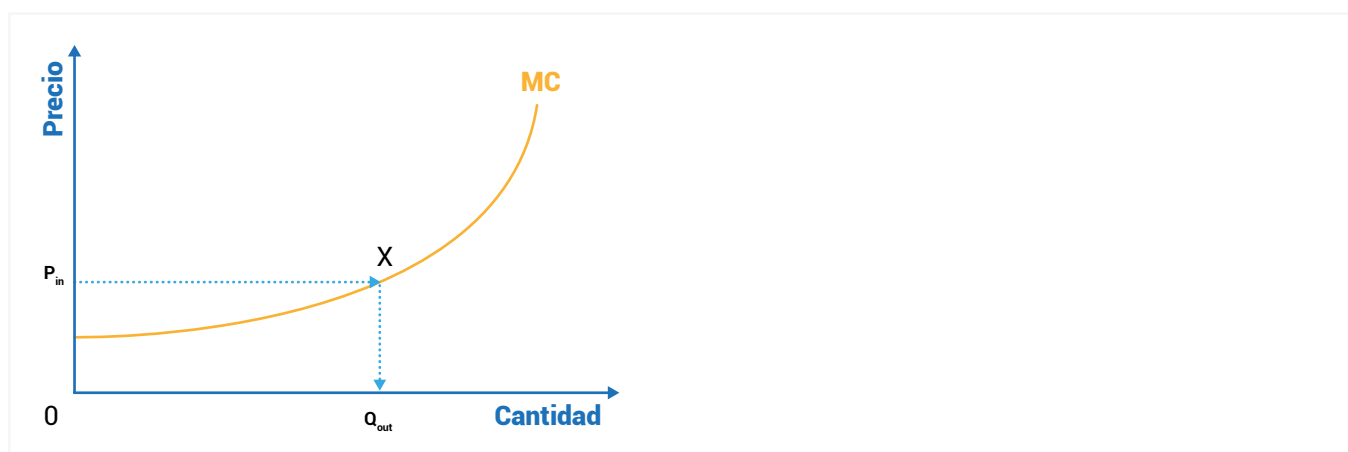


Este modelo de remuneración puede ser diseñado de dos formas, independiente o dependiente del mercado. Las políticas FIT's independientes del mercado son generalmente conocidas como políticas de precio fijo, dado que ofrecen un precio mínimo o fijo de despacho de energía a partir de fuentes renovables a la red.

Las políticas FIT dependientes del mercado, son conocidas como políticas de precio Premium, o Feed-In Premium, debido a que un pago adicional o Premium es agregado por encima del precio del mercado, este Premium puede diseñarse tanto para representar los atributos sociales y ambientales de las energías renovables como para ayudar a aproximar los costos de generación de diferentes tecnologías de energía renovable (Couture & Gagnon, 2010).

La siguiente gráfica tomada de (Menanteau et al., 2003b) ilustra el caso de las FIT tomando como ejemplo un parque eólico, el generador esta incentivado a explotar todos los sitios para generación hasta que el costo marginal (MC) de generar determinada cantidad de energía eólica ( $Q_{out}$ ) iguale la tarifa propuesta ( $P_{in}$ ).

**Ilustración 21.** Esquema Feed-In Tariff



**Fuente:** (Menanteau et al., 2003b)

### A.1.2 Incentivos por cantidad

Se presenta cuando un gobierno determina una cantidad objetivo de energía renovable a ser suministrada, como resultado el mercado determina el precio, por ejemplo, a través de una subasta por una determinada cantidad de megavatios-hora MWh para ser entregado a un determinado horizonte de años (Meier et al., 2014).

Las subastas o licitaciones son mecanismos que pueden ser conducidos en diferentes formas, su meta principal es garantizar al ganador el derecho a suministrar una cantidad predeterminada de energía renovable. Independientemente si el tipo de subasta es tipo sobre sellado, subasta inversa o una combinación, el objetivo final es empujar la rueda de inversión de las renovables en el mercado.

Por ejemplo el modelo de subasta fue usado en el mercado de electricidad del reino unido de gran Bretaña e Irlanda del norte entre 1990 y 1998, y fue una de las primeras cinco naciones en implementar subasta de renovables. Cuarenta y cuatro países adoptaron las subastas en el

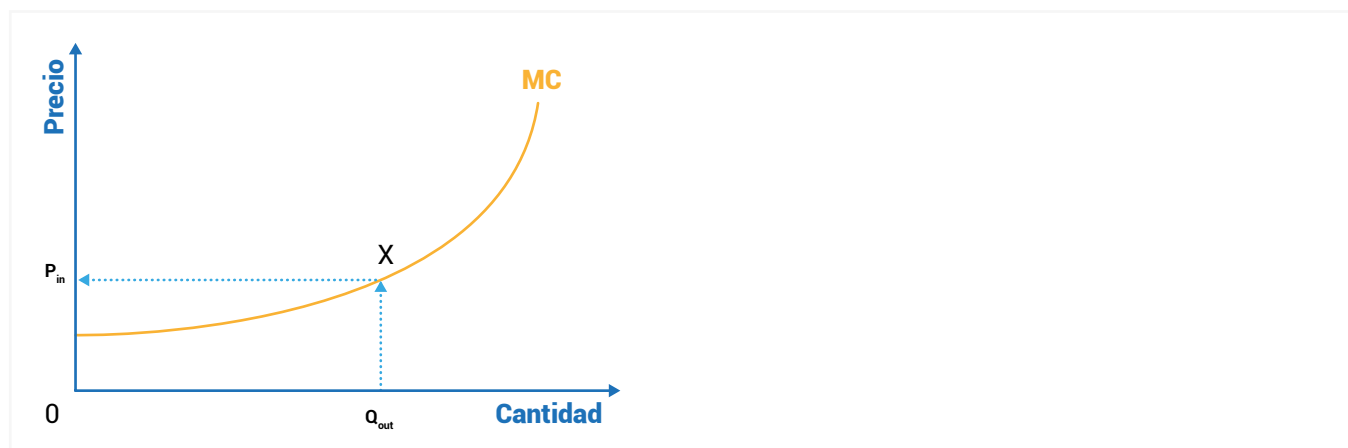
periodo comprendido entre 2009 y 2013, treinta de ellos, países en desarrollo (Fatehi, 2015).

Esta competición se centra en el precio por Kilovatio Hora propuesto durante el proceso de subasta, las propuestas son clasificadas en orden incremental de costo hasta alcanzar la cantidad contratada. Cada uno de los generadores de energía renovable seleccionada, es recompensado con un contrato a largo plazo para suministrar electricidad al precio que ofertó, el término utilizado es el anglicismo “pay as bid”.

En el caso anterior el subsidio implícito para cada generador corresponde a la diferencia radica en que la capacidad de generación de energía renovable es conocida a priori, y por otro lado, debido a que no es conocida la curva de costo, el costo marginal y el costo total de alcanzar la producción objetivo no puede ser determinado.

El costo extra es financiado muy similar a las FIT, puede ser agregado a la tarifa como una contribución especial (Inglaterra) o cubierto a través de un subsidio cruzado entre todos los consumidores de electricidad (Francia) (Menanteau et al., 2003b)

### **Ilustración 22.** Sistema Competitivo de Subasta



**Fuente:** (Menanteau et al., 2003b)

De la gráfica anterior se infiere que el costo marginal ( $P_{out}$ ) es el precio pagado por el último proyecto seleccionado que permite alcanzar la cantidad ( $Q_{out}$ ), (Menanteau, Finon, & Lamy, 2003a) al cual el regulador obliga a las empresas de energía eléctrica a comprar electricidad de los generadores seleccionados.

#### **A.1.3 Otros Incentivos**

Existen variados esquemas tanto de incentivos financieros como económicos, que se utilizan individualmente o combinados con los esquemas de precio y cantidad, entre ellos:

**Apoyo Directo:** En este modelo el capital es directamente aportado a los proyectos de generadores de energía renovable, tanto directamente por parte del gobierno, como a través de la venta de créditos de carbono, o los mecanismos limpios de desarrollo CDM. (Meier et al., 2014).

**Apoyo Indirecto:** Este apoyo se logra a través de descuentos en impuestos e incentivos como prestamos estatales de bajo costo o concesionarios por financiamiento de carbono. (Meier et al., 2014).

**Incentivos Económicos:** Los incentivos financieros y la combinación de los mismos buscan dar viabilidad de financiamiento a los proyectos de renovables reduciendo los costos financieros o incrementando el beneficio a través de tarifas preferenciales, junto con la reducción de los subsidios a los combustibles fósiles se favorece la implantación de recursos, Sin embargo estos incentivos no tienen efecto en el cambio de la realidad subyacente en términos de costo-beneficio económico. Se requiere un conjunto diferente de políticas para obtener incentivos que reduzcan los costos económicos, o mejoren la eficiencia técnica de las renovables (Meier et al., 2014), entre ellos:

**Fabricación local de tecnologías para renovables:** El ejemplo más amplio es China, el bajo costo de sus equipos, el cual ha sido el promotor principal de las renovables, mucho más allá de todos los incentivos para renovables en Asia. En Vietnam los generadores hidráulicos y eólicos originarios de China, cuestan el 60% de los equipos fabricados en Europa. Muchos países optan por los recursos locales, tal como Brasil con líneas de crédito de bajo interés con bancos estatales, Malasia que emite bonos para los equipo geotérmicos fabricados localmente o Sudáfrica y Turquía usando recursos locales para las subastas de renovables. (Meier et al., 2014)

**Optimización operacional:** Muchos proyectos hidroeléctricos no están basados en un claro entendimiento de la reglas de operación bajo reserva así como de las decisiones de descarga de flujo, afectando la generación, esto resulta en una operación en puntos muy distantes del mejor punto de eficiencia, con muchas sanciones por generación, incluso de hasta el 5% del neto generado anualmente (Meier et al., 2014).

**Costos institucionales de transacción:** La Global Environment Facility (GEF) que fundó muchos proyectos entre 1995 y 2005, reconoció expresamente la importancia de reducir las barreras institucionales. La experiencia durante esa década, mostro como los costos por retrasos atribuibles a las disfuncionalidad institucional tuvo su mayor impacto en el retorno económico: Excelentes ejemplos son los mini proyectos hidráulicos rurales en filipinas, donde se tuvieron atrasos por 2 años, con una reducción de la tasa de retorno económico ERR del 26% al 21%. (Meier et al., 2014)

**Apoyo a la integración de la transmisión:** El 20% de la capacidad de energía eólica en China se reporta improductiva, debido a atrasos en la conexión al sistema de transmisión o cuellos de botella en el sistema (Meier et al., 2014).

## A.2 Países de referencia

De acuerdo con la IEA la política de subastas de energía define los posibles escenarios energéticos a 2040. En el caso del "escenario nuevas políticas" este incluye no solo las políticas actuales de los países de referencia, sino también, la contribución determinada a nivel nacional, luego de la firma del acuerdo de París.

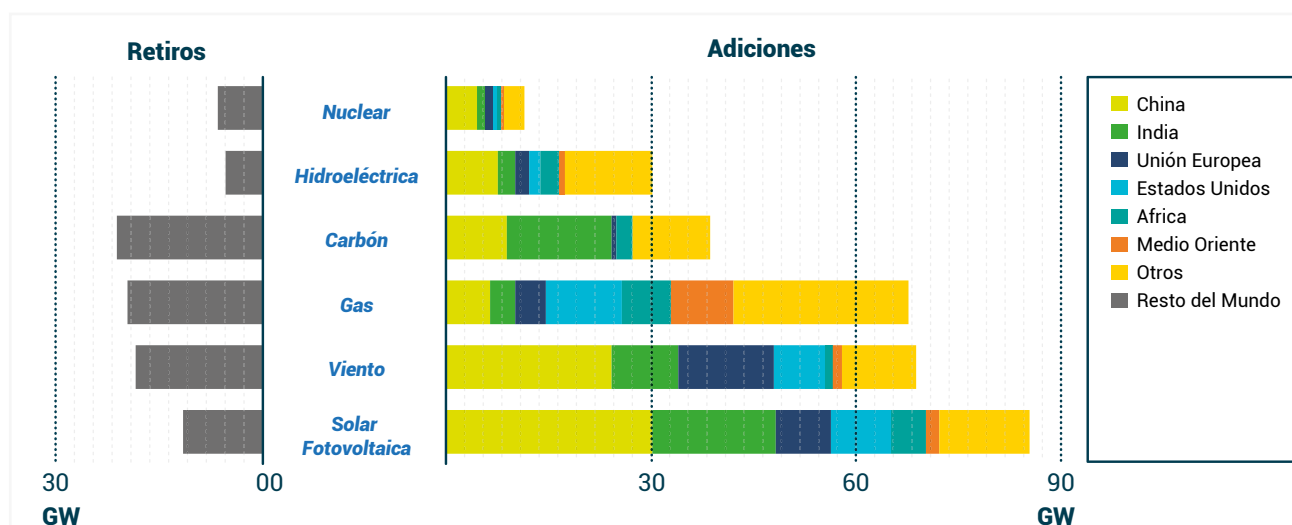
Estas intenciones tienen en cuenta variables macroeconómicas y puntos de tendencia de costo/demanda. En tanto que no son plenamente incorporadas a la legislación o regulación, están sujetas a contextos institucionales, infraestructura política, regulatoria, de mercado y restricciones de financiamiento. En la tabla 16 se enlistan las políticas en países de referencia.

**Tabla 16.** Políticas energéticas recientes en Países seleccionados

País/Región	Políticas recientes seleccionadas
Australia	-Mecanismo de salvaguarda, 140 grandes emisores de GEI deben mantener sus niveles en líneas base individuales
Canadá -	Para 2030 deben estar fuera de servicio las plantas tradicionales de carbón para producción eléctrica -Incremento de impuesto al carbón de 10CAD a 50CAD por cada tonelada de CO2 emitida.
Chile	-Impuesto de 5 pesos chilenos por tonelada emitida de CO2 para grandes plantas de energía desde 2017.
China	-13° Plan Anual (2016-2020) con medidas para energía, clima y calidad del aire.  -Estrategia de revolución para el 2030 con objetivos para el suministro y consumos de energía -Esquema de negociación de emisiones fuera de operación desde finales de 2017
Unión Europea	-Reducción consumo en negocios del 30%, eficiencia. -Revisión del sistema de negociación de emisiones (ETS) -Fijación de topes para emisiones al año 2030
Suecia -	Carbono Neutro en 2045
Reino Unido	-Prohíbe las ventas de autos diesel a partir de 2040
Estados Unidos -	Retiro del acuerdo de París -Orden presidencial para la independencia energética y el crecimiento económico  -Potencial retraso en la regulación de emisiones de metano

**Fuente:** (IEA, 2017b)

Como resultado de la aplicación de estas políticas, la IEA ha planteado un escenario donde se representa la mayor transición hacia la producción de energía libre de emisiones de GEI, tras un siglo de dominio de los combustibles fósiles, las plantas térmicas convencionales no liderarán las adiciones anuales de capacidad, las fuentes renovables corresponderán al 60% del total de las adiciones de capacidad para el año 2040, la siguiente grafica representa los retiros y las adiciones de capacidad por tipo de tecnología en el “escenario de nuevas políticas” de la IEA:

**Ilustración 23.** Adiciones de capacidad por tecnología al 2040 - Escenario Nuevas Políticas de la IEA**Fuente:** (IEA, 2017b)

### A.3 Subsidios para energía renovable

En China se ha identificado que tras la masificación de la instalación de generación eólica, el marco regulatorio de la política para esta tecnología favorece la expansión rápida de estas instalaciones acompañada de capacidad inoperante. La incompatibilidad entre los incentivos de las políticas actuales que atraen compañías generadoras a la persecución de expansión sin importar la calidad, mientras, cohiben a los operadores de red de mejorar la conectividad, la tecnología de transmisión y el despacho, es la primera causa de la capacidad inoperante a gran escala.

Se sugiere entonces, mejorar la incompatibilidad de las políticas, lo que incluye (i) distribución de los beneficios y diversificación del riesgo equitativamente entre generadores y operadores y (ii) motivar a la generadores a abordar la fluctuación de la demanda activamente. (Browme, 2014). Como complemento al estudio anteriormente mencionado, se ha investigado que aunque la reestructuración de la industria china, de manufacturas intensivas en energía a servicios menos intensivos en energía ha derivado en una desaceleración económica y consecuentemente de la demanda de energía, sin embargo esto no ha detenido el crecimiento de las energías renovables, y para el caso de la energía eólica el bajo crecimiento económico y el allanamiento de la curva de demanda están imperfectamente alienados.

Resultado de estas condiciones económicas, surgen las restricciones técnicas de red y los problemas de balance de potencia, a tal punto que cualquier incremento en la capacidad de generación de energías renovables variables (fotovoltaica y eólica) será a costa de la generación existente o enfrentara recortes, que de continuar, harían la energía eólica no económica y se frenaría. (Browme, 2014).

Las restricciones técnicas de red son aspectos que inciden también en el desarrollo de tecnologías renovables en los Estados Unidos, donde la reforma de la visión energética (REV por sus siglas en inglés: Reforming Energy Vision), apunta a la obsolescencia de la infraestructura, concentrando esfuerzos en la transición de las empresas de energía en un rol de Operador de

Red Transactivo, que apoye la innovación y adopción de un mayor alineamiento de las políticas energéticas con los aspectos técnicos, económicos, sociales y políticos (International Energy Agency, 2017).

De acuerdo con la REA en el Reino Unido, el esquema de Obligación de Renovables (RO), mecanismo con el cual los productores de energía deben cumplir con una proporción de su producción por medio de renovables a través de Certificados de Obligaciones Renovables (ROCs) negociados con las generadores renovables, estará cerrado para nuevos oferentes a partir de 2018.

Para el caso de las FITs el Reino Unido también prevé modificaciones sustanciales en el esquema, particularmente en la reducción de las tarifas, y en el establecimiento de franjas máximas de remuneración para generadores renovables, (Deployment Caps), esto es una señal, que en mercados maduros en renovables, los esquemas que presentan caso de éxito en la promoción, no son económicamente efectivos del todo en la edad adulta de las renovables.

Referente a la generación distribuida (conocida en el Reino Unido como Energía Descentralizada) presenta los siguientes ámbitos de trabajo (The UK Government's Taskforce on Sustainable Consumption and, 2008):

- Es necesaria una combinación de regulación, cambio de comportamiento y medidas fiscales para lograr un sistema bien integrado que beneficie a la sociedad.
- Las inversiones en energía son compromisos de largo plazo. Es necesario estructurar un marco regulatorio de largo plazo para que los negocios opten por soluciones distribuidas.
- Los costos de capital de las soluciones de energía distribuidas son altos. La contratación del sector público es una importante herramienta para acelerar la captación de soluciones de energía distribuidas a través de las construcciones para escalar el mercado y crear conciencia sobre las alternativas a los enfoques convencionales.

#### **A.4 Modelos de Negocio**

En el campo de la generación distribuida aunque ante cada necesidad se adaptará un modelo de negocio particular, se realizan investigaciones en crear modelos genéricos de generación distribuida para diferentes configuraciones, a continuación de presentan en la tabla 17 las principales características de estos modelos de negocio.



**Tabla 17.** Lista general de modelos de negocio para recursos distribuidos

Modelo	Flujos	Pago	Beneficio	Agentes	Base Mercado
Gestión demanda basado en el mercado	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Tarifas sobre los rendimientos del OR Tarifas de suscripción	Distribuidores, Transmisores, Generadores Distribuidos, Usuarios Finales	Basado en Capacidad y reserva de la generación distribuida
Gestión demanda basado en el operador de red	Monetarios Energía Información	Servicios eléctricos, tarifas de suscripción	Tarifas sobre los rendimientos del OR	Operador de Red Regulado, Generadores Distribuidos, Usuarios Finales	Basado en Capacidad base del operador de red y la reserva de la generación distribuida
Gestión de la energía	Monetarios Energía Información	Por Energía, Uso de redes	Tarifas de suscripción, ahorros compartidos	Proveedor del suministro eléctrico, Usuarios Finales, Proveedor sistema gestión de energía	Minimización de los costos del servicio de energía eléctrica
Almacenamiento térmico	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Compra de activos, leasing, compra de commodities	Distribuidores y Transmisores, regulados, Usuarios Finales	Almacenamiento de energía para optimización de usuario y servicios de red
Almacenamiento de energía	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Compra de activos, leasing, compra de commodities	Proveedor del suministro eléctrico, Usuarios Finales, tenedor de recursos ETS	Almacenamiento de energía para optimización de usuario y servicios de red
Optimizado de sistema y usuario final	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Tarifas sobre los rendimientos del OR, venta de activos, prestamos	Distribuidores y Transmisores, regulados, Usuarios Finales, tenedor de recursos ETS	Sistema de negociación de emisiones (ETS) optimizado para el sistema y usuario
Generación solar fotovoltaica y almacenamiento	Monetarios Energía Información	Capacidad Firme Reserva Operativa Mitigación de restricciones	Tarifas sobre los rendimientos del OR, venta de activos, prestamos	Distribuidores y Transmisores, regulados, Usuarios Finales.	Solar mas almacenamiento optimizado para el sistema y usuario

**Fuente:** Elaborado a partir de (S. P. Burger & Luke, 2016)

Para el caso de la medición inteligente, existen actualmente deficiencias regulatorias, principalmente los costos adicionales por la gestión de nueva y abundante información disponible, así como las nuevas competencias con las que debe contar el operador de red. El establecimiento de obligaciones e incentivos para las partes involucradas debe ser creado para crear un modelo de negocio viable, rentable y sostenible para dichas partes.

Leiva y su grupo de trabajo proponen un modelo de negocio que cambia el paradigma de punto de suministro a “spot de energía”, donde la generación y el consumo de energía se lleve a cabo a manera de intercambio, gestionado eficientemente a través de la interacción de medidores inteligentes con estándares de uso libre, eliminando duplicidades innecesarias, ineficiencias e incompatibilidades. Permitiendo al usuario acceso libre a sus dispositivos vía local o remota (Leiva, Palacios, & Aguado, 2016).

#### **A.5 Categorización de Mecanismos financieros**

Existe gran variedad de opciones de mecanismos bien desarrollados, que direccionan las barreras económicas en el sector eléctrico, con el ánimo de resumir las características por tipo de mecanismo, a continuación se presenta un resumen en la tabla 18

**Tabla 18.** Características de mecanismos financieros

	FIT/FIP	TGC	Oferta	Incentivo en impuestos	Subvención de capital
Gestión de cantidad instalada	Difícil, a menos que se desarrollen techos de precio	Implícitas en el mecanismo pero no específico por tecnología	Buena	Ninguna	Posible a través de techos o cantidad concesionada
Control de precio	Muy específico, revisiones frecuentes son necesarias	El precio tiene un techo por la tarifa de compra, fijado por el mercado, se pueden fijar precios base	Buena	Ninguna	Posible si se establecen niveles de concesión
Seguridad para el inversionista	Alta, existe alguna exposición a las fluctuaciones del mercado para los Premium	Expuesto al mercado eléctrico y de certificados de riesgo, mitigable con precios base	Alta, una vez se logra la concesión, muy baja durante la fase de oferta	Alta, pero susceptible a recortes de presupuesto	Alta, pero susceptible a recortes de presupuesto, especialmente atractiva a altas tasas de descuento
Costos de transacción / Complejidad	Relativamente simple si los procedimientos son optimizados y aplicados a pequeños desarrollos	Complejo, es mejor para grandes desarrollos, puede ser mitigado con la introducción de compradores públicos para pequeños proyectos	Relativamente sencillo pero mejor para proyectos más grandes; riesgo de pujas y "juegos" demasiado agresivos.	Relativamente simple como parte de la gestión general de impuestos.	Relativamente simple

**Fuente:** Traducción libre de (IEA, 2011)

De acuerdo con la IEA el portafolio de Energías Renovables se está volviendo competitivo en costos en un campo cada vez más amplio de circunstancias, en algunos casos brindando oportunidades de inversión sin la necesidad de un apoyo económico específico, pero las barreras económicas siguen siendo importantes en muchos casos. Un conjunto de barreras no-económicas significativas también está retrasando el progreso.

#### A.6 Barreras de mercado

La siguiente lista hace referencia a las barreras económicas y no-económicas (para ampliar la información referirse a (Ecorys Nederland BV, 2010) para la implantación de energías renovables, esta información también se presenta en la ilustración 26, donde el aspecto fundamental consiste en la superación de estas barreras, donde los aspectos no económicos juegan un rol más importante que los mecanismos para superar las barreras económicas.

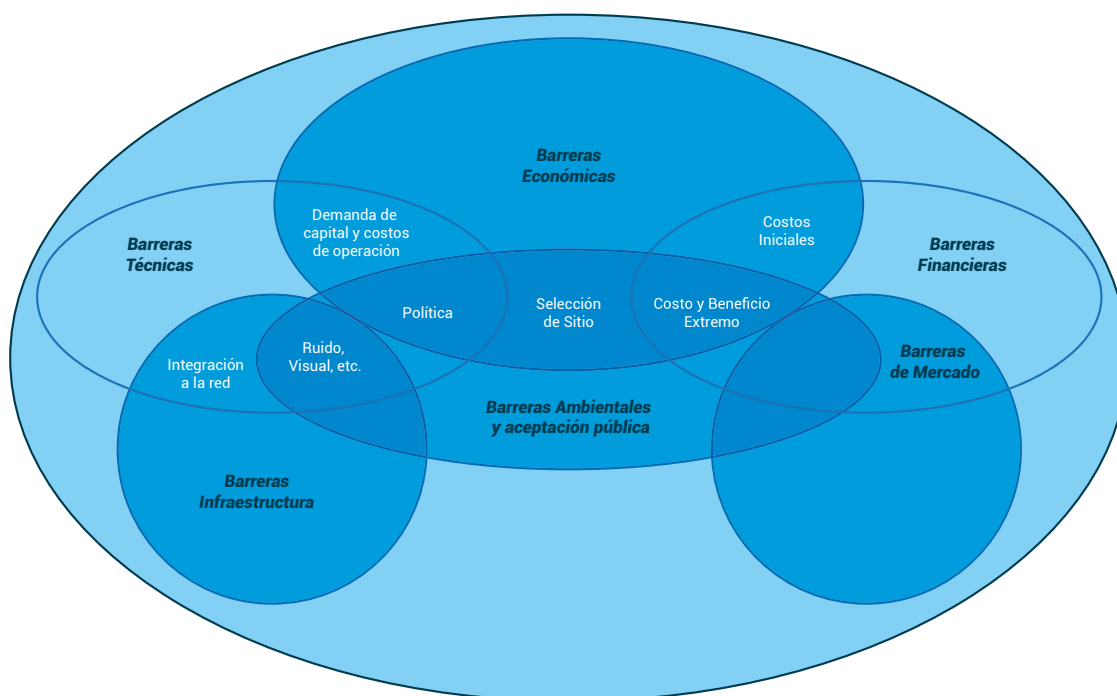
### - **Barreas Económicas**

- Costo inicial de inversión
- Selección de la locación
- Costos de capital
- Costo/Beneficio Externo
- Políticas

### - **Barreras No Económicas**

- Incertidumbre regulatoria y política: Mal diseño de políticas, discontinuidad o falta de transparencia en la política y legislación.
- Administrativas e institucionales: Rezago en instituciones fuertes y dedicadas, indefinición de responsabilidades, procedimientos de trámites poco transparentes, lentos o complicados.
- Mercado: Fijación inconsciente de precios para las renovables, información asimétrica, subsidios para los combustibles fósiles, fallas en los métodos de costeo para incluir factores sociales y ambientales.
- Financieras: Asociada con la ausencia de oportunidades de financiación de productos y fondos para las tecnologías renovables
- Infraestructura: Se centra principalmente en la flexibilidad del sistema de potencia para integrar los recursos renovables.
- Capacitación: Falta de conocimiento acerca de la disponibilidad y desempeño de las fuentes renovables, falta de personal capacitado.
- Aceptación pública y ambiental: Relacionada con la experiencia en planeación de regulación y aceptación pública de las tecnologías renovables.

**Ilustración 24.** Barreras para las energías renovables



**Fuente:** Traducción libre de (IEA, 2011)

### **A.7 Indicadores de política**

Para la IEA es clave aplicar indicadores de política a los desarrollos eólicos continentales y solares fotovoltaicos en los países de la OCDE y BRICS. En este grupo de países, es posible determinar las mejores prácticas y realizar una estimación cuantitativa de las políticas; estos indicadores son:

- El indicador de impacto de políticas (PII) evalúa el éxito de un país al agregar generación a partir de una tecnología renovable utilizando las proyecciones del escenario de la IEA WEO 450 para su implementación en el país, teniendo el 2030 como punto de referencia.
- El indicador de adecuación de la remuneración (RAI) evalúa si la remuneración total otorgada a los generadores es adecuada. Se comparan los niveles de remuneración, corrigiendo las diferentes dotaciones de recursos del país.
- El indicador de costo total (TCI) compara el nivel de las primas que deben pagarse anualmente para la generación adicional que se logró en un año determinado. El valor total al por mayor de la generación de energía de un país se utiliza como punto de referencia para la comparación.

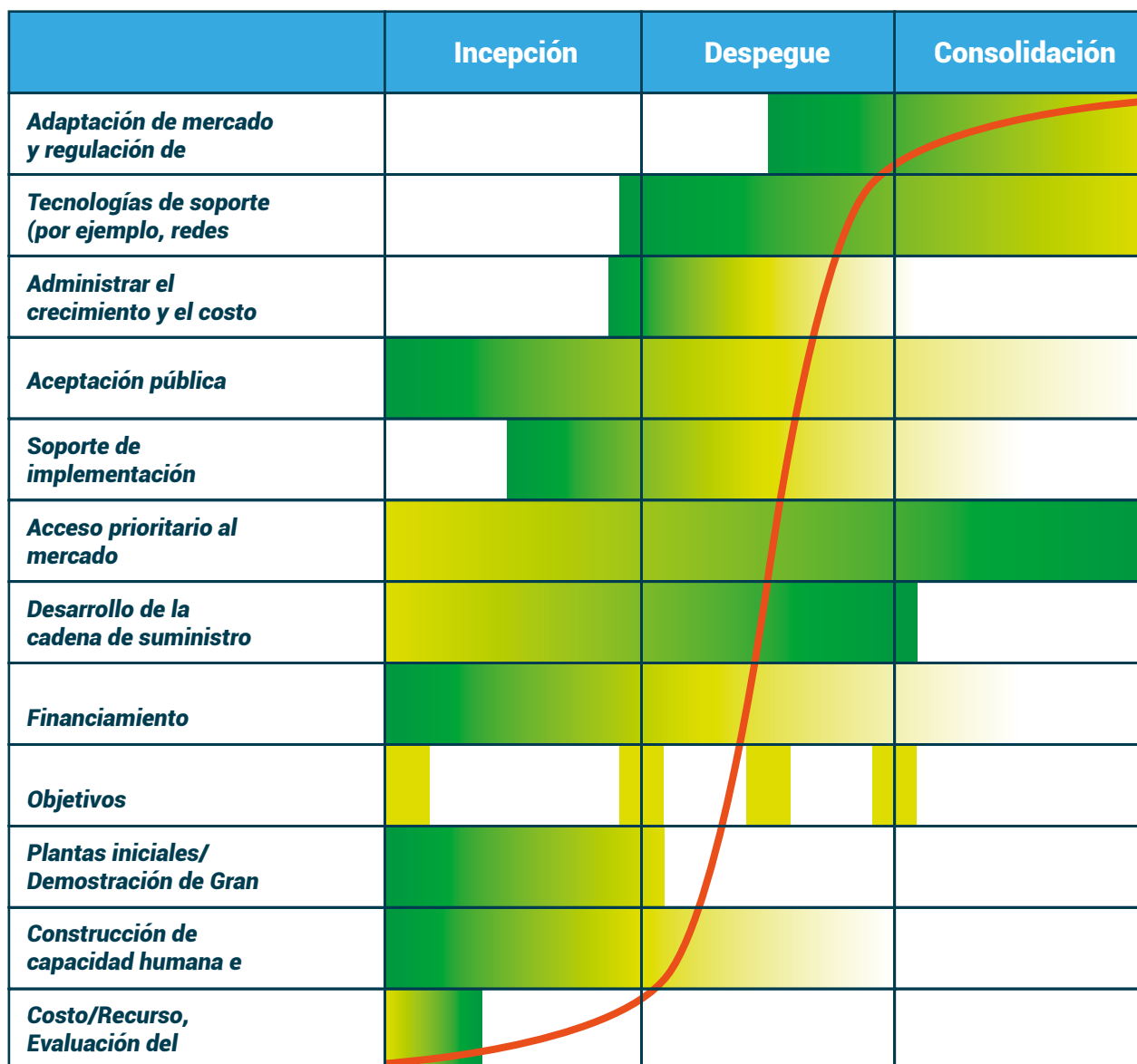
Se debe tener en cuenta que el indicador TCI puede sobreestimar los costos totales de la política, ya que no tiene en cuenta el efecto de orden de mérito.

### **A.8 Etapas de madurez de política para renovables**

Así mismo la IEA define las prioridades de política para renovables en función de las siguientes fases:

- Fase de Incepción: Cuando los primeros ejemplos de tecnología se despliegan bajo términos comerciales.
- Fase de despegue, cuando el mercado comienza a crecer rápidamente.
- Fase de consolidación de mercado: Donde la implementación crece hasta el nivel máximo factible.

Las fases arriba indicadas evolucionan en la medida que avanza el grado de implantación, esta evolución se describe en la ilustración 25, donde intensidad del sombreado se asocia con la importancia relativa de la fase y el concepto

**Ilustración 25.** Etapas de madurez para políticas renovables

**Fuente:** Traducción libre de (IEA, 2011)

### A.9 Estandarización y normalización

De acuerdo con IRENA, la estandarización es un instrumento particularmente relevante para lograr la meta de aceleración en la implementación de energía renovable; además, juega un rol importante a lo largo del ciclo de vida tecnológico desde las etapas de I+D hasta la comercialización y difusión. La estandarización proporciona al mercado mundial de las renovables (International Renewable Energy Agency, 2013):

- Innovación al documentar y difundir el estado de arte de las tecnologías.
- Nivelar el terreno de juego para los productos innovadores.



- I+D con mejor enfoque hacia la mejor tecnología.
- Reducir la brecha entre I+D y la comercialización.
- Armonización del flujo de información, entendimiento del diseño técnico de los productos para la interoperabilidad, fabricación y servicio.
- Requerimientos de calidad y reglas comunes.

Según la misma fuente, los responsables de las políticas energéticas también pueden apoyarse efectivamente en la estandarización para la legislación y regulación de las energías renovables. Cuando los requisitos para cumplir con la legislación son consistentes y actualizados, sin necesidad de afectar la legislación cada vez que son objeto de cambio, beneficiándose de las prácticas recientemente documentadas y creando un mercado competitivo para la renovables con tecnologías seguras y de calidad probada (International Renewable Energy Agency, 2013). La tabla 19 a continuación presenta los requerimientos de los interesados en la estandarización:

**Tabla 19.** Requerimiento de los interesados en la estandarización de renovables

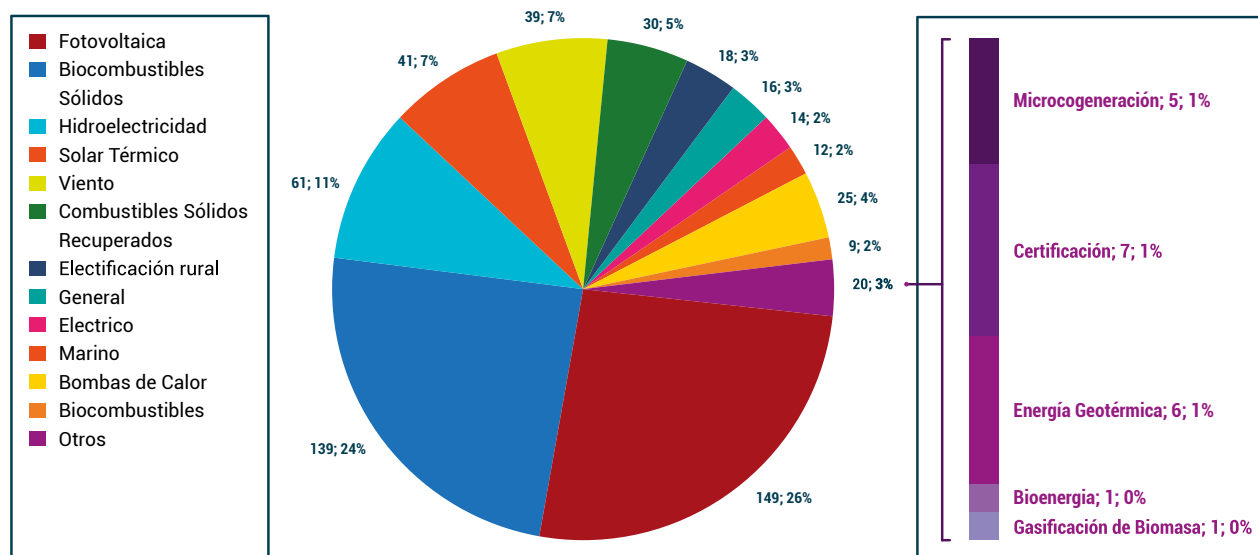
Interesado (Stakeholder)	Requerimiento
Entes reguladores y legisladores	Apoyo al cumplimiento de la regulación y legislación
Entes normalizadores	Facilitación del comercio. Facilitación de la comunicación y entendimiento.
Fabricantes e instaladores	Especificaciones comunes de desempeño Materiales Aseguramiento de la calidad, control de calidad.
Apoyo fiscal e inversionistas	Confianza y calidad en la inversión. Habilidad para especificar claramente la inversión. Habilidad para verificar y auditar la inversión.
Auditores y certificadores	Procesos, especificaciones y procedimientos claros para auditar Enfoque armonizado Establecimiento de protocolos
Usuarios de productos y servicios	Confidencialidad, Confianza Consistencia, Desempeño Entendimiento, Seguridad etc...

**Fuente:** Traducción libre de (International Renewable Energy Agency, 2013)

La dinámica actual de estandarización demuestra que existe una gran brecha en la incorporación de recursos y aspectos sostenibles, lo cual requiere de una consistente consideración a futuro, para tecnologías maduras se cuenta con normalización, sin embargo, tecnologías emergentes o en proceso de desarrollo están en rezago. La ilustración 26 grafica el número de estándares por tecnología y la proporción respecto al total, de este total el 59% corresponde a estándares internacionales y el restante a estándares nacionales, regionales y organizacionales.

**Ilustración 26.** Estándares y categorías para las energías renovables

Número total de estándares = 573 | Categorías = 17

**Fuente:** Traducción libre de (International Renewable Energy Agency, 2013)**A.10 Cambio del modelo de riesgo**

Con la integración de las renovables en los mercados eléctricos aparecen enfoques contrastados de riesgo. Para comprender dichos enfoques, Klessman ha analizado el mercado europeo en términos de riesgo en el marco de tres aspectos clave en países de referencia (Alemania, Reino Unido y España), estos se reúnen en la tabla 20 a continuación:

**Tabla 20.** Ventajas y desventajas de nuevos enfoques del riesgo del sistema

Enfoque	Ventajas	Desventajas
Riesgos de precio en los mercados de largo plazo	- Mejor combinación de oferta y demanda, si los generadores renovables son capaces de programar su generación de acuerdo con los precios del mercado.	- Exposición a los riesgos de precio generará primas de riesgo más altas para el generador renovable que aislamiento de los riesgos de precios. - Las plantas de energía eólica difícilmente reaccionarán ante tales señales de precios.
Pronosticar y equilibrar riesgos:	- El pronóstico central de la producción de renovable por parte del Transmisor tiene el potencial de alta precisión, si tiene un incentivo para minimizar los costos. - Si los generadores renovables son responsables de equilibrar su generación, es un incentivo para que minimicen los costos de desequilibrio.	- Es un desafío normativo garantizar una transformación de perfil rentable. - Mayores primas de riesgo para los pequeños productores de renovables. - Probable concentración de mercado de los actores más grandes en el mercado de energía eólica, ya que la calidad de pronóstico mejora con el número de generadores pronosticados.
Riesgos de la conexión a la red y de la planificación del sistema:	- La asignación de refuerzo de red a costo del proyecto de generación, ayudara a minimizar los costos para el sistema.	- La falta de capacidad de la estructura actual de la red eléctrica para integrar renovables a gran escala, estos costos pueden convertirse en una gran barrera para un mayor despliegue de Renovables especialmente en el sector de la energía eólica.

**Fuente:** Traducción libre de (Klessmann et al., 2008)

La distribución equitativa y proporcional del riesgo en cambios de precio por parte de los entes reguladores tiene dos facetas. Comparada con perspectivas de mercados mínimo riesgo, el costo se incrementará para las renovables, lo que exige mayor apoyo financiero, y en mercados de mayor riesgo los generadores renovables estarán incentivados a hacer un uso eficiente del mercado y actuar económica y rentablemente. En mercados sin riesgo recae mayor responsabilidad en los reguladores, transmisores y los costos para el cliente final serán mayores de lo necesario (Woo, Horowitz, Moore, & Pacheco, 2011).

Así mismo se ha identificado que entre más generación eólica es integrada a un sistema eléctrico y aumenta la dependencia de la misma, se incrementa la tendencia de reducir los precios de bolsa y aumentar la variabilidad del precio. Ante esto los principales actores del sistema tendrán que intensificar su esfuerzo en la gestión del riesgo, hacerse más familiares con los incentivos y demostrar su conveniencia para el sector financiero (Woo et al., 2011).

Factores como el comportamiento humano por el crimen financiero, cambios en la regulación, sanciones en el sector de generación son considerados como riesgos bajos, lo que obliga a la dirección de las compañías de generación a garantizar un entendimiento real del incremento del riesgo. El sector de riesgos y financiero para la generación renovable está re-pensando el modelo operativo y de negocio, hacia una mentalidad mas al por menor e inversiones en nuevas tecnologías más orientas al cliente.

Willis Towers Watson desarrolla un modelo de tolerancia al riesgo para compañías de generación que se adapta a los eventos favorables y desfavorables, apoyado en la gestión del riesgo y el análisis de información para lograr un mejor conocimiento del riesgo, apoyar financieramente la transferencia efectiva de riesgos y mejorar la resiliencia de las organizaciones (REN21, 2017a).

### **A.11 Mercados intradiarios**

La introducción de energía renovable intermitente, como la solar y fotovoltaica, dificulta la operación tradicional de los sistemas de potencia. Cambios repentinos en la operación tradicional del sistema de potencia requiere que los operadores del sistema realice ajustes significativos para balancear la generación y la demanda, dando instrucciones a la plantas de generación para modificar la potencia entregada (ramping), encender/apagar (cycling)(Perez-Arriaga, 2011).

El mercado intradiario da la oportunidad a los participantes de negociar y modificar sus horarios de producción posteriormente al día de cierre, está en operación en la mayoría de los países europeos pero los diseños del mercado están sujetos a significantes variaciones, puede ser continuo (Alemania, Dinamarca, Francia) o subastas discretas (España, Italia)(Henriot, 2014), la tabla 21 resume estos diseños:

**Tabla 21.** Mercados Intradiarios en Europa

Subregión	País	Subasta	Día anterior		Regulado
			Acoplamiento de mercado	Intradiario	
Norte	Dinamarca Finlandia Alemania Noruega Polonia Suecia	•	•		•  Con diferencias entre Alemania y Polonia con los países nórdicos
Báltica	Estonia Lituania Letonia				Modelo regulado basado en el nórdico
Centro oeste	Bélgica Francia Alemania Luxemburgo Países Bajos	•	•  Acoplamiento completo del mercado	•  Acuerdo bilaterales.	Baja prioridad
Centro Este	Austria Rep. Checa Alemania Hungría Polonia Eslovaquia Eslovenia	•			Baja prioridad
Centro Sur	Austria Francia Alemania Grecia Italia Eslovenia		•  Acuerdo entre Italia y Eslovenia		Baja prioridad
Suroeste	Francia Portugal España			*  Consultas publicas cerradas	Baja prioridad  Modelo entre transmisores entre España Portugal.
Francia, UK, Irlanda	Francia, UK, Irlanda.			*  Subasta explicita	Modelo completo entre Transmisores implementado entre Francia y UK

**Fuente:** Traducción libre de (Borggreve & Neuhoﬀ, 2011)

Los mercados intradiarios y de balanceo funcionales son necesarios para la integración eficiente y efectiva en costos de grandes cantidades de energía eólica como para la operación del sistema. Las características que proveen los mercados intradiarios son liquidez del mercado, reglas armonizadas entre fronteras e interacción entre formas de mercado (Chaves-Ávila & Fernandes, 2015), como referencia se trae a continuación el resumen en la tabla 22 las características del mercado intradiario español.

**Tabla 22.** Características y desafíos del mercado intradiario en España

Características	Desafíos
Mecanismo dual de in-balance (el cual penaliza fuertemente la falta de balance de energía)	Los esquemas de apoyo para renovables afectan la participación de generadores intermitentes en mercados de corto plazo
Distribución de responsabilidades de balance entre todas las partes	Las diferencias de precio entre los mercados de corto plazo incentivan a las partes a arbitrar entre ellos, lo que impacta los costos de mercado
Programación de unidades en lugar de portafolio de balances	Los agentes de mercado reaccionan a los incentivos económicos para maximizar su beneficio, el cual depende del precio del mercado
Mecanismo que favorece el balance de energías renovables	Es necesaria la interacción entre los mercados de corto plazo y los incentivos económicos dados a los agentes del mercado, la comprensión de estas interacciones son esenciales para prevenir costos adicionales al cliente

**Fuente:** Elaborado a partir de (Chaves-Ávila & Fernandes, 2015)

## Anexo 2. Tecnologías emergentes

### B.1 Tecnologías para producción de energía solar fotovoltaica

De acuerdo con el Instituto Tecnológico de Massachusetts -MIT- (MIT, 2015), para incrementar la contribución de la energía solar en la mitigación del cambio climático, es necesario destinar una gran cantidad de recursos gubernamentales a la investigación y desarrollo de tecnologías emergentes como la película delgada, las cuales se basan en materiales abundantes en la tierra, esto permitirá enfocarse en la reducción de costos, la tabla 23 extrae las tendencias identificadas por el referente académico:



**Tabla 23.** Tendencias tecnológicas en celdas y paneles solares

Características	Tendencia	Resultado	Restricción
Alta eficiencia en conversión de potencia (% o W/m <sup>2</sup> )	Inversión sostenida en equipos de capital y en I+D, Incremento de la complejidad productiva	Tendencia gradual hacia mayores eficiencias, paulatinamente más que saltos cuánticos en desempeño	Actualmente existe una gran diferencia entre las eficiencias logradas en laboratorio respecto a gran escala.
Reducción en el uso de materiales (g/m <sup>2</sup> o g/W)	Tendencia a la reducción de materiales en el costo y consumo de materiales, acorde con la abundancia de los mismos.	Películas más delgadas, capas activas con menos material, incremento en la flexibilidad de la y potencia efectiva de la celda.	Las tecnologías que requieren materiales raros no podrán alcanzar escala de Teravatios.
Reducción del costo y complejidad de fabricación	Priorización de los esfuerzos de I+D, enfoque hacia confiabilidad, manufactura y eficiencia.	Celdas solares flexibles, fabricadas con métodos de bajo costo como CIGS(Cobre, Indio, Galio, Selenio) , QD (Puntos cuánticos) o tintas orgánicas	Altos costos de capital y de inversión inicial son los cuellos de botella para desarrollo a gran escala, algunas tecnologías emergentes de bajo costo no han sido demostradas a escala.

**Fuente:** Elaborado a partir de (MIT, 2015)

Por un lado, ninguna de las tecnologías fotovoltaicas existentes hoy en día (que cuentan con más de tres décadas de desarrollo) satisface plenamente las tres características listadas, solo las tecnológicas de Silicio y película delgada convencional se usan a gran escala. Existe una brecha grande entre los resultados de laboratorio e implementaciones a gran escala en términos de eficiencia; como contraparte, las tecnologías de película delgada usan entre 10 y 1000 veces menos material que las tecnologías de silicio cristalino, reduciendo el peso por unidad de área y la potencia de salida por unidad de peso de la celda solar(MIT, 2015).

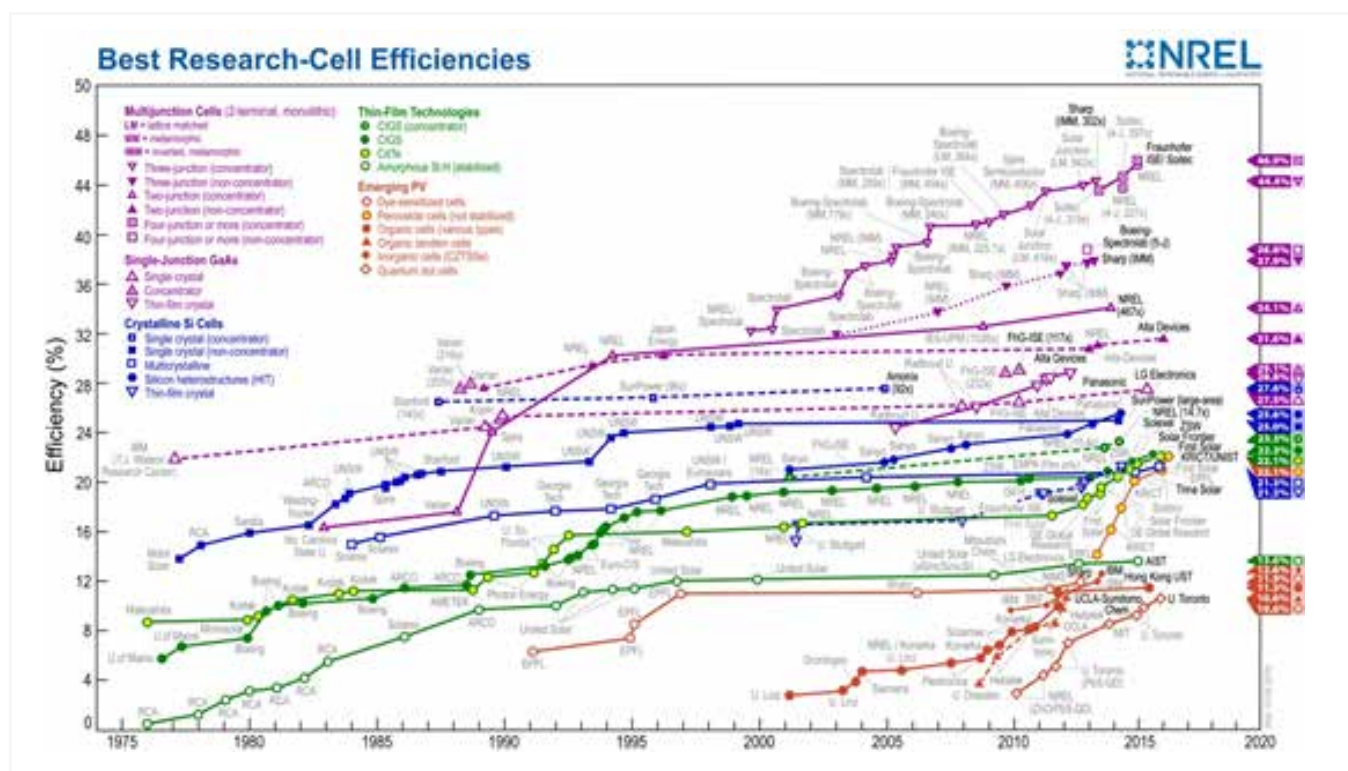
De acuerdo con el reporte fotovoltaico del instituto Fraunhofer, el silicio cuenta con un 93% de la producción mundial (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2018). Es decir, esta tecnología ha sido la tecnología dominante para la fabricación de módulos, sin embargo existen alternativas con propiedades y potenciales que revisten gran oportunidad de crecimiento en mercado, la tabla 24 resume las propiedades de las tecnologías desarrolladas a nivel comercial.

**Tabla 24.** Tecnologías actuales de celdas solares.

Tipo de Celda  Propiedad	Comercial a gran escala				Comercial a pequeña escala
	Silicio Cristalino		Película Delgada		
	Monocristalino	Policristalino	Cadmio-Telurio	CIGS	Silicio Amorfo
Máxima Eficiencia	25%	20%	21%	20%	13%
Efecto Temperatura	Reducción 15%	Reducción 20%	Reducción 0%	Reducción 0%	Reducción 0%
Coeficiente térmico	-0,50%	-0,25%	0,00%	0,00%	-0,25%
Desempeño con baja radiación	Reducción Potencia de Salida	Reducción Potencia de Salida	Bajo impacto en Potencia de Salida	Bajo impacto en Potencia de Salida	Bajo impacto en Potencia de Salida
Desempeño a temperatura óptima	Clima frio	Clima frio	Clima frio y cálido	Clima frio y cálido	Clima frio y cálido
Potencia/Área	7-9 m2	8-9 m2	11-13 m2	9-11 m2	13-20 m2
Costo USD/W	1,6	1,4	0,7	0,75	0,8
Complejidad manufactura	Complejo, sofisticado, costoso	Simple y menos costoso que monocristalino	Menor costo y menos sofisticado que silicio cristalino	Menor costo y menos sofisticado que silicio cristalino	Menor que silicio cristalino, menos material requerido
Huella de Carbón (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)	45	44	35	46	50
Tiempo de repago (EPBT) Meses	48	36	8	12	36
Disponibilidad	Dominante, fácilmente asequible	Mas dominante con gran cuota de mercado	El mercado más grande después de silicio cristalino	Menos dominante que silicio cristalino	Menos dominante que silicio cristalino
Efectos ambientales	Ninguno conocido	Ninguno conocido	El Cadmio fundamental es tóxico	Ninguno conocido	Ninguno conocido

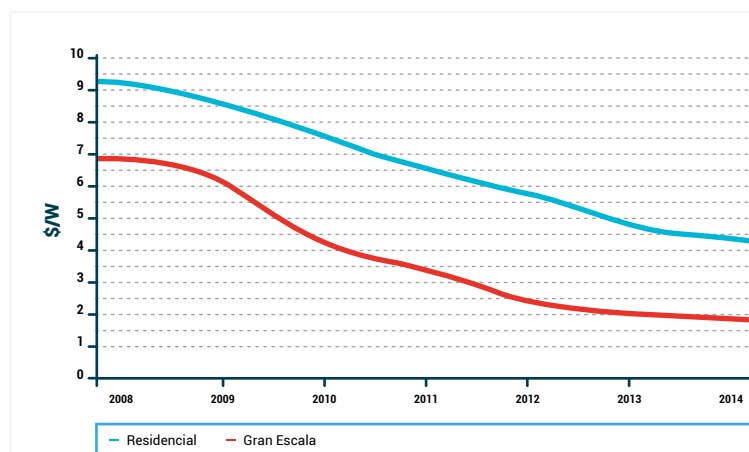
**Fuente:** Elaborado a partir de (Chaves-Ávila & Fernandes, 2015)

Bajo condiciones de laboratorio se han reportado incrementos sustanciales en la eficiencia para el silicio cristalino (Parida, Iniyar, & Goic, 2011), las celdas de películas delgadas (Huang, Han, Huang, & Liu, 2013), las de Telurio de Cadmio y las celdas orgánicas (Parida et al., 2011), así como materiales emergentes como la Perovskita (tríóxido de titanio y de calcio - CaTiO<sub>3</sub>) (Bullis, 2017). Para sintetizar esta información, a continuación se presenta la **ilustración 27**, obtenida del Laboratorio Nacional de Energía Renovable -NREL- de Estados Unidos, que muestra la evolución en el tiempo las eficiencias de conversión por tecnología en condiciones de laboratorio.

**Ilustración 27.** Mejores eficiencias celdas solares en laboratorio

**Fuente:** (Department of Energy, 2015)

Así mismo, la tendencia a reducción de costos ha sido continua en los últimos años, lo que supone un comportamiento similar para la próxima década, a continuación se ilustra el comportamiento del costo total de implantación en términos de dólar estadounidense por vatio pico instalado durante el periodo 2008-2014.

**Ilustración 28.** Precio promedio de instalaciones fotovoltaicas en EEUU.

**Fuente:** (MIT, 2015)

Grupo de Investigación en  
el Sector Energético Colombiano GRISEC  
Universidad Nacional de Colombia

## B.2 Gestión de la demanda

Fue definida por Pilo, Pisano y Soma (2009) como un sistema avanzado de gestión de la distribución, capaz de gestionar activamente una red de distribución de manera económica y segura. Permite optimizar los flujos de potencia en la red, regula los perfiles de tensión, actúa en los flujos reactivos, en los cambiadores de tomas de los transformadores, minimiza las pérdidas de energía, reconfigura la red, aprovecha los dispositivos de almacenamiento y las cargas con respuesta de una manera integral (Pilo et al., 2009).

Considerando el propósito general de los programas de gestión de la carga, existen tres tipos de gestión de la demanda (IEADSM, 2008):

I. Impulsor económico o de mercado: Orientado a reducir los costos de suministro de energía, incrementar la reserva marginal y mitigar la volatilidad de precio por medio de respuestas inteligentes a las condiciones del mercado.

II. Impulsor ambiental: Con propósitos ambientales o sociales mediante la reducción del uso de energía, definiciones de compromisos de unidades de generación ambientalmente no amigables, conllevando al incremento de la eficiencia energética y/o a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

III. Impulsor de la red: Tiene como objetivo mantener la estabilidad del sistema la reducir la demanda en cortos periodos de tiempo y reducir el mejoramiento de la capacidad extra de generación y transmisión.

La comisión federal de regulación de Estados Unidos define adicionalmente la gestión (respuesta) de la demandad como la habilidad de los clientes/usuarios para realizar cambios en el uso de electricidad mediante el uso de recursos del lado de la demanda desde sus patrones de consumo normal a cambios en el precio de la electricidad en el tiempo.

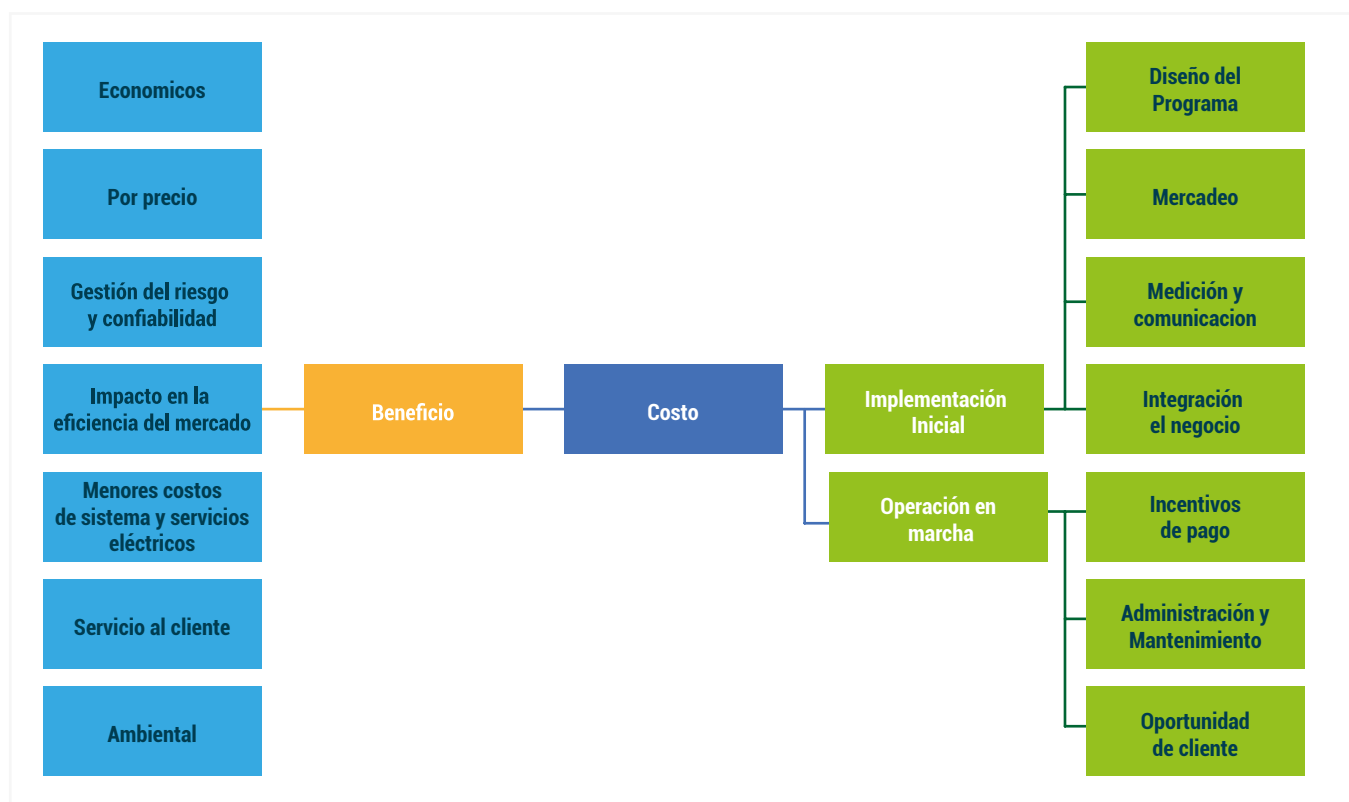
Las misma fuente incluye también el logro incentivos de pago diseñados para inducir al uso reducido de la electricidad en horas durante las cuales el precio de la energía en el mercado es alto o cuando la confiabilidad del sistema está en peligro (Federal Energy Regulatory Commission, 2017).

La **ilustración 29** permite identificar los elementos constitutivos de beneficio y de costo en la implementación de un sistema de gestión de la demanda.

En términos de tendencias de investigación y oportunidades de desarrollo las energías renovables presentan un gran desafío en términos de su variabilidad (Generación eólica, fotovoltaica, solar térmica).

Lo anterior debido a que sus recursos son inherentemente intermitentes, los sistemas de almacenamiento de energía y la gestión de la demanda ocupan gran parte de la investigación en cuanto al precio de intercambio entre energía renovable y convencional por los siguientes factores:

- Requerimientos de intercambio de información.
- Complejidad de cómputo de información.
- Implementación de modelos dinámicos predictivos de despacho.

**Ilustración 29.** Relación Costo Beneficio de la Gestión de la demanda

**Fuente:** Elaborado a partir de (Aghaei & Alizadeh, 2013)

### B.3 Agregadores de mercado

Un agregador de mercado es una compañía que actúa como intermediario entre los usuarios finales de la electricidad, quienes suministran recursos distribuidos de energía (DER), y aquellos participantes del sistema de potencia que deseen explotar esos servicios (Ikäheimo et al., 2010), este a su vez puede tener varias calificaciones, según su identidad, según sus clientes o según los servicios ofrecidos:

**Ilustración 30.** Clasificación de agregadores de mercado

**Fuente:** Elaborado a partir de (Ikäheimo et al., 2010)

Actualmente en Europa el debate está centrado en la funcionalidad de los mercados minoristas, tanto en su capacidad de lograr los niveles deseados de enganche del compromiso del consumidor como para servicios de generar valor agregado. En Estados Unidos existe gran actividad de agregadores de mercado independientes que procuran el diseño de reglas de mercado que aseguren su prosperidad en la creación de valor contra la oposición del arbitraje regulatorio (S. Burger et al., 2016).

La creación de valor económico fue categorizada por investigadores del MIT en términos de valor para el sistema, buscando incrementar la eficiencia económica del sistema de potencia como un todo y en términos de valor privado como aquellos que proporcionan incremento del beneficio de un agente individual o un conjunto de agentes (S. Burger et al., 2016), esta misma investigación, distingue tres categorías de agregación.

En la primer categoría, llamada fundamental, el propietario de uno o más recursos de generación distribuida incurre en altos costos de capital, que eventualmente interactúan en el mercado mediante tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs), y deben cumplir con las regulaciones técnicas y reglas de mercado. El agregador debe crear valor económico, mediante el uso de economía de escala que reduzca los costos de participación para usuarios individuales.

Otro aspecto de los agregadores fundamentales es la economía de alcance, la cual emerge cuando la provisión de varios servicios o productos apalancan un conjunto de conocimientos del



negocio (operaciones de mercado), tecnologías (TICs) o costos de compromiso (Adquisiciones del cliente)(S. Burger et al., 2016), así como en la gestión el riesgo y en la competencia e innovación en el mercado.

La segunda categoría es llamada Agregadores Transitorios, los cuales parten de la regulación y tecnología existente hacia un futuro más idealizado o avanzado; el valor temporal no es inherente a la agregación, pero puede ser desbloqueado por los agregadores.

Finalmente la agregación oportunista emerge como respuesta a las imperfecciones regulatorias, agrega valor privado sin incrementar el valor para el sistema, restringe la competencia, especialmente para pequeños agentes.

#### B.4 Servicios auxiliares para el sistema

Es crucial la preparación del sistema de potencia en términos de confiabilidad para la integración de las energías renovables con la gestión de demanda como instrumento para contrarrestar la incertidumbre que las fuentes de energía variables suponen, para ello pueden operar como servicios auxiliares del sistema, satisfaciendo necesidades de regulación, reserva rodante y seguimiento de carga mediante sistemas de rampa que incrementen la frecuencia y magnitud ante eventos de sobre-generación lo que resulta en el despacho de menos recursos convencionales de generación(Aghaei & Alizadeh, 2013).

La atención de estas necesidades operativas mediante los servicios auxiliares proporcionados por renovables para mantener el balance entre demanda y oferta obliga al sistema a operar bajo incertidumbre, la cual se categoriza en función de intervalos de tiempo, la tabla 25 presenta resumidos los servicios en función del intervalo de tiempo.

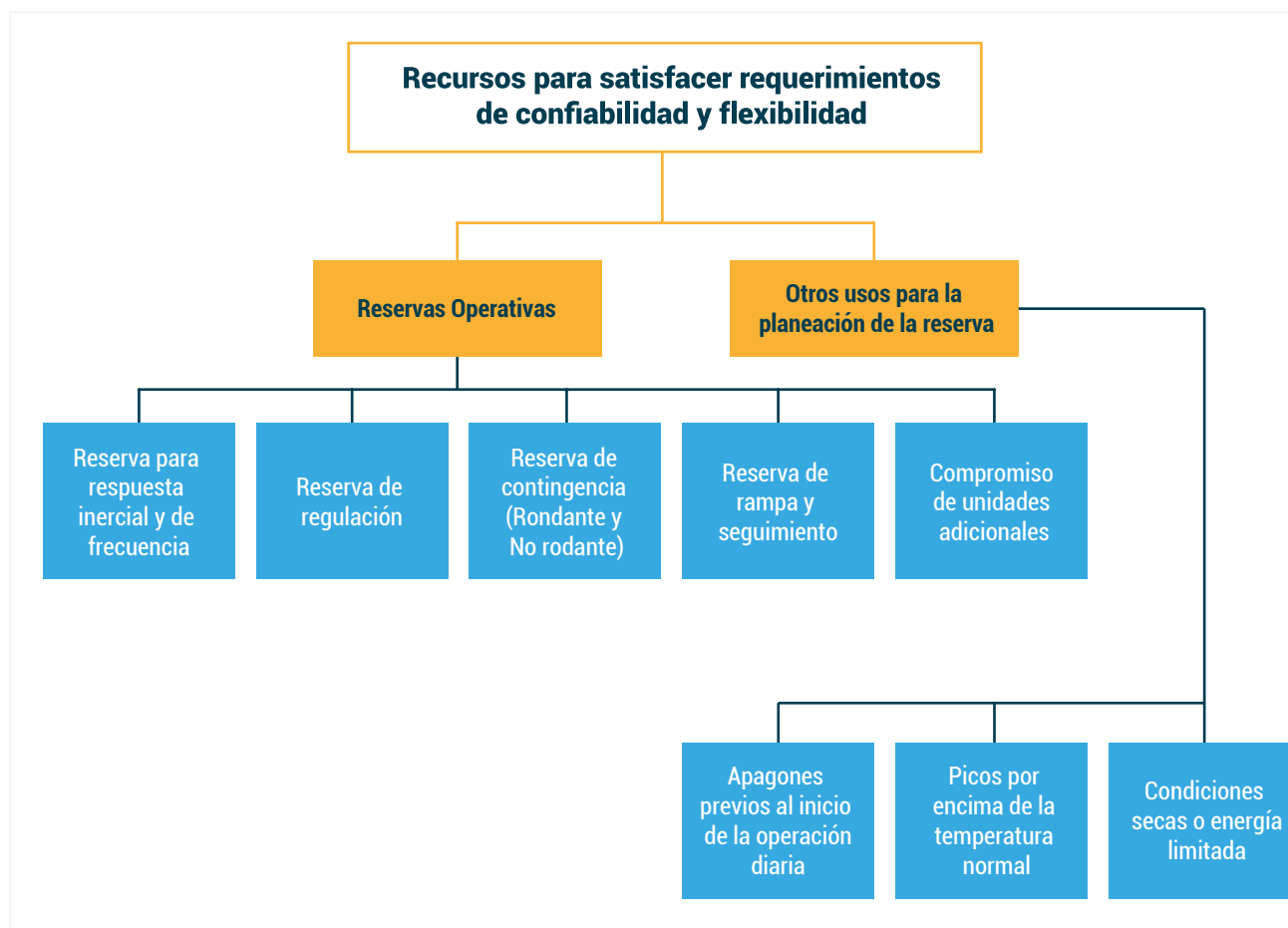
**Tabla 25.** Incertidumbre por intervalos de tiempo de la generación distribuida y la DSR.

Variaciones de segundos	Respuesta inmediata
	Respuesta en frecuencia (hasta 20 segundos en contingencia)
Variaciones de minutos	Volatilidad entre 5 minutos y error de pronóstico de 5 minutos
	Regulación: Gestionar incertidumbres entre 5 y 10 Minutos anticipado al pronóstico
Variaciones de Horas	Volatilidad intrahoraria y hora de anticipación de error de pronóstico
	Seguimiento de carga / Rampas
Variaciones diarias	Día de anticipación de error de pronóstico
	Compromiso de recursos adicionales

**Fuente:** Traducción libre de (Aghaei & Alizadeh, 2013)

Se encuentra en investigación como integrar la generación convencional con los recursos renovables, así como con los operadores de gestión de la demanda, los requerimientos a satisfacer en términos de confiabilidad y flexibilidad del sistema de potencia se presentan en la **ilustración 31**, hacia los cuales se orienta la investigación y desarrollo.

**Ilustración 31.** Recursos requeridos para satisfacer la confiabilidad y flexibilidad de la red.

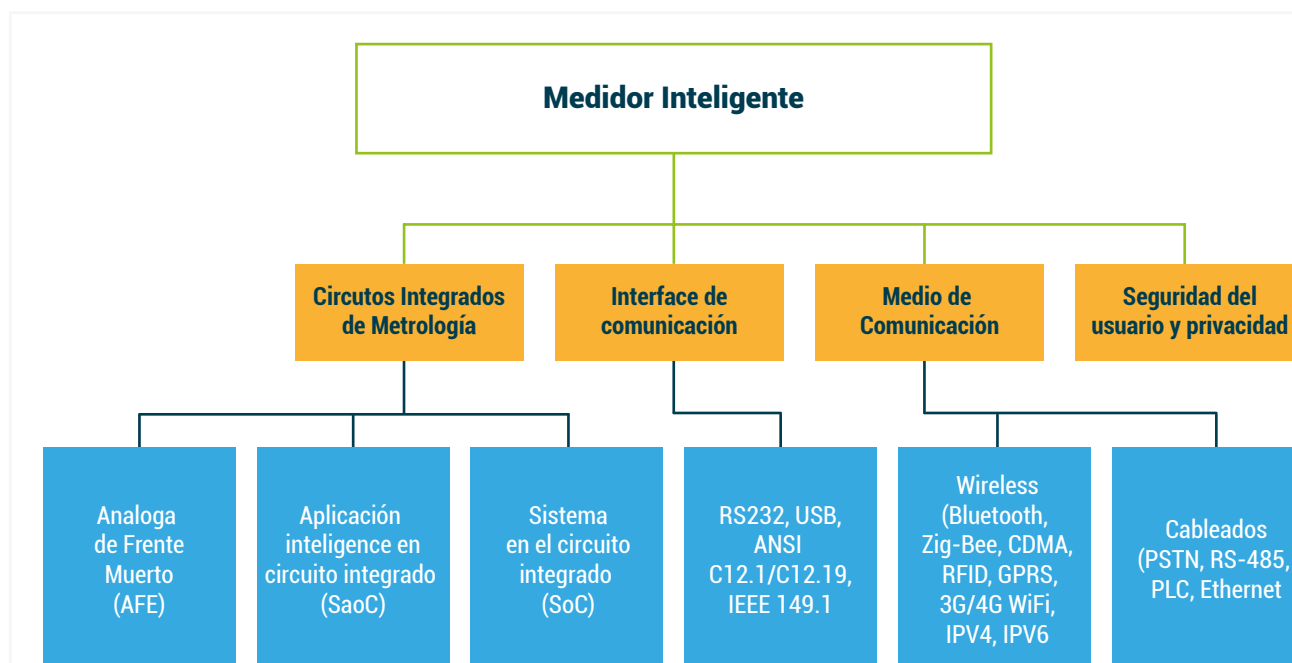


**Fuente:** Elaborado a partir de (Aghaei & Alizadeh, 2013)

### B.5 Infraestructura avanzada de medición

Los sistemas de medición inteligente generalmente se refieren a la siguiente generación de sistemas de medición de energía, con la integración de computación avanzada y tecnologías de comunicación se espera que la medición inteligente mejore la eficiencia y la confiabilidad de los sistemas de potencia del futuro con las fuentes renovables de energía, la inteligencia distribuida y la gestión de la demanda (Sharma & Mohan Saini, 2015).

Este mercado está en aceleración con elementos comprobados de exactitud en la medición de energía, características robustas de comunicación y seguridad integrada, la ilustración 32, presenta en forma esquemática los principales componentes de la medición inteligente.

**Ilustración 32.** Diagrama de Bloques de un medidor inteligente

**Fuente:** Traducción libre de (Sharma & Mohan Saini, 2015)

Los medidores inteligentes, con las últimas soluciones metrológicas y con las soluciones de comunicación existentes pueden monitorear, identificar y localizar el consumo de potencia individual o conjunto de las cargas, estos vienen especificados por grupos de estandarización, típicamente IEC, ANSI, MID, estándares los cuales contienen la información necesaria para la implantación de los medidores inteligentes.

Diferentes países y compañías eléctricas están trabajando para establecer mejores tecnologías de control y comunicación para sus recursos eléctricos, gestionar la demanda pico, operar más eficientemente y operar con cantidades masivas de generación renovable distribuida.

Económicamente la medición inteligente basada en infraestructura avanzada de medición (AMI) y sistemas de gestión de energía reducirá el uso de energía en horas pico, consecuentemente la huella de carbono del consumidor. Por ende, la AIM en el futuro acelerará el desarrollo de las redes inteligentes. Por tanto es necesario asegurar soluciones de medidores inteligentes de bajo costo, estables y baja huella de carbón.

La tabla 26 es un extracto de la presentada por Sharma y Saini, y presenta algunos de los casos de sistemas de gestión de energía que utilizan medición inteligente.

**Tabla 26.** Sistemas de gestión de energía que utilizan medidores inteligentes

Técnica/Esquema	Modo de Comunicación		Ventajas	País
	Wire-less	Wire-Line		
Power consumption consulting system (PCCS)	-	LAN	Recopila información AMR (Refinamiento adaptativo por malla), información climática, gestión de la carga e interrogación.	Corea del Sur
Wireless multimedia sensor networks (WMSNs)	Radio Cognitiva		Soporta mensajes multimedia de gran capacidad y sensibles al tiempo.	USA
Smart multi-power trap (SMPT) smart meter	Zigbee	PLC	Proporciona identificación y ubicación de cargas con base en información de consumo temporal de potencia.	Corea del Sur
Intelligent energy management system (IEMS)	Zigbee	-	Controla el consumo de energía de varias cargas individualmente.	Corea del Sur
Energy consumption scheduler (ECS)	Si	Si	Verifica y balancea las cargas residenciales hasta un 33%	Paquistán

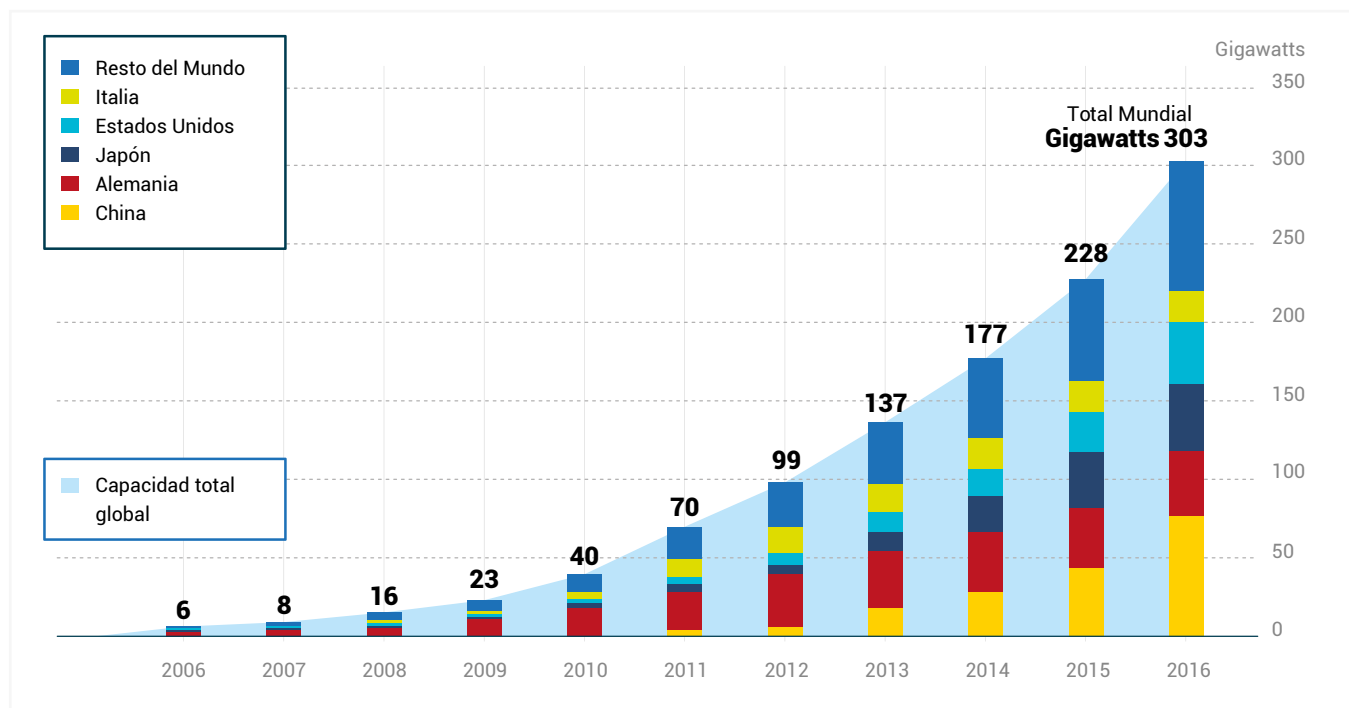
**Fuente:** Extraído de (Sharma & Mohan Saini, 2015)

### B.6 Efectividad de costo de generación renovable

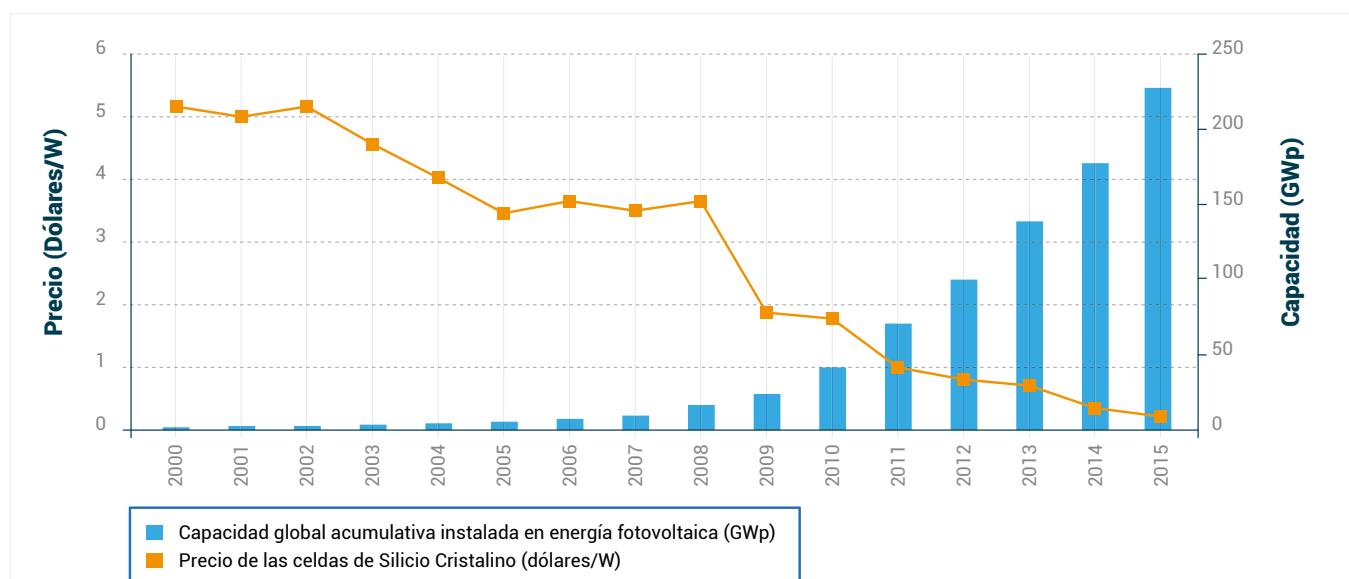
De acuerdo con REN21, la dinámica de implantación de generación de energía renovable, ha representado un vertiginoso incremento en la última década (2006 – 2016). En el caso de generación solar fotovoltaica, el salto fue de 6GW a 303 GW (REN21, 2017a) con China, Japón, Alemania y EEUU como principales impulsores de estas tecnologías y Alemania, Grecia e Italia, como los líderes en atención de la demanda con esta fuente.

De acuerdo con información de Bloomberg Energy Finance y la asociación europea de industrias fotovoltaicas (EPIA), la consultora Arthur D. Little presentó en su reporte de tecnologías fotovoltaicas emergentes, un cruce entre la curva descendiente de los costos de las celdas solares de silicio cristalino con el aumento de la capacidad instalada de generación solar fotovoltaica.

Esta última tecnología representa el 90% de las instalaciones fotovoltaicas existentes, aun cuando existen tecnologías más promisorias en términos de eficiencia, a continuación se presenta la grafica que ilustra este comportamiento, el cual es análogo con la información de REN21, en cuanto a implantación de capacidad solar global (Kalkman et al., 2015).

**Ilustración 33.** Capacidad Generación Fotovoltaica por Región (2006-2016)

**Fuente:** Traducción libre de (REN21, 2017a)

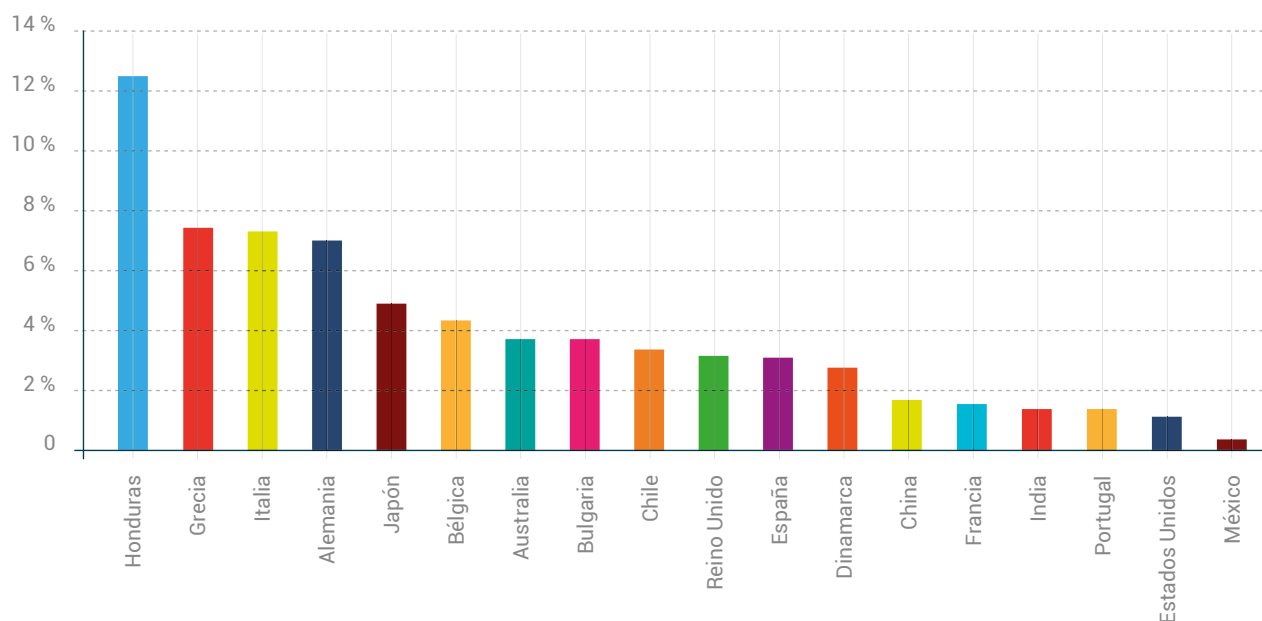
**Ilustración 34.** Costo de celdas de C-Si contra capacidad global fotovoltaica

**Fuente:** (Kalkman et al., 2015)

Así mismo de acuerdo con información de la Agencia Internacional de Energía, referente al panorama de los mercados fotovoltaicos globales, en 2016 China tuvo adiciones de capacidad por 34,54GW, Estados Unidos por 14,72GW y Japón de 8,6GW. En términos de participación

significativa en la atención final de demanda, se destaca el caso de Honduras que sobresale entre los países líderes, la siguiente grafica es un extracto de la información presentada por la IEA en relación a la capacidad de 2016.

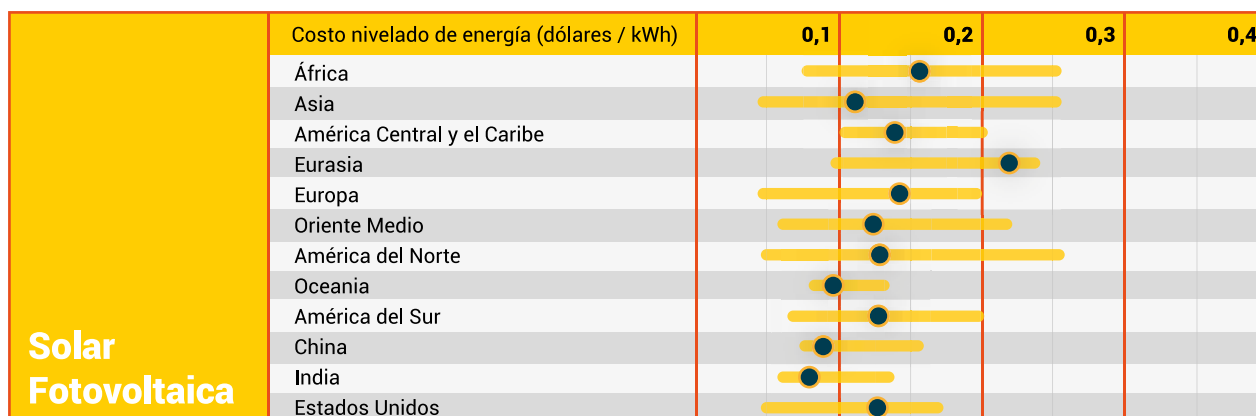
**Ilustración 34.** Penetración de la energía fotovoltaica en la demanda final, países seleccionados.



**Fuente:** Extracto de (IEA, 2017a)

En términos de costo nivelado de la energía el rango de la energía solar fotovoltaica varía de región a región, REN21 presenta el valor promedio y la franja de costos, que para el caso que ocupa el presente estudio, en Sudamérica el rango está entre 0,06 y 0,2 Dólares por Kilovatio, con un valor promedio aproximado de 0,13 USD/KWh.

**Ilustración 36.** Costo nivelado de la energía fotovoltaica por región

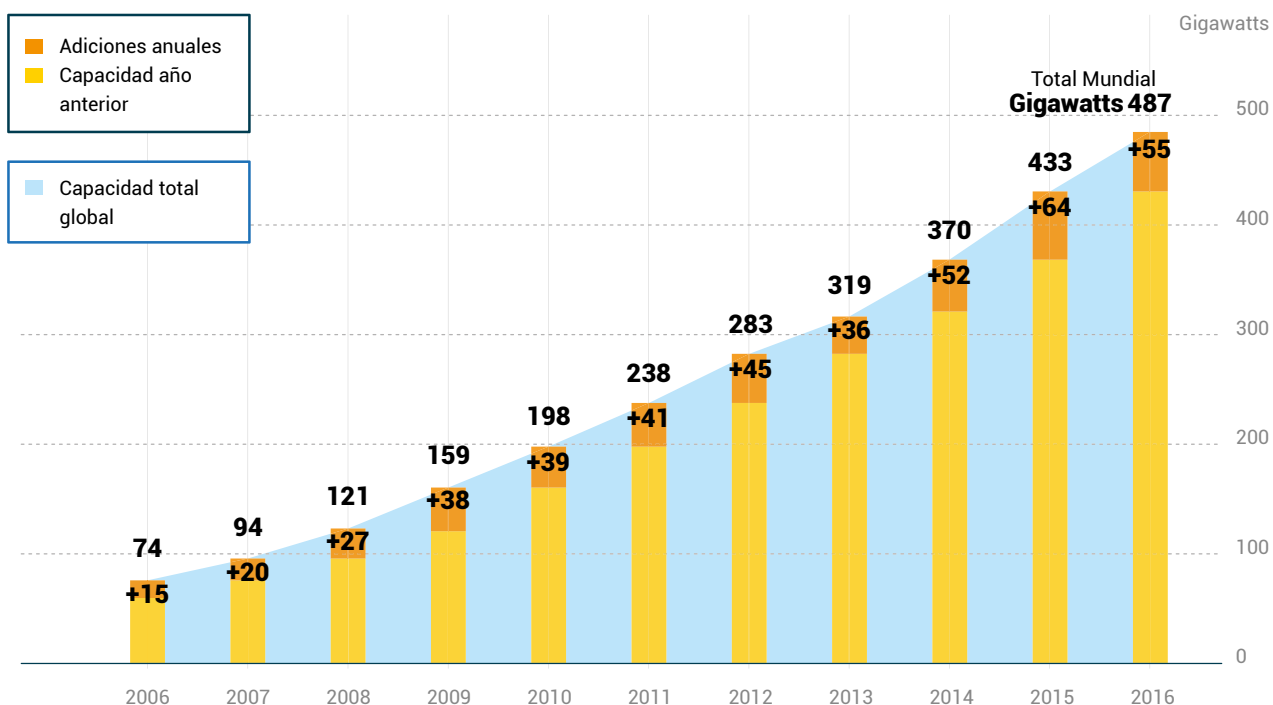


**Fuente:** (REN21, 2017a)



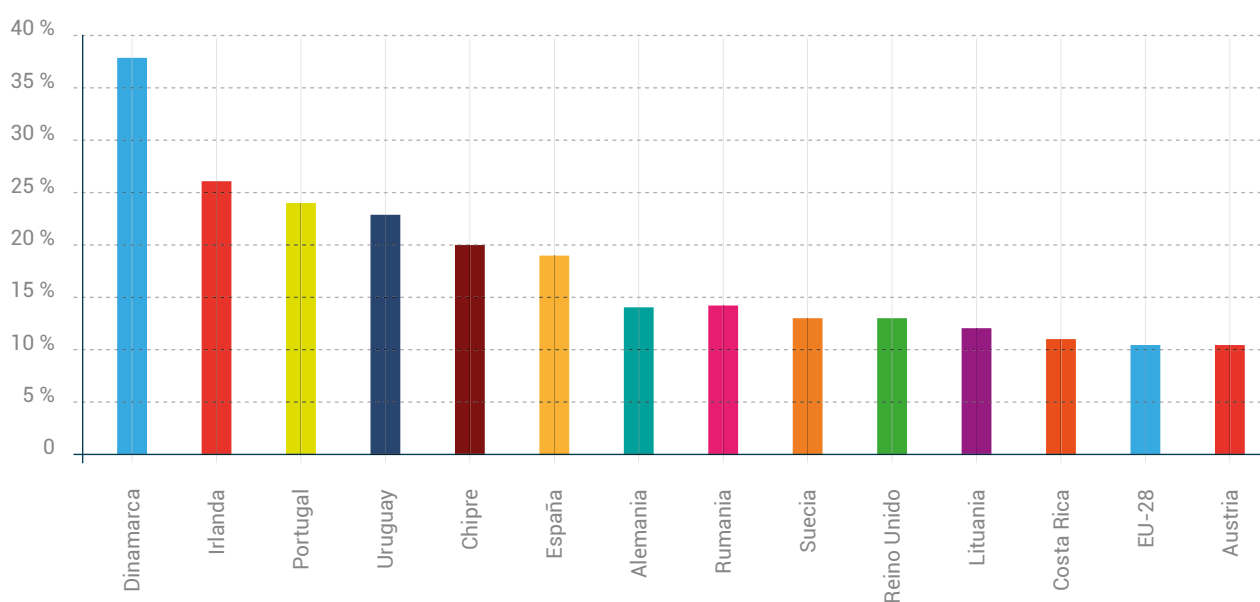
Este comportamiento, no es menos favorable para el caso de la energía eólica, durante el mismo periodo (2006-2016), el crecimiento de la capacidad instalada fue de 74GW a 487GW, donde en 2016 la adición anual de capacidad fue de 55GW, la participación de esta tecnología en la matriz de generación, ya alcanza niveles significativos particularmente en los países Europeos.

**Ilustración 37.** Capacidad Global Generación Eólica (2006-2016)



**Fuente:** (REN21, 2017a)

**Ilustración 38.** Penetración de la energía eólica en la demanda final, países líderes.



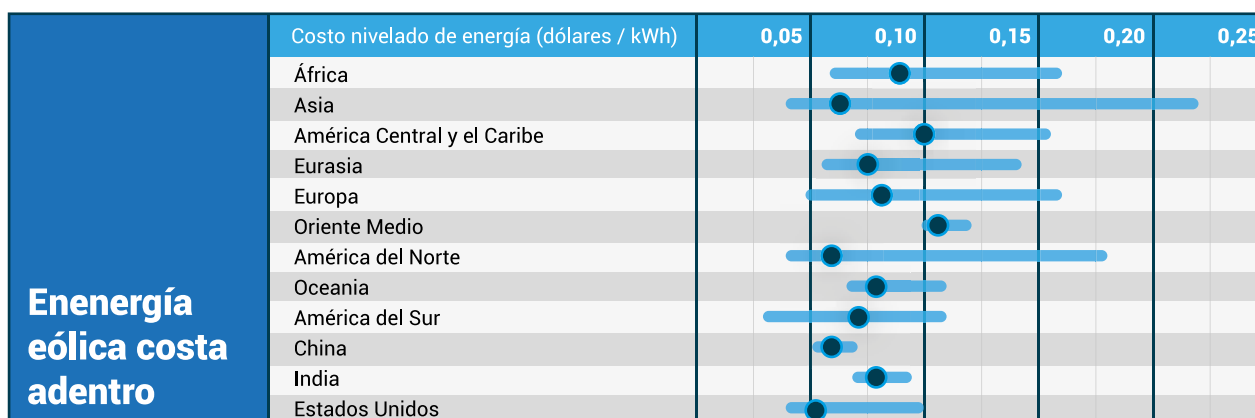
Grupo de Investigación en  
el Sector Energético Colombiano GRISEC  
Universidad Nacional de Colombia

**Fuente:** Elaborado a partir de (REN21, 2017a)

Para el caso de generación eólica el costo nivelado de energía depende directamente del sitio de implantación del parque eólico, en términos generales el costo de nivelado de energía de un parque costa fuera par el caso de Asia es de hasta 50% más que un parque en plataforma continental (REN21, 2017a),.

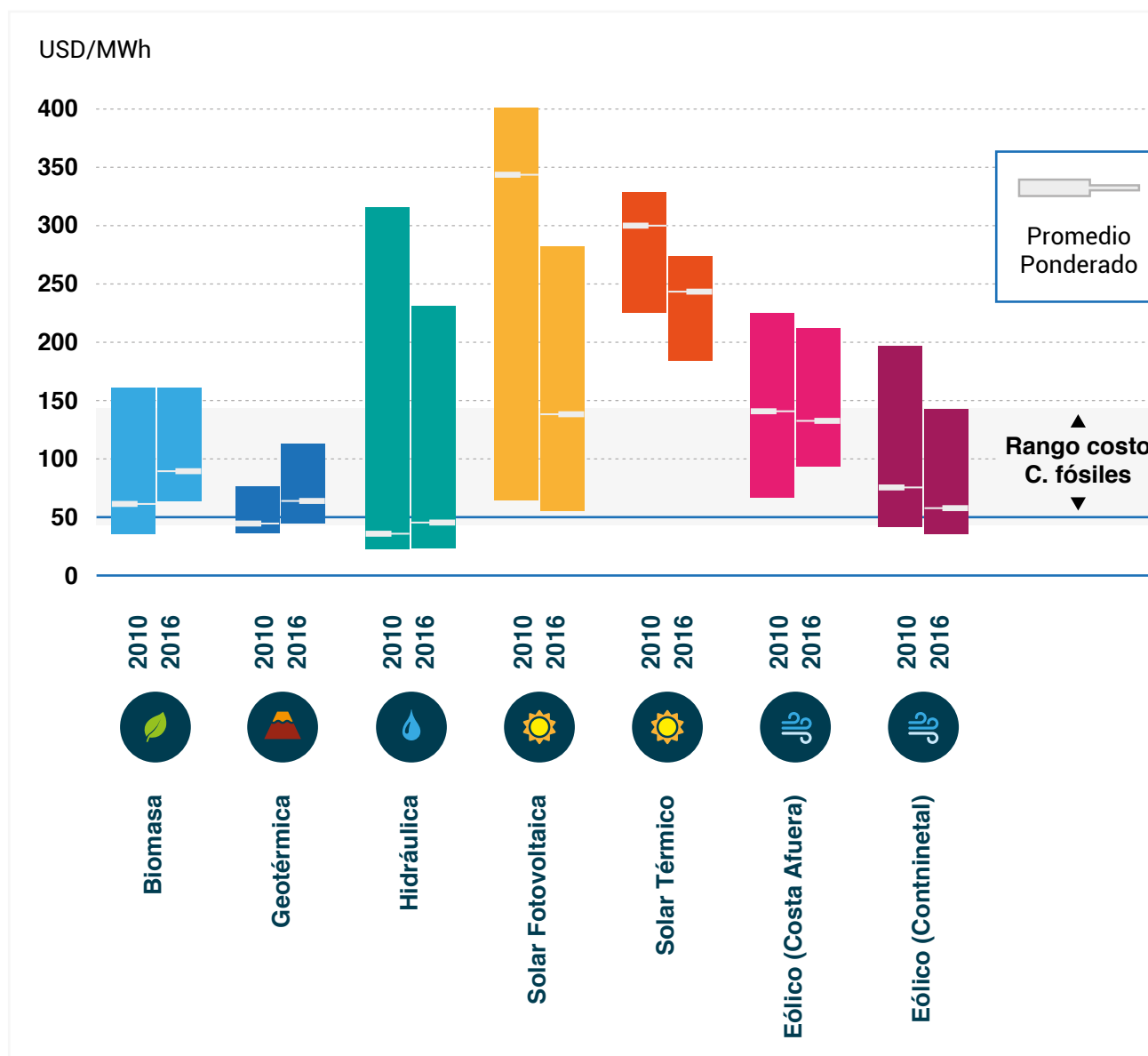
Para el caso de Colombia, donde se prevé la expansión dentro de las costas, es traído para análisis este costo nivelado para generación, en EEUU donde el desarrollo es maduro y acelerado, el precio es altamente competitivo entre los 0.04 USD/KWh y los 0.1 USD/KWh, con un promedio ponderado de 0,06 USD/KWh, para Sudamérica aun se tiene rezago con un costo promedio aproximado de 0,07 USD/KWh.

**Ilustración 39.** Costo nivelado de la energía eólica por región



**Fuente:** (REN21, 2017a)

Para dar contexto a la información anterior, a continuación se presenta un comparativo con respecto a las demás tecnologías de generación de energía eléctrica bajo la referencia del mismo indicador LCOE, se presenta un comparativo tanto por tecnologías como por años bajo análisis (2010 y 2016) el indicador se presenta en términos de Dólar por Megavatio Hora.

**Ilustración 40.** Costo nivelado de la energía por tecnología 2010 y 2016

**Fuente:** (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017)

## B.7 Sistemas avanzados de información

### B.7.1 Utilización del Big Data e Inteligencia Artificial

Lograr operar bajo la incertidumbre y variabilidad del recurso eólico (y solar) es crucial para la expansión de las energías renovables. La utilización de redes de comunicación entre parques eólicos y control de control con ordenadores de alta tecnología, donde software basado en inteligencia artificial analiza la información de la potencia generada junto con información satelital, estaciones climáticas y otras granjas, permite realizar pronósticos con mayor precisión reduciendo el costos de la energía renovable respecto a la convencional y ampliando la utilización de las renovable(Gardner et al., 2009).

El caso es analizado por MIT para una planta construida en Colorado EEUU, y que concentra información de generación con la cual se logra controlar el ángulo de las hélices de las turbinas, consecuentemente la potencia generada, y hace que las granjas eólicas puedan responder a cambios en la demanda.

El laboratorio para energías renovables de Estados Unidos desarrolla investigaciones en simulación de alta fidelidad a nivel de plantas eólicas, es decir, para utilizar controles inteligentes para operar los parques eólicos como un todo en lugar de la base actual, turbina por turbina, de esta forma, si se pudiese guiar una turbina en un grado o dos fuera de su configuración predeterminada, podría dirigir la estela, o la turbulencia, entre las turbinas en la siguiente fila dentro de la planta en lugar de directamente en otra turbina, la generación de energía puede disminuir ligeramente para esa turbina en particular, pero puede aumentar la producción de una fila posterior en la planta (Pelosi, 2016).

Por su parte la oficina de energía renovable y eficiencia energética del departamento de Energía de Estados Unidos, estudia el uso de información para entre otros objetivos (Wind Energy Technology Office, 2016):

ii. Utilizar dinámica de fluidos computacional para desarrollar un simulador para aplicaciones de parques eólicos y otras herramientas de modelado y control, que ayudarán a los operadores de parques eólicos a minimizar el impacto de los efectos de estela de turbina investigando el rendimiento de la planta en una amplia gama de condiciones atmosféricas. Los estudios han demostrado que al coordinar los controles de las turbinas para reducir los efectos de estela, la producción total de la planta de energía eólica podría aumentarse entre un 4% y un 5%.

iii. Utilizando el sistema de prueba de interfaz de red controlable, que reduce los tiempos y costos de prueba de certificación de aerogeneradores, mientras que proporciona a los ingenieros de sistemas una mejor comprensión de cómo los aerogeneradores, inversores fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento de energía reaccionan a las perturbaciones en el sistema de energía eléctrica.

Para el caso de la energía solar irrupciones de innovación mediante el uso de las tecnologías de la información son(Chiantore et al., 2015):

- Monitoreo inteligente de plantas fotovoltaicas: Algoritmos para predicción de confiabilidad de y desempeño de los equipos basado en datos históricos de falla y simulación de modelos que prevengan fallas y optimicen el mantenimiento preventivo.

- Predicción de la producción de energía como herramienta esencial para capturar economía en mercados con gran penetración de energía no predecible (Solar y eólica) mediante el desarrollo de software basados en algoritmos capaces de acertar los pronósticos climáticos para predecir la producción de energía solar en un rango de dos días hacia adelante, permitiendo:

- Participación en el mercado regulado, ingresos más altos
- Integración con almacenamiento en caso de disponer del mismo
- Determinación de periodos óptimos de intervención para mantenimiento

### B.7.2 Monitoreo y detección de fallas

La confiabilidad de una turbina es un factor crítico para lograr extraer la máxima energía del viento, el desarrollo de técnicas, metodologías y algoritmos de desempeño de las turbinas así como una detección temprana de fallas alejaran a estos equipos de fallas catastróficas, lo que conlleva a la necesidad de implementar sistemas de monitoreo de condiciones (CMS) y sistemas de detección de falla (FDS).

Los primeros consisten en una herramienta para determinar el estado de los componentes del sistema, los CMS son relativamente nuevos en la industria eólica, la fatiga experimentada por los componentes estructurales de los generadores es mucho mayor que cualquier otra máquina rotativa(Hameed et al., 2009). Estos sistemas se manejan como dos campos separados, el primero la tecnologías de sensores y el segundo la tecnología de monitoreo de condiciones y diagnósticos(Hameed et al., 2009)

Para el caso de los FDS es crítico obtener una detección de falla temprana obteniendo el tiempo necesario para preparar el cronograma de mantenimiento de partes individuales de las turbinas, para cada componente es necesario generar un sistema de precauciones advertencias y alarmas los cuales indiquen los diferentes niveles de urgencia e inician los diferentes sistemas de respuesta(Willis Towers Watson, 2018).

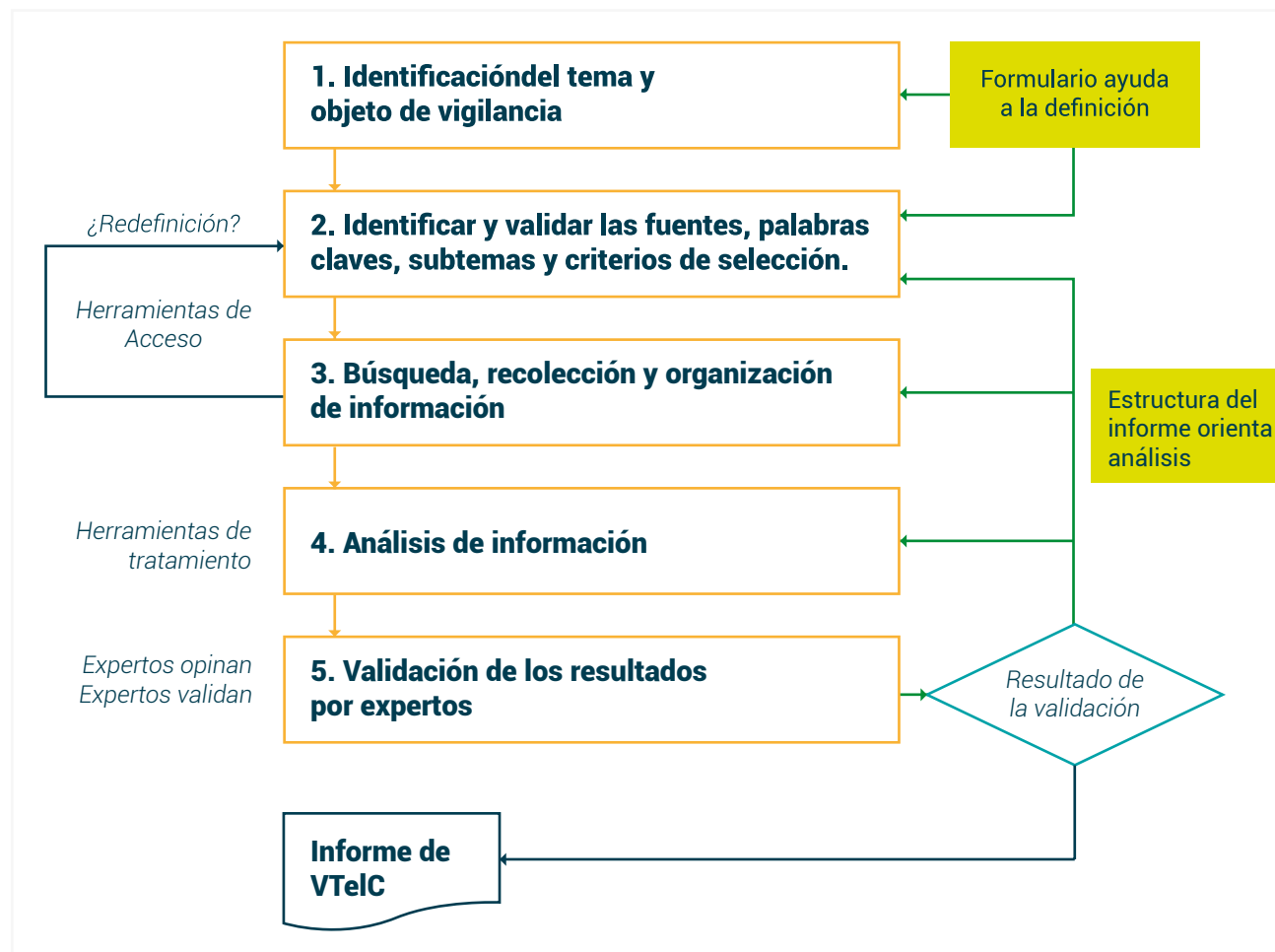
En el campo de la energía solar fotovoltaica, también existe un gran potencial de investigación y desarrollo en términos de operación y mantenimiento, dos líneas tendenciales de innovación se presentan a continuación:

- Optimización del portafolio de operación y mantenimiento de acuerdo con las obligaciones contractuales de los indicadores clave de desempeño (KPI's por sus siglas en ingles) y vinculado con alarmas y posicionamiento satelital en tiempo real.
- Mantenimiento automatizado (Preventivo y de emergencia): Gestión de la intervención y reprogramación basada en parámetros como alarmas e información de desempeño.

### Anexo 3. Anexo Metodológico

Para el desarrollo de este informe de vigilancia sobre tecnologías emergentes y políticas para energías renovables se utilizó el ciclo de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, el cual tiene básicamente cuatro grandes fases: una de definición de temática, otras de recolección análisis y validación de la información, otra fase de elaboración de conclusiones con base en los resultados y análisis realizado y una última fase de difusión.

#### Ilustración 41. Proceso de vigilancia tecnológica



**Fuente:** Colciencias

#### Definición de necesidades

La primera fase del protocolo establece la definición del alcance del ejercicio, a través del diligenciamiento de la ficha de definición de necesidades de vigilancia tecnológica, la cual plantea la especificación del tema principal de vigilancia, los subtemas, los objetivos específicos y los términos clave para las búsquedas. Esta ficha se presenta en el Anexo 2.

#### Búsqueda de información

El desarrollo del informe contempla la consulta de información tanto no estructurada como información estructurada.



Así pues, la información no estructurada se obtuvo a través de motores de búsqueda en Internet. Particular interés se ha puesto en identificar las grandes instituciones oficiales o no, que recopilan las principales temáticas en términos de políticas y tecnologías para las energías renovables.

La búsqueda de información que se realizó para este ejercicio, presenta resultados relacionados con las tendencias en términos de políticas y las tecnologías emergentes, análisis de publicaciones científicas en bases de datos estructuradas para identificar países líderes, autores principales y organizaciones supranacionales que tratan las temáticas.

En cuanto a la información estructurada la investigación se centró sobre la realización de un estado del arte a partir de la búsqueda de información, en donde se utilizan bases de datos científicas, por ejemplo, se utilizó Scopus. Para la búsqueda patentes se utilizó Espacenet a través del software Matheo Patent, con el fin de conocer la dinámica de producción de patentes en los países líderes en integración de renovables.

Las ecuaciones de búsqueda utilizadas en las bases de datos estructuras, no estructuradas y de patentes se presenta en el anexo 3.

### Análisis de información

La información obtenida se clasificó de acuerdo con los objetivos del informe. La información relevante obtenida de las bases de datos estructuradas fue incorporada al programa especializado Matheo Analyzer y Matheo Patent para ser indexada y procesada y generar distintas representaciones gráficas de evolución, ranking de posición, correlaciones entre palabras clave y entidades, etc. En la fase de análisis se extraen conclusiones pertinentes para proporcionarle valor agregado al informe y que este sirva como elemento de juicio para decisiones estratégicas para el Plan Energético Nacional 2050.

### Anexo 4. Definición de necesidades de vigilancia

**Tabla 27.** Ficha de necesidades de vigilancia

Definición de necesidades de vigilancia tecnológica				
Por qué	El escenario mundo eléctrico de la upme, prevé una participación de la electricidad del 90% del mercado energético en Colombia para el año 2050. Este escenario, que considera la penetración de las fuentes renovables no convencionales en los procesos de transformación, supone el ingreso de nuevos actores, nuevas tecnologías y un nuevo modelo tecnológico. Los esquemas regulatorios actuales del sector eléctrico se fundamentan en el modelo tradicional que opera con las tecnologías convencionales de generación de energía. Por tanto es necesario generar información que permita anticipar el impacto del cambio del modelo tecnológico en la construcción del marco regulatorio del sector.			
Para qué	Es necesario generar información referente al nuevo modelo tecnológico de producción y consumo de energía eléctrica, las nuevas tecnologías y los nuevos actores para facilitar la orientación de la política energética, el modelo de mercado energético y la regulación del sector para que con suficiente antelación se adopten las medidas necesarias para alinearse con los objetivos del plan energético nacional.			
Factores críticos de vigilancia	Cuestión crítica a vigilar (preguntas de vigilancia)	Descriptor (kw, sintagmas)	Restrictor (delimitación geográfica, años, etc.)	Prioridad (alta, media, baja)

Fcv 1.  Tendencias tecnológicas de generación de energía con fuentes renovables no convencionales	Pcv 1. ¿cuáles son las características de las tecnologías emergentes con alta dinámica de innovación y desarrollo para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables no convencionales de energía?	Wind power, solar photovoltaic power, smart metering, storage, energy demand management, demand-side management (dsm), efficiency, demand-side response (dsr), low scale power generation, large scale power generation, energy demand management, energetic transition, smart grid, super grid, micro grid.	-energía eólica -energía solar -2008-2018	alta
	Pcv 2. ¿cuál es la tendencia en términos de costo de las tecnologías asociadas a las fuentes renovables no convencionales de generación de energía eléctrica y de la energía producida a través de ellas?	Prosumers, system integration, administrative and connection procedures, levelised cost of energy, levelised cost of storage, community led organizations, green power investment cooperatives, investment in renewable energies, transactions in renewable energy, capital expenditure, renewable portfolio standard, feed-in tariff scheme, venture capital and private equity.	-energía solar -energía eólica -2008-2018	alta
Fcv 2. Nuevo modelo tecnológico de	Pcv 3. ¿cómo son las políticas se adoptan para	Policy makers, regulation*, public promotion, support schemes, political economy,	-países con participación alta de energía solar y	alta

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 5. Ecuaciones de Búsqueda****Tabla 28.** Ecuación de búsqueda en bases de datos estructuradas

Ecuaciones de Búsqueda Bases de Datos Estructuradas		
Temática	Ecuación	Resultados
4.1.1 Costo y Eficiencia de paneles fotovoltaicos (PV)	TITLE-ABS-KEY(("photovoltaic technologies") AND (efficiency OR "material cost" OR "material usage" OR "manufacturing" OR "technology trends" OR "emerging technologies")) AND PUBYEAR AFT 2007	823
4.1.2 Gestión de la demanda (DSR)	TITLE-ABS-KEY ( ( "renewable Energy" ) AND ( "Energy demand management" OR "demand-side management" OR "demand-side response" ) ) AND PUBYEAR > 2007	900
4.1.3 Agregadores de Mercado	TITLE-ABS-KEY ( ( "Renewable Energy" OR "distributed Energy" OR "Distributed energy sources" OR "Distributed generation" ) AND ( aggregators OR "thirdparty" OR intermediaries OR "Community-led organisations" OR "green power investment cooperatives" OR "community energy cooperatives" OR "community initiatives" ) ) AND PUBYEAR > 2007	517
4.1.5 Infraestructura avanzada de Medición (AMI)	TITLE-ABS-KEY ( ( "distributed Energy" OR "Distributed energy sources" OR "Distributed generation" ) AND ( "advanced metering infrastructure" OR "smart metering" OR "smart meter" OR metering ) ) AND PUBYEAR > 2007	511
4.1.6 Efectividad de Costo generación	TITLE-ABS-KEY ( ( ( "level?ed cost of energy" ) OR ( "level?ed cost of electricity" ) ) AND ( projection OR outlook OR forecast OR prospect OR future OR foresight ) ) AND PUBYEAR > 2007	250
4.2.1 Cambios rápidos del mercado	TITLE-ABS-KEY ( ( "renewable energy" OR "renewable energies" ) AND ( "solar power" OR "photovoltaic power" OR "wind power" ) ) AND ( "energy policy" OR "energy policies" OR "regulatory framework" OR cost OR barrier* ) AND PUBYEAR > 2007 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re " ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cr " ) )	699
4.2.2 Modelos de negocio y de red		
4.2.2 Subsidios para energía renovable		762
4.2.3 Mecanismos Financieros		
4.2.4 Cargos de Conexión		

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 29.** Ecuación de búsqueda en bases de datos de patentes

Ecuaciones de Búsqueda Patentes		
Temática	Ecuación	Resultados
Desarrollos tecnológicos en celdas solares	IC:("H01L27/142" OR "H01L31/04*" OR "H01L31/054" OR "H0240/20") AND PD:[2007,2017]	5486
Desarrollos tecnológicos en motores de viento	IC:(F03D*) AND PD:[2007-2017]	4825

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 6. Estudio de Necesidades de vigilancia y Protocolo de KIT**

<b>GRISEC</b> <i>Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano</i>	<b>Proyecto:</b> Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050
<b>Protocolo de KIT</b>	
<b>Fecha de elaboración:</b> Enero 25 / 2018	

**Entrevistado:** Camilo Quintero Montaña **Cargo/Entidad:** Excomisionado CREG **Fecha:** 02/02/2018

**I. Decisiones de negocio y asuntos estratégicos y tácticos:**

¿Qué decisiones y/o acciones usted o su equipo enfrentará en los próximos 6 meses, donde la inteligencia competitiva puede hacer la diferencia?

En la estrategia comercial, ya que no se trata tanto del conocimiento del mercado o del negocio, sino del conocimiento del cliente, es una cuestión de saber hacer negocios, por encima de la información de la CREG se trata de saber capitalizar la información para la gestión comercial.

A. ¿Cómo usaría esta inteligencia competitiva?

Para efectos académicos y para mejorar la capacidad para capitalizar la información de la CREG en beneficio social.

B. ¿Cuándo la necesita?

Es una necesidad absoluta (en relación a que su pertinencia es permanente).

**II. Asuntos de Alerta temprana**

(Discuta sobre una sorpresa del pasado, en su industria, negocio o compañía)

Identifique asuntos potenciales que no quisiera que lo sorprendieran (Nuevos competidores, introducciones tecnológicas, adquisiciones y alianzas, cambios regulatorios, etc.)

Se remonta al cargo por confiabilidad, para definir la expansión del sistema de generación, así mismo cita la metodología 097/2008 para la Regulación del sistema de distribución.

**III. Jugadores clave en el mercado:** Competidores, clientes, proveedores, reguladores, etc.

Identifique esos jugadores que usted considera una compañía regulatoria/ o relacionada a la regulación de políticas sectoriales con entender mejor

▪ ¿Quiénes son ellos?

Empresas de consultoría: Sin embargo la competencia también se comporta como aliados, aunque hay disputa por el mercado, son socios estratégicos, es una cuestión de tamaño, donde se ejerce como consultor (en referencia a subcontratación) o free-lance.

▪ Específicamente, ¿Qué requiere saber?

Conoce su rival y conoce sus limitaciones y potencias, debilidades, busca advertir y canalizar a favor la estrategias adoptadas por la competencia.

<b>GRISEC</b> Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano	<b>Proyecto:</b> Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050
<b>Estudio de Necesidades de IC</b>	
<b>Fecha de elaboración:</b> Enero 25 / 2018	

**Entrevistado:** Camilo Quintero Montaña **Cargo/Entidad:** Excomisionado CREG **Fecha:** 02/02/2018

I. Necesidades de inteligencia

A. Responsabilidades regulatorias / en la toma de decisiones

- ¿Tiene decisiones o acciones futuras o planeadas en el ámbito regulatorio de las energías renovables no convencionales?

Las decisiones regulatorias son definidas directamente por las políticas ministeriales (Ministerio de Minas y Energía)

¿Conoce de la existencia de un plan estratégico y de las acciones relacionadas a este para la regulación de las FNCER en Colombia?

La actuación estratégica de la CREG consiste esta en función de la retroalimentación que esta recibe por parte del Ministerio y de la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética del ministerio de minas y Energía).

- ¿En caso afirmativo, se ha formulado e implementado una estrategia?

Anualmente se crea una agenda regulatoria cuyos tiempos de respuesta y directrices están acorde con lo establecido por las autoridades nacionales.

B. Inteligencia de alertas tempranas

- ¿Recuerda algún caso de "sorpresa" en el ámbito regulatorio?

- El fenómeno de la niña y la falta de previsibilidad entorno a este, lo que afectó el tema tarifario y generó un choque fuerte en la planificación.

- "Apagar Paga", una política improvisada de ahorro.

- ¿Tiene preocupaciones acerca de: Industria, Gobierno, inversionistas u otro actor sectorial?

Se entiende la burocracia estatal como una necesidad. Lo que obliga a que se adopten los debidos procesos por y ante las autoridades estatales.

- ¿Conoce las intenciones y acciones de sus competidores?

Considera que existen una confusión de roles respecto a la regulación técnica del ministerio al delegar a CREG.

C. Actores del Sector: competidores, clientes, proveedores, otros.

- ¿Cuales roles le generan mayor preocupación?

Considera que cada actor del sector cumple su tarea.

- ¿Qué tipo de información de inteligencia necesita?

Se requiere información para hacer análisis e impacto normativo, con referentes internacionales.

- ¿Qué usos le daría a esta inteligencia?



<b>GRISEC</b> <small>Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano</small>	<b>Proyecto:</b> Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050
<b>Estudio de Necesidades de IC</b>	
<b>Fecha de elaboración:</b> Enero 25 / 2018	

Se debe revisar la pertinencia de la misma bajo los referentes internacionales, pone de ejemplo la regulación sobre calidad en sistemas de distribución de energía eléctrica.

## II. Capacidad de inteligencia y utilización

- ¿Qué experiencia/familiaridad tiene con la inteligencia?

Indica que tanto en CREG como en UPME se utiliza la inteligencia.

- ¿Recibe algún tipo de inteligencia, cual?

La necesaria para cumplir con la actividad de consultoría

- ¿Qué capacidades de inteligencia tiene su organización?

Utiliza los instrumentos (recursos) disponibles en Internet.

- ¿Quiénes en su organización utilizarían esa inteligencia?

Indica que el personal requiere siempre de formación, antes de dar uso a la información regulatoria.

- ¿Las operaciones de inteligencia en su empresa tendrían algún otro beneficiario?

Cientes de Consultoría

- ¿Existen barreras para compartir la información de inteligencia que recibe?

Saber compartir y extraer la mayor utilidad, aun con las dificultades para poderla administrar.

- ¿Qué tipos de inteligencia le gustaría recibir? (Reportes de campo, alertas analíticas, competidores, evaluación de los productos/servicios de los competidores, sesiones informativas de inteligencia)

Entidades con las cuales se tiene mayor formalidad (en referencia a la calidad de las fuentes de información)

- ¿Cómo se debería organizar el sistema de inteligencia de una entidad regulatoria?

Seguimiento de oportunidades y mercados internacionales, verificar la vulnerabilidad del estado y la coordinación interinstitucional, el estado y sus instituciones como uno solo.

- ¿Cómo evaluaría la inteligencia que usted recibió/recibe?

Buena y continua siendo buena.

**Anexo 7. Bitácora de ecuaciones de búsqueda****Tabla 30.** Bitácora de ecuaciones de búsqueda

BITÁCORA ECUACIONES DE BÚSQUEDA				
Fecha	Ecuación de búsqueda	Base de Datos	Número de resultados	Observaciones
23/03/2018	(wind power) .AND. (deployment .OR. policy .OR. (regulatory framework) .OR. (policy maker) .OR. regulation) .AND. (trends .OR. outlook .OR. overview .OR. foresight .AND. forecasting .OR. review)	Google	14.200	
feb-18	TITLE-ABS-KEY ( ( "regulatory framework" AND ( "electricity from renewable energy resources" OR "integration of renewable sources" OR "Policy makers" OR "regularion" ) ) )	Scopus	324	Realizada bajo la primera versión de la Ficha de necesidades de vigilancia
feb-08	TITLE-ABS-KEY ( ( "regulatory framework" AND ( "electricity from renewable energy resources" OR "integration of renewable sources" OR "Policy makers" OR "regularion" OR "public promotion" OR "FIT scheme" OR "payment for capacity guarantee" OR rei OR cbp OR ro ) ) )	Scopus	338	
feb-09	TITLE-ABS-KEY ( ( ( "regulatory framework" OR "integration of renewable energies" ) AND ( "electricity from renewable energy resources" OR "integration of renewable sources" OR "Policy makers" OR "regularion" OR "public promotion" OR "FIT scheme" ) ) )	Scopus	333	
feb-13	TITLE-ABS-KEY ( ( ( "regulatory framework" OR "integration of renewable energies" ) AND ( "electricity from renewable energy resources" OR "integration of renewable sources" OR "Policy makers" OR "regularion" OR "public promotion" OR "FIT scheme" ) ) ) AND ( LIMIT-TO ( EXACTSRCTITLE , "Energy Policy" ) OR LIMIT-TO ( EXACTSRCTITLE , "Renewable And Sustainable Energy Reviews" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ECON" ) ) AND ( LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Regulatory Framework" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Policy Making" ) )	Scopus	14	

feb-14	TITLE-ABS-KEY ((( "regulatory framework" OR "legal framework" OR policy OR policies ) AND ( "electricity from renewable energy resources" OR "integration of renewable sources" OR "tariff" OR "wind power" ) ) ) AND PUBYEAR > 2006 AND PUBYEAR < 2019 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ECON" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BUSI" ) ) AND ( LIMIT-TO ( EXACTSRCTITLE, "Renewable And Sustainable Energy Reviews" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE, "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE, "cp" ) )	Scopus		
feb-17	TITLE-ABS-KEY ((( ( "regulatory framework" OR "legal framework" OR policy OR policies ) AND ( "electricity from renewable energy resources" OR "integration of renewable sources" OR "tariff" OR "wind power" ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2019 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ECON" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BUSI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATH" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATE" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "DECI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "CHEM" ) )	Scopus		
Feb 19 2018	ALL ( ( "Renewable energies" OR "Renewable energy" ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "regulatory framework" OR "legal framework" OR policy OR policies ) AND ( "Energy demand management" OR "barrieris to entry" OR " demand-side management" OR "demand-side response" OR "power cutters" ) ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2019 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ECON" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BUSI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATH" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "DECI" ) )	Scopus	32	Archivo Ris Generado: Scopus Res 3.

Feb 20 2018	ALL ( ( "Energy policy" ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "regulatory framework" OR "Renewable energy" OR "legal framework" OR policy OR policies ) AND ( "Energy demand management" OR "barrieris to entry" OR " demand-side management" OR "demand-side response" OR "power cutters" ) ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2019 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ECON " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BUSI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATH " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "DECI " ) )	Scopus	721	
Feb 20 2018	ALL ( characterization OR characteristics OR "sta te of art" ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "Renewable energy technology" OR "Renewable energy" OR "Renewable sources" ) AND ( "dynamism" OR driver OR "elec tricity generation" OR "efficiency" OR mettering OR int egration OR interconnection OR interface ) ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2019 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ECON " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BUSI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATH " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "DECI " ) ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATH" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BUSI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ECON" ) )	Scopus	4290	

Feb 20 2018	ALL ( characterization OR characteristics OR "state of art" ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "Renewable energy technology" OR "Renewable energy" OR "Renewable sources" ) AND ( "Photovoltaic" OR solar OR wind OR "wind power" OR "solar Power" ) AND ( "dynamism" OR "emerging technology" OR "technological improvement" OR driver OR "electricity generation" OR "efficiency" OR metering OR integration OR interconnection OR interface ) ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2019 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " ECON " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " BUSI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " MATH " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " DECI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " ENER " ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATE" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "COMP" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "PHYS" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATH" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "CENG" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "CHEM" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BIOC" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENVI" ) )	Scopus	400	Ecuación refinada para las KIQ revisadas por Omar Prias y JM Sanchez.

Feb 21 2018	ALL ( characterization OR characteristics OR "state of art" ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "Renewable energy technology" OR "Renewable energy" OR "Renewable sources" ) AND ( "Photovoltaic" OR solar OR "solar Power" ) AND ( "dynamism" OR "emerging technology" OR "technological improvement" OR driver OR "electricity generation" OR "efficiency" OR metering OR integration OR interconnection OR interface ) ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2019 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ECON" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BUSI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATH" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "DECI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATE" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "COMP" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "PHYS" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "MATH" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "CENG" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "CHEM" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "BIOC" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENVI" ) )	Scopus	2523	Ecuación refinada para KIQ 1 para Restrictor Solar



Feb 22 2018	ALL ( characterization OR characteristics OR "state of art" ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "Renewable energy technology" OR "Renewable energy" OR "Renewable sources" ) AND ( "Photovoltaic" OR solar OR "solar Power" ) AND ( "Electricity-consumption" OR "Electricity demand" OR "dynamism" OR "emerging technology" OR "technological improvement" OR driver OR "electricity generation" OR "efficiency" OR metering OR integration OR interconnection OR interface ) ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ECON " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " BUSI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " MATH " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " DECI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ENER " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " MATE " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " COMP " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " PHYS " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " CENG " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " CHEM " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " BIOC " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ENVI " ) )	Scopus	2647	Ecuación refinada para KIQ 1 para Restrictor Solar, Refinado, Archivo RIS

Feb 22 2018	ALL ( characterization OR characteristics OR "state of art" ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "Renewable energy technology" OR "Renewable energy" OR "Renewable sources" ) AND ( wind OR "wind Power" ) AND ( "Electricity-consumption" OR "Electricity demand" OR "dynamism" OR "emerging technology" OR "technological improvement" OR driver OR "electricity generation" OR "efficiency" OR metering OR integration OR interconnection OR interface ) ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ECON " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " BUSI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " MATH " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " DECI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ENER " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " MATE " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " COMP " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " PHYS " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " CENG " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " CHEM " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " BIOC " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ENVI " ) )	Scopus	1636	Ecuación refinada para KIQ 1 para Restrictor Eólico, Refinado, Archivo RIS

Feb 22 2018	<p>TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "Renewable energy" AND solar AND wind AND power ) AND ( "Energy policy" OR "regulatory framework" OR "feed-in tariff scheme" OR "barrieris to entry" OR "levelized cost of electricity" OR "Electricity rate design" OR "power cutters" OR "Energy market" OR stakeholders OR cost ) ) ) ) ) AND P          UBYEAR &gt; 2007 AND PUBYEAR &lt; 2019 AND ( LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "United States " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "China " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "United Kingdom " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Germany " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Australia " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Italy " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Canada " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "India " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Netherlands " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "France " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Spain " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Japan " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Sweden " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Taiwan " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "South Korea " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Iran " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Switzerland " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Belgium " ) OR LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Brazil " ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENER " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " ECON " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " BUSI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " MATH " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , " DECI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENVI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ECON " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "BUSI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "MATH " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENVI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENER " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ECON " ) )</p>	Scopus	1720	Ecuación refinada para KIQ 3 para Restrictor Eólico, Refinado, Archivo RIS

Feb 22 2018	ALL ( ( "Energy policy" ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( ( ( "regulatory framework" OR "Renewable energy" OR "legal framework" OR policy OR policies ) AND ( "Energy demand management" OR "barrieris to entry" OR " demand-side management" OR "demand-side response" OR "power cutters" OR " Integration of new technologies" OR stakeholders OR "distributed generation" ) ) ) ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2019 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENER " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " ECON " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " BUSI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " MATH " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA, " DECI " ) )	Scopus	2831	Ecuación refinada para KIQ 3 para Restrictor Eólico, Refinado, Archivo RIS
Feb. 26 2018	TITLE-ABS-KEY ( ( "renewable energy" OR "renewable energies" ) AND ( "solar power" OR "photovoltaic power" OR "wind power" ) ) AND ( "energy policy" OR "energy policies" OR "regulatory framework" OR cost OR barrier* ) AND PUBYEAR AFT 2007 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE, "re" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE, "cr " ) )		689	Ecuación refinada con la asesoría de la Ingeniería JM Sánchez-Torres, para KIQ3.
	TITLE-ABS-KEY ( ( "photovoltaic technologies" ) AND ( efficiency OR "material cost" OR "material usage" OR "manufacturing" OR "technology trends" OR "emerging technologies" ) ) AND PUBYEAR AFT 2007	Scopus	823	
	TITLE-ABS-KEY ( ( "renewable Energy" ) AND ( "Energy demand management" OR "demand-side management" OR "demand-side response" ) ) AND PUBYEAR > 2007	Scopus	900	
	TITLE-ABS-KEY ( ( "Renewable Energy" OR "distributed Energy" OR "Distributed energy sources" OR "Distributed generation" ) AND ( aggregators OR "thirdparty" OR intermediaries OR "Community-led organisations" OR "green power investment cooperatives" OR "community energy cooperatives" OR "community initiatives" ) ) AND PUBYEAR > 2007	Scopus	517	

TITLE-ABS-KEY ( ( "distributed Energy" OR "Distributed energy sources" OR "Distributed generation" ) AND ( "advanced metering infrastructure" OR "smart metering" OR "smart meter" OR metering ) ) AND PUBYEAR > 2007	Scopus	511	
TITLE-ABS-KEY ( ( "level?ed cost of energy" ) OR ( "level?ed cost of electricity" ) ) AND ( projection OR outlook OR forecast OR prospect OR future OR foresight ) ) AND PUBYEAR > 2007	Scopus	250	
TITLE-ABS-KEY ( ( "renewable energy" OR "renewable energies" ) AND ( "solar power" OR "photovoltaic power" OR "wind power" ) ) AND ( "energy policy" OR "energy policies" OR "regulatory framework" OR cost OR barrier* ) AND PUBYEAR > 2007 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cr" ) )	Scopus	699	
TITLE-ABS-KEY ( ( "renewable energy" OR "renewable energies" ) AND ( "wind power" OR "wind energy" OR wind OR onshore OR offshore ) ) AND ( "energy policy" OR "energy policies" OR "regulatory framework" OR cost OR barrier* ) AND PUBYEAR > 2007 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cr" ) )		762	
IC:( "H01L27/142" OR "H01L31/04*" OR "H01L31/054" OR "H0240/20" ) AND PD:[2007,2017]	Espacenet	5486	
IC:(F03D*) AND PD:[2007-2017]	Espacenet	4825	

**Fuente:** Elaboración propia