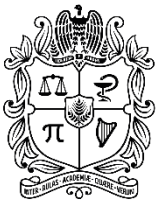


UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Propuesta metodológica basada en vigilancia tecnológica para el desarrollo del marco regulatorio de las fuentes no convencionales renovables de energía en Colombia. Estudio de Caso.

Sergio Andrés Rodríguez Blanco

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Bogotá D.C., Colombia
2018

Propuesta metodológica basada en vigilancia tecnológica para el desarrollo del marco regulatorio de las fuentes no convencionales renovables de energía en Colombia. Estudio de Caso.

Sergio Andrés Rodríguez Blanco

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Eléctrica

Director (a):

MSc. Omar Prias Caicedo

Línea de Investigación:

Fuentes renovables no convencionales de energía

Grupo de Investigación:

Grupo de investigación en el sector energético colombiano GRISEC

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Bogotá D.C., Colombia

2018

Josué 1:9

Para Alberto y Ana, por supuesto.

Agradecimientos

A la universidad Nacional de Colombia en sus 150 años, al Ingeniero Omar Fredy Prias Caicedo por su apoyo, orientador de este trabajo y líder de la gestión de la energía en el país, a la Ingeniera Jenny Marcela Sánchez, al grupo de investigación del sector energético colombiano, a los docentes y compañeros que me enriquecieron y aportaron en mi proceso de formación. Principalmente a mi familia, por ellos, para ellos.

Resumen

El presente documento realiza una descripción general de las políticas para la promoción e integración de las fuentes no convencionales de energía renovable en países de referencia y en Colombia, donde se identifica la brecha que existe entre países con políticas maduras y alta penetración de las energías renovables en la matriz energética con respecto a Colombia y la región.

Posteriormente se presenta la propuesta metodológica basada en vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva validada mediante un estudio de caso para energía eólica, se sugieren criterios para identificar las necesidades de vigilancia, así como fuentes de información y temáticas tendenciales orientadas a facilitar la incorporación de criterios, factores y variables de carácter anticipativo para el desarrollo del marco regulatorio de la generación de energía eléctrica mediante el consumo sostenible de recursos.

Finalmente se presenta un análisis de contexto, donde se resalta el poder dominante que mantienen las grandes compañías de generación de energía eléctrica en el país, la dependencia del crecimiento económico y los ingresos de la nación con dependencia de la industria extractiva que contrasta con los objetivos de desligarse de las fuentes de emisiones contaminante. Así como elementos de carácter social como el acceso a la energía, subsidios, carencia de infraestructura y la falta de información. Otro aspecto relacionado con el contexto de los proyectos de infraestructura para fuentes renovables es la efectiva transferencia de beneficio para las comunidades en el área de influencia, la atención prioritaria de necesidades básicas insatisfechas y la falta de criterios para determinar el impacto real sobre los objetivos de desarrollo sostenible.

Palabras clave: Vigilancia tecnología, inteligencia competitiva, política, marco regulatorio, fuentes no convencionales de energía renovable.

Abstract

This document initiates with a general review of the renewable energy resources policies in referenced countries as well as in Colombia, there is identified a gap between the geographies with high penetration of the renewable energies in the generation mix and high level of maturity in policy with respect to Colombia and the region.

After that, the proposed methodology based on competitive intelligence is presented. A study case for wind power is analyzed to validate the methodology. A criterion for competitive intelligence needs survey and key intelligence topics identification are given, also information sources and database are object of recommendation. All of this intended to identify tendencies and issues that facilitate the incorporation of criteria, factors and variables to anticipate the deployment of renewable energy for electricity generation with the use of sustainable resources.

Finally a context analysis is presented, where is identified the dominance of traditional big generation companies, the dependence of economic growth and incomes of the country by the extractive industry which has a contrast with the objective of zero emission power industry. Also is issued a weakness in aspects like benefit transfer for communities, information to the end user, priority in attention of unsatisfied basic needs and lack of criteria to measure the real effectiveness in accomplishment the sustainable development goals.

Keywords: competitive intelligence, policy, regulatory framework, renewable energy resources

Contenido

Pág.

1. Políticas para impulsar las energías renovables. 5
1.1 Políticas en países con alta penetración de renovables 9
1.1.1 Mecanismos de incentivos 11
1.1.2 Países de referencia 16
1.1.3 Barreras de mercado..... 24
1.1.4 Indicadores de política 26
1.1.5 Etapas de madurez de política para renovables 27
1.1.6 Estandarización y normalización..... 28
1.2 Estado del arte de la regulación de la energía renovable en Colombia 31
1.2.1 Política Nacional 31
1.2.2 Mecanismos regulatorios a nivel nacional..... 33

2. Propuesta para la reglamentación de las energías renovables a partir de vigilancia tecnológica..... 49
2.1 Planteamiento.....53
2.2 Planeación.....53
2.3 Recopilación 58
2.4 Procesamiento.....61
2.5 Interpretación.....62
2.6 Comunicación.....63
2.7 Estudio de Caso 64

3. Indicadores de políticas energéticas y desarrollo tecnológico. 79
3.1 Indicadores de política.....80
3.2 Indicadores tecnológicos 82
3.3 Modelo correlativo entre Política e innovación para energías renovables.....85

4. Análisis de entorno..... 89
4.1 Aspecto Político.....89
4.2 Aspecto Económico 92
4.3 Aspecto Social.....96
4.4 Aspecto Tecnológico 99
4.5 Aspecto Ambiental.....102
4.6 Aspecto Legal.....105
4.7 PESTEL.....106

5. Conclusiones y recomendaciones 109
5.1 Conclusiones 109

5.2 Recomendaciones 111

6. Anexo A: Tendencias tecnológicas incidentes en la regulación de las FNCER.113

7. **Anexo B: Información complementaria de Vigilancia Tecnológica**.……121

8. Bibliografía……125

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1. Árbol temático de las fuentes y las tecnologías de energía renovable. 7
Figura 1-2. Capacidad adicional de energía eléctrica 2012 y proyectada a 2040.....8
Figura 1-3.Gráfica oferta-demanda esquemas FIT y subasta 14
Figura 1-4.Adiciones de capacidad por tecnología al 2040 - Escenario Nuevas Políticas de la IEA 18
Figura 1-5.Penetración de la energía eólica en la demanda final, países líderes. 18
Figura 1-6. Barreras para las energías renovables 26
Figura 1-7. Etapas de madurez para políticas renovables 27
Figura 1-8. Estandarización para tecnologías renovables 29
Figura 1-9.Competencias administrativas de la ley 1715 de 2014 34
Figura 1-10.Incentivos Tributarios para inversión en FNCE 35
Figura 1-11.Síntesis de la ley 1715 de 2014 36
Figura 1-12.Propuesta para el mecanismo Prima Verde 38
Figura 1-13.Propuesta para el mecanismo Contrato pague lo generado 39
Figura 1-14.Propuesta para el mecanismo Energy Power Agreement 40
Figura 1-15. Emisión de Proyectos FNCER, Marzo 2018 UPME 47
Figura 2-1: Cadena Eléctrica del siglo 21, Flujo de 2 vías 50
Figura 2-2: Referencia teórica para la metodología propuesta.....51
Figura 2-3 Mapa de proceso de la metodología propuesta 52
Figura 2-4: Síntesis de la función de inteligencia competitiva 56
Figura 2-5: Adaptación de Herring al estudio de necesidades de vigilancia.....57
Figura 2-6 Ecuación de búsqueda para regulación de energía eólica 59
Figura 2-7 Registro de patentes para renovables entre 2000 y 2016 60
Figura 2-8 Niveles de reporte escritos de VTeIC. 64
Figura 2-9 Análisis de sintagmas y palabras clave 66
Figura 2-10 Tendencia anual de producción científica 66
Figura 2-11 Tendencia de producción científica por publicación 67
Figura 2-12 Análisis complementario por base de datos 67
Figura 2-13 Análisis por país, Scopus y Matheo 68
Figura 2-14 Ejemplo de Clúster de instituciones y autores de referencia 69
Figura 2-15 Modelo esquemático de los pisos de operación mercado intradiario 73
Figura 2-16 Herramienta para gestión de la reserva RMT(Matos & Bessa, 2011). 75
Figura 3-1 Resultados de patentes para tecnología solar fotovoltaica. 83
Figura 3-2 Resultados de patentes para tecnología eólica.....83

Figura 3-3 Patentes registradas en Colombia para turbinas eólicas para la producción de energía eléctrica. 84
Figura 3-4 Línea del tiempo de introducción de políticas para energías renovables. 85
Figura 3-5 Línea del tiempo de producción patente por tipo de energía renovable. 86
Figura 3-6 Línea del tiempo de producción patente por país líder. 86
Figura 3-7 Crecimiento en países de referencia de las familias de patentes verdes 87
Figura 3-8 Crecimiento del índice de políticas en países de referencia 88
Figura 4-1. Costo de celdas de C-Si contra capacidad global fotovoltaica 93
Figura 4-2 Penetración de la energía fotovoltaica en la demanda final, países seleccionados. 94
Figura 4-3 Costo nivelado de la energía por tecnología 2010 y 2016 95
Figura 4-4 Costo nivelado de Energía Eólica en subastas registradas a 2022. 95
Figura 4-5. Costo nivelado de Energía Fotovoltaica proyectado 2050 96
Figura 4-6 Valor de agregadores basado en el contexto regulatorio y tecnológico. 101
Figura 4-7 Gráfico PESTEL, síntesis de análisis de contexto. 107

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1: Medidas y políticas energéticas renovables 10
Tabla 1-2: Políticas e instrumentos para promoción de renovables.....11
Tabla 1-3: Caracterización de mecanismos financieros.....15
Tabla 1-4: Incentivos económicos para renovables 16
Tabla 1-5: Políticas energéticas recientes en países seleccionados 17
Tabla 1-6. Resumen de políticas en países europeos seleccionados.....20
Tabla 1-7. Políticas adoptadas en países latinoamericanos seleccionados.....23
Tabla 1-8. Mecanismo de promoción de energías renovables en Brasil.....24
Tabla 1-9. Partes interesadas en la estandarización 28
Tabla 1-10: Estándares de interés para generación eólica.....30
Tabla 1-11. Metas ambientales para las fuentes no convencionales de energía.....37
Tabla 1-12. Ejemplo de valor de excedente para Autogenerador en Colombia. 43
Tabla 1-13. Esquema de remuneración según CREG030-2018.....44
Tabla 1-14. Reglamentación de las FNCER en Colombia 46
Tabla 2-1. Fuentes de información de referencia para las políticas y tecnologías FNCER. 54
Tabla 2-2: Tendencias en para las FNCER identificadas en la bibliografía de referencia 55
Tabla 2-3. Clasificación de patentes para energía eólica y solar fotovoltaica 61
Tabla 2-4. Países Europeos con mercados intradiarios.....70
Tabla 2-5. Principales modelos de pronóstico y predicción para generación eólica 74
Tabla 3-1. Indicadores para renovables en países líderes 81
Tabla 3-2. Información obtenida de patentes.....82
Tabla 4-1. Riesgo de corrupción en las entidades públicas de Colombia en 2016. 91
Tabla 4-2. Industria Energía en Colombia, emisiones respecto al total global 102
Tabla 4-3. Emisiones Globales de GEI, Países Seleccionados 103
Tabla 4-4. Capacidad de generación actual y proyectada empresas seleccionadas. 105

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviatura	Término
FIT	Tarifas Feed-In
FIP	Tarifas Premium
FNCER	Fuentes no convencionales de energía renovable
FNCE	Fuentes no convencionales de energía
GEI	Gases de efecto invernadero
GTON	Gigatoneladas
GW	Gigavatios
I+D+i	Investigación, desarrollo e innovación.
IEA	Agencia internacional de energía
IPCC	Grupo Internacional de expertos sobre el cambio climático
IRENA	Agencia internacional de energía renovable
LCOE	Costo nivelado de la energía eléctrica
OCDE/OECD	Organización para la cooperación y el desarrollo económico
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
SIN	Sistema interconectado nacional
USD/Mwh	Dólares por megavatio hora
VTeIC	Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva
WIPO/OMPI	Organización mundial de la propiedad intelectual
ZNI	Zonas no interconectadas

Introducción

Actualmente Colombia vive la etapa de explosión de intereses y proyectos para la masificación e integración de las fuentes no convencionales de energía renovable (En adelante FNCER) en la matriz energética (Sáenz, 2018). El gran potencial para la producción de energía eléctrica de manera sostenible junto con los compromisos internacionales de la nación en términos de mitigación de los impactos por el cambio climático, constituyen el motor de esta tendencia.

Un elemento estructural en la promoción e integración de las FNCER son los aspectos regulatorios. Los cuales tradicionalmente en Colombia afectan el desarrollo de negocios al existir brechas en elementos como “simplificar los trámites a los empresario, promover la convergencia de desempeño entre [regiones], mejorar la coordinación de entidades y avanzar las iniciativas en curso”(Grupo del Banco Mundial, 2017). Estos aspectos en el campo de las energías renovables toman una tonalidad acentuada al considerar los aspectos tecnológicos cuyo dinamismo supera la capacidad institucional para anticipar el establecimiento de las condiciones del mercado.

Tras cuatro años de la concepción de la ley 1715 de 2014, aun no se tienen definidas, reglamentadas y socializadas la totalidad de las políticas, regulaciones, programas y demás mecanismos necesarios para que se garantice el éxito en la integración de las FNCER al sistema energético nacional, sin embargo el mercado de las FNCER ya está dando muestras de avance y crecimiento(Dinero, 2018), y urge la existencia de un marco regulatorio acorde con el dinamismo del desarrollo tecnológico.

El presente documento plantea una metodología basada en vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, la cual desde la anticipación e identificación de la evolución y transformación de las tecnologías de transformación y aprovechamiento energético, genera insumos de decisión para los entes responsable y en general partes interesadas en el desarrollo regulatorio de las FNCER en Colombia

En el primer capítulo se presenta una contextualización de las metas, políticas y mecanismos en los principales países en términos de integración y participación de las energías renovables en su matriz energética. Se presenta una caracterización de países líderes en el mundo y se resumen las políticas para los referentes de la región latinoamericana. El capítulo finaliza con un estado del arte de las políticas nacionales incluyendo la resolución para venta de energía por parte de Autogeneradores y generadores distribuidos.

En el segundo apartado se presenta la propuesta metodológica para el apoyo a la reglamentación de las energías renovables. Esta propuesta consiste en la integración de la información regulatoria y técnica emitida por los entes responsables y el registro de macrovariables del sector eléctrico, que en confluencia con el criterio experto y la consulta de referentes bibliográficos permitan ejecutar ciclos de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. La propuesta integra finalmente un análisis de entorno enfocado a la realidad del contexto colombiano y su influencia en el éxito de la implantación de las energías renovables.

Con esta articulación de la información del sector eléctrico, de la identificación de tendencias tecnológicas y del análisis de contexto colombiano es posible incorporar criterios, factores y variables de carácter anticipativo para el desarrollo del marco regulatorio de las fuentes no convencionales renovables de energía basada en la vigilancia de la evolución de las tecnologías de transformación y aprovechamiento energético.

La inclusión de la vigilancia tecnología e inteligencia competitiva en la metodología contempla todas sus fases, tanto de identificación de necesidades, como de búsqueda de información en bases de datos no estructuradas y en bases de datos estructuradas. En el capítulo segundo de este documento se presentan publicaciones de referencia tanto de organismos supranacionales como de publicación científica que recopilan las tendencias emergentes en términos de políticas y tecnologías. Posteriormente se describe la fase de análisis y organización donde se presentan sugerencia de métodos y herramientas para el tratamiento de la información identificada.

El capítulo se complementa con las fases de inteligencia y difusión. Para la fase de inteligencia, se presenta el resultado del estudio de caso para la validación de la metodología, que identifica la importancia del desarrollo de capacidades locales en I+D+i en modelos y tecnologías para la predicción del recurso eólico asociada a la inminente entrada de los mercados intradiarios como mecanismo de participación en la matriz energética de las FNCER variables (solar fotovoltaica y eólica) de gran capacidad.

Para la fase de difusión se dan pautas normalmente aceptadas en la literatura de la VTeIC para hacer efectiva la difusión y facilitar la inclusión del resultado de ejercicio en la toma de decisiones. Este apartado se complementa en el anexo A con resultados adicionales de VTeIC para tecnologías y fuentes contempladas en la ley 1715 de 2014.

Un tercer capítulo incluye la recopilación de los principales indicadores utilizados por autoridades internacionales para la medición del éxito de las políticas y mecanismos para la promoción de las energías renovables. Contempla un apartado sobre la relevancia del desarrollo tecnológico y su vigilancia por medio de registro de patentes como indicador de la transición tecnológica. Finalmente este capítulo resume estudios que demuestran como las políticas que anteceden los mecanismo financieros promoviendo la I+D+i incrementan la efectividad de la integración de las energías renovables.

Finalmente se realiza un análisis de entorno, el cual proporciona una descripción de las categorías que influyen en el posible éxito o fracaso de estrategias particulares. Este análisis comprende el campo político, económico, social, tecnológico y ambiental y legal(Johnson, Scholes, & Whittington, 2007). En el presente ejercicio se identificó que la política actual del país sólo se orienta a promover los mecanismos de participación para los actores productores y con recursos, tanto a gran como a pequeña escala. Denotando una gran debilidad en la participación de los actores sociales, ambientales y académicos en la política energética.

OBJETIVO GENERAL

- Formular una metodología para incorporar criterios, factores y variables de carácter anticipativo para el desarrollo del marco regulatorio de las fuentes no convencionales renovables de energía basada en la vigilancia de la evolución de

las tecnologías de trasformación y aprovechamiento energético, validada mediante un estudio de caso.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar el estado del arte a nivel local y de países de interés con respecto a los marcos legales, estrategias y programas para la incorporación de las principales fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) al sistema energético nacional.
- Realizar un ejercicio de vigilancia tecnológica para las soluciones contempladas en la ley 1715 que permita identificar las condiciones del mercado y los factores que contribuyan en la adecuada selección adopción y asimilación de las tecnologías en el sistema energético Colombiano.
- Aplicar un análisis de contexto con el fin de involucrar las variables que inciden sobre las proyectos de FNCER en el entorno, social, económico y ambiental.
- Generar una serie de recomendaciones regulatorias a través de un estudio de caso de energía eólica llevado a cabo con la metodología desarrollada.

1. Políticas para impulsar las energías renovables.

De acuerdo con un estudio de John Llewelyn para Lehman Brothers, “considerados los desafíos que supone el cambio climático, este también representa muchas oportunidades de negocio, así mismo probablemente será una de esas fuerzas tectónicas, como la globalización o el envejecimiento de la población, que gradual pero poderosamente cambiará el panorama económico en el que operan los inversionistas”(Llewellyn, 2007), y como indica (Morales Plaza, 2011) esta realidad, demanda acciones inmediatas y decididas.

Según cifras del Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático[1], 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 del cambio climático que tiene la producción de energía eléctrica.
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

[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.

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).

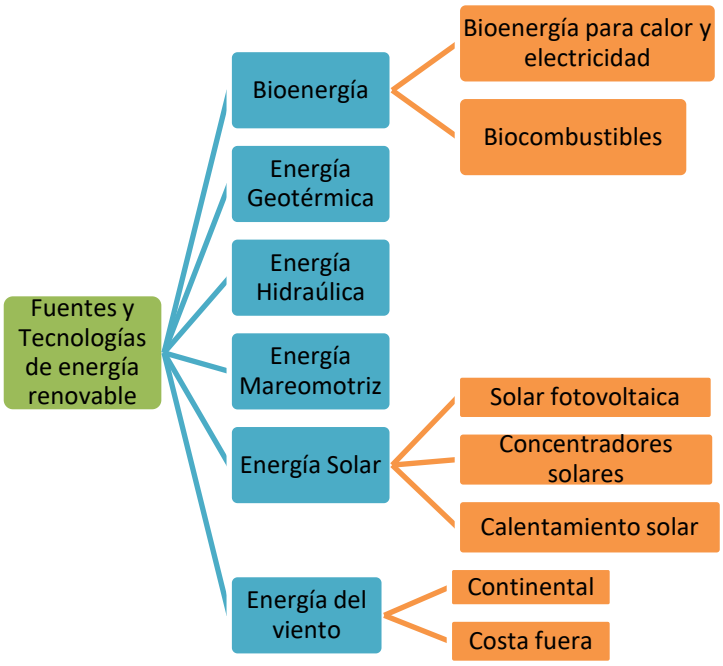
Dentro del contexto colombiano se incluyen dentro de las FNCER las siguientes fuentes de energía(Congreso de Colombia, 2014):

- Energía de la Biomasa: A partir de la degradación espontanea 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 figura 1-1 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 para pequeña escala.

La generación de energía eléctrica a partir de FNCER es una realidad, tomando como referencia el caso de la energía eólica, mientras que en 2006 la capacidad instalada a nivel mundial era de 74GW, en 2016 era de 487GW (REN21, 2017). Sólo entre 2015 y 2016 la capacidad global incrementada (55 GW) fue muy cercana la capacidad global instalada (59GW) en 2005(REN21, 2016).

Figura 1-1. Árbol temático de las fuentes y las tecnologías de energía renovable.



Fuente. Traducción libre de (IEA, 2011)

Existen casos, como el de Dinamarca, donde cerca del 40% de la demanda total de energía eléctrica en 2016 fue atendida a través de energía eólica(REN21, 2017). Estas cifras aunque alentadoras, contrastan con la baja representatividad de energía eólica en la matriz energética mundial, donde solo representa el 3.7% del total de la producción de energía eléctrica(REN21, 2016).

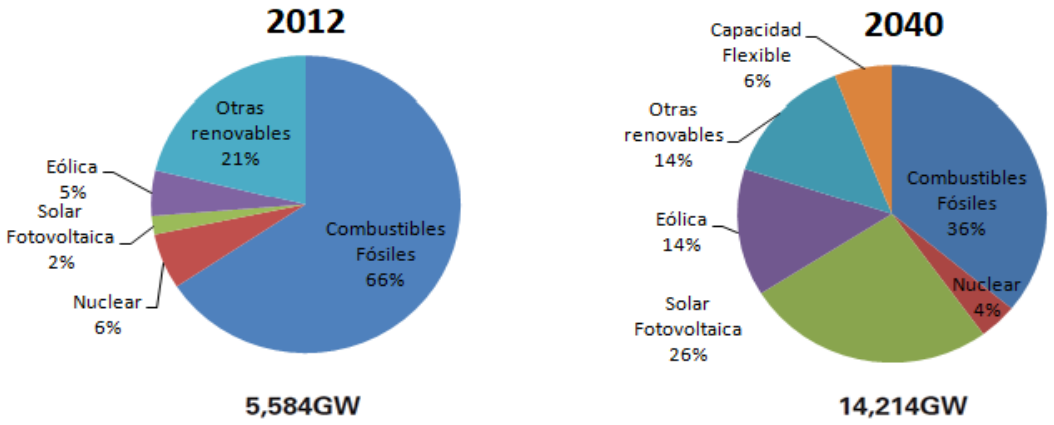
El costo de la implementación de parques de generación mediante FNCER varía ampliamente, para el caso de la generación eólica, además de la dependencia de la disponibilidad del recurso eólico para la producción y consecuente venta de energía, también existe una fuerte dependencia de las condiciones económicas, asociada a los altos costos de capital inicial, marco regulatorio y fiscal y otras influencias locales (REN21, 2016).

Aun con este panorama en 2015, el costo energético nivelado de proyectos eólicos continentales disminuyó, mientras que para generación de energía eléctrica con combustibles fósiles se incrementó (Bloomberg New Energy Finance, 2015). En países como Canadá, México, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Turquía y en algunas partes de

Australia, China y Estados unidos, la energía eólica fue la solución con el costo más efectivo para energía eléctrica interconectada a la red (Nussbaum & Martin, 2015).

Así mismo el costo de instalación de capacidad y de generación de energía renovable 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 figura 1-2 elaborada con información de KMPG (2016), ilustra la adición de capacidad mundial en generación de energía eléctrica en 2012 contra la proyección en el año 2040 (Bloomberg New Energy Finance, 2017).

Figura 1-2. Capacidad adicional de energía eléctrica 2012 y proyectada a 2040



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

Un cambio hacia una solución de baja emisión de carbono, puede ser particularmente costosa si es implementada a través de una incrementada proporción 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, Vagliasindi, & Imran, 2014).

Entonces, surge la política energética como el elemento clave en la articulación de los objetivos de desarrollo sostenible[2] y la implantación de las renovables. Tradicionalmente las funciones 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(Meier et al., 2014).

A continuación se plantea un panorama general de la implementación de políticas para FNCER. Inicialmente en países donde la participación de las energías renovables es significativa en la capacidad total instalada y/o en la participación en la demanda total atendida. Posteriormente se presenta el estado del arte para Colombia.

1.1 Políticas en países con alta penetración de renovables

Las políticas gubernamentales juegan un rol crucial en la aceleración del despliegue o implantación de las FNCER, 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 1-1 resume estas políticas.

En el campo de las energías renovables se fijan políticas de investigación, desarrollo, demostración e implementación que ayudan a nivelar el terreno de juego para las energías renovables con respecto a las fuentes tradicionales de generación de energía como indicado por (Meier et al., 2014). 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

[2] ODS: Para el PNUD Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad.

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).

Tabla 1-1: Medidas y políticas energéticas renovables

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

Fuente: Traducción libre de (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017)

La generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables no convencionales de energía a nivel internacional se estructura en la creación de mecanismo de incentivos fiscales. (En el anexo A se presenta un árbol temático realizado con base en el World Bank en la cual 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, más allá de la taxonomía, la 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, para ello (Fatehi, 2015), proponen una clasificación entre incentivos monetarios y no monetarios la cual se presenta en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Políticas e instrumentos para promoción de renovables

Tipo de Incentivo	Categoría	Ejemplo
Monetario	**Basado en Precio**	-*Feed-in tafiff* -Medición neta -Crédito en Impuesto (Producción o inversión) -Reducción/Exención de impuestos -Tarifa Verde/Tarifa al por menor
	Basado en Inversión	-Subsidios de capital -Subvenciones y descuentos -Etiqueta Verde -Depreciación acelerada -Prestamos -Garantías -Subsidios de investigación y desarrollo
	Basado en Cantidad	-Cuota, obligación o mandato -Subastas / Licitaciones -Certificados de energía renovable -Compras de Energía Verde -Bonos de Carbón
No Monetario		-Despacho priorizado -Prioridad por tecnología especifica -Apoyo al desarrollo de capacidad -Conexión internacional -Código de Red -Acceso garantizado a la red

Fuente: (Fatehi, 2015), traducción libre.

De igual forma se resalta la importancia de contar con medidas complementarias que eviten atrasos constructivos por causa de incertidumbres regulatorias, y atrasos por acceso a la infraestructura de transmisión (Meier et al., 2014). Los países que han mejorado las inversiones en la actividad de transmisión, han abierto el camino para atraer mayor inversión en renovables.

1.1.1 Mecanismos de incentivos

A continuación se describen los principales mecanismos por incentivo financiero que se emplean a nivel mundial para la integración de las energías renovables a la matriz energética.

- **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 un techo es fijado para esta cantidad, el más utilizado de estos incentivos es el llamado Feed-In Tariff (FIT en adelante).

Este esquema 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 una un determinado periodo de tiempo, 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 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, (en adelante FIP) 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).

- **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 (Meier et al., 2014).

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” (Menanteau et al., 2003b).

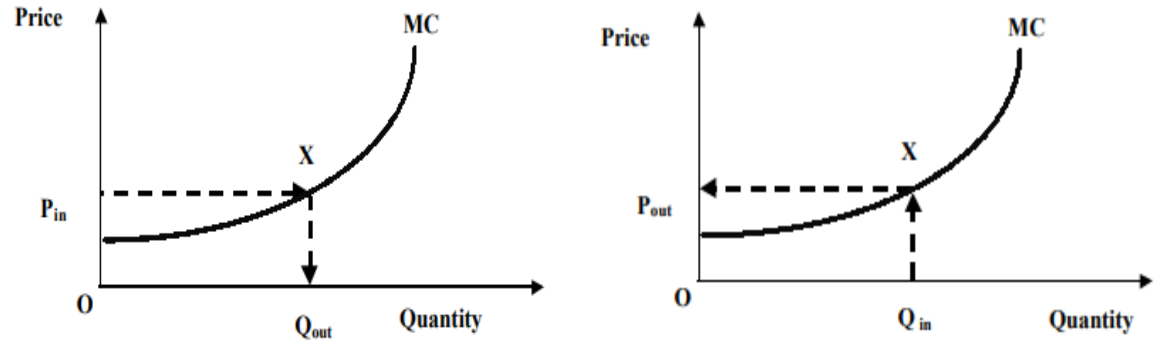
Se diferencia del caso anterior donde el subsidio está implícito para cada generador, ya que en este modelo la capacidad de generación de energía renovable es conocida a priori, y por otro lado, debido a que la curva de costo no es conocida, el costo marginal y el costo total de alcanzar la producción objetivo no puede ser determinado(Menanteau et al., 2003b).

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)

En la figura 1-3 tomada de (Menanteau et al., 2003b) se compara en una curva de oferta-demanda estos dos esquemas. Para 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 ($\mathbf{Q_{out}}$) iguale la tarifa propuesta ($\mathbf{P_{in}}$).

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

Figura 1-3.Gráfica oferta-demanda esquemas FIT y subasta



Fuente. (Menanteau et al., 2003b)

- **Otros Incentivos financieros**

Adicionalmente a la cantidad y al precio, los incentivos pueden categorizarse por apoyo directo e indirecto. En el primero 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).

A su vez el apoyo indirecto se logra a través de descuentos en impuestos e incentivos como prestamos estatales de bajo costo o concesionarios por financiamiento de carbono, entre otros.(Meier et al., 2014),

Describir la cantidad de incentivos existentes, sus variaciones y combinaciones, abarca todo un trabajo de recopilación bibliográfica, lo que esta fuera del objeto del presente documento, sin embargo ante la gran variedad de opciones de mecanismos bien desarrollados, que direccionan las barreras económicas en el sector eléctrico, y con el ánimo de resumir las características por tipo de mecanismo, a continuación se presenta un resumen categorizado de los mismos en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Caracterización de mecanismos financieros

Aspecto	FIT/FIP	TGC (Tradable Green Certificates)	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 especifico por tecnología	Buena	Ninguna	Posible a través de techos o cantidad concesionada
Control de precio	Muy especifico, 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)

- **Incentivos Económicos:**

Los incentivos financieros y la combinación de los mismos 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), (Para obtener un ejemplo de la relación costo y eficiencia de la tecnología solar fotovoltaica se sugiere consultar a (Polman, Knight, Garnett, Ehrler, & Sinke, 2016) y a (MIT, 2015) donde además se describen las fortalezas y oportunidades en términos de I+D+i). A continuación se describen brevemente en la tabla 1-4 algunos mecanismos económicos(Meier et al., 2014):

Tabla 1-4: Incentivos económicos para renovables

Incentivo Económico	Descripción
Fabricación local de tecnologías para renovables:	China: El bajo costo de sus equipos ha sido el promotor principal de las renovables, los generadores hidráulicos y eólicos originarios de China cuestan un 60% de lo que cuestan los equipos Europeos Brasil opta por líneas de crédito de bajo interés con bancos estatales, Malasia que emite bonos para los equipo geotérmicos fabricados localmente Sudáfrica y Turquía usan recursos locales para las subastas de renovables.
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.
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: Ejemplos determinantes 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%.
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.

Fuente. Traducción libre de (Meier et al., 2014).

1.1.2 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 nacionalmente determinada luego de la firma del acuerdo de París.

Estas intenciones de políticas tienen en cuenta variables macroeconómicas y puntos de tendencia de costo/demanda. En tanto que no son plenamente incorporadas la legislación o regulación ya que están sujetas a contextos institucionales, infraestructura, política regulatoria y de mercado y restricciones de financiamiento(IEA, 2017b), la tabla 1-5 lista las políticas más recientes en países de referencia.

Tabla 1-5: 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 Paris -Orden presidencial para la independencia energética y el crecimiento económico -Potencial retraso en la regulación de emisiones de metano

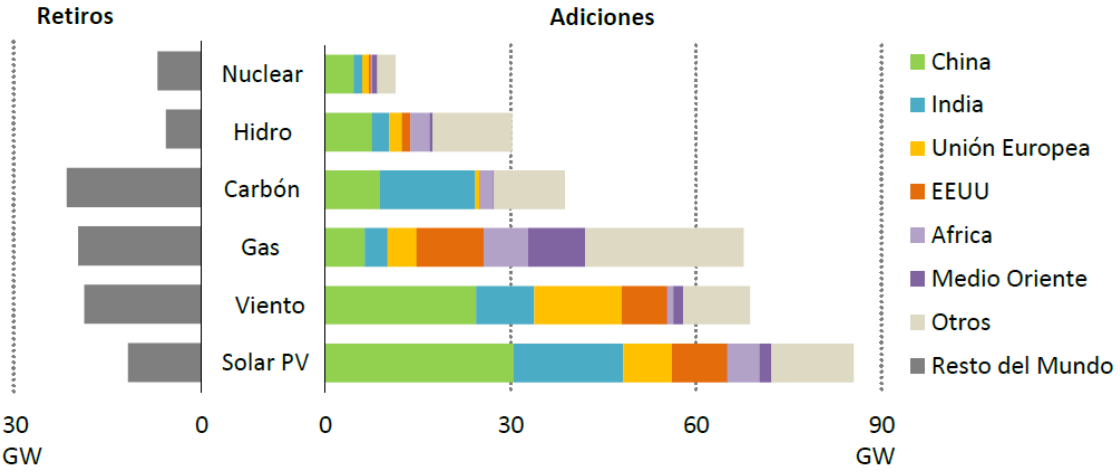
Fuente: (IEA, 2017b)

Como resultado de la aplicación de estas políticas, se ha planteado por parte de la IEA un escenario donde se representa la mayor transición hacia la producción de energía libre de emisiones de GEI (Ver figura 1-4) 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 (IEA, 2017b), la figura 1-4 representa los retiros y las adiciones de capacidad por tipo de tecnología en el “escenario de nuevas políticas” de la IEA.

Para complementar el contexto sobre países de referencia, se han identificado del informe de REN21 (2017) los países cuya demanda de energía eléctrica tiene alta

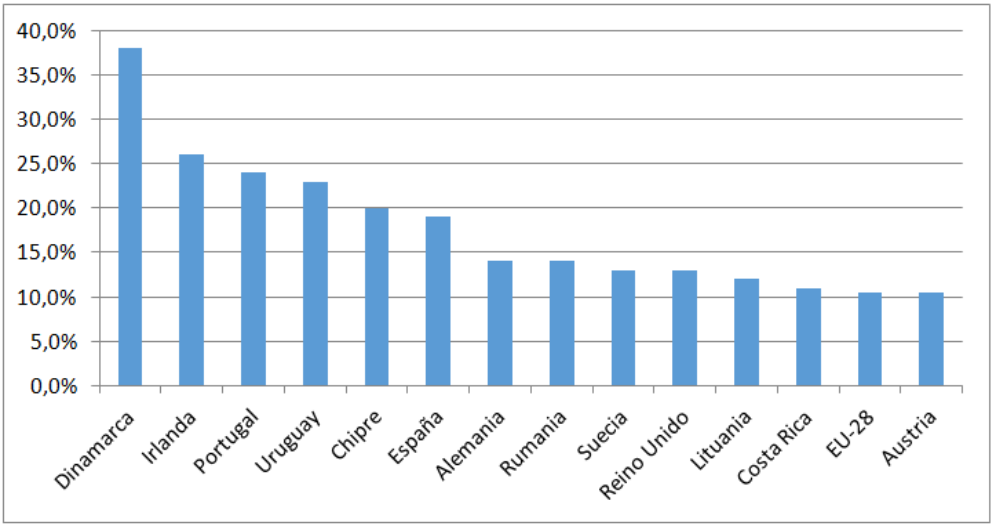
participación de renovables, particularmente se presenta en la figura 1-5 la energía eólica, la cual es la que ocupará el caso de estudio en los siguientes capítulos.

Figura 1-4.Adiciones de capacidad por tecnología al 2040 - Escenario Nuevas Políticas de la IEA



Fuente: (IEA, 2017b), traducción libre.

Figura 1-5.Penetración de la energía eólica en la demanda final, países líderes.



Fuente: Elaborado a partir de (REN21, 2017)

- **Dinamarca**

Dinamarca fue uno de los primeros países europeos en implementar un impuesto al carbón (European Environment Agency, 2001). Con fuerte apoyo político cuyo objetivo era asegurar la seguridad energética y reducir la dependencia de combustibles importados(Reiche & Bechberger, 2004).

Los consumidores de energía pagaban un impuesto a las emisiones de CO2 desde 1992, con parte del recaudo cedido a los generadores de electricidad a partir de fuentes renovables(Abdmouleh, Alammari, & Gastli, 2015).

Estos impuestos orientados para energía eólica comprendían:

- Impuestos para combustibles fósiles: Gas Natural, Gasolina libre de plomo, diesel y otras energías
- Impuesto al dióxido de carbono
- Impuesto al dióxido de azufre

Actualmente la política de Dinamarca tiene como meta un 30% de la demanda de energía atendida a través de FNCER basada en el mecanismo FIT. Según el más reciente reporte de la comisión europea del progreso de renovables, la meta se cumple con algún exceso, estimado la demanda atendida con energías renovables en un 33.8%(European Commission, 2017).

- **Alemania**

Es difícil resumir de mejor forma el éxito de las políticas para FNCER en Alemania que Jacobsson y Lauber (2006), su análisis demuestra “cómo se forma el marco regulatorio en una "batalla sobre instituciones" donde el parlamento alemán, informado y respaldado por una coalición de defensa cada vez más fuerte, respaldó políticas de apoyo para fuentes de energía renovables contra gobiernos a menudo reacios y la oposición de la energía nuclear e intereses del carbón. También demuestra que este importante logro político y ambiental tiene un precio modesto si consideramos los costos totales para la sociedad, es decir, que incluye tanto los subsidios al carbón como las economías externas negativas del carbón“(Jacobsson & Lauber, 2006).

Como resultado de esta política y tomando datos del Instituto Fraunhofer para Energía Eólica, la generación de energía de territorio alemán en 2016 fue 12.4% producto de esta tecnología, situación que acompaña el 29% del total del consumo energético producido con FNCER. Del mismo modo el desarrollo tecnológico ha conllevado a la puesta en operación de 46GW continentales con turbinas de hasta 128 metros de altura y 109 metros de diámetro de rotor. La capacidad costa afuera ha crecido 10 veces con respecto a 2013, situándose al final del 2016 en 4,09 GW(Fraunhofer Institute for wind energy and energy system technology IWES, 2017).

- **Resumen por Europa**

Con el ánimo de sintetizar la política en los países referenciados, a continuación se construye tabla resumen 1-6 con base en la información recopilada por (Abdmouleh et al., 2015)

Tabla 1-6. Resumen de políticas en países europeos seleccionados.

	Objetivo	Política	Fiscal	Financiero	Legislativo
Austria	34% Consumo total de energía para 2020	-Creación de Empleo -Beneficio Económico Sistema energético eficiente y renovable	Impuesto a combustibles fósiles Recaudo para las FNCER y proyectos ambientales -Reducción de impuestos por conservación de energía	Subastas públicas, prestamos y subsidios	-Precios garantizados Esquemas FIT Planes regionales Biocombustibles
Alemania	18% Consumo total de energía a través de FNCER a 2020	Políticas regionales -Garantía I+D+i -Alianzas Público-privadas, industria y trabajadores	Eólicas con exención de impuestos Utilidades de energía nuclear destinadas parcialmente a renovables	Subsidios sustanciales, prestamos de bajo interés, techos fotovoltaicos, subvenciones de capital	-Acceso justo a la red Esquemas FIT (a eliminar progresivamente desde 2018) -Biocombustibles -Objetivos ambiciosos y exhaustivos
España	20% Consumo total de energía para 2020	Plan nacional de ahorro de energía y eficiencia -Planos regionales para las FNCER	-Reducción de carga fiscal a compañías que inventen en FNCER -Estimulo a la I+D+i -Impuesto al carbón	Subsidio de capital (reducido por su éxito) -Incursión de la banca como inversionista	Esquemas FIT (reorientados de generación a la integración)
Dinamarca	30% Consumo total de energía para 2020	Energía eólica como industria y medio para diversificar la matriz energética -Plan de acción desde 1980 y objetivos a 2050 -Acuerdo de crecimiento verde	-Nación pionera en el impuesto a energías contaminantes -Utilidades parcialmente reinvertidas en renovables	Subsidios en I+D+i especialmente en eólicas Subvenciones de capital (Biomasa) -Subsidios en eficiencia energética en industrias	Esquemas FIT (Actualizados en 2009) -Acceso garantizado a la red -Medición neta -Obligación a entidades públicas
Finlandia	38% Consumo total de energía para 2020	Estrategia de largo plazo para renovables Plan de acción para Biomasa	-Nación pionera en el impuesto a energías contaminantes -Utilidades parcialmente reinvertidas en renovables	Subsidios para renovables y generación distribuida Subvenciones de energía para usuarios residenciales	Esquemas FIT Acceso directo a transmisión y a costo fijo
Francia	23% Consumo total de energía para 2020	Campaña Clima SOS Política ambiental con seis grupos de trabajo	Favorecimiento fiscal a biocombustibles sobre combustibles tradicionales -Crédito fiscal a la industria de renovables	Créditos 0% interés para renovación y eficiencia energética Fondo de apoyo a la I+D+i	Subastas competitivas Esquemas tipo FIT desde 2001

Fuente: Elaborado a partir de (Abdmouleh et al., 2015)

- **Reino Unido**

De acuerdo con la Asociación de Energías Renovables del Reino Unido (REA), el esquema de Obligación de Renovables (RO), es un 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, este mecanismo está cerrado para nuevos oferentes a partir de 2018(UK Renewable Energy Association, 2016).

Para el caso de las FIT 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*) (UK Renewable Energy Association, 2016), 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 Energia Descentralizada) presenta los siguientes ámbitos de trabajo (The UK Govenment's Taskforce on Sustainable Consumption and production, 2008):

(i) Es necesaria una combinación de regulación, cambio de comportamiento y medidas fiscales para lograr un sistema bien integrado que beneficie a la sociedad.

(ii) 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.

(iii) 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.

- **China**

China consume energía equivalente a 4.26 Billones de toneladas equivalentes de carbón, es decir el 23% de la energía mundial, y el 27.5% de las emisiones de CO2, con más de 3.000 TWh en 2014, es el más grande consumidor de electricidad en el mundo(Lawrence

Berkeley National Laboratory, 2016). Cifras consecuentes con el compromiso del presidente Xi para tener en 2030 una participación del 20% del consumo de energía por fuentes no emisoras de GEI(Browme, 2014).

En 2015 las FNCER representaron más del 50% de las adiciones de capacidad instalada en China y la capacidad instalada en energía eólica superó los 32GW. Los objetivos en términos de renovable de China son ambiciosos bajo su treceavo Plan Número de los 5 años apunta a doblar la capacidad eólica de 128 GW a 250 GW para el 2050(Lawrence Berkeley National Laboratory, 2016).

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, cohíben 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.(Browme, 2014).

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
(ii) Motivar a los generadores a abordar la fluctuación de la demanda activamente.

Como complemento al estudio anteriormente mencionado, se ha investigado que aunque la restructuración 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(Browme, 2014).

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 enfrentará recortes, que de continuar, harían la energía eólica no económica y se frenaría.(Browme, 2014).

- **Latinoamérica**

Para el caso latinoamericano a continuación se presenta la tabla 1-7 que sintetiza algunas de las políticas entre los países del cono sur con información de (Hoyos Gómez, 2016) y de (Uruguay XXI, 2016)

Tabla 1-7. Políticas adoptadas en países latinoamericanos seleccionados.

País	Meta de Inserción de FNCER	Incentivos Otorgados	Condiciones del mercado AG y GD	Programas creados	Sistema de Seguimiento y control
Chile	20% para 2020	1. Apertura del mercado spot y derecho de conexión a las redes de distribución a los AG y GD. 2. Exención de pago de peaje de acceso a la red de transmisión. 3. Los contratos de suministro celebrados entre los AG y GD podrán tener un precio mayor al precio de nudo. 4. Mercado de incentivos para los clientes con una capacidad instalada menor que 2 MW que regulen su consumo. 5. Cuota de comercialización del 20 %.	1. Los AG y GD con menos de 9 MW, podrán optar por tener precios estabilizados	1. No existe ningún programa creado por las leyes que promueven el uso de ERNC.	1. Las empresas que no cumplan con la cuota de comercialización serán sancionadas con una multa de 0,4 UTM por cada MWh de déficit. Si la empresa reincide más de tres veces la multa será incrementada a 0,6 UTM.
Argentina	8% para 2017	1. Subsidio de 0,3 %/kWh por cada centavo de kWh generado por sistemas eólicos vendido en el mercado mayorista. 2. Exención de pago de impuesto de instalaciones de los parques eólicos o solares fotovoltaicos, durante 15 años. 3. Régimen de inversiones destinadas a la construcción de centrales generadoras de electricidad a partir de fuentes renovables, por periodo de diez años. 4. Feed In-Tariff.	1. No se especifica condiciones especiales en el mercado eléctrico para los AG y GD.	1. GENREN. 2. PERMER 3. Fondo fiduciario de ERNC.	1. Dentro de las leyes que promueven el uso de ERNC, no se define ningún sistema de seguimiento y/o control.
Uruguay	1200MW para 2016	1.Ley de promisión y protección de inversiones 2.Exoneración impositiva del 80% 3. Exención de IVA en determinados casos	1.Si bien existe un mercado Spot, la gran mayoría de generadores venden su producción	1.Politica energética 2005-2030 2.Subastas competitivas	El decreto 72 de 2010 establece mecanismos para tratar el incumplimiento de obligaciones

Fuente: (Hoyos Gómez, 2016) y (Uruguay XXI, 2016)

- **Brasil**

Finalmente se cita el caso Brasil, país el cual desde 2002 adoptó el programa de incentivos para las fuentes alternativas de energía PROINFA (ANEEL, 2017), con el objeto de incrementar el uso de estas fuentes y diversificar la matriz energética.

Brasil a finales de 2013 contaba con una capacidad de 4400MW. Impulsado a diferencia de sus vecinos, por una gran capacidad local para la producción de equipos para energía eólica con manufactura anual de equipos hasta 1500MW, y por un esquema combinado de mecanismos de mercado (Global Wind Energy Council, 2011).

Las estadísticas indican que en 2012 Brasil mantenía una ventaja en décadas recientes comparado con el resto del mundo en términos de uso de fuentes renovables de energía, para 2008 el nivel de inversión en Brasil era de 10.8 Billones de Dólares con respecto a los 155 Billones de dólares a nivel global(Pereira, Camacho, Freitas, & Silva, 2012).

Brasil, cuenta con mecanismos similares a los estudiados anteriormente, como las FIT y las subastas de capacidad con venta de certificados(Aquila, Pamplona, Queiroz, Rotela Junior, & Fonseca, 2017), la tabla 1-8 resume las principales características de cada tipo de mecanismo.

Tabla 1-8. Mecanismo de promoción de energías renovables en Brasil

Feed-in Tariffs	Subasta
I. Garantía de conexión a la red eléctrica II. Prioridad en la conexión y distribución III. Garantía de compra para la energía producida IV. Contratos a largo plazo	I. Alcance (Derechos de implementación del proyecto previo a la definición de la tarifa. II. Variedad de tipo de subasta. III. Penalización por incumplimiento de contratos IV. Discriminación por tipo de fuente V. Duración diferenciada de contratos (Riesgo/Fuente/Tamaño)

Fuente: (Aquila et al., 2017)

1.1.3 Barreras de mercado

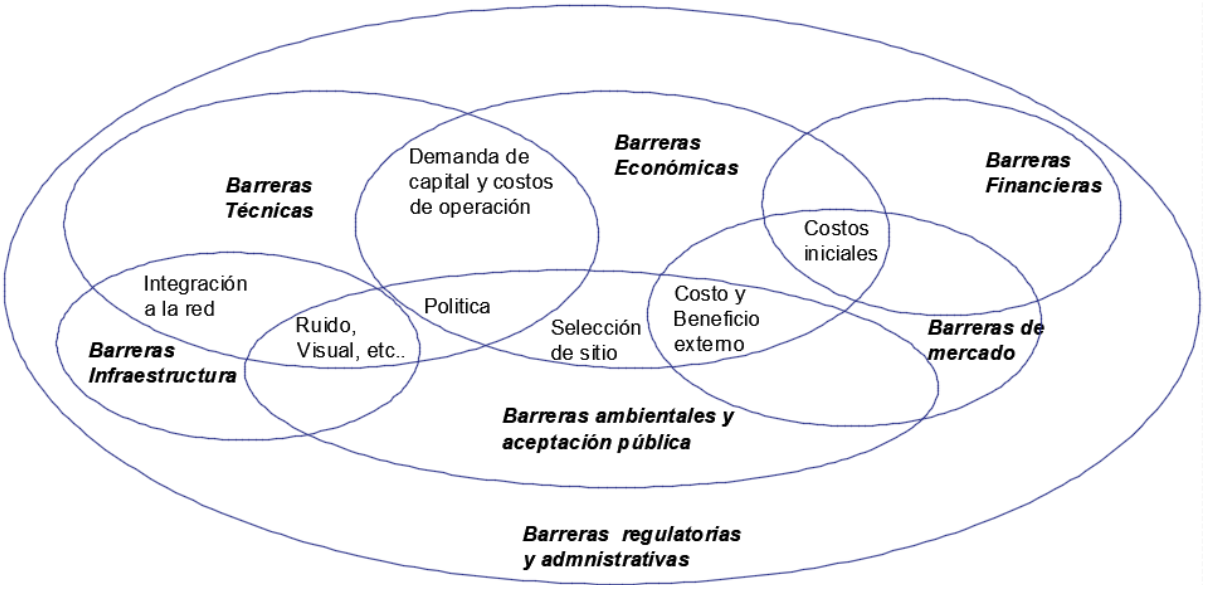
La siguiente es la lista de las barreras económicas y no-económicas (para ampliar la información (referirse a (Ecorys Nederland BV, 2010)) para la implantación de energías renovables, esta información también se presenta en la figura 1-6, y busca facilitar la

identificación y la superación de estas barreras, donde los aspectos no económicos juegan un rol más importante que los mecanismos para superar las barreras económicas(IEA, 2011).

- **Barreras 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, falta de definición 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 tecnología 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.

Las conclusiones por parte Solar Power Europe en términos de financiación indican la necesidad de crear mecanismos que permitan reducir los costos de capital para las energías renovables, se sugiere que entidades financieras como el Banco Europeo de Inversiones garantice los esquemas de apoyo económico para altos costos en los que incurran los estados miembros(Dunlop, Roesch, & Watson, 2017).

Figura 1-6. Barreras para las energías renovables



Fuente: Traducción libre de (IEA, 2011)

1.1.4 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, dado que de este grupo de países se cuenta con la información, Los indicadores permiten determinar las mejores prácticas y realizar una estimación cuantitativa de las políticas, estos indicadores son (IEA, 2011):

- 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.

Esta información es ampliada en el capítulo 3 del documento donde se detalla la relación entre los indicadores de política y el desarrollo tecnológico de un determinado país.

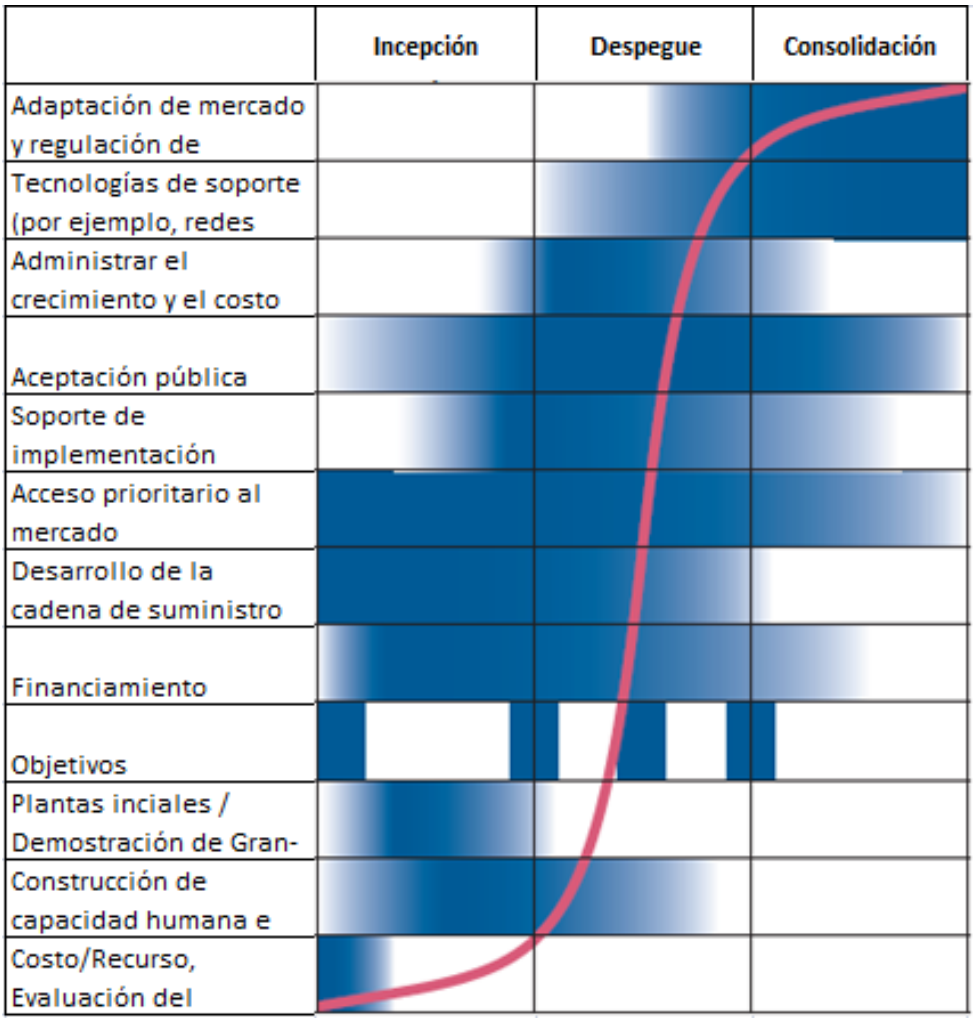
1.1.5 Etapas de madurez de política para renovables

Así mismo la IEA define las prioridades de política para renovables en función de las siguientes fases(IEA, 2011):

- 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 figura 1-7, donde la intensidad del sombreado se asocia con la importancia relativa de la fase y el concepto.

Figura 1-7. Etapas de madurez para políticas renovables



Fuente: Traducción libre de (IEA, 2011)

1.1.6 Estandarización y normalización

Acorde con IRENA la estandarización es un instrumento particularmente relevante para lograr la meta de acelerar la implementación de energía renovable, 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 política energética también pueden apoyarse efectivamente en la estandarización para la legislación y regulación de las energías renovables. Al referenciar estándares, los requisitos para cumplir con la legislación son consistentes y actualizados, sin la necesidad de afectar la legislación cada vez que son objeto de cambio, beneficiándose de los practicas más recientemente documentadas y creando un mercado competitivo para todos los actores (como indicado en la tabla 1-9) la renovables con tecnologías seguras y de calidad proba(International Renewable Energy Agency, 2013).

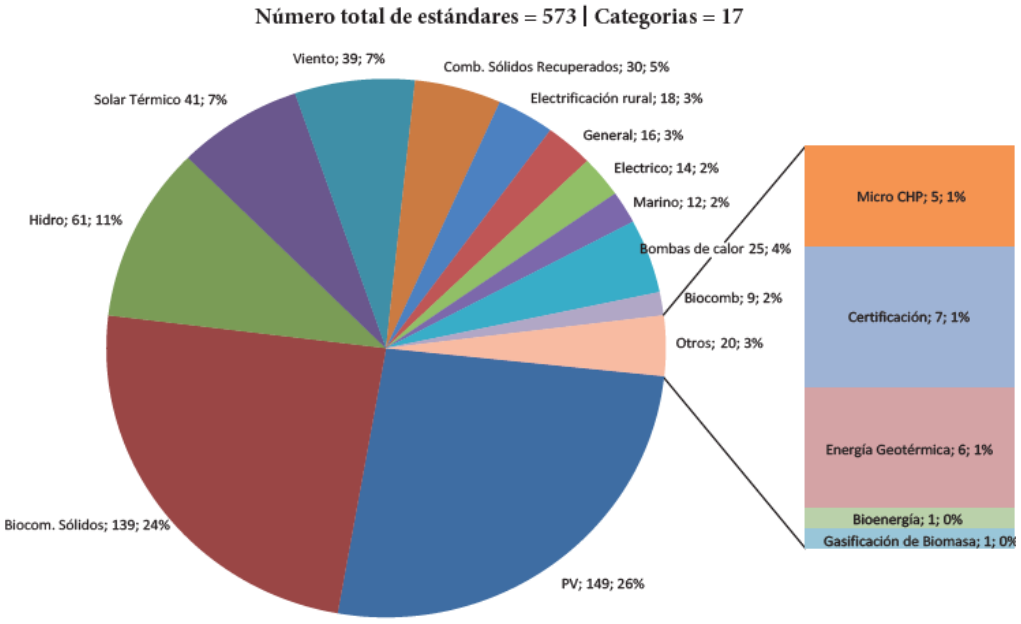
Tabla 1-9. Partes interesadas en la estandarización

Interesado	Requerimiento
Entes reguladores	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 se 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 figura 1-8 identifica 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(International Renewable Energy Agency, 2013).

Figura 1-8. Estandarización para tecnologías renovables



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

- ***Normalización técnica de turbinas eólicas.***

Como ya se menciono anteriormente, los estándares apoyan la labor del regulador al establecer los requisitos para cumplir con la legislación, sin la necesidad de afectar la legislación cada vez que son objeto de cambio, creando un mercado competitivo para todos los actores(International Renewable Energy Agency, 2013). En este sentido a continuación se analiza el caso de la principal familia de estándares 61400 para las turbinas eólicas.

Aunque esta familia comprende 27 estándares a continuación se evidencian brechas de discusión y normalización local ante la inminente entrada en servicio en el corto y mediano plazo de parques eólicos de gran capacidad.

Tabla 1-10: Estándares de interés para generación eólica

Estándar Colombiano	Estándar Internacional	Objeto
N.A.	IEC 61400-1:2005 AMD1:2010 CSV with track changes	Requisitos de diseño turbinas
N.A.	IEC 61400-2:2013	Pequeñas turbinas
N.A.	IEC 61400-3:2009	Requisitos de diseño turbinas fuera de costa
N.A.	IEC 61400-4:2012	Requisitos de diseño para cajas de transmisión de turbinas eólicas
NTC 5363	IEC 61400-11:2012	Técnicas de medición para ruido acústico
NTC 5725	IEC 61400-12-1:2017	Medidas de desempeño en potencia para turbinas productoras de electricidad
N.A.	IEC 61400-12-2:2013	Medidas de desempeño en potencia para turbinas productoras de electricidad basadas en la góndola (Nacelle)
N.A.	IEC 61400-13:2015	Medición de cargas mecánicas
N.A.	IEC TS 61400-14:2005	Declaración de nivel de potencia de sonido aparente y valores de tonalidad
N.A.	IEC 61400-21:2008	Medición y evaluación de las características de calidad de potencia para turbinas eólicas conectadas a la red
NTC 5467	IEC 61400-22:2010	Pruebas de conformidad y certificación
GTC 224	IEC 61400-23:2014	Pruebas estructural a escala total de las aspas del rotor
NTC 5343	IEC 61400-24:2010	Protección contra descargas atmosféricas
NTC 5941	IEC 61400-25-1:2017 RLV	Comunicación para control y monitoreo de plantas de generación eólica descripción general de principios y modelos
N.A.	IEC 61400-25-2:2015	Comunicación para control y monitoreo de plantas de generación eólica - modelos de información
N.A.	IEC 61400-25-3:2015 RLV	Comunicación para control y monitoreo de plantas de generación eólica - modelos de intercambio de información
N.A.	IEC 61400-25-4:2016	Comunicación para control y monitoreo de plantas de generación eólica - Mapeo del perfil de comunicación
	IEC 61400-25-5:2017	Comunicación para control y monitoreo de plantas de generación eólica - Pruebas de Cumplimiento
N.A.	IEC 61400-25-6:2017	Comunicación para control y monitoreo de plantas de generación eólica - Clases de nodos lógicos y

Estándar Colombiano	Estándar Internacional	Objeto
		clases de datos para monitoreo de condiciones
N.A.	IEC TS 61400-26-1:2011	Disponibilidad basada en tiempo para turbinas eólicas
N.A.	IEC TS 61400-26-2:2014	Disponibilidad basada en producción para turbinas eólicas
NTC 5412	IEC TS 61400-26-3:2016	Disponibilidad para parques de generación eólica
	IEC 61400-27-1:2015	Modelos eléctricos de simulación: Turbinas Eólicas

Fuente:(ICONTEC, 2017) y (International Electrotechnical commission, 2018)

1.2 Estado del arte de la regulación de la energía renovable en Colombia

Los efectos devastadores de los fenómenos climáticos, la incertidumbre que genera la explotación de los combustibles fósiles, tanto en el aspecto económico por su variabilidad en precio como en el aspecto energético por la disponibilidad futura de reservas, y la mejora en términos de efectividad-costo de las tecnologías para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables no son ajenas a Colombia.

Como parte de sus objetivos de desarrollo nacional ha asumido compromisos para la promoción e integración de las energías renovables en su matriz energética. A continuación se resume la política nacional y la reglamentación de mecanismos que incentivan y promueven la adopción nacional de la producción y el uso final sustentable de la energía.

1.2.1 Política Nacional

Firma del Acuerdo de Paris:

Colombia como firmante del acuerdo de Paris comparte “una visión a largo plazo sobre la importancia de hacer plenamente efectivos el desarrollo y la transferencia de tecnología para mejorar la resilencia al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”(UNFCC (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).

Adopción del Estatuto de la IRENA:

El estatuto de la agencia internacional de energías renovables fue adoptado por Colombia por medio de la ley 1665 del 16 de Julio de 2013, en la cual se resalta la contribución para los siguientes beneficios ambientales(Congreso de Colombia, 2013):

- Reducción en las emisiones de CO2, lo cual contribuye a mitigar el cambio climático del planeta
- Disminución en las emisiones propias de la combustión de combustibles fósiles (material particulado, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre).
- Reducción en la presión ejercida sobre el recurso hídrico
- Representan una alternativa para evitar la destrucción de ecosistemas.

Plan nacional de desarrollo 2014-2018:

Este documento contempla como objetivo del desarrollo de la competitividad e infraestructura estratégica, consolidar el desarrollo minero-energético para la equidad regional y el crecimiento verde mediante la ampliación de la cobertura del servicio de energía eléctrica, el fortalecimiento institucional, así como la atención de las recomendaciones de OCDE para integrar soluciones de baja intensidad de carbono como las renovables no convencionales(Departamento Nacional de Planeación, 2015).

Plan energético nacional: Ideario Energético 2050

El plan energético nacional plantea, entre otros aspectos, la transición energética, el rediseño del mercado para el despacho de la energía renovable y el acceso a la energía, a su vez presenta los escenarios para el abastecimiento energético y los lineamientos para la política energética en el largo plazo, por medio del logro de los siguientes objetivos específicos para el sector energético(Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2015):

- Suministro Confiable y diversificado de la canasta de energéticos.
- Demanda eficiente de la energía.
- Universalidad y asequibilidad al servicio de energía eléctrica

- Inversión en interconexiones internacionales e infraestructura para el comercio de recursos estratégicos.
- Sostenimiento del ingreso, transformación productiva y generación de valor.
- Información para la toma de decisiones, conocimiento, innovación y capital humano
- Institucionalidad, eficiencia del estado y la regulación.

Como eje integrador de estas políticas, surge la ley 1715 de 2014 y su consecuente reglamentación, la cual se describe en el apartado siguiente, y agrupa tanto los objetivos adoptados internacionalmente como el ideario de país en el mediano y el largo plazo desde el marco de la sostenibilidad y el aseguramiento energético.

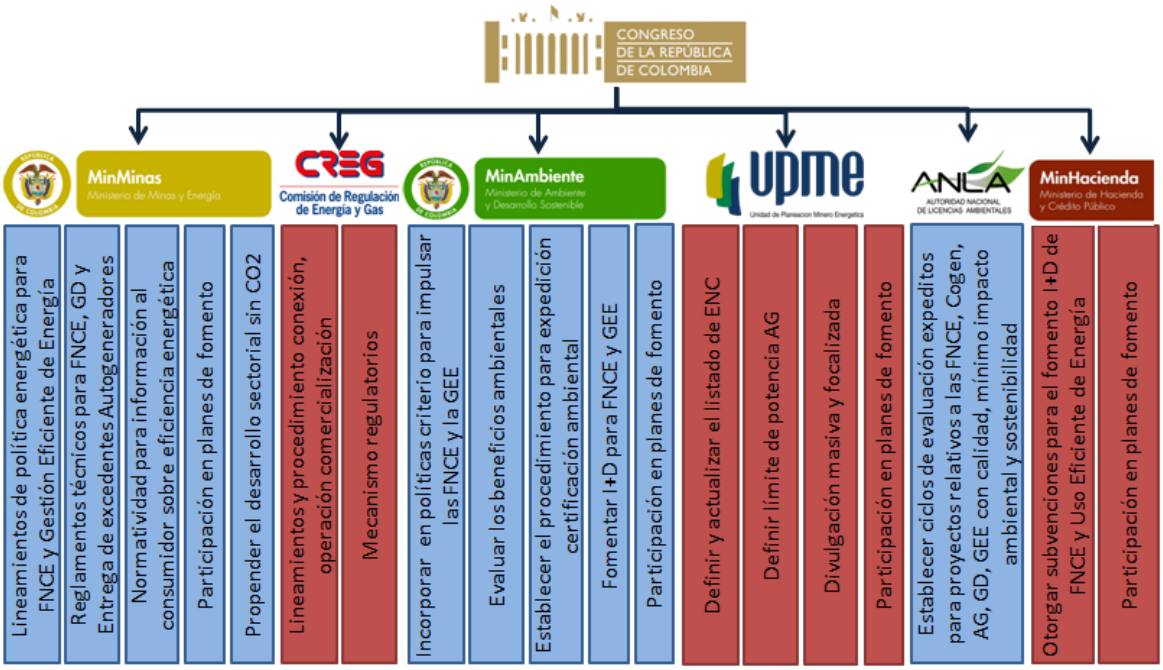
1.2.2 Mecanismos regulatorios a nivel nacional

Ley 1715 del 2014

La Ley 1715 de 2014 es el eje fundamental de la política nacional para alcanzar las metas del acuerdo de Paris, 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), a continuación se describen los principales componentes de esta ley.

En primer lugar esta ley define las competencias administrativas para las entidades: unidad de planeación minero energética (UPME), autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA), corporaciones autónomas regionales, Ministerio de hacienda y crédito público, Ministerios de ambiente y desarrollo sostenible y Ministerio de Minas y Energía. Así como del ente regulatorio técnico, la comisión reguladora de energía y gas (CREG). (Congreso de Colombia, 2014), la figura 1-9 resume estas las responsabilidades de las principales entidades.

Figura 1-9.Competencias administrativas de la ley 1715 de 2014



Fuente: Elaboración propia a partir de (Congreso de Colombia, 2014), imágenes tomadas de las páginas web de las entidades oficiales.

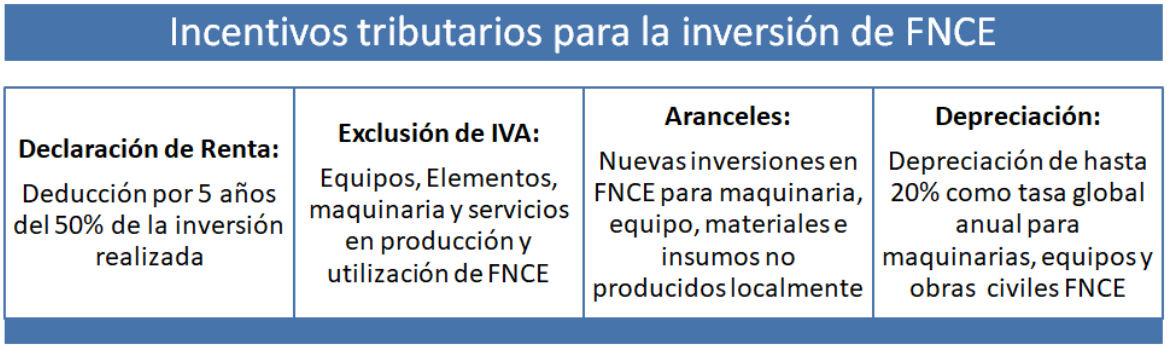
En segundo lugar la ley fija el propósito para la promoción de la autogeneración a pequeña y gran escala así como la generación distribuida, para ello, fija los lineamientos para la creación de mecanismos para la entrega de excedentes de energía, sistemas bidireccionales de energía, simplificación de la conexión, venta de energía y créditos de energía y programas de divulgación.

Un tercer propósito es establecer la prioridad para la sustitución de los combustibles fósiles para la generación de energía en las ZNI por FNCE, y la creación del Fondo de Energías no Convencionales y la gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) como instrumento de financiación parcial o total de proyectos de integración de energías renovables y la gestión eficiente de la energía.

La ley 1715 dedica parte significativa de su contenido a los mecanismos de incentivo tributario (resumidos en la figura 1-10) y la descripción del desarrollo y promoción de las FNCER por tipo de tecnología, la formación y capacitación de capital humano y la cooperación internacional para el desarrollo conjunto entre países limítrofes, la

transferencia tecnológica, la cooperación en términos de I+D+i y entre otros aspectos el desarrollo empresarial de las empresas del sector y la participación público-privada en la promoción de las FNCER.

Figura 1-10.Incentivos Tributarios para inversión en FNCE



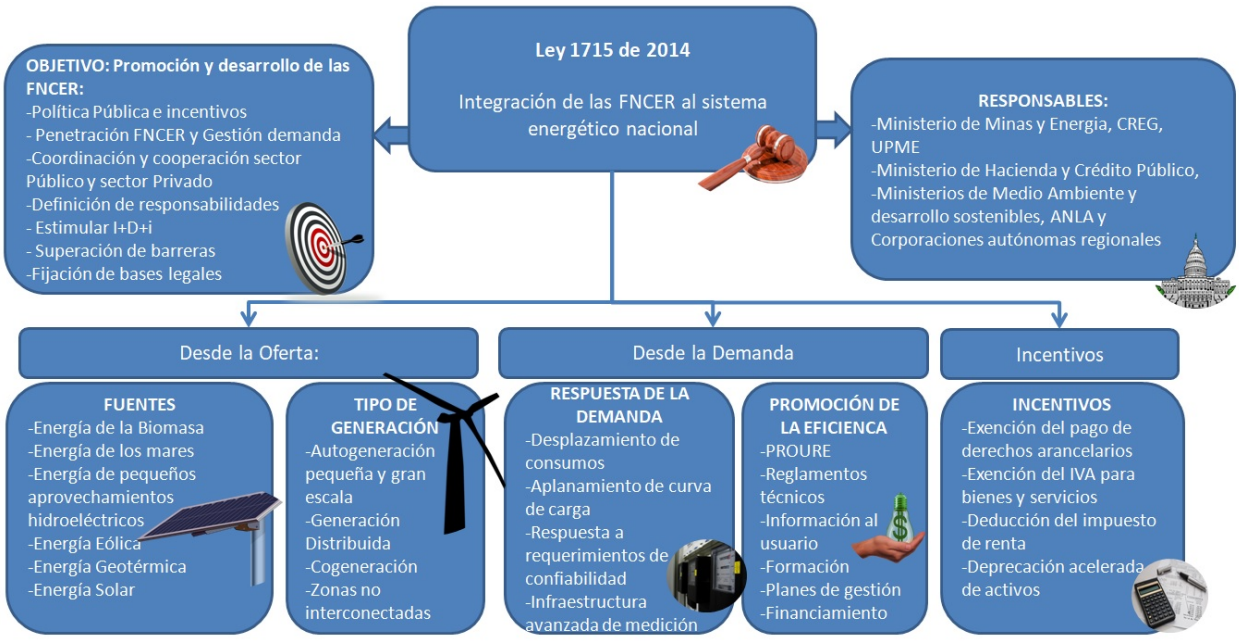
Fuente: Elaboración propia a partir de (Congreso de Colombia, 2014)

Finalmente como componente sustancial de la ley, está el desarrollo y promoción de la gestión eficiente de energía, mediante mecanismos como el PROURE, las acciones ejemplares del sector público tanto en las buenas prácticas en eficiencia energética como en la implementación de la gestión energética en los edificios de entidades estatales, repuesta de la demanda, los planes y financiación de los programas de gestión eficiente de la energía entre otros lineamientos. El resumen del contenido de la Ley 1715 de 2014 se presenta en la figura 1-11 y la descripción con mayor detalle del avance de la reglamentación en los aspectos mencionados anteriormente se expone en los apartados a continuación.

Decreto 1283 del 03 de Agosto de 2016 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible y Decreto -2143 de 2015 de 04 de Noviembre de 2015 del ministerio de minas y energía.

Como parte de la reglamentación de la ley 1715, se establecen el procedimiento y los requisitos para la expedición de la certificación ambiental por nuevas inversiones en proyectos FNCER y gestión eficiente de la energía, la certificación ambiental representa los siguientes beneficios tributarios(Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2016)(Ministerio de Minas y Energía, 2015b):

Figura 1-11.Síntesis de la ley 1715 de 2014



Fuente: Elaboración propia a partir de (Congreso de Colombia, 2014), imágenes tomadas de la web de uso libre Pixabay.

- Deducciones en la declaración de renta: Permite realizar directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCER o gestión eficiencia de la energía.
- Exclusión del gravamen de IVA: Aplica a personas naturales o jurídicas, que se involucren en procesos de adquisición y destinación de elementos y/o maquinaria para pre inversiones o inversiones en FNCER, esto incluye operaciones de leasing con entidades bancarias
- Depreciación acelerada: De acuerdo con lo descrito en la ley 1715 de 2014 se establece una tasa anual global de depreciación que no podrá superar el 20%.
- Exclusión del gravamen arancelario: Establece los procedimientos y requisitos para acceder a este beneficio que debe tramitarse con dos semanas de antelación a la importación y especifica el trámite ante la ventanilla única de comercio exterior para tal fin.

El decreto 1283 establece las condiciones que se deben cumplir para acceder a los beneficios, especifica el procedimiento ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales –ANLA- y estable los formatos únicos de solicitud para acceder al beneficio.

Resolución 045 del 3 de Febrero de 2016 de la Unidad de Planeación Minero Energética

Estable los procedimientos y requisitos para emitir la certificación y avalar los proyectos de FNCER con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario que fija la ley 1715 de 2014(Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2016d)

- Exclusión del gravamen de IVA: Aplica para la compra de equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, destinados a la pre inversión o inversión en FNCER
- Deprecación acelerada: Aplica para personas naturales o jurídicas que adquieran equipos, elementos y maquinaria que se destine a nuevas inversiones en proyectos a partir de FNCER.

Resolución 143 del 10 de Marzo de 2016 de la Unidad de Planeación Minero Energética

- Registro de Proyectos La resolución modifica los términos para registrar los proyectos de generación, adicionando formatos y procedimientos que incluyen las tecnologías fijadas por la ley 1715 de 2014. La resolución 045 de 2016 de la unidad también fija la obligatoriedad del registro de los proyectos FNCER en la página web de la entidad(Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2016c).

Resolución 186 del 22 de Febrero de 2012 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible.

- Aunque fue previo a la reglamentación de la Ley 1715 y a la adopción de compromisos del acuerdo de París, esta resolución adopta metas ambientales para la participación de la fuentes de energía no convencionales FNCE así:

Tabla 1-11. Metas ambientales para las fuentes no convencionales de energía

Metas Ambientales	
Participación de las FNCE en el sistema interconectado nacional	
2015	3.5%
2020	6.5%
Participación de las FNCE en zonas no interconectadas	
2015	20%
2020	30%

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

- ***Mecanismos financieros***

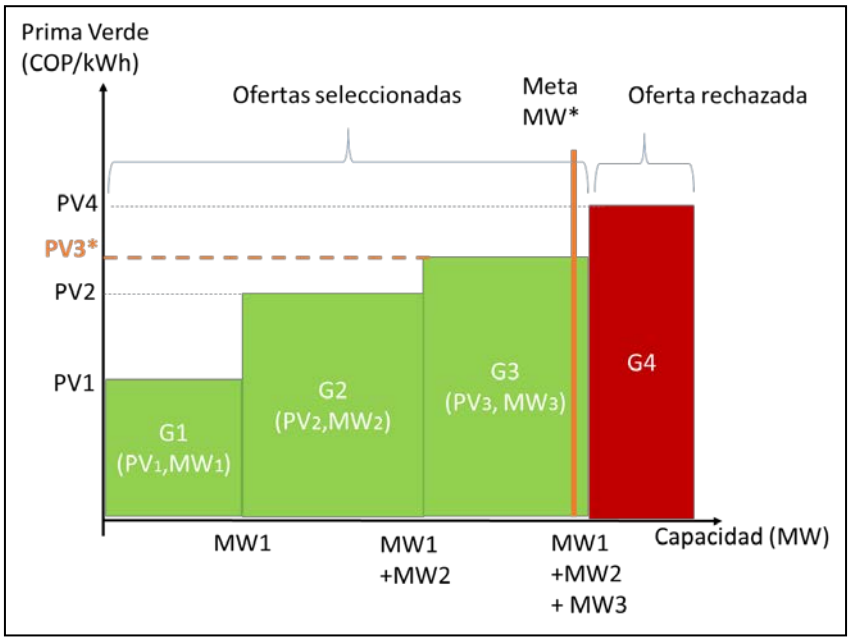
Dentro de la agenda regulatoria de 2018 se tiene previsto en el segundo semestre definir el instrumento de remuneración para la integración de plantas de gran capacidad al parque generador. Las alternativas propuestas por CREG, fueron sometidas a discusión pública de los interesados bajo el documento CREG 161 de 2016 (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2016a), dichas alternativas se extraen a continuación:

- ***Prima Verde (PV):***

La primera alternativa consiste en definir mediante la subasta, una prima por encima del precio de la energía, expresado en pesos por kilovatio hora (COP/kWh) que recibirían los generadores FNCER por cada kilovatio hora que generen(CREG, 2016).

Las ofertas se suman de menor a mayor según el valor ofertado COP/kWh hasta lograr la meta definida, garantizando de esta forma, un ingreso constante que incentive el desarrollo de estas tecnologías (CREG, 2016). La figura 1-12 muestra como las propuestas (G1 a G4) se ordenan de menor a mayor precio de venta (PV1 a PV4) hasta alcanzar la meta definida (MW1 a MW3), el precio para remunerar a los generadores será el ofertado por el generador con el cual se logra la meta (PV3).

Figura 1-12.Propuesta para el mecanismo Prima Verde

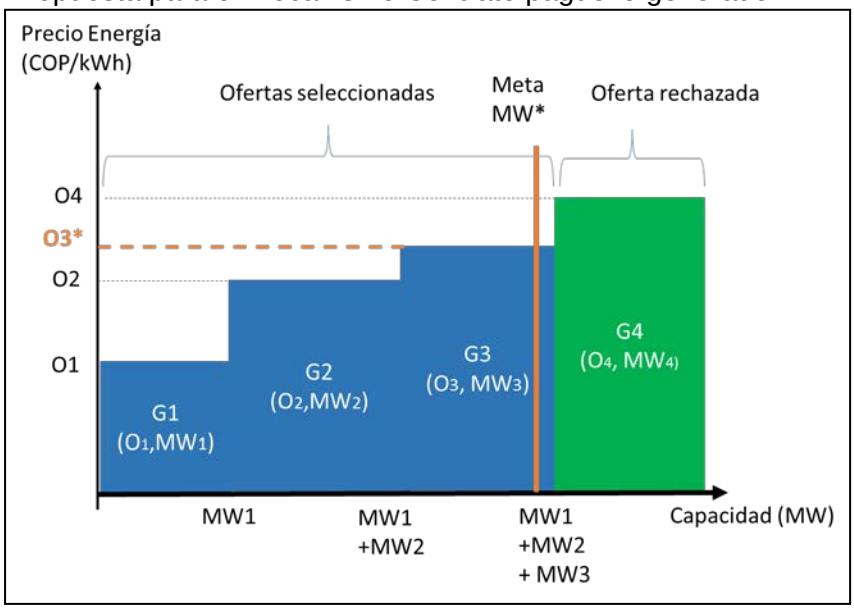


Fuente: (CREG, 2016).

- *Contratos pague lo generado (CPG) corresponde a la asignación de contratos pague lo generado a precio fijo.*

Bajo esta alternativa se define una meta de capacidad a instalar. Las ofertas se ordenan de menor a mayor (O1 a O4) precio de venta de energía (COP/KWh), que puede incluir el cargo por confiabilidad, y se acumulan las capacidades ofertadas (MW1 a MW4) hasta alcanzar la meta definida. El precio de venta de remuneración será el mismo para todos por 15 años y corresponderá a la oferta con la cual se logró la meta (O3). Este caso se ilustra en la figura 1-13 (CREG, 2016).

Figura 1-13.Propuesta para el mecanismo Contrato pague lo generado

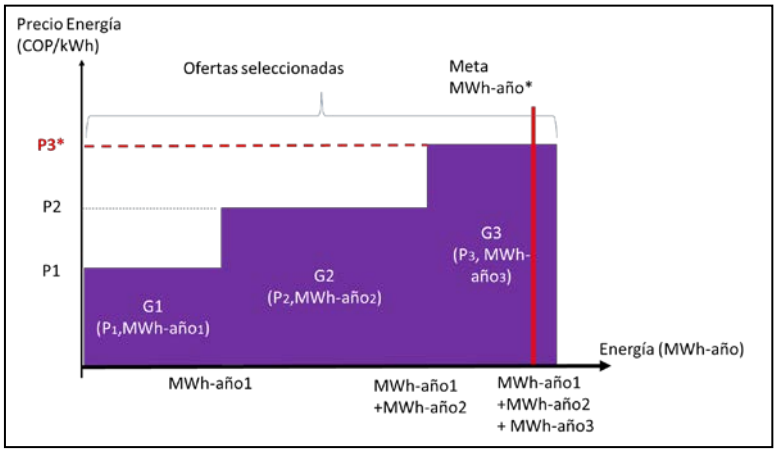


Fuente: (CREG, 2016)

- Energy Power Agreement (EPA):

Esta alternativa se diferencia de las anteriores debido a que la meta está fijada en términos de energía y no de capacidad. Se entienden como contratos de energía media (Mwh-Año) donde las ofertas (P1 a P3) son anules con un rango de tolerancia entre +/- 10%. “Al igual que en los demás mecanismos, las ofertas se ordenan de menor a mayor y se eligen tantas ofertas hasta que se alcance la meta proyectada. El precio de cierre de la subasta será el precio al que los generadores seleccionados se les pagará la energía comprometida y corresponderá al de la oferta de precio del generador marginal” (CREG, 2016), la figura 1-14 presenta este caso.

Figura 1-14.Propuesta para el mecanismo Energy Power Agreement



Fuente: (CREG, 2016)

- *Contrato pague lo contratado (CPC)*

Este mecanismo supone igualdad de condiciones en el mercado de contratos a largo plazo con otro tipo de generadores (CREG, 2016).

- *Cargo por confiabilidad (CxC)*

Todos los generadores seleccionados mediante la subasta especial para las FNCER podrán optar por participar en el mecanismo del CxC como tomador de precio. Es decir, que las plantas FNCER que decidan adquirir Obligaciones de Energía en Firme (OEF) recibirían la prima del cargo de la última subasta realizada y su energía en firme sería contabilizada en el balance al momento de convocar una nueva subasta del CxC (CREG, 2016a).

El proyecto de resolución por el cual se define la metodología para determinar las OEF para plantas eólicas contempla la diferenciación entre las plantas construidas en sitios en los cuales se cuenta con información de vientos y contempla dos definiciones de energía firme asociadas a la distribución de probabilidad de disponibilidad del recurso(Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2016c).

Para el caso del cargo por confiabilidad en plantas solares fotovoltaicas la resolución se expidió 2016 (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2016d) y se realizó una modificación en 2017(Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2017b), en

resumen se contempla el factor de degradación sujeto a la disponibilidad de información del sitio de instalación y establece la formula tarifaria que implica entre otros aspectos el efecto de la temperatura, la irradiación y la capacidad neta de la instalación.

Estos mecanismos de mercado hacen parte de la agenda regulatoria del 2018, y el ente ha manifestado a las partes interesadas que "[…] los temas relacionados con la incorporación de fuentes renovables no convencionales está ahora inmerso en los mecanismos de contratación de largo plazo, mediante los cuales se viabiliza la entrada de estas tecnologías…" (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2017a)

Como se identificó en el panorama internacional presentado al inicio del capítulo, existen casos de referencia donde en el largo plazo algunas tecnologías (particularmente la eólica costa adentro y la hidráulica a pequeña escala) alcanzan competitividad con respecto a las tecnologías convencionales y se llevan a cabo procesos de rediseño de mecanismos para propender por la libre competencia, es por tanto pertinente mantener una vigilancia efectiva y concluyente sobre los mecanismos en países de referencia y tenerlos vigentes dentro de la discusión y programación de la agenda regulatoria local.

Esta competitividad es lograda por efecto de la reducción en costo y permanente mejora de la eficiencia de las tecnologías asociadas a la transformación y producción de energía renovable, por ende la propuesta presentada en los capítulos siguientes busca aplicar la vigilancia tecnológica como herramienta de anticipación para el diseño de los mercados y creación de mecanismos de promoción e integración que respondan oportunamente a la dinámica del desarrollo tecnológico.

- ***Decreto 0570 de 2018 del Ministerio de Minas y Energia.***

En marzo de 2018 el Ministerio de Minas y Energía expidió el decreto 0570 de 2018, cuyo objeto es adicionar al decreto único reglamentario del sector administrativo de minas y energía (Ministerio de Minas y Energía, 2015a) "los lineamientos de política pública para definir e implementar un mecanismo que promueva la contratación de largo plazo para los proyectos de generación de energía eléctrica que sea complementario a los mecanismos existentes en el Mercado de Energía Mayorista"(Ministerio de Minas y Energía, 2018).

Con la expedición y definición de la política se constituye “un primer paso firme y de respaldo a la promoción de los proyectos de energías con fuentes renovables no convencionales; más aún, los usuarios finales seremos beneficiarios directos de los costos eficientes de la compra de energía bajo este mecanismo que sin duda dinamizará el mercado y esperamos que logre su objetivo de "desconcentrar" la actividad de generación, diversificar la matriz de manera relevante y con certeza, coadyuvar con los compromisos de reducción de GEI adquiridos por el país”(Hernández Vidal, 2018).

- ***Autogeneración a pequeña escala y generación distribuida***

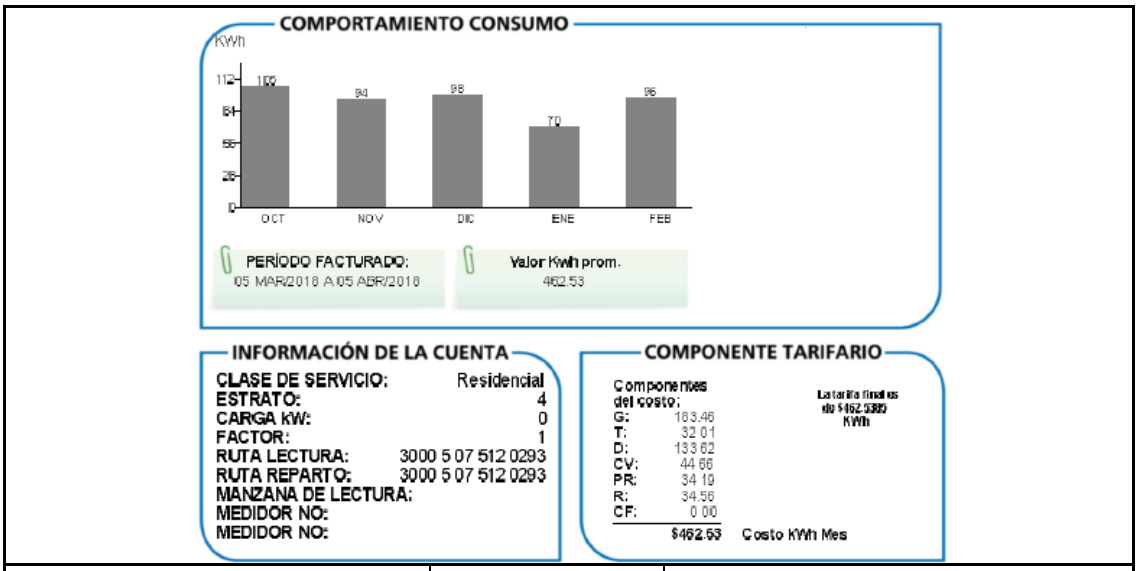
Para el caso de las autogeneración a pequeña escala y generación distribuida recientemente se expidió la resolución 030 de 2018 la cual aplica a los Autogeneradores (AG) y generadores distribuidos (GD) conectados al SIN, a los comercializadores y operadores que le atienden, y a los transmisores. (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2018d).

La resolución fija las condiciones para la integración en función de la disponibilidad del sistema en el nivel de tensión al cual es pretendida la conexión. Específica los instrumentos para facilitar la evaluación de la disponibilidad de conexión, los cuales particularmente deben ser dispuestos en línea por los operadores de red, de tal forma que sea posible acceder a un sistema de información con el estado y características de la red(Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2018d).

La resolución a su vez establece los criterios para el intercambio de energía a través de créditos de energía, que en caso de excedentes por parte de FNCER se remunera con un porcentaje de las perdidas técnicas como adicional a la tarifa del mercado, y para el caso de generación eléctrica no FNCER, se remunera a precio de mercado.

A continuación, en la tabla 1-12 se presenta un ejemplo para el caso de un Autogenerador con FNCER, bajo tres escenarios donde varían las capacidades instaladas, con facturación soportada tanto en esquemas de doble medición como en medición bidireccional, donde se evidencia la disminución en el pago mensual de servicio de energía y cuya viabilidad financiera deberá validarse contra el costo total del sistema.

Tabla 1-12. Ejemplo de valor de excedente para Autogenerador en Colombia.



Consumo Medio de Energía	93	kWh	
Costo Mensual Medio	$ 43.013	Pesos/Kwh	
Solución	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Sistema Fotovoltaico	0,5 Kwp	0,86 Kwp	1 Kwp
Factor Planta	15%	15%	15%
Autoconsumo	93	93	93
Generación Mensual	54	93	108
Importación	39	0	0
Exp 1(Exportación≤Consumo)	54	93	93
Exp 2(Exportación>Consumo)	0	0	15
Valor Excedente VE	VE = (Exp1 - Imp) * CU - (Exp1 * C) + (Exp2 * PB)		
	$ 0	-$ 4.204	-$ 2.653
Con un medidor para exportación y un medidor para importación			
Factura	$ 18.038	$ 4.204	$ 2.653
Con medición bidireccional, integrador y telemedida			
Incentivo	$ 1.856	$ 3.197	$ 3.713
Factura	$ 16.181	$ 1.007	-$ 1.059
PB: Precio Bolsa. Para el ejemplo se asume por 100 $/KWh.			

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 1-13 sintetiza los esquemas de remuneración por valor excedente de energía para Autogeneradores y generadores distribuidos acorde con la resolución CREG 030 de 2018. Dicha remuneración es función de la capacidad instalada, el tipo de generador, el esquema de medición y la cantidad de energía compensada entre generación para consumo propio e importación (Exp 1) y la energía excedente exportada a la red (Exp 2).

Tabla 1-13. Esquema de remuneración según CREG030-2018

Generador Tipo	Fuente	Capacidad	a Quien Vende	Medición	Valor Excedente	Incentivo
Autogenerador (Necesidades propias eventuales excedentes)	No FNCER	<= 0,1MW	Comercializador	a). Dos Medidores b). Medidor bidireccional, integrador y telemedida	(Exp 1 + Exp 2) * PB	Para Medición tipo b): (Exp1+ Exp2)* 50%*(Rr+P) *Rr: Restricciones; P: Pérdidas.
		> 0,1MW y <20MW	-Comercializador para U a PB	b). Medidor bidireccional, integrador y telemedida	CREG 086/96	
			-Convocatorias para Demanda Regulada		CREG 086/96	
			-Comercializador para UNR a precio libre		CREG 086/96	
	FNCER	<= 0,1MW	Comercializador	a). Dos Medidores b). Medidor bidireccional, integrador y telemedida	[(Exp 1 - Imp) * CU] - [Exp1 * C] + (Exp2 * PB)	Para Medición tipo b): (Exp1+ Exp2)* 50%*(Rr+P) *Rr: Restricciones; P: Pérdidas.
		> 0,1MW y <20MW		b). Medidor bidireccional, integrador y telemedida	[(Exp 1 - Imp) * CU] - [Exp1 * (T+D+C+PR+R)] + (Exp2 * PB)]	
Generador Distribuido (Vendedor de Energía)	FNCER / No FNCER	> 0,1 MW y <20MW	-Comercializador para U a PB	Según código medida generadores	CREG 086/96	
			-Convocatorias para Demanda Regulada		CREG 086/96	
			-Comercializador para UNR a precio libre		CREG 086/96	
			Integrado OR		PB	50%*(Rr+P)

Fuente: Elaboración propia a partir de (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2017c)

Esta resolución representa el primer instrumento de remuneración por generación de energía a partir de FNCER que se implementa en el país, sobre el cual es necesario establecer indicadores de efectividad y un sistemático ejercicio de vigilancia sobre los

nuevos mecanismos que se desarrollen en geografías de referencia y en nuevas tecnologías que impacten en el valor a remunerar por los excedentes.

Particularmente, con la reglamentación de la ley 1715 en los aspectos de infraestructura avanzada de medición y gestión eficiente de la energía, es necesario formular criterios y factores que incrementen el beneficio tanto para el consumidor-productor como para el sistema de potencia por ejemplo en suministro de servicios auxiliares para el sistema y allanamiento de la curva de carga, entre otros. Dichos criterios y factores es posible formularlos mediante la propuesta formulada en el capitulo siguiente de este documento.

- ***Resolución 038 de 2018 – Regulación de la Autogeneración en las zonas no interconectadas.***

Motivado a que los beneficios para la red que se trasladan la usuario en el Sistema Interconectado Nacional, no se evidencian en las zonas no interconectadas ZNI, la resolución 038 de 2018 establece los requisitos de conexión y la formula tarifaria para el caso de autogeneración en ZNI con pago al comercializador por importación de energía de la red y la liquidación de excedentes para el autogenerador, obligando al comercializador a discriminar los compontes de la liquidación.(Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2018c).

- ***Resolución 40072 de 2018 – Mecanismos para implementar la infraestructura avanzada de medición.***

El ministerio de minas y energía establece los lineamientos para la implementación gradual de la infraestructura avanzada de medición con el objetivo de promover la gestión eficiente de la energía. Este documento contiene las definiciones, objetivos de implementación, funcionalidades básicas, responsabilidades y un objetivo de implementación para el año 2030 de usuarios con infraestructura avanzada de medición, del 50% de usuarios urbanos y del 50% para centros poblados y rurales. Deja a su vez establecida la responsabilidad de la CREG en asuntos de ciberseguridad y remuneración(Ministerio de Minas y Energia, 2018).

Con el fin de sintetizar el estado de la reglamentación de la ley 1715 la tabla 1-14 presenta los mecanismos existentes por fecha y por entidad competente con corte a la elaboración del presente documento.

Tabla 1-14. Reglamentación de las FNCER en Colombia

Documento	Entidad	Fecha	Objeto
Ley 1715 del 2014	Congreso	may-14	Establecimiento del Marco Legal
Decreto 1283	MinAmbiente	ago-16	Certificación ambiental para beneficios tributarios
Resolución 045	UPME	feb-16	Aval de exclusión gravámenes
Resolución 143	UPME	mar-16	Registro de Proyectos FNCER
Resolución 186	MinAmbiente	feb-12	Metas Ambientales
Informe de Incentivos	UPME	Periódico	Informe de proyectos FNCER Registrados y con beneficios tributarios
Documento 161	CREG	dic-16	Proyecto de Resolución Mecanismo Financiero Integración FNCER
Resolución 030	CREG	feb-18	Regulación actividades de Autogeneración pequeña escala y Generación Distribuida en el SIN
Decreto 0570	MinMinas	mar-18	Lineamientos de mecanismos de contratación a largo plazo
Resolución 038	CREG	abr-18	Regulación actividades de Autogeneración y Generación Distribuida en ZNI
Resolución 40072	Min Minas y Energía	ene-18	Mecanismos para la implementación de infraestructura avanzada de medición
Proyecto 201	CREG	dic-17	Metodología para determinar la ENFICC Plantas Solares Fotovoltaicas
Proyecto de resolución	UPME	mar-18	Proyecto para conceptuar sobre los proyectos de gestión eficiente de la energía - beneficios tributarios
Proyecto 242	CREG	dic-16	Metodología para determinar la ENFICC Plantas Eólicas
Proure	UPME	dic-16	Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022
Resolución 1312	MinAmbiente	ago-16	Adopción de términos de referencia para el EIA de proyectos eólicos continentales y otras determinaciones
Resolución 281	UPME	jun-15	Límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala
Decreto 2492	Min Minas y Energía	dic-14	Implementación de mecanismos de respuesta de la demanda
Decreto 2469	Min Minas y Energía	dic-14	Política energética en materia de entrega de excedentes de Autogeneración
Resolución 123	CREG	sept-14	Información en las facturas del servicio, para promover el uso eficiente y el ahorro de energía eléctrica.
Proyecto 046	CREG	sept-14	Metodología para determinar la ENFICC Plantas Geotérmicas

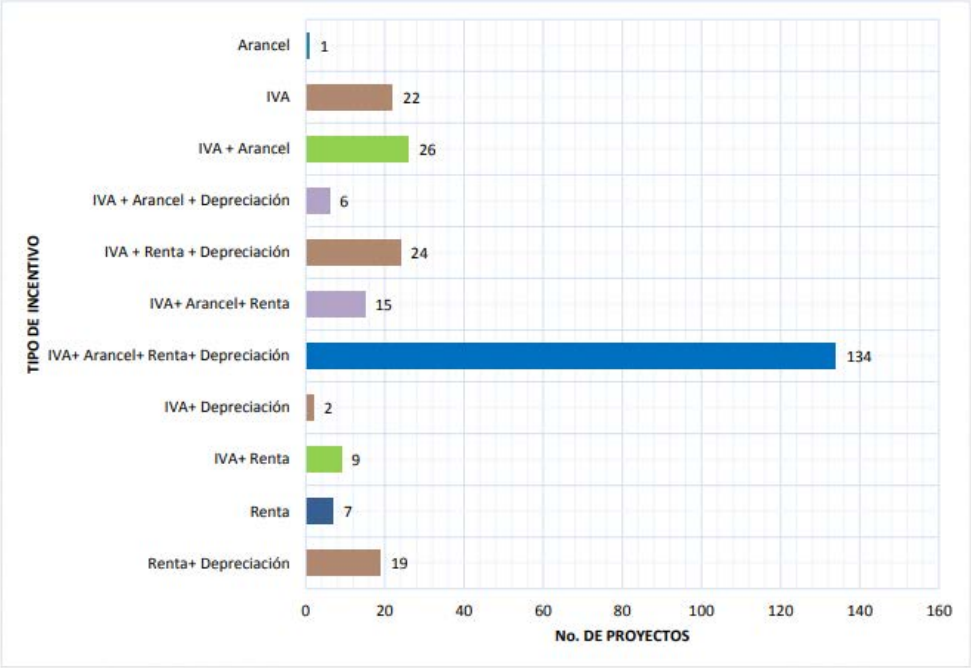
Fuente: Elaboración propia a partir de los documentos referenciados en la tabla

- ***Información complementaria***

Como parte de los objetivos de la ley 1715 esta la divulgación masiva y focalizada sobre autogeneración a pequeña escala y generación distribuida, para este propósito la UPME ha publicado el documento didáctico “Cartilla invierta y gane con energía” que facilita la comprensión sobre cuales son trámites y las entidades responsables para gestionar los beneficios por la implementación de proyectos con FNCER, este documento fue elaborado con apoyo de la agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional USAID, a través del programa de energía limpia para Colombia (Ministerio de Minas y Energia, 2016).

Por otro lado, la misma entidad genera informes periódicos con respecto a la cantidad de proyectos de FNCER que la entidad recibe para la obtención de aval por beneficio tributario y cuáles de ellos logran en aval. La figura 1-15 es tomada del informe de incentivos de la ley 1715 de 2014 con corte a 31 de Marzo de 2018 y permite identificar el creciente número de proyectos con aprobación de incentivos tributarios para los proyectos de energía renovable en Colombia.

Figura 1-15. Emisión de Proyectos FNCER, Marzo 2018 UPME



Fuente: (Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2018)

Del citado informe, se resaltan los siguientes datos que dan cuenta de la dinámica del mercado para las FNCER y consecuentemente de la necesidad de una regulación oportuna e integral del mismo(Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2018):

- La guajira cuenta con proyectos de energía eólica por 925MW de los 1334MW de FNCER que se han registrado en UPME. concentrados en 6 proyectos.
- El Cesar registra 7 proyectos solares por 170.03MW
- Cundinamarca registra 36 proyectos por solo 4,22MW
- La relación entre proyectos recibidos en UPME y emitidos con certificación es de 373:265.

Lo anterior demuestra gran dinamismo en la presentación de proyectos ante UPME y permite resaltar como la gran capacidad está centrada en energía solar y eólica en el norte del país.

- ***Discusión***

El artículo 45 de la ley 1715 fija un periodo de revisión de 4 años para el seguimiento y evaluación de los objetivos de la ley 1715 de 2014, es decir que finalizado el primer semestre de 2018 han de revisarse los planes y programas para gestión de energía, plan de FNCE, los escenarios de evolución energética y la planificación de redes de transporte de electricidad y gas natural.

Lo cual representa una oportunidad para la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo siguiente, puesto que la dinámica tecnológica de los últimos 4 años plantea desafíos para la regulación actual por efecto de la competitividad lograda por mejoras en eficiencia y reducción de costo y obliga a la revisión de aspectos tales como diseños de mercado, identificación de barreras de entrada, esquemas de remuneración, mecanismos de incentivos entre otros aspectos que son definidos implícitamente por el cambio del modelo tecnológico del sistema de potencia.

2. Propuesta para la reglamentación de las energías renovables a partir de vigilancia tecnológica

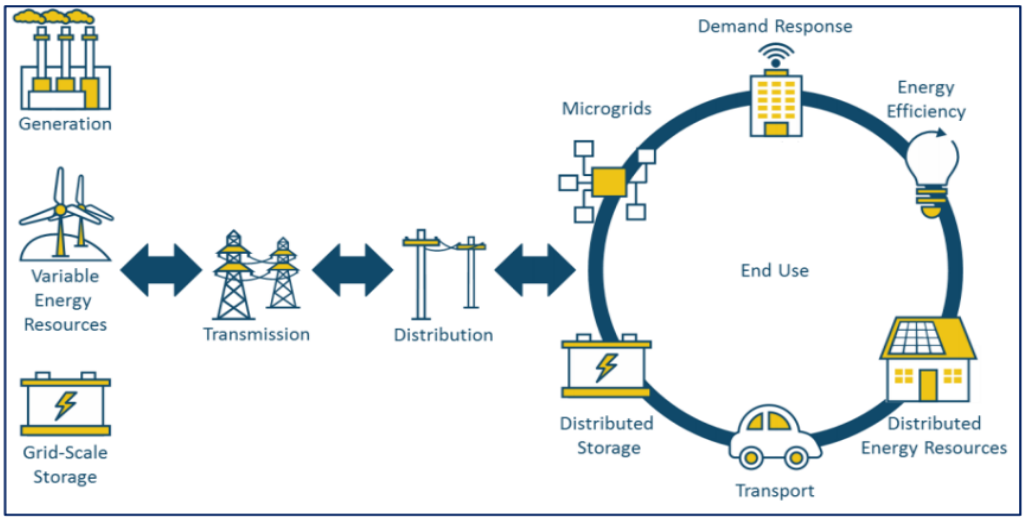
En el campo de las políticas energéticas, el cambio de paradigma en el modelo del sector eléctrico impulsado por la imperante necesidad de mitigar los efectos de la producción de energía a partir de combustibles fósiles acelera la transición hacia tecnologías cuya dinámica vertiginosa de desarrollo supera la capacidad institucional de imponer las condiciones para los actores anticipadamente a la aparición del mercado.

Tradicionalmente, la transmisión y la distribución de energía eléctrica se han encargado de conectar la generación (típicamente en gran volumen y distanciada del centro de consumo) con la demanda. Por décadas las grandes disrupciones se presentaban sólo en términos de reducción de costo e incrementos de eficiencia (Department of Energy, 2017).

El cambio de la red eléctrica pasando de ser un elemento pasivo a un elemento activo del sistema, da paso a 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 2-1 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) obliga a crear una regulación robusta pero flexible que minimice los costos y los impactos ambientales mientras maximiza la confiabilidad, resilencia y estabilidad del sistema(IEA International Energy Agency, 2013).

Figura 2-1: Cadena Eléctrica del siglo 21, Flujo de 2 vías



Fuente. (Department of Energy, 2017)

La capacidad de la política para adaptarse a condiciones no anticipadas es un enfoque reciente, el diseño de las políticas y regulación debe elaborarse con la capacidad de (Swanson et al., 2010):

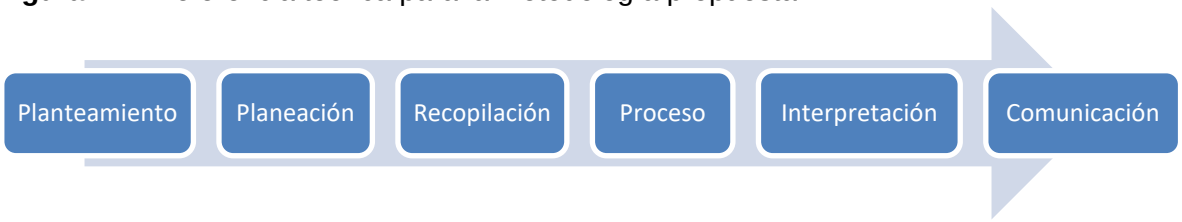
- Adecuarse a los problemas y cambios no vistos en el contexto del diseño original de la política, pero siempre apoyando el objetivo de las políticas
- Reconocer las problemáticas emergentes hacia las cuales debe direccionarse.
- Desencadenar análisis futuro y la deliberación necesaria para realizar ajustes a la política atendiendo las problemáticas emergentes, manteniendo el desempeño o eliminando la política si esta ya no es relevante.

De la misma forma el planeamiento anticipado de políticas debe disminuir la incertidumbre integrando aspectos como Análisis integrado y prospectivo, Ajuste incorporado de política, aprendizaje continuo y revisión formal de política, así como deliberación de múltiples interesados (Swanson et al., 2010)

Es por ello que la utilización de una metodología cíclica y sistemática que se apoye en métodos validados de captura y análisis de información es una parte fundamental para el éxito en la implantación de las energías renovables, particularmente en un país como Colombia donde la integración de las renovables apenas da sus primeros pasos.

Como método de investigación varias teorías son aceptadas y aplicadas pero en términos generales se componen de las etapas indicadas en la figura 2-2. La complementariedad de teorías de investigación es enriquecedora y afina la capacidad de comprensión quien investiga(Bernal, 2010).

Figura 2-2: Referencia teórica para la metodología propuesta.



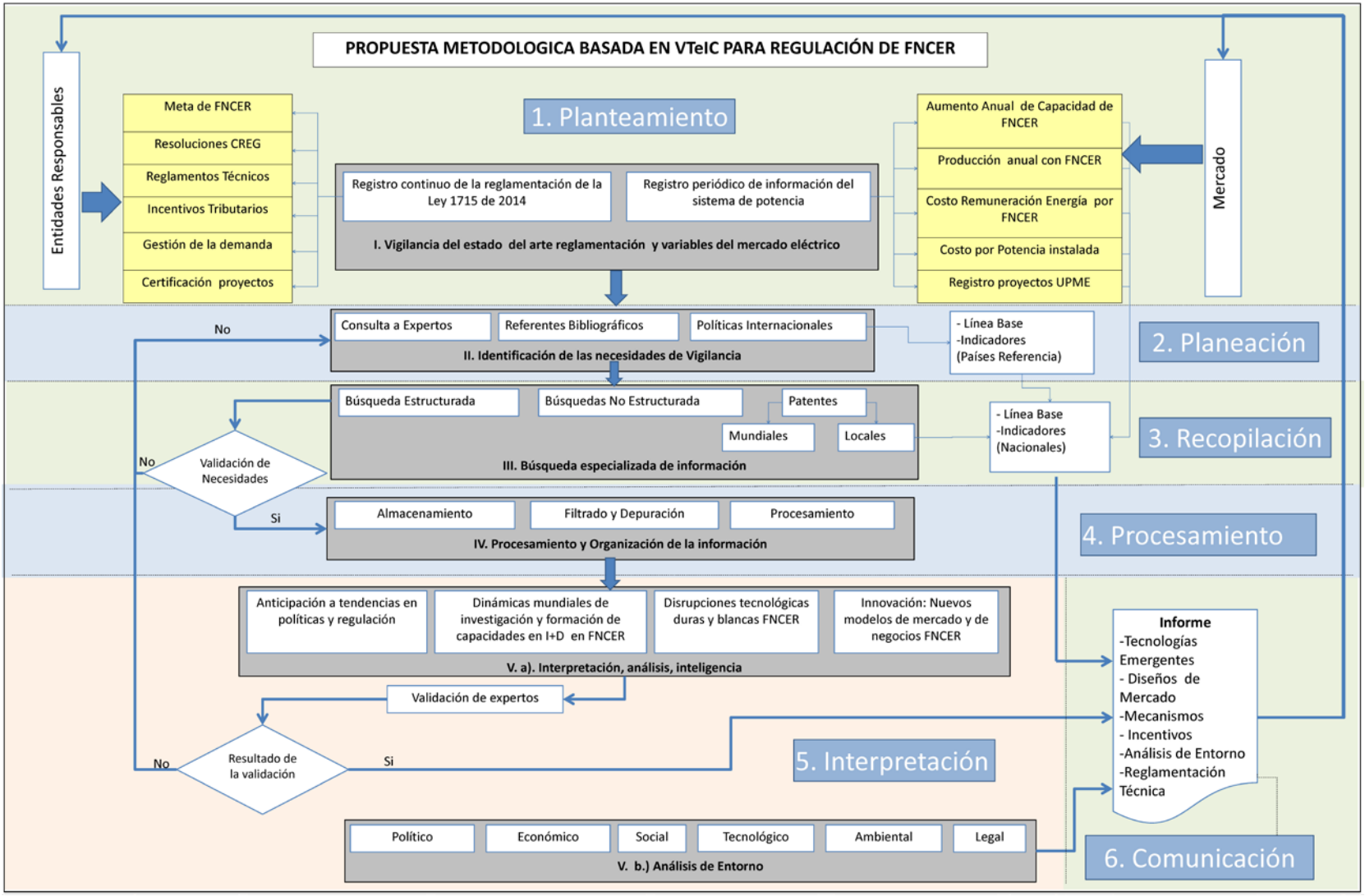
Fuente. A partir de (Bernal, 2010).

La metodología propuesta es flexible para la adopción de diferentes enfoques y disciplinas atendiendo al concepto de la unificación del conocimiento a través la investigación y la educación como es propuesto por (Momoh & Mili, 2009) considerando la ingeniería eléctrica y su relación con las fuerzas del entorno, la educación y bechmarking, la eficiencia económica y el apoyo de herramientas informáticas.

La propuesta metodológica se desarrolla a continuación, inicialmente por subcapítulos que corresponden a cada fase, para facilitar la comprensión y permitir un enfoque amplio y general de la metodología propuesta para la regulación de las energías renovables a partir de vigilancia tecnológica, se presentan en la figura 2-3 un mapa de proceso que sintetiza las fases propuestas que serán descritas a lo largo del presente capitulo, y será validada al final del capítulo mediante la aplicación de un estudio de caso para la incorporación de la generación eólica al parque generador.

En el Anexo A. se presentan los resultados de estudios de casos adicionales los cuales corresponden ejercicios de vigilancia realizados por el Autor para el Grupo de investigación del sector energético colombiano de la Universidad Nacional de Colombia en el marco del Observatorio de Energía para UPME, bajo la misma metodología y que plantean temáticas contempladas en la ley 1715 de 2014 que incorporan factores y criterios que constituyen primeros elementos de decisión para la incorporar a la agenda regulatoria de las FNCER en Colombia.

Figura 2-3 Mapa de proceso de la metodología propuesta



Fuente: Elaboración propia con base en metodologías de investigación y VTeIC

2.1 Planteamiento

La fase inicial de la propuesta metodológica parte de la identificación de la reglamentación de las políticas de energía renovable que se encuentren vigentes (Como se realizó en el capítulo 1 del documento). Puntualmente la ley 1715 de 2014 define los objetivos de promoción e integración y de las FNCER en Colombia, establece los mecanismos y las entidades responsables para su ejecución, por tanto esta identificación inicial se fundamenta en una permanente vigilancia de la producción de reglamentación económica y técnica, para mantener el estado de arte local vigente y actualizado, y consecuentemente identificar falencias y priorizar necesidades.

Esta fase ha de complementarse con un registro periódico de macrovariables del sector eléctrico y del sistema de potencia, es de particular interés e importancia el registro de datos que permitan la creación de indicadores de impacto de implantación de energías renovables, estos son nominalmente y en función de lo establecido por IRENA (2011):

- Tasas de incremento anual de capacidad de generación a partir de energías renovables (MW)
- Tasa de producción anual de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía (TWh/Año)
- Nivel de remuneración anual de energías renovables (USD/MWh)
- Costo total por potencia instalada de generación con energía renovable (USD/MW)
- Adicionalmente: Número de proyectos registrados ante UPME para el aval de incentivos por FNCER.

2.2 Planeación

La segunda etapa tiene tres componentes, inicialmente y en concordancia con el natural desarrollo de políticas en la fase de incepción en la cual se encuentra la reglamentación en Colombia, es necesario un permanente proceso de *benchmarking* de las políticas internacionales. En Colombia desde 1994 ha primado la adopción de modelos de mercado eléctrico como el Inglés (Hoyos Gómez, 2016). Para el caso de la integración y promoción de renovables, los países europeos también constituyen casos de éxito y de

referencia para la adopción local de estrategias y programas, sin embargo es pertinente las revisión de políticas en países BRICS, así como en económicas emergentes de similares proporciones a la colombiana, sobre este aspecto (Meier et al., 2014) realiza análisis puntuales para el Banco Mundial en países como Turquía, Egipto, Vietnam entre otros.

Un segundo componente de la etapa de planeación consiste en la consulta de referentes bibliográficos especializados del sector energía, los principales escenarios para la penetración de energías renovables en la matriz energética mundial y la transición tecnológica hacia la producción sostenible de electricidad son publicados por entidades supranacionales y en la mayoría de los casos con información de acceso público, de esta información es necesario extraer los indicadores y la línea base de países líderes (meta de inserción de renovables en la matriz energética) para establecer puntos de referencia para Colombia.

La tabla 2-1 presenta parte de las fuentes de información de relevancia, y la tabla 2-2 ilustra un conjunto de tendencias de políticas y tecnologías para las FNCER identificadas en estas fuentes, y que son las utilizadas para desarrollar el caso de estudio y los casos complementarios presentados en el anexo A.

Tabla 2-1. Fuentes de información de referencia para las políticas y tecnologías FNCER.

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

Tabla 2-2: Tendencias en para las FNCER identificadas en la bibliografía de referencia

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

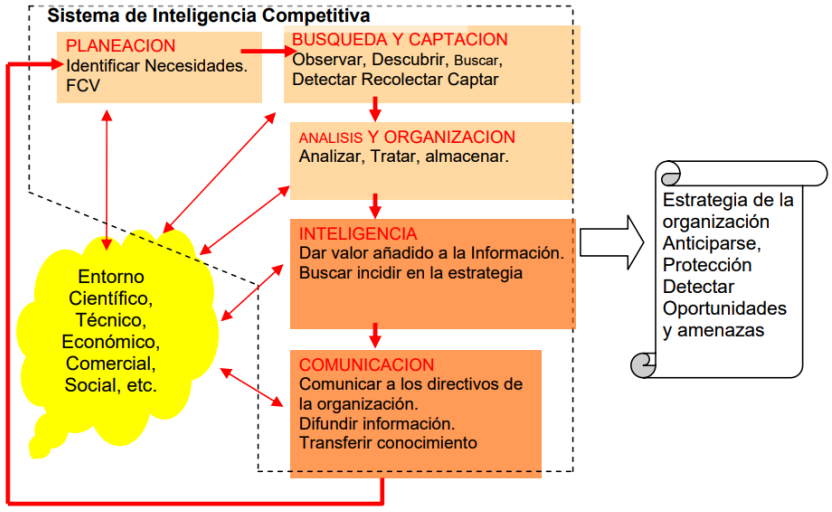
Fuente: Elaboración propia con base en las referencias de la tabla 2-1

Finalmente e iniciando la alineación de la metodología propuesta con la metodología de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, se plantea la consulta a expertos. Antes de describir esta fase, es pertinente dar una breve descripción de la teoría de la VTeIC.

La vigilancia tecnológica como es conocida en España, Francia y Latinoamérica, es un proceso que apoya la toma de decisiones. Cuenta con diferentes definiciones, las principales de ellas recopiladas por (Cortes, 2012). A su vez por efecto de la traducción y adaptación al lenguaje técnico de cada región esta puede cambiar de denominación. En inglés se encuentra por *Strategic Intelligence, Business Intelligence, corporate intelligence,* entre otras(Sánchez-Torres, 2017a).

Para el caso de la metodología propuesta se utilizarán en adelante las siglas VTeIC y se entenderá como ***"El proceso sistemático y estructurado de captación legal y ética de información, análisis de la misma, generación y difusión de conocimiento proveniente del entorno de la organización, en el que se identifican oportunidades y amenazas que constituyen insumos que orientan la toma de decisiones y le permiten ser competitiva"***(Sánchez-Torres, 2017a), gráficamente el proceso se representa en la figura 2-4:

Figura 2-4: Síntesis de la función de inteligencia competitiva



Fuente:(Sánchez-Torres & Palop Marro, 2002)

La utilidad de la VTeIC en la construcción de política pública radica en la capacidad de anticipación que brinda por una lado al "aportar la planificación que exige procesos

participativos que involucren diversos actores, tanto en la formulación, implementación como evaluación de políticas; y de otro, con mecanismos que le permitan mejorar su proceso de toma de decisiones para anticiparse de manera adecuada a los cambios globales"(Sánchez-Torres, 2017a)

La teoría de VTeIC plantea varias herramientas para la definición de las necesidades de vigilancia, métodos apoyados en el análisis de la cadena de valor, o de las fuerzas de Porter son de gran utilidad para empresas u organizaciones que se desempeñan en entornos competitivos. Para la metodología propuesta se sugiere el uso del estudio de necesidades de vigilancia propuesto por (Herring, 1999) adaptado para entes de regulación y creación de política pública así como para firmas consultoras (Ilustrado en la figura 2-5), ya que de estas fuentes expertas es que normalmente deriva la construcción de la regulación en Colombia, Herring también contempla varios instrumentos para aplicar a tomadores de decisión en miras de identificar las necesidades de inteligencia.

Figura 2-5: Adaptación de Herring al estudio de necesidades de vigilancia

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?
- ¿Conoce de la existencia de un plan estratégico y de las acciones relacionadas a este para la regulación de las FNCER en Colombia?
- ¿En caso afirmativo, se ha formulado e implementado una estrategia?

B. Inteligencia de alertas tempranas

- ¿Recuerda algún caso de "sorpresa" en el ámbito regulatorio?
- ¿Tiene preocupaciones acerca de: Industria, Gobierno, inversionistas u otro actor sectorial?
- ¿Conoce las intenciones y acciones de los actores más fuertes del mercado?

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

- ¿Cuales roles le generan mayor preocupación?
- ¿Qué tipo de información de inteligencia considera necesaria para un ente regulador?
- ¿Qué usos le daría el ente y sus decisores a esta inteligencia?

II. Capacidad de inteligencia y utilización

- ¿Qué experiencia/familiaridad tiene con la inteligencia competitiva?
- ¿Recibe algún tipo de inteligencia, cual?
- ¿Qué capacidades de inteligencia tiene su organización?
- ¿Quiénes en su organización utilizarían esa inteligencia?
- ¿Las operaciones de inteligencia en el ente regulador tendrían algún otro beneficiario?
- ¿Existen barreras para compartir la información de inteligencia que recibe?
- ¿Qué tipos de inteligencia le gustaría recibir? (Reportes de campo, alertas analíticas, competidores del mercado, evaluación de los productos/servicios, sesiones informativas de inteligencia)
- ¿Cómo se debería organizar el sistema de inteligencia de una entidad regulatoria?
- ¿Cómo evaluaría la inteligencia que usted recibió/recibe?

Fuente: Adaptación libre de (Herring, 1999)

Otro método de consulta a experto que tiene gran relevancia se basa en métodos de construcción de escenarios, como el método delphi, el ábaco de Regnier, prospectiva entre otras técnicas de análisis futuro (Sobre estas técnicas se sugiere consultar la publicación de (Saritas & Burmaoglu, 2015))

Una vez finalizada esta fase, se cuenta con una planeación para ejecutar un proceso detallado de búsqueda de información, sin embargo la identificación de necesidades de vigilancia e inteligencia de las FNCER es dinámica e iterativa, al avanzar en las siguientes etapas se obtienen con frecuencia validaciones de las necesidades y por ende el método debe ser abierto para la adaptación y asimilación de cambios en las necesidades y posterior optimización de búsqueda y procesamiento de la información regulatoria.

En el anexo B se presenta un modelo de registro de necesidades, de acuerdo con la teoría de VTeIC este registro o ficha de necesidades debe contener los objetivos del ejercicio de vigilancia, los factores y preguntas a resolver y acotar la captura de información a restricciones de tiempo, lugar y palabras clave. Cuando se realiza el ejercicio de Vigilancia con apoyo de herramientas informáticas las palabras clave ingresan al ciclo iterativo y pueden redefinir los criterios de búsqueda y las necesidades de vigilancia.

2.3 Recopilación

La información regulatoria generalmente es abierta. Cada país que cuenta con ente(s) regulador(es) dispone de plataformas de consulta para identificar sus políticas y medidas para la adopción de las energías renovables, sin embargo, el volumen y la densidad de esta información (volumen en referencia al número de entes reguladores y documentos regulatorios y densidad en la dificultad para tratar dicha información) implica la adopción de métodos que faciliten la recolección y síntesis.

En una primera instancia la realización de búsquedas de información no estructurada, como la que se halla por medio de motores de búsqueda combinando sintagmas referentes a regulación y política con palabras clave referentes a tendencias, resúmenes y compilaciones optimizan los resultados iniciales, este proceso comprende una

profundización de la información de la bibliográfica de referencia de la fase de planeación y para quien se inicia en temas regulatorios, en la metodología de la VTeIC o no conoce un tema en particular esta es una aproximación efectiva al idioma técnico de la temática bajo interés.

Cuando ya se cuenta con algún grado de conocimiento sobre el aspecto regulatorio, y una vez identificadas las necesidades de vigilancia, es pertinente la ejecución de búsquedas de información estructurada. Para ello existen bases de datos científicas que integran múltiples fuentes de divulgación de producción intelectual. La efectividad de los resultados depende en gran medida de la buena construcción de ecuaciones de búsqueda, como la que se muestra para el estudio de caso en la figura 2-6:

Figura 2-6 Ecuación de búsqueda para regulación de energía eólica

```
TITLE-ABS-KEY ( ( "renewable energy resources" OR "energy resources" OR "renewable
energies" OR "renewable energy source" OR "renewable energy" ) AND ( "wind power" OR
"wind energy" OR wind OR "wind turbine" ) AND ( "power markets" OR "levelized cost of
electricity" OR "energy policy" OR "regulatory framework" OR polic* OR "legal framework" OR
"financial mechanism" OR incentives ) ) AND PUBYEAR > 2007 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA ,
"ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENVI" ) OR
LIMIT-TO ( SUBJAREA , "SOCI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "COMP" ) OR LIMIT-TO (
SUBJAREA , "BUSI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ECON" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA ,
"MATH" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "EART" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) )
```

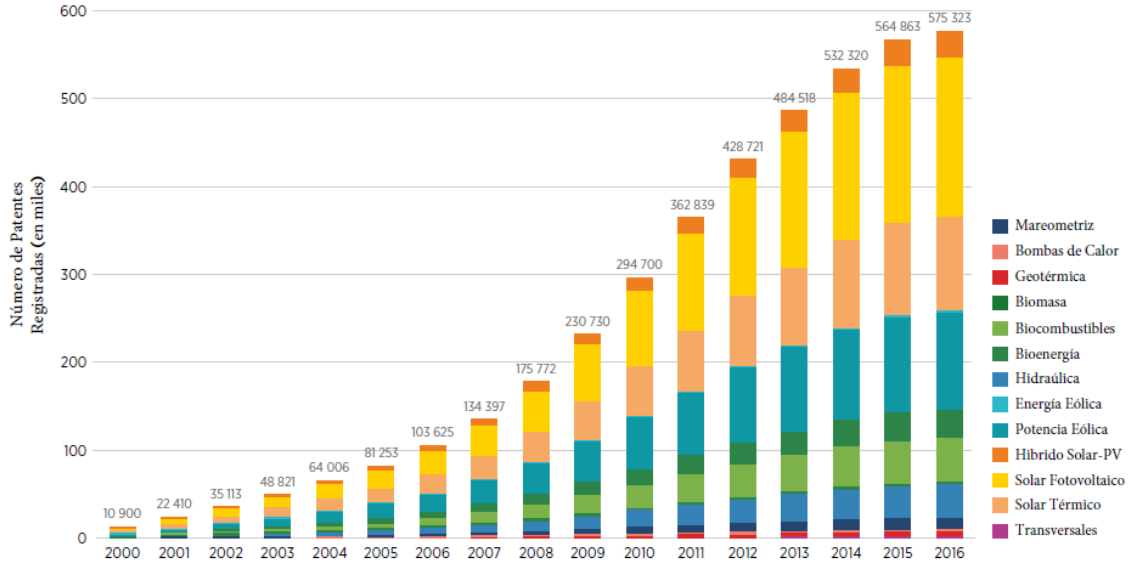
Fuente: Elaboración propia.

Esta fase está alineada con el proceso de búsqueda y captación del ciclo de VTeIC; Un aspecto importante para la ejecución de este tipo de búsqueda es el uso de las herramientas disponibles en la plataforma de búsqueda, si se toma como referencia la base de datos Scopus, esta permite refinar búsquedas por múltiples criterios como fecha de publicación, disciplina, palabras clave, entre otros, y posteriormente con los resultados se puede realizar un análisis preliminar sobre autores, instituciones y países líderes en términos de publicación, con lo cual se debe iterar la búsqueda o en caso de no lograr información de utilidad, regresar a la fase de planeación.

Otra fuente de información estructurada de gran importancia para definir aspectos regulatorios son las oficinas de patentes. Aunque en primera instancia pudiese interpretarse que la actividad patente no se relaciona con los aspectos de política energética de las FNCER, es importante resaltar que acorde con IRENA, se ha experimentado innovación en los años recientes con tasas de crecimiento del 12% por

año, desde 1995 muy por encima de otros sectores(IRENA, 2017). Esto proporciona un mensaje en los prospectos futuros de desarrollo de las tecnologías renovables y un desafío para que las condiciones regulatorias del mercado estén acorde con dicho dinamismo. La dinámica de patentes asociada a las FNCER se ilustra en la figura 2-7.

Figura 2-7 Registro de patentes para renovables entre 2000 y 2016



Fuente: Traducción libre de (IRENA, 2017)

De acuerdo con una investigación de la oficina de patentes y marcas de Estados Unidos hasta el 70% de la tecnología divulgada no figuraba en publicaciones distintas a las de patentes(Hong, s/f). Para facilitar esta búsqueda se referencian en la tabla 2-3 los códigos internacionales de patentes asociados a las tecnologías eólica y solar fotovoltaica identificados por (Albino, Ardito, Maria, & Messeni, 2014) y en el anexo del trabajo de (Johnstone, Haščič, & Popp, 2010).

La búsqueda y posterior análisis de patentes, es un insumo de decisión para un mercado en desarrollo, tanto por advertir la señales tecnológicas en desarrollo como por el conocimiento de la patente en sí, la constitución de inventivos para la competencia, el aumento de la calidad de vida y el bienestar de la sociedad(WIPO, s/f).

En el capítulo 3 se amplía la discusión de patentes en el contexto local, como indicado en el capítulo 1, la producción local de tecnología mitiga las barreras económicas de altos costos de capital y el registro de la dinámica patentes es una medida del éxito en la

promoción e integración de energías renovables a partir de la creación de política pública energética que promueva la I+D+i.

Tabla 2-3. 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	F03D	5
Controladores de motores de viento	F03D	7
Adaptaciones de motores de viento para usos especiales	F03D	9
Detalles, componentes o accesorios no previstos en, o de interés aparte de, los otros grupos de esta subclase	F03D	11
Tecnología Solar	**Clase**	**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(Albino et al., 2014) y (Johnstone et al., 2010)

2.4 Procesamiento

La información recopilada particularmente a partir de las bases de datos estructuradas se compone de grandes cantidades de documentos. Al igual que en la fase de Organización de la VTeIC es pertinente apoyarse con la utilización de herramientas de software. En

primer lugar porque permite filtrar información innecesaria, gestionar la información bibliográfica de los documentos y almacenar con registro personalizado, en definitiva permite optimizar la información obtenida y reducir el tiempo de revisión de la misma.

Existe gran disponibilidad y oferta de herramientas en el mercado para realizar VTeIC, con funciones integradas o específicas para gestión de información bibliográfica, herramientas de tratamiento de información de VTeIC, gestión de información de patentes, software de vigilancia de páginas web de los diferentes actores del sector energético, como productores de tecnología, regulación e información científica (En el anexo B se presenta un listado de herramientas disponibles en el mercado).Incluso algunas herramientas son de libre acceso como las existentes en bases de datos científicas o las dispuestas por las oficinas de patentes.

La disponibilidad del software optimiza el procesamiento de información, mas su carencia no constituye una restricción o limitante para la obtención de fuentes validas de información, la capacidad del responsable de la recolección y análisis de la información para tener niveles de lectura y habilidades de síntesis y depuración de información es clave para evitar la infoxicación (se sugiere consultar sobre este término y la importancia en la síntesis de la información los trabajos de (Cornella, 2010) y (Urbano, 2010)) y consecuentemente entregar información de valor en la siguiente fase de la metodología.

2.5 Interpretación

En la metodología propuesta la interpretación de la información se forma a partir de la confluencia de dos enfoques, por un lado la fase de inteligencia del ciclo de VTeIC y por otro lado la interpretación y análisis del entorno en sus distintos aspectos, entorno que de la misma forma que en todo proyecto es dinámico, lo es para contextualizar las necesidad globales o particulares de una determinada región para satisfacer su abastecimiento sostenible de energía eléctrica.

El primer enfoque de la fase de interpretación se deriva de la fase de inteligencia en la teoría de VTeIC, esta es la etapa más significativa puesto que implica la transformación de la información al agregar valor para las actividades de los procesos que se llevan a

cabo dentro de una organización, genera conocimiento. Valiéndose de los diferentes métodos de análisis, se deben crear niveles de lectura, capacidades en los vigías encargados de la vigilancia y orientación hacia la toma de decisiones estratégicas de la organización(Sánchez-Torres, 2017a), particularmente para regulación de las FNCER en Colombia debe generar insumos de decisión en los siguientes aspectos:

- Anticipación a tendencias en políticas y regulación
- Dinámicas mundiales de investigación y formación de capacidades en I+D en FNCER
- Disrupciones tecnológicas duras y blancas FNCER
- Innovación: Nuevos modelos de mercado y de negocios FNCER

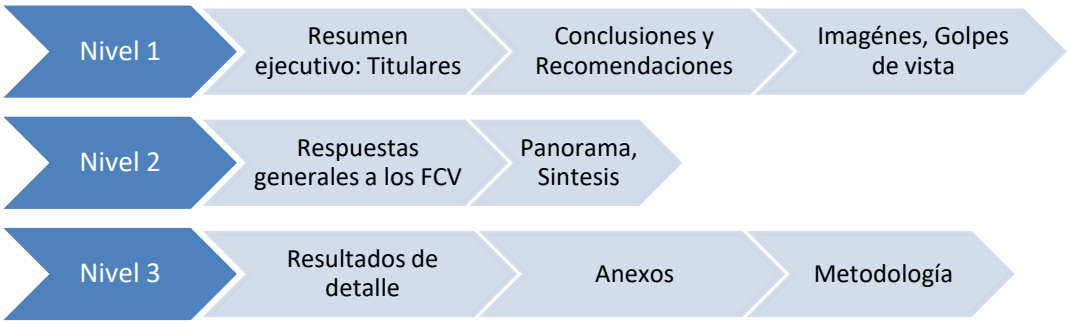
Los insumos de decisión obtenidos deben corresponder a la respuesta de las necesidades de vigilancia identificadas en la etapa de planeación, y por ende previo a su divulgación deben pasar por la validación del criterio experto, en este punto la condición iterativa de la metodología puede obligar a reiniciar la vigilancia en caso que no se atienda debidamente al requerimiento de respuesta a los factores y criterios para incorporar a la regulación de las FNCER.

En cuanto al análisis de entorno, existen varios modelos para la interpretación de las fuerzas externas que afectan una determinada organización, y que por supuesto cobija instituciones de gobierno y entes reguladores, para el objeto de este documento se plantea un análisis general del entorno colombiano en el contexto Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental y Legal el cual se presenta en el capítulo 4.

2.6 Comunicación

El objetivo de la fase final corresponde a la efectiva divulgación del resultado del ejercicio. Esta divulgación debe tener propiedades como facilidad de apropiación, síntesis, relevancia, oportunidad en el tiempo y calidad (Sánchez-Torres, 2017a). La captura de atención del decisor, ya sea un ente regulador económico o técnico, se realiza con cifras, conclusiones y recomendaciones generales que promuevan una paulatina profundización hacia información más detallada, la figura 2-8 representa los niveles de lectura para la fase de comunicación en la VTeIC:

Figura 2-8 Niveles de reporte escritos de VTeIC.



Fuente: (Sánchez-Torres, 2017a),

El informe, que puede provenir de la institución reguladora misma, de la academia o de partes interesadas del sector, debe propender por la entrega de información anticipada para crear, modificar, eliminar la reglamentación del sector, en términos de tarifa, requerimientos técnicos, mecanismos de incentivos, planes de expansión, cobertura y uso. El informe debe proporcionar señales anticipativas tanto para las entidades del estado como para los agentes del mercado en aras de una regulación que responda al ritmo del desarrollo tecnológico

A continuación se presenta la aplicación del estudio de caso que sintetiza las fases expuestas anteriormente y valida la funcionalidad de la metodología propuesta.

2.7 Estudio de Caso

Planteamiento: 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 trasmisión 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).

Planeación: Las necesidades de vigilancia para el caso de estudio se orientan a *identificar requerimientos de mercado y tecnológicos para la integración de grandes volúmenes de energía de alta variabilidad en la matriz energética colombiana*. Este ejercicio se desarrolló con apoyo del Matheo Analyzer y Matheo Patent.

Recopilación: Los restrictores para el caso de estudio, se han tratado con apoyo del software Matheo Analyzer y de la base de datos Scopus, las dos herramientas permiten identificar las palabras clave que más se utilizan en determinada temática, de aquí se infiere la importancia de entender el carácter cíclico del ejercicio de vigilancia, pues luego de la definición inicial de sintagmas y palabras clave, las fases posteriores del ciclo permiten la refinación de los restrictores.

La figura 2-9 es un extracto del software Matheo Analyzer donde se permite categorizar por frecuencia y año los sintagmas asociados a regulación de energía eólica, este software permite el uso de varias herramientas graficas y tabulares de análisis.

Posteriormente, se refina la búsqueda con los sintagmas y palabras clave encontradas. Con el apoyo de Scopus es posible identificar los principales autores, afiliaciones, países y publicaciones científicas dedicadas a la divulgación de investigación científica de determinada temática, para el caso del caso de estudio los siguientes son resultados analizados por la herramienta.

Procesamiento: Para la ecuación de búsqueda creada de la figura 2-5, se obtiene información cienciometrica que una vez ingresada al software optimiza los descriptores tal como es presentado en la figura 2-9.

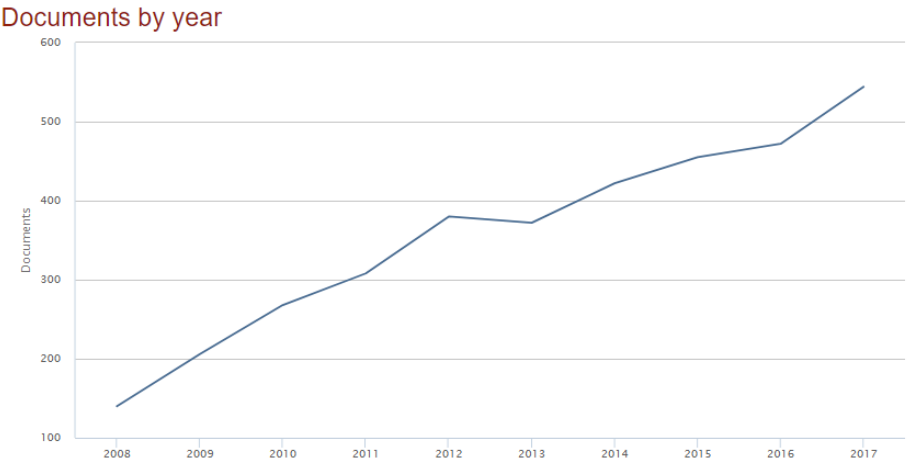
Con una ventana de los últimos diez años los resultados de búsqueda para producción científica de políticas y marco regulatorio para energía eólica, arroja la tendencia mostrada en la figura 2-10, de la cual se infiere la creciente dinámica de publicación del tema.

Figura 2-9 Análisis de sintagmas y palabras clave

	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
Wind power	24	52	54	42	25	33	39	15	17	35	14
Renewable energy resource...	31	72	67	42	19	9	19		2	11	15
Renewable energies	24	44	48	27	25	31	38	14	10	8	
Renewable energy	21	41	44	23	24	20	30	8	11	16	10
Energy policy	13	37	28	21	9	14	17	2	6	12	6
Solar energy	10	24	28	13	16	16	16	12	6	17	6
Renewable energy source	6	27	21	16	10	11	24	4	4	5	
Fossil fuels	9	24	18	4	4	8	11	11	5	6	3
Sustainable development	5	18	17	2	4	8	11	5	5	7	7
Energy resources	9	25	23	7	2	3	7	3		4	5
Wind energy	3	8	18	12	6	5	13	6	6	8	3
climate change	4	15	12	6	7	8	8	8	4	2	5

Fuente: Elaboración propia con Matheo Analyzer

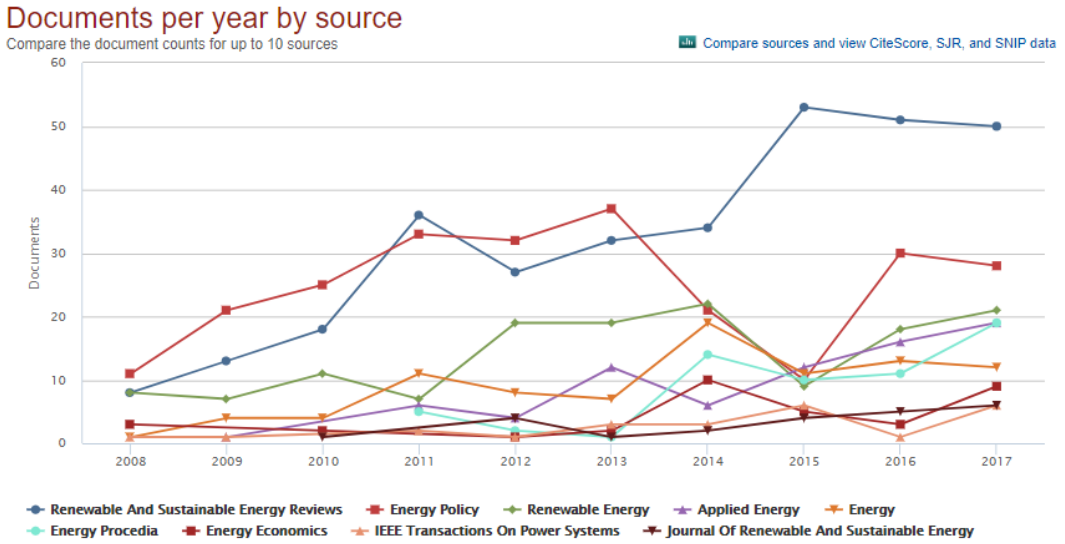
Figura 2-10 Tendencia anual de producción científica



Fuente: Elaboración propia con Scopus

En este mismo sentido la base datos permite identificar las principales publicaciones relacionadas con la temática investigada de la cual se resaltan *Renewable and sustainable energy reviews* y *Energy Policy*, así como el notable crecimiento en la investigación de políticas relacionadas con energía eólica, esto se enseña sintetizado en la figura 2-11.

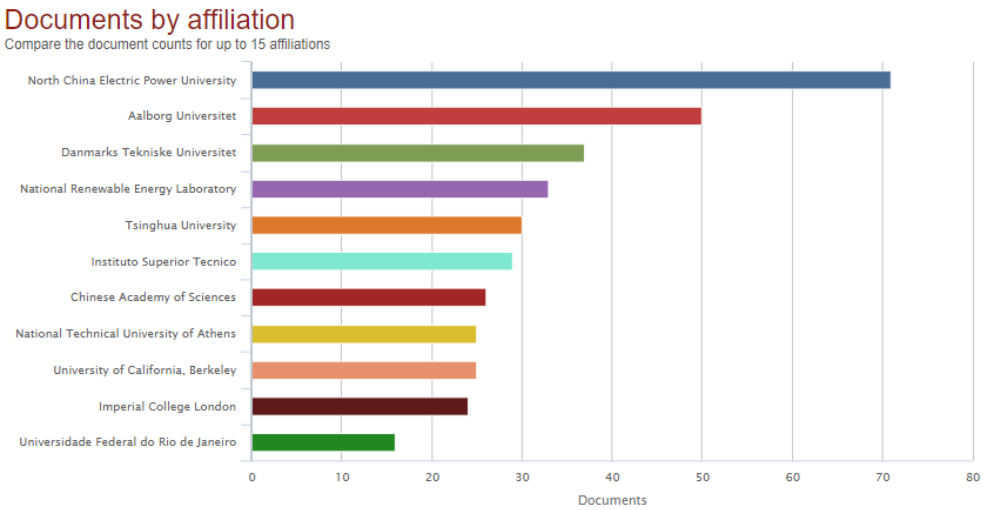
Figura 2-11 Tendencia de producción científica por publicación



Fuente: Elaboración propia con Scopus

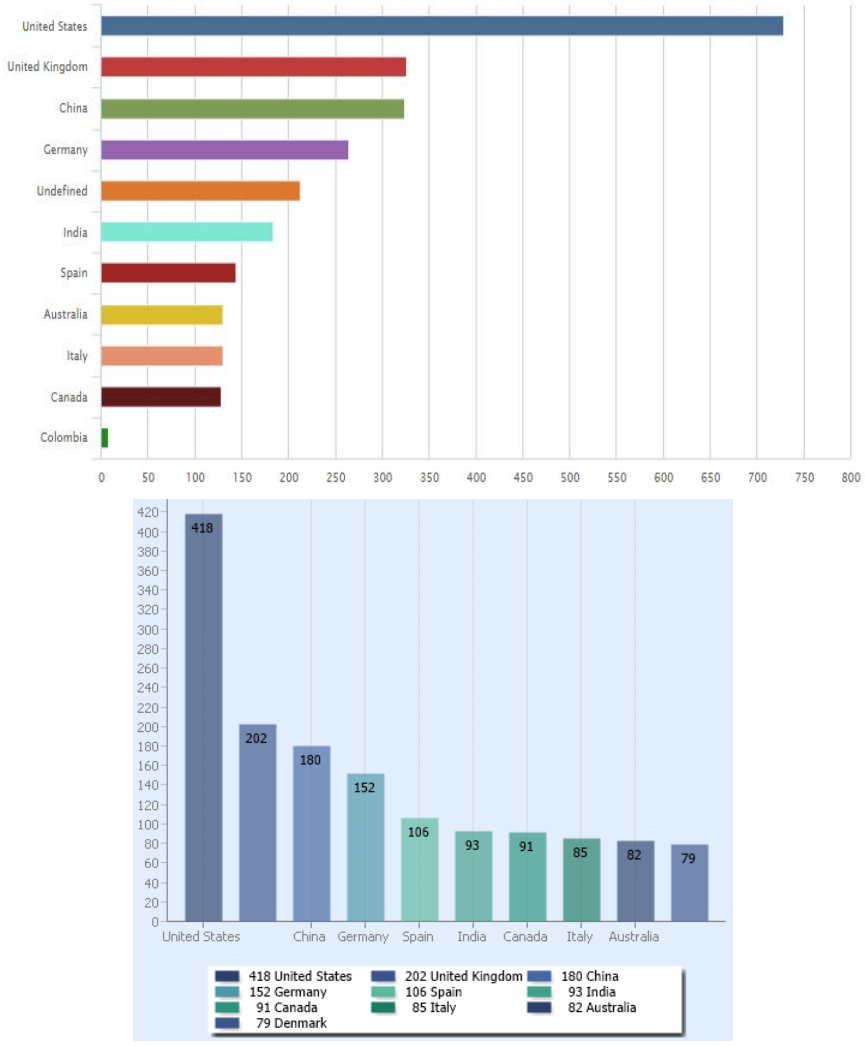
Con la misma ecuación de búsqueda es posible obtener la dinámica de publicaciones por autor, afiliación (Figura 2-12), país y temática. Esta información puede ser exportada a diferentes formatos, planos, hoja de cálculo o a un software de análisis cienciometrico. A continuación se ilustra en la figura 2-13 la información para países seleccionados, donde se encuentra la correspondencia entre la información obtenida directamente de la base de datos y la obtenida a partir del software. Más allá de la fuente, se procesa y analiza la información para hallar tendencias y criterios a incorporar en la realidad nacional.

Figura 2-12 Análisis complementario por base de datos



Fuente: Elaboración propia con Scopus

Figura 2-13 Análisis por país, Scopus y Matheo



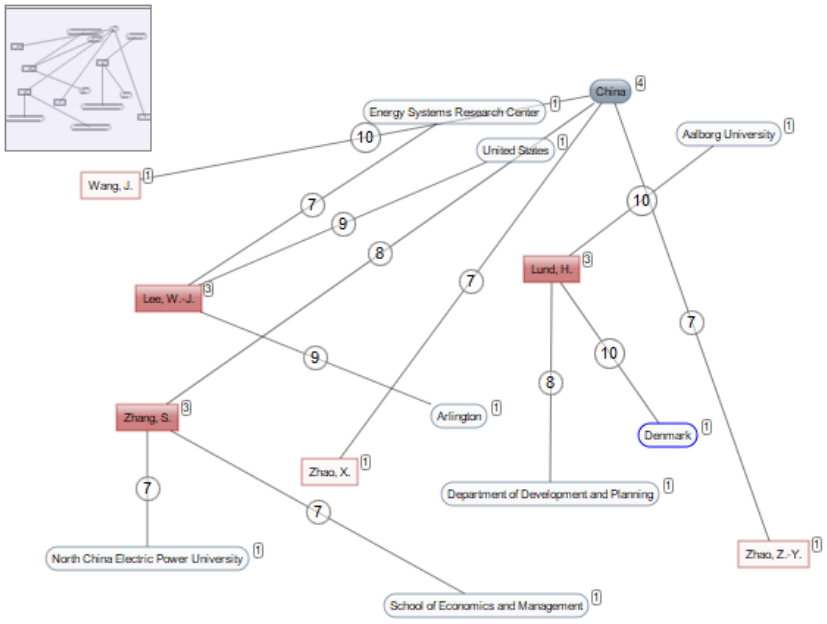
Fuente: Elaboración propia con Scopus y Matheo Analyzer

El software utilizado también permite crear clústeres de afiliaciones, países y autores (Ver figura 2-14) esto cobra particular importancia para identificar entidades y criterios expertos para la definición de políticas, asesoría, formación y demás desarrollo de capacidades para la creación de política.

Para el estudio de caso se identificó un requerimiento recurrente en la necesidad de mitigar la incertidumbre en la operación de sistemas de potencia con la participación de energía eólica. De acuerdo con la información encontrada, la incorporación de fuentes intermitentes obliga a que el mercado cuente con mayor flexibilidad para adecuarse a las predicciones en el costo plazo y las transacciones de rápida operación. Esta flexibilidad

es particularmente significativa en la energía eólica, donde la incertidumbre en la predicción del recurso eólico se reduce del 15% al 4% en las 24 horas anteriores al despacho físico(Borggrefe & Neuhoff, 2011).

Figura 2-14 Ejemplo de Clúster de instituciones y autores de referencia



Fuente: Elaboración propia con Matheo.

Interpretación:

Mercados Intradiarios: El mercado intradiario es una manera efectiva de aproximación del mercado eléctrico a las condiciones reales, y demanda desarrollo e investigación en modelos de predicción para la incertidumbre del recurso eólico. La tabla 2-4 presenta un resumen de los mercados eléctricos europeos que contemplan la operación de los mercados intradiarios.

La introducción de energía renovable intermitente, como la solar y fotovoltaica, complica la operación tradicional de los sistemas de potencia. Cambios repentinos en la operación tradicional del sistema requieren que los operadores del sistema realicen 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), este tipo de mercados ya están en operación en la mayoría de los países europeos como se muestra a continuación en la tabla 2-4

Tabla 2-4. Países Europeos con mercados intradiarios

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 entre Francia y UK

Fuente: Traducción libre de (Borggrefe & Neuhoff, 2011)

El mercado intradiario da la oportunidad a los participantes de negociar y modificar sus horarios de producción posteriormente al día de cierre. Sin embargo, aunque los diseños del mercado están sujetos a significantes variaciones, el despacho puede ser continuo (Alemania, Dinamarca, Francia) o por subastas discretas (España, Italia)(Henriot, 2014), Los mercados intradiarios “son necesarios para la integración eficiente y efectiva en costos de grandes cantidades de energía eólica como para la operación del sistema, previendo liquidez del mercado, reglas armonizadas entre fronteras e interacción entre formas de mercado” (Chaves-Ávila & Fernandes, 2015).

Modelos de Predicción: En Alemania, la reducción de los errores de predicción se redujeron significativamente de 6.1% en 2007 a 5.6% en 2008(Von Roon & Wagner, 2009). Las mejoras futuras en predicción de energía eólica se obtienen basadas en la optimización de los modelos de viento, para el 2020 se espera reducir el error de predicción en Alemania en 41%(Borggrefe & Neuhoff, 2011).

Modelos de predicción de corto plazo: Debido a la naturaleza intermitente y la baja predictibilidad de la energía del viento, su participación en los mercados implica grandes desviaciones en el despacho programado, lo que conlleva a costos que son asumidos por el generador eólico. Por medio de los programas de predicción de energía eólica de corto plazo, estas pérdidas pueden ser reducidas, y, si el mercado lo permite, la posibilidad de incrementar la energía ofertada previamente al mercado intradiario se incrementa el ingreso total de los generadores eólicos en un significante porcentaje(Usaola & Moreno, 2009).

Un modelo de predicción de corto plazo permite entre otras, reducir las pérdidas para generadores eólicos, las cuales típicamente son el 10% del máximo ingreso esperado, facilita la subasta estratégica permitiendo lidiar con la arbitrariedad entre mercados reguladores e intradiarios, y en términos de costo, es una herramienta con precisión para moderar el impacto en las utilidades obtenidos con la oferta estratégica(Usaola & Moreno, 2009).

Algoritmos para oferta de generación eólica: En países como Dinamarca, donde la penetración de la energía eólica es muy significativa en la matriz energética, se genera

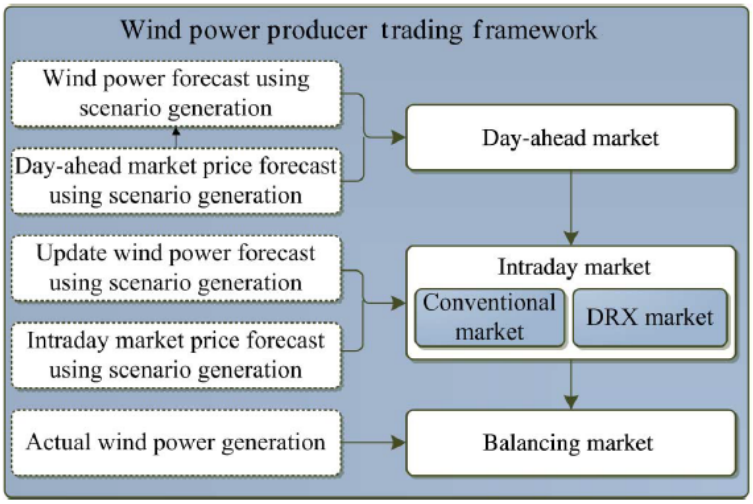
investigación en términos de algoritmos para la venta de energía eólica en un mercado intradiario, continuo pero potencialmente ilíquido. Skajaa et al (2015) proponen un efectivo algoritmo para la venta de energía eólica el cual utiliza como insumo las técnicas existentes de pronostico aplicado a un caso real de un parque generador en el occidente de Dinamarca. Su análisis muestra que aun cuando el valor económico de la venta de energía eólica en un mercado intradiario puede ser bastante significativa (como resultado directo de predictibilidad razonable con precio de equilibrio en horizontes de corto plazo, de hasta seis horas), este valor económico continua sin mayor explotación como consecuencia de la baja liquidez del mercado(Skajaa, Edlund, & Morales, 2015).

Los resultados revelan que cuando la capacidad instalada de un parque eólico crece y consecuentemente la necesidad por energía regulada, el beneficio logrado por la venta de energía en su mercado disminuye rápidamente, lo que implica necesidades de investigación en mecanismos de mercado que incrementen la liquidez de los mercados intradiarios(Skajaa et al., 2015).

Estrategias de oferta con restricción de riesgo: Se ha identificado una oportunidad de investigación y desarrollo, relativa a los modelos de decisión para los generadores eólicos que participan en mercado competitivos de energía. Un modelo de referencia identificado incorpora tres pisos de operaciones, 1) día anterior. 2). Mercado intradiario y 3) Mercado regulado, a partir de un exhaustivo método estocástico que permite a los participantes del mercado intradiario reaccionar con la última información disponible (por ejemplo, modelo de pronostico más precisos). (Heydarian-Forushani, Moghaddam, Sheikh-El-Eslami, Shafie-Khah, & Catalão, 2014), el modelo esquemático de los pisos de operación se presenta en la figura 2-15.

Este modelo crea una plataforma que permite integrar la respuesta resultante del intercambio entre la demanda y la oferta, que le permite contribuir a la mejora del mercado intradiario tanto para el productor de energía como para la flexibilidad del sistema. Se considera un enfoque basado en escenarios e incorpora adicionalmente una apropiada medición del riesgo, cuyo resultado es la mejora del beneficio del generador y la reducción de los riesgos relativos(Heydarian-Forushani et al., 2014).

Figura 2-15 Modelo esquemático de los pisos de operación mercado intradiario



Fuente: (Heydarian-Forushani et al., 2014).

Reservas operativas a partir de pronósticos probabilísticos del viento: Otro aspecto que implica investigación previa ante la inminencia de la incursión de la energía eólica, es la fijación de los niveles de reserva operativa, y constituye una de las principales preocupaciones de los operadores del sistema. Existen herramientas que buscan apoyar a los operadores en la definición de las necesidades de reserva operativa en mercado que operan tanto en programación diario como intradiario(Matos & Bessa, 2011).

El modelo presentado en la figura 2-16, facilita las decisiones estratégicas, con niveles aceptables de riesgo, hallando puntos comunes entre la remuneración económica y las pérdidas de carga y ha sido simulado en el sistema de potencia portugués donde se demuestra la eficiencia de la llamada herramienta para gestión de la reserva RMT.

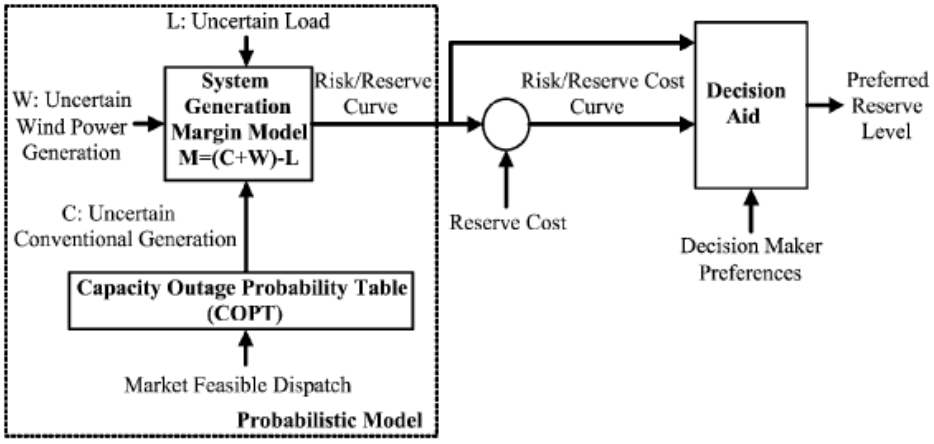
Herramientas de pronóstico: La tabla 2-5 presenta el trabajo de (Foley, Leahy, Marvuglia, & McKeogh, 2012), donde identifica los modelos más utilizados para de medición y pronostico del recurso eólico. Este trabajo de (Foley et al., 2012) se complementa con los principales objetivos nacionales de la predicción numérica del clima (NWP, por sus siglas en ingles) y presenta las tendencias en actividades de investigación y avances futuros, entre ellas el proyecto de la unión europea “Safewind” orientado a la predicción de generación bajo diferentes temporadas climáticas y escalas espaciales, modelos gaussianos estocásticos para la utilización de reservas, entre otros(Foley et al., 2012).

Tabla 2-5. Principales modelos de pronóstico y predicción para generación eólica

Nombre del Modelo	Desarrollador	Método	Algunas aplicaciones Geográficas
Prediktor	L. Landberg at Risø, Dinamarca	Físico	España, Dinamarca, Irlanda, Irlanda del Norte, Francia, Alemania, USA, Escocia y Japón
WPPT	Eltra/Elsam en colaboración con el Informatics and Mathematical Modelingat Danmarks Tekniske Universitet (DTU),Dinamarca	Estadístico	Dinamarca, Australia, Canadá, Irlanda, Países Bajos, Suecia, Grecia e Irlanda del Norte
Zephyr	Risø & IMM ay DTU, Dinamarca	Hibrido	Dinamarca y Australia
Previento	Oldenburg University	Hibrido	Alemania e Irlanda del Norte
e-Wind™	True Wind Inc., USA	Hibrido	USA
Sipreólico	University Carlos III, Madrid y Red Eléctrica de España	Estadístico	España
WPMS	Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET), Alemania	Hibrido	Alemania
WEPROG	J. Jørgensen & C. Möhrlen at University College Cork	Estadístico	Irlanda, Dinamarca y Alemania
GH Forecaster	Garrad Hassan	Estadístico	Grecia, Reino Unido y USA
AWPPS	École des Mines, Paris	Estadístico	Creta, Isla de Madeira, Islas Azores e Irlanda
LocalPred & RegioPred	Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) y Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España (CIEMET)	Hibrido	España e Irlanda
Alea Wind	Aleasoft at the Universitat Polytécnica de Catalunya, España(UPC)	Estadístico	España
SOWIE	Eurowind GmbH, Germany	Físico	Alemania, Austria y Suiza
EPREV	Instituto de Engenharia de sistemas e Computadores do Porto (INESC), Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI) y Centro de Estudos de Energia Eólica e Escoamentos Atmosféricos (CEsA) en Portugal	Estadístico	Portugal
Scirocco	Aeolis Forecasting Services, Países Bajos	Hibrido	Países Bajos, Alemania y España

Fuente: (Foley et al., 2012)

Figura 2-16 Herramienta para gestión de la reserva RMT(Matos & Bessa, 2011).



Fuente: (Matos & Bessa, 2011).

De igual forma también se plantean discusiones asociadas a generación eólica costa fuera, que incluyen(Foley et al., 2012):

- Los modelos actuales de predicción y pronóstico están diseñadores para entornos costa adentro y aun tiene errores.
- La evaluación del recurso es difícil debido a las diferentes condiciones, el recurso costa afuera es vasto, plano y suave, por ende, los frentes de viento son más extremos que en tierra. Así los efectos térmicos amplifican los efectos de la masa de viento.
- La pobre disponibilidad de información meteorológica para validar los NWP para parques de generación eólica costa fuera.

Concluyen los autores, que la investigación; el desarrollo y la actividad en la previsión de la energía eólica son áreas muy activas y están generando resultados para los generadores, los operadores de sistemas de potencia y los operadores del mercado. La rápida expansión de la capacidad de generación eólica en los últimos 15 años ha creado una demanda de avances en las técnicas de pronóstico del viento(Foley et al., 2012).

Avances locales: La CREG ha previsto en su agenda regulatoria para 2018 la emisión de proyectos de resolución y discusión pública de los mercados intradiarios, para este efecto emitió en Febrero de 2016 el documento CREG 004B, un estudio sobre despacho

vinculante donde se concluye como el mercado intradiario es una instancia para que los agentes cambien de posición respecto a los pactado en el despacho vinculante ante cambios inesperados, se resalta su aporte la flexibilidad del sistema buscando la operación de los recurso más económicos y optimiza el tiempo real(Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2016b).

Este estudio concluye sobre la necesidad de acudir a un panel de expertos internacionales para la modificación del diseño del mercado, en marzo de 2018, la comisión emitió los términos de referencia para la contratación de un estudio sobre la modernización del despacho y el mercado Spot de energía eléctrica – despacho vinculante y mercado intradiarios(Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2018a), aun cuando expertos han concluido para CREG que la recomendación general es no hacer nada al respecto, y en su defecto definir cantidades pequeñas de incorporación de FNCER para el corto plazo, y favorecer los mercados competitivos sobre los incentivados(de Castro, 2016).

A nivel académico, también existen propuestas formuladas para la implementación de mercado intradiarios, que sugieren la implementación de mercados intradiarios de hasta tres subastas diarias, subasta de dos puntas y precios marginales, con compromisos vinculantes, balance en tiempo real a precios predefinidos, entre otros(Jaramillo Arenas, 2017).

Como parte de esta propuesta de implementación, se recomienda a su vez, independizar el servicio de control automático de generación del mercado de energía pura, creación de mercados de regulación terciaria, energía reactivo y arranque en negro, migrar a un esquema de despacho y liquidación por zonas, y entre otras se resalta, la formalización de un equipo de monitoreo al mercado, analizando el comportamiento estratégico de los agentes entre el mercado diario, intradiario y viabilidad de las ofertas virtuales(Jaramillo Arenas, 2017).

En términos de pronostico y predictibilidad, la autoridad nacional en la materia ha indicado la importancia de mantener el control de calidad en los procesos de evaluación, captura y procesamiento de la información para el recurso eólico, establecer una política

de gestión de la información meteorológica con fines energéticos y hacer participes a los ámbitos universitario e investigativo en la adquisición de conocimiento del modelamiento del viento para adoptar mejoras al atlas de viento que dispone la entidad(IDEAM, 2006).

Comunicación: *Resumen ejecutivo*

En función de los factores claves de vigilancia relacionados con la participación de las fuentes renovables no convencionales de energía eléctrica en la matriz de energía eléctrica de Colombia, principalmente de aquellas de alta intermitencia, a continuación se presentan los resultados para las oportunidades de investigación y desarrollo para aportar en la construcción de la política y del marco regulatorio, como elementos clave en el éxito de la transición energética.

La efectividad de las políticas energéticas para energías renovables alcanza un alto nivel de madurez en China, Alemania, Dinamarca, Estados Unidos, España, entre otros, los cuales se consideran 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.**

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 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.

Existe gran potencial para el sector en el desarrollo de modelos y algoritmos para facilitar el despacho de corto plazo, incluyendo el desarrollo de capacidades humanas y técnicas para la obtención, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de información que favorezcan la optimización del control de generación de grandes parques eólicos, al procesar en tiempo real las condiciones de viento, optimizando la operación del sistema a condiciones más cercanas a la disponibilidad del recurso.

Los modelos de pronóstico y predicción de las condiciones climáticas, constituyen un gran aporte a la operación en países de referencia con mercados intradiarios, en este ejercicio de VTeIC se listan países, instituciones y modelos tecnológicos de predicción y pronostico, tanto físico como estadístico que constituyen un punto de partida para el desarrollo de capacidades nacionales de investigación y desarrollo

3. Indicadores de políticas energéticas y desarrollo tecnológico.

Tal como se indicó en el capítulo 1 del documento, el desempeño de la política para un determinado mercado puede ser evaluado como función de su impacto en distintos parámetros, entre ellos, la capacidad instalada, la producción de energía, la reducción de costos y precios, el aprendizaje tecnológico, y la aceptación pública(Sawin, 2004).

La (IEA, 2011) plantea los diferentes indicadores que facilitan la identificación del cubrimiento tecnológico y regional para los países de la organización para cooperación y desarrollo económico, en adelante OCDE, y los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica), debido a que este conjunto de países reúne la mayor experiencia en desarrollo de política y representan los mercados más amplios para las tecnologías renovables(IEA, 2011).

Colombia orienta gran esfuerzo institucional para hacer parte de la OCDE(Presidencia de la República, s/f), y para lo cual, los estudios para ingreso a la organización en materia de innovación(OECD, 2014b), desempeño medio ambiental(OECD, 2014a) y marco regulatorio para inversión(OECD, 2012b) han hecho hincapié en el fortalecimiento de la política pública para cumplir los requisitos de ingreso, lo que supone implícitamente la estandarización de la información con respecto a los actuales miembros.

Esta información se procesa con indicadores, herramientas que permiten caracterizar el funcionamiento de una política energética desde la perspectiva de impacto y costo. La utilización de un indicador u otro es función directa de la experiencia del regulador, como medida del diseño del mercado, escala de los proyectos e inversión esperada y la tecnología y su desarrollo global(IEA, 2011).

Colombia, por ende, en la línea de cumplir con objetivos internacionales de compromiso con el cambio climático, a nivel económico para ingreso a la OECD y a nivel nacional para asegurar el abastecimiento energético, requiere de la creación de mecanismos de información orientados a la medición de la efectividad de las medidas adoptadas para el cumplimiento de sus objetivos. En el caso particular de la generación distribuida y la autogeneración, a la fecha está en curso la contratación del estudio para el diseño de indicadores(Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2018b).

3.1 Indicadores de política

Los indicadores que la IEA ha fijado para la medición de impacto de las políticas renovables, fueron presentados en 2008(IEA, 2008) y actualizados en 2011(IEA, 2011), los cuales se describen brevemente a continuación.

- ***Indicador de impacto de política (PII)***

Este indicador evalúa el progreso hacia las metas definidas y proporciona una medida del impacto de las políticas en la estimulación del crecimiento de las energías renovables, mediante una medida porcentual entre la disminución de la brecha en el año 2005 y la meta definida para el escenario WEO2030, considerando el trasfondo especifico del país, la optimización del costo y las restricciones de carbón(IEA, 2011).

Indicador de impacto de política (%) de distancia la objetivo PII

$$PII_n^i = \frac{G_n^i - G_{n-1}^i}{WEO_{2030}^i = G_{2005}^i}$$

Donde el numerador representa la capacidad adicional instalada de generación en un determinado año y el denominador la capacidad remanente para cumplir con el objetivo, en el contexto colombiano, se tiene la dificultad para realizar esta medición debido a que no se ha fijado un valor objetivo de instalación de capacidad a través de FNCER y mucho menos alineado con los escenarios WEO de la IEA, lo que impide computar el indicador.

- ***Indicador de suficiencia de la remuneración***

Los mecanismos e incentivos diseñados para las FNCER deben tanto crear un ambiente de confianza para el inversionista como evitar la pérdida del beneficio por incentivos que excedan los requerimientos. El indicador de suficiencia de la remuneración permite establecer una comparación justa entre los niveles de remuneración de distintos países, considerando factores tales como el tiempo de remuneración de los incentivos, la disponibilidad del recurso e interacción entre los incentivos y el sistema de precios, en definitivo entrega la remuneración total por la inversión en FNCER(IEA, 2011).

- ***Indicador de costo total***

Este indicador permite determinar el costo total de las políticas promotoras de FNCER entre países, especificado por la cantidad de primas adicionales pagadas por generación producida en un determinado año. Estas primas o tarifas Premium se expresan como un porcentaje del valor total de la electricidad generada(IEA, 2011).

La (IEA, 2011) por ende, con la recopilación de indicadores determina el éxito de las política con mediciones homogéneas, la tabla 3-1 es un extracto de la IEA y presenta a los países lideres

Tabla 3-1. Indicadores para renovables en países líderes

País	PII	RAI (USD/MW por Año)		Remuneración promedio (USD/MW)	
	%	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo
Dinamarca	14,5%	157.691	170.835	74,55	76,92
Portugal	7,6%	217.506	229.720	96,02	96,58
Nueva Zelanda	7,3%	169.801	178.291	47,34	47,34
Italia	6,9%	331.627	348.208	204,01	204,01
España	5,8%	202.981	213.130	94,79	94,79
Hungría	5,6%	251.147	263.705	125,03	125,03
Alemania	5,6%	166.615	223.093	100,23	127,81
Suecia	5,4%	195.399	205.169	86,87	86,87
Estados Unidos	5,0%	203.573	224.389	79,43	83,38
Corea del Sur	4,7%	179.719	188.705	83,39	83,39
Reino Unido	4,5%	305.229	320.491	145,16	128,02

Fuente: Extracto de la tabla 4.4 de (IEA, 2011).

3.2 Indicadores tecnológicos

Tal como se trató en el apartado 2.3 del documento, la medición de la dinámica de patentes refleja el comportamiento de la evolución y el desarrollo tecnológico en un área específica, acorde con la Organización mundial de la propiedad intelectual, la tabla 3-2 resumen el tipo de información que se obtiene de las patentes y donde se resalta la importancia que tiene para la definición de política pública.

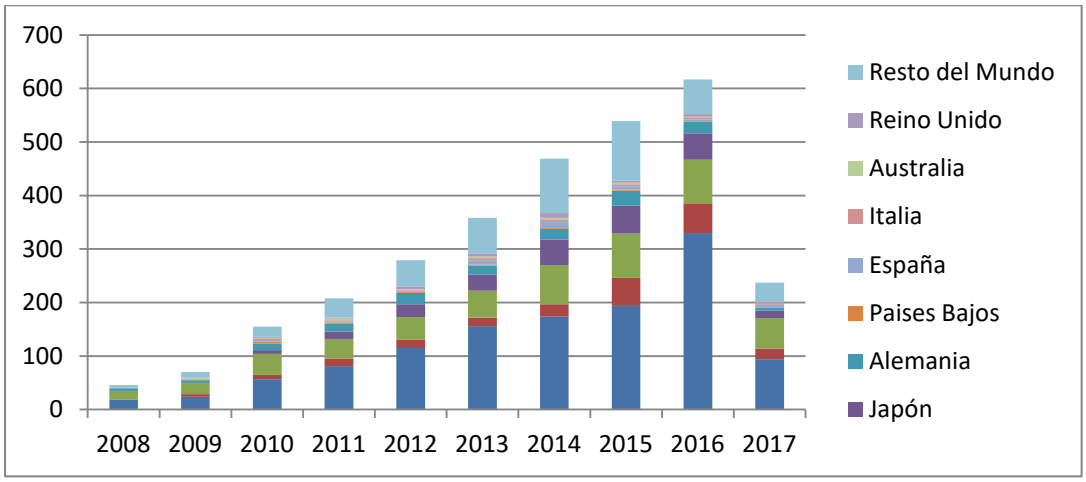
Tabla 3-2. Información obtenida de patentes

Tipo de Información	Descripción
Técnica	Procedente de la descripción y los dibujos de la invención
Jurídica	Procedente de las reivindicaciones de la patente en las que se define su alcance y su condición jurídica o su vigencia en determinados países;
Comercial	que se obtiene a partir de los datos correspondientes al inventor, a la fecha de presentación, al país de origen, etc.;
Pertinente para las políticas publicas	**Información pertinente para las políticas públicas que emana del análisis de la evolución registrada en la presentación de solicitudes de patente y que puede ser utilizada por los formuladores de políticas, por ejemplo, en las estrategias de política industrial nacional.**

Fuente: Elaborado a partir de (OMPI: Organización mundial de la propiedad intelectual, 2013)

Entonces, en función de la relevancia de las patentes y partir de esta información de la tabla 2-4, se ejecutó una búsqueda del comportamiento de patentes en los últimos años, para energía solar (fotovoltaica no hibrida) y energía eólica, con el apoyo del software Matheo Patent, el cual a través de la exploración de las bases de datos de las oficinas de patentes de mayor relevancia, descarga, categoriza y analiza la información de producción tecnológica. Los resultados de estas búsquedas se presentan en la figuras 3-1 y 3-2.

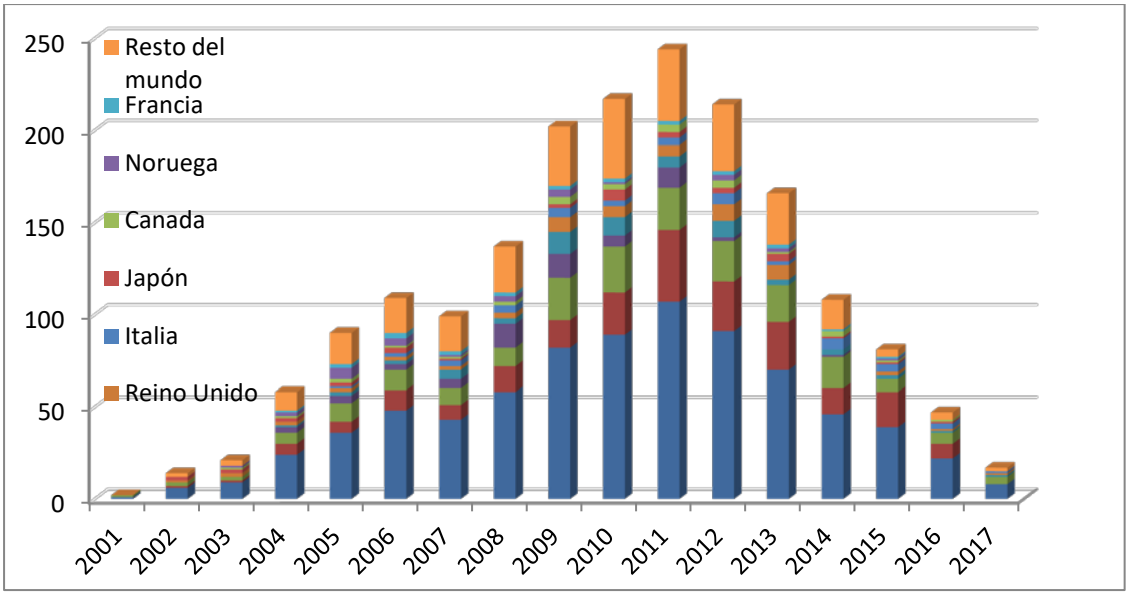
Figura 3-1 Resultados de patentes para tecnología solar fotovoltaica.



Fuente: Elaboración propia con apoyo de Scopus y Matheo Patent

Para este primer caso, se evidencia que el registro de patentes asociadas a la producción de tecnología para energía solar fotovoltaica tiene una tendencia creciente en los últimos diez años, impulsada claramente por los países que a su vez, registran mayor grado de penetración de energía renovable que atienden la demanda energética del país, (Como evidenciado en el capítulo 1) y que corresponde con algunas de las economías donde los éxitos de las políticas es mayor (Acorde con la tabla 3-1).

Figura 3-2 Resultados de patentes para tecnología eólica

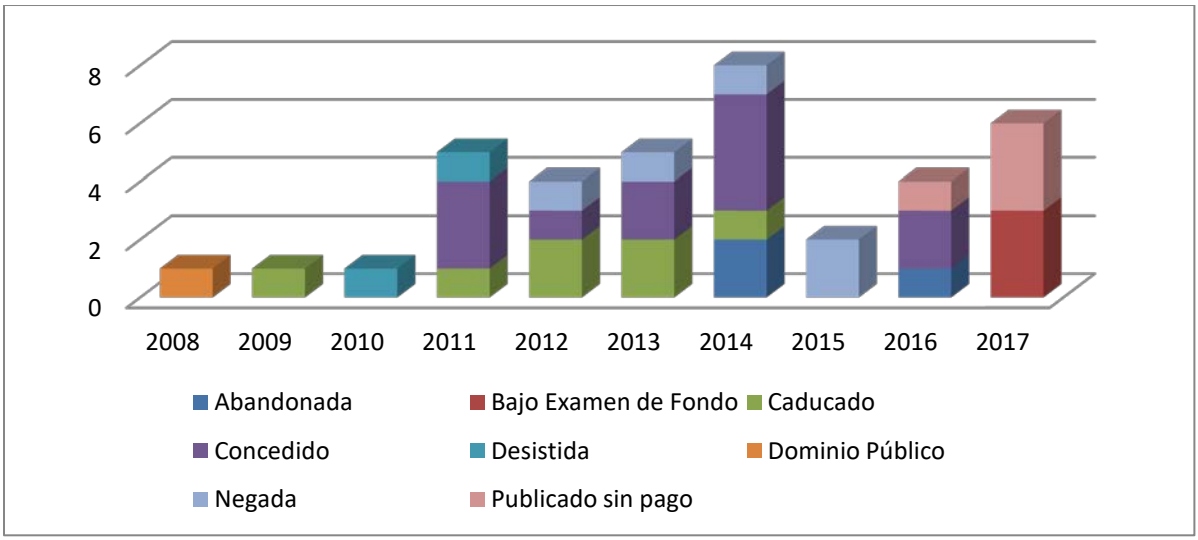


Fuente: Elaboración propia con apoyo de Scopus y Matheo Patent

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. Para las tecnologías eólicas, también es importante precisar que dado que esta ópera principalmente por principios mecánicos, su estado de evolución puede considerarse maduro, y el desafío tecnológico actual radica en aumentar las dimensiones, y mejorar la eficiencia y confiabilidad de las turbinas (Instituto Tecnológico de Massachusetts, 2017).

En Colombia, y tomando como referente al estudio de caso desarrollado en el capitulo anterior, a continuación se presenta la figura 3-3 con los resultados de patentes asociados a turbinas eólicas para la producción de energía eléctrica.

Figura 3-3 Patentes registradas en Colombia para turbinas eólicas para la producción de energía eléctrica.



Fuente: Elaboración propia con información de la Superintendencia de Industria y Comercio.

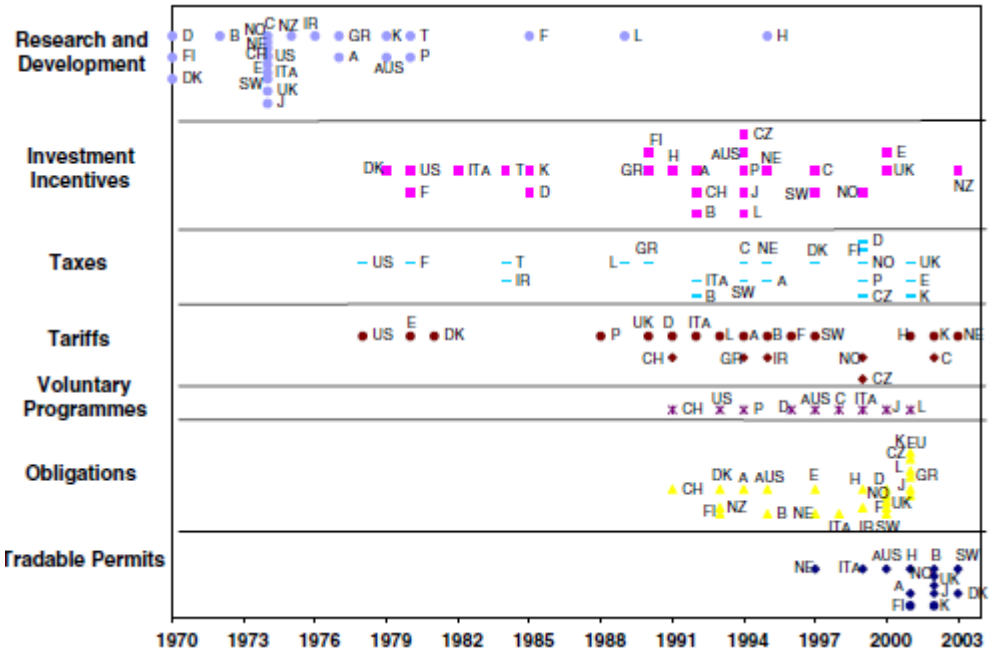
De la gráfica anterior se infiere que en Colombia en la última década inició la actividad patente y ha presentado una tendencia creciente aunque de poco volumen de registro ante las autoridades de protección industrial de la tecnología eólica, el desafío esta en promover las capacidades nacionales tanto en academia como en industria en I+D+i, entendiendo la tecnología desarrollada localmente como un incentivo económico sustancial en el éxito de las renovables integradas a la matriz energética.

Un dato importante que también se extrae de la información consultada, es que uno de los principales inversionistas en energía eólica (Enel Green Power, del mismo grupo empresarial de la principal Generadora del país, y de Codensa, operador y comercializador de red eléctrica de Bogotá) registra el 17% de la patentes concedidas en Colombia para generación eólica, esto denota una particularidad en los actores de peso en el nuevo modelo de mercado y la dificultad para integrar pequeños y nuevos actores.

3.3 Modelo correlativo entre Política e innovación para energías renovables

De acuerdo con investigaciones del inicio de la década se estableció el efecto correlativo entre las políticas ambientales y la innovación tecnológica en décadas recientes para las energías renovables. Donde se realizó un análisis con una amplia ventana de tiempo (1970 a 2003) que permitió identificar que el desarrollo patente dinamiza y soporta la construcción de política pública (Johnstone et al., 2010), como se ilustra en la figura 3-4.

Figura 3-4 Línea del tiempo de introducción de políticas para energías renovables.

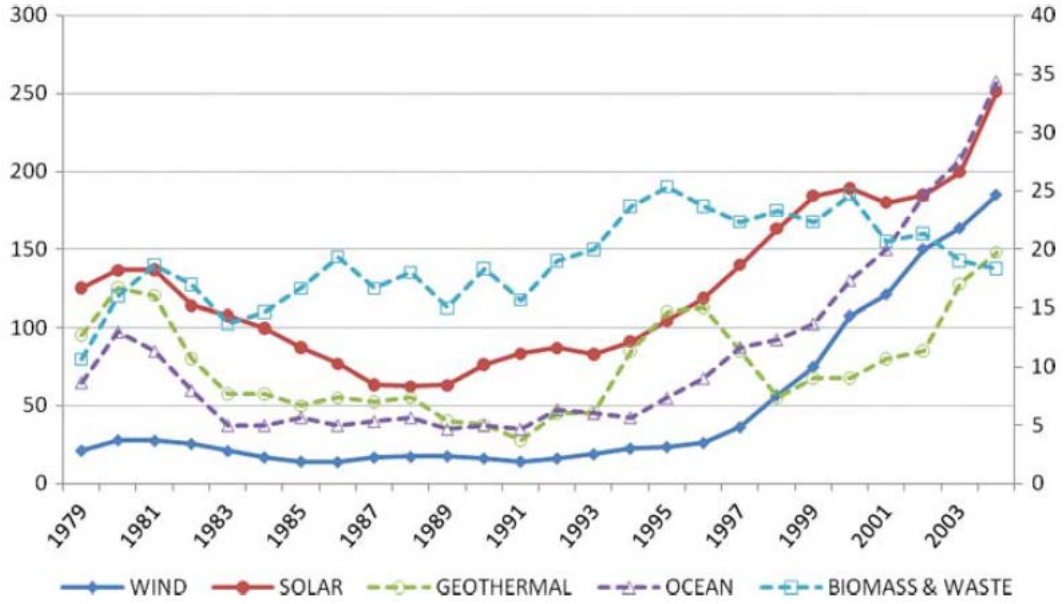


Fuente: (Johnstone et al., 2010)

La investigación concluye que los cambios significativos ocurrieron con los marcos regulatorios para apoyar el desarrollo de las renovables, iniciando por la introducción de

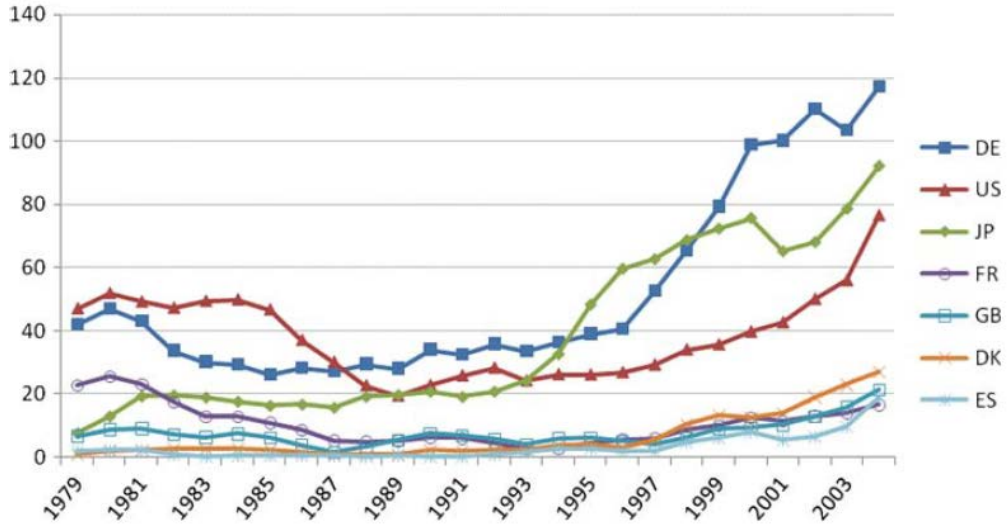
programas de I+D en varios países, para luego seguir con los incentivos de inversión, tributación y las tarifas preferenciales, finalizando en los programas voluntarios, obligaciones de cantidad y venta de certificados(Johnstone et al., 2010), el desarrollo de la actividad patente es ilustrado por los autores como función de la tecnología (Figura 3-5) y el país que la registra (Figura 3-6)

Figura 3-5 Línea del tiempo de producción patente por tipo de energía renovable.



Fuente: (Johnstone et al., 2010)

Figura 3-6 Línea del tiempo de producción patente por país líder.



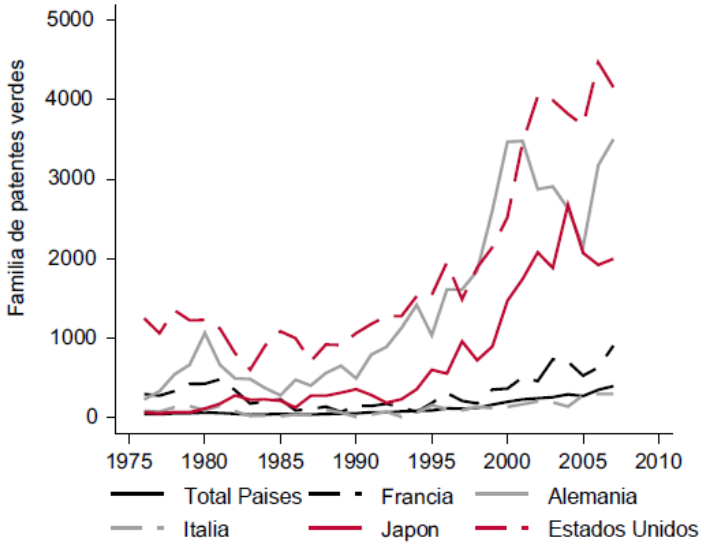
Fuente: (Johnstone et al., 2010)

Este estudio ha sido repetido para años más recientes por (Nesta, Vona, & Nicolli, 2014), y comparado por 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) con 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, dicha situación se ilustra en las figuras 3-7 y 3-8.

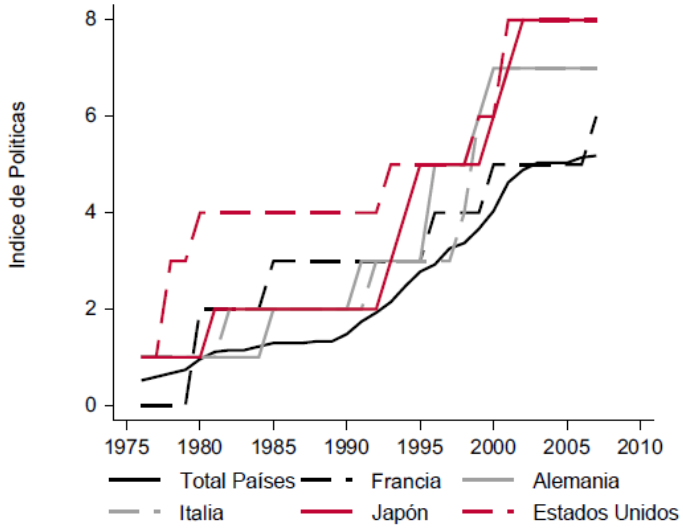
Esta evidencia descriptiva sugiere que el momento de la adopción de políticas y de la liberalización es importante para el establecimiento de ventajas tecnológicas, se asimila como una ventaja de primer jugador al momento de la adopción de políticas. A modo de ejemplo, los países anglosajones y escandinavos que superan a la mayoría de los países 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 de la OCDE(Nesta et al., 2014).

Figura 3-7 Crecimiento en países de referencia de las familias de patentes verdes



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

Figura 3-8 Crecimiento del índice de políticas en países de referencia



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

El estudio de (Nesta et al, 2014) concluye que el grado éxito en la innovación de energías renovables depende en gran medida de la complementariedad de las características regulatorias y corrobora la hipótesis de la complementariedad entre las políticas ambientales y los mercados competitivos.

Es por ello que dentro de la metodología propuesta en el capitulo 2, se incluye la recolección de cifras del sector eléctrico colombiano para la construcción de una línea base e indicadores de la promoción de las energías renovables aunado a la vigilancia sobre los registro de patentes, esta información debe complementar los informes para entes reguladores y emisores de política pública, fundamentalmente por que la investigación, desarrollo e innovación tecnológica es una impulsor natural y probado de un mercado maduro en energías renovables soportado en un marco regulatorio robusto, adaptativo y evolutivo como función de la transición tecnológica.

4. Análisis de entorno

El entorno es lo que le proporciona a las organizaciones sus medios de supervivencia, mantener un entendimiento y vigilancia del mismo permanentemente, facilita la identificación de los agentes de cambio, la construcción de escenarios futuros y las estrategias a considerar para que la organización opere dentro de un entorno que puede cambiar de muchas formas(Johnson et al., 2007).

Un análisis de entorno proporciona una identificación de las influencias del posible éxito o fracaso de estrategias particulares, con enfoques de carácter político, económico, social, tecnológico, ambiental y legal. Para los tomadores de decisión, es importante analizar cómo estos factores están cambiando ahora y como cambiaran en el fututo, identificando las implicaciones para una organización(Johnson et al., 2007).

Más allá de crear una multitud de detalles, es necesario identificar los factores clave y de alto impacto para el éxito de la estrategia, los cuales varían de un sector a otro. Para el caso de la estrategia colombiana en la integración de las FNCER a la matriz energética, los siguientes comprenden los aspectos claves del análisis del entorno.

4.1 Aspecto Político

La implantación y desarrollo de tecnologías sostenibles, y una sociedad libre de combustibles fósiles es solo una cuestión de política(Mosquera, 2014). Esta afirmación se corrobora sobre la base de la IEA que indica que las acciones políticas son clave en el cumplimiento de las perspectivas planteadas en sus escenarios energéticos(IEA, 2017b).

La definición de estrategias y programas nacionales de energía sostenible, además de la construcción de un mercado basado en energías renovables, debe acompañarse de atracción para inversionistas, distribución de riesgo, pero a su vez de factores de gobernanza, entre ellos el control de la corrupción y el grado de competencia política (Vagliasindi, 2012).

La estrategia nacional para la adopción de la política energética, deja a cargo del estado a través de las entidades de orden nacional, departamental y municipal el aseguramiento del impulso a la eficiencia energética y la integración de las FNCER a la canasta energética(Congreso de Colombia, 2014), como se analizó en el primer apartado, la reglamentación de la ley 1715 de 2014 ya está en curso, y acorde con la etapas de crecimiento de la penetración de las renovables, corresponde a la etapa de incepción, con el benchmarking de las políticas internacionales y en la definición de los mecanismo de mercado.

En el aspecto político por tanto, las decisiones macro han sido tomadas y han definido las condiciones para que las partes interesadas desarrollen los instrumentos de aplicabilidad para la estratégica energética de la nación y el cumplimiento de las obligaciones adquiridas con la firma de acuerdos internacionales. Por tanto es en los niveles medios de decisión donde está el potencial para la aparición de los cuellos de botella.

El informe de (Gutierrez, 2013) para transparencia internacional indica que Colombia enfrenta desafíos estructurales en términos de corrupción, por la colusión de sectores públicos y privados, clientelismo y captura de políticas por el crimen organizado, así como falta de control del estado y débil presencia en zonas remotas del país (Gutiérrez, 2013).

El panorama de la política en Colombia implica una lucha directa contra la corrupción y particularmente en el sector de la infraestructura, donde los niveles de inversión y variedad de actores incrementan el factor de riesgo, en el sentido de la gran cantidad de instituciones, empresas, ciudadanos y demás partes interesadas en la ejecución y conclusión de los proyectos.

De acuerdo con Transparencia Internacional, Colombia ocupa el puesto 96 entre las 180 naciones listadas en el índice de percepción de la corrupción (Transparency International, 2017). El estado colombiano ha adoptado compromisos internacionales para reducir los niveles de corrupción, cuyas exigencias son fijadas por organismos multilaterales como la convención de la OCDE contra la corrupción(OECD, 2012a), la convención interamericana contra la corrupción (MESICIC, 2017) y la iniciativa de transparencia de las industrias extractivas(EITI, 2013).

Sin embargo el panorama aun no presenta signos de mejora e incluso como consecuencia indirecta de los acuerdos de paz, la corrupción ha pasado a figurar en la escena nacional, pasada por alto a causa de décadas de guerra (Segura García, 2018). Estos niveles de riesgo de corrupción se reflejan en los informes de Transparencia Nacional, cuyos resultados clasifican el riesgo de corrupción por institución.

A continuación en la tabla 4-1 se presenta el índice de transparencia nacional (ITN) que involucra tres factores para su cálculo: Visibilidad, Institucionalidad y Control y sanción como función del riesgo, específicamen se listan las entidades relacionadas con los proyectos FNCER

Tabla 4-1. Riesgo de corrupción en las entidades públicas de Colombia en 2016.

Ranking	Entidad	ITN	Nivel de riesgo de corrupción
21	Ministerio de Hacienda y Crédito público	73,85	Medio
26	Departamento administrativo de Ciencia, Tecnología e innovación, Colciencias	71,84	Medio
31	Unidad administrativa especial dirección de impuestos y aduanas nacionales - DIAN	69,20	Medio
33	Agencia Nacional de Hidrocarburos	69,01	Medio
37	Ministerio de Minas y Energía	68,10	Medio
45	Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas - IPSE	66,55	Medio
47	Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible	66,02	Medio
65	Agencia Nacional de contratación pública	58,84	Alto
70	Agencian Nacional de Minería	56,75	Alto

Fuente: (Corporación Transparencia por Colombia, 2017)

Del estudio presentado en la tabla 4-1 es importante resaltar que no se encontraban listadas la agencia nacional de licencias ambientales, las corporaciones autónomas regionales ni la comisión de regulación de energía y gas, no con esto indicando que sean o no entidades de riesgo, sino denotando la importancia de conocer el nivel de riesgo al ser partes interesadas en la regulación y aprobación de proyectos remunerados a un largo horizonte de tiempo y que compromete la seguridad energética de la nación.

Como factor de éxito para la política el riesgo de corrupción en las entidades involucradas en la creación de política pública se suma a la necesidad de fijación de objetivos cuantificables y alcanzables de participación de las energías renovables en la matriz energética y a la necesidad de acelerar la capacidad de respuesta de los entes de control y regulación.

4.2 Aspecto Económico

De acuerdo con información del DANE, el crecimiento de la economía en el 2017 fue de 1.8% siendo el subsector de suministro de energía, gas y agua, inferior al promedio en ubicándose en 1.1%(Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018c). Aunque por debajo del promedio en el último periodo, las actividades asociadas a los servicios públicos contribuyen a la economía local, particularmente se destaca el potencial para incrementar el indicador si se tiene en cuenta que la incursión de las FNCER mitiga la dependencia local de la renta extractiva.

Con respecto a esta industria, tanto hidrocarburos o la minería, se resalta del mismo reporte una variación negativa en el PIB de -3.6%(Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018c), cifras que contrastan con épocas de bonanza donde la economía impulsada por la industria extractiva, la minería y el carbón representaron 7.3 Billones de Dólares en 2009 con una representación del 24.8% de las exportaciones(Gutiérrez, 2013).

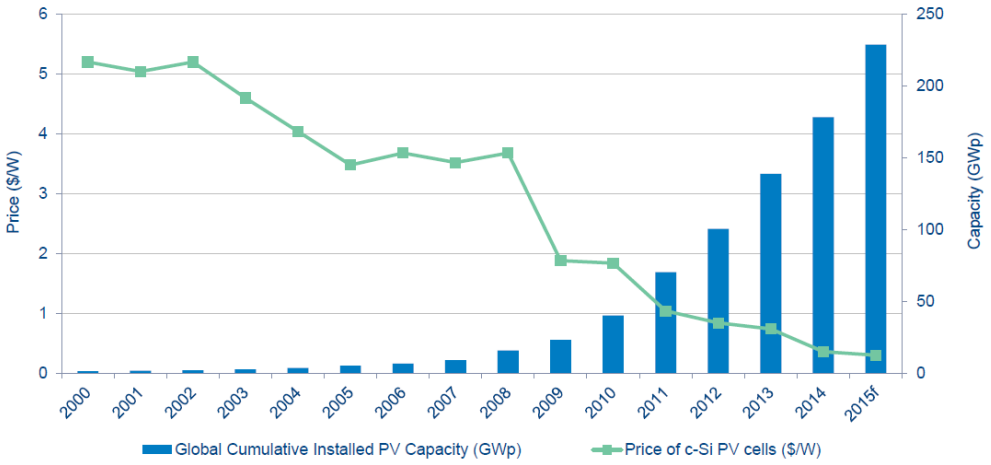
Por tanto la diversificación de la economía y la producción con valor agregado, es necesaria para impulsar el crecimiento y mitigar dependencia de sectores volátiles, la

economía colombiana ya muestra señales de mejor comportamiento, acorde con el DANE, entre enero y febrero de 2018 el Índice de Producción Industrial registró una variación de 0,3% lo cual aunque bajo es positivo si se compara con el mismo periodo de año inmediatamente anterior, siendo los sectores de Suministro de electricidad y gas, y Captación, tratamiento y distribución de agua presentaron las mayores variaciones(Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018c).

La inclusión en la matriz energética de las FNCER, derivada de la aplicación de mecanismos financieros e incentivos de diversa índole, como se han estudiado a los largo del documento, es garantía de la participación en el escenario económico de actores e industrias asociadas a los bienes y servicios de producción sostenible de energía, sin embargo, este aspecto merece ser observado desde la óptica de la eficiencia en términos de costo.

La tendencia en costo de las tecnologías para producción de energía eléctrica con FNCER tiene una asociación directa con la eficiencia en el proceso de producción y transformación, para el caso de la industria fotovoltaica la tecnología dominante (silicio cristalino) desde 2010 se presenta un cruce descendiente entre los costos de los paneles contra el aumento de la capacidad global instalada de generación solar fotovoltaica.

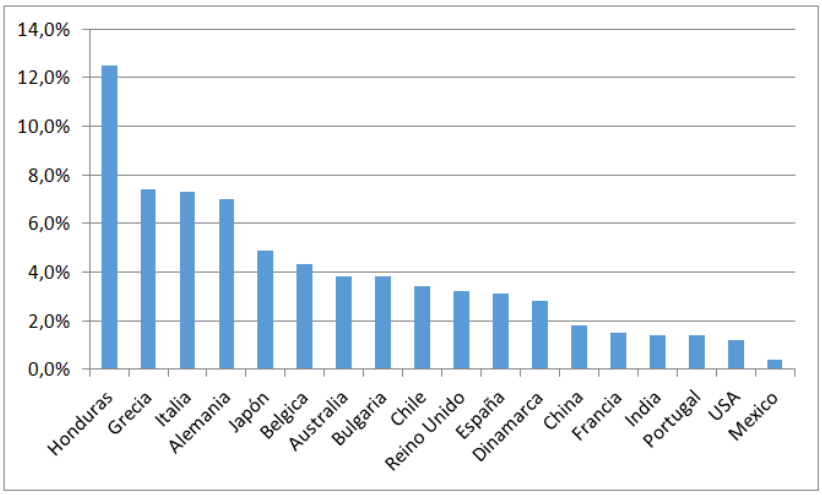
Figura 4-1. Costo de celdas de C-Si contra capacidad global fotovoltaica



Fuente: (Kalkman, Merhaba, Bose, & Bradley, 2015)

Esta información toma mayor significancia cuando se tiene en cuenta que esta tecnología representa el 90% de las instalaciones fotovoltaicas existentes, donde 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 figura 4-2 es un extracto de la información presentada por la IEA en relación a la capacidad de 2016.

Figura 4-2 Penetración de la energía fotovoltaica en la demanda final, países seleccionados.



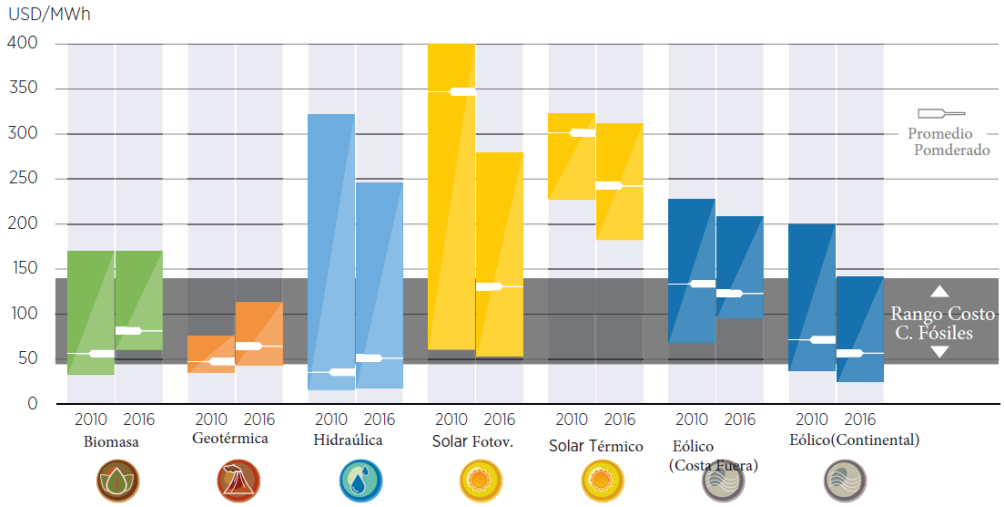
Fuente: Extracto de (IEA, 2017a)

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, y eso es impulsado por la nivelación de costos con respecto a las tecnologías de producción convencionales.

El costo nivelado de energía (LCOE por sus siglas en ingles) es un indicador que convierte en una cifra de precio estándar (USD/MWh) los costos de generación (Costos de Inversión más 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 figura 4-3 ilustra el rango de LCOE y el promedio ponderado de las FNCER comparado con el rango del LCOE a partir de combustibles fósiles, donde se evidencia que para 2016 la energía eólica y la biomasa particularmente son competitivas con las tecnologías fósiles convencionales.

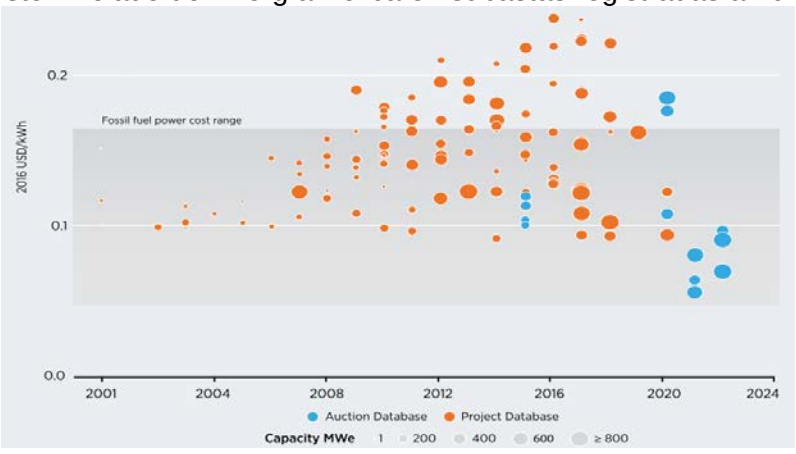
Figura 4-3 Costo nivelado de la energía por tecnología 2010 y 2016



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

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 registro por parte de la IEA de subastas de energía (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2018) con precios dentro del rango de las plantas convencionales que utilizan combustibles fósiles, esta información se presenta en la figura 4-4.

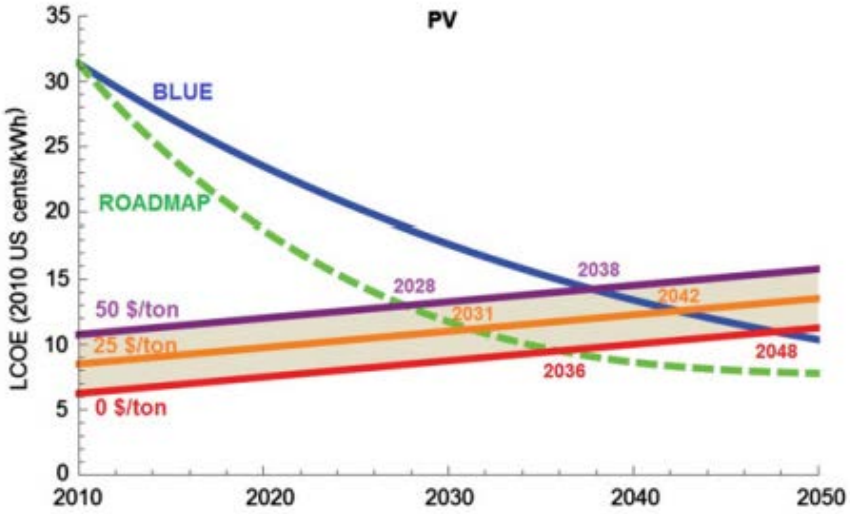
Figura 4-4 Costo nivelado de Energía Eólica en subastas registradas a 2022.



Fuente: (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2018)

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 figura 4-5.

Figura 4-5. Costo nivelado de Energía Fotovoltaica proyectado 2050



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

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 tendría que rediseñar el mecanismo de incentivos.

4.3 Aspecto Social

De acuerdo con el programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD), en su informe sobre el desarrollo humano de 2016, el índice de desarrollo humano para

Colombia corresponde al puesto 95 a nivel mundial (PNUD, 2016), y en términos de desigualdad es la tercera nación con menos equidad en repartición de la riqueza, donde el 1% de la población concentra el 20% de los ingresos(Neira, 2018). En relación con acceso a la energía. Según la UPME en el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2016-2020 (2016) aun existen 425.000 colombianos sin acceso a la red o suministro confiable de energía eléctrica(Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2016b).

La ley 1715 dedica su capítulo 4 a establecer los lineamientos para el desarrollo y promoción de las FNCE y la gestión eficiente de energía en las zonas no interconectadas (ZNI) apuntando a la utilización de soluciones hibridas y el uso de fondos financieros existentes, lo que constituye una aproximación para reducir la brecha existente con las zonas más remotas para cumplir con el derecho de la población a la energía eléctrica

Esta necesidad de garantías para el acceso a la energía, no solo está presente en las zonas no conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN), pues según (Chiappe, 2017) "*Colombia produce energía a un costo de 11,9 centavos de dólar por k/h, Estados Unidos a 6,3 centavos de dólar, México a 7,7, Perú a 8,0 y Ecuador a 8,6 centavos de dólar por k/h."*(Portafolio, 2017), costos elevados aun cuando se cuenta con el esquema subsidiado establecido en la ley 143 de 1994 para los estratos 1,2 y 3.

De acuerdo con (Torres, Vallejo, Torres, Pérez, & Preciado, 2015) para 2014 y con base en la información del DANE aproximadamente 3,35 Millones de hogares colombianos presentar algún tipo de carencia, esto en términos de hacinamiento, estructura o servicios entre otros.

Es importante traer al contexto algunos indicadores que develan las condiciones sociales del país: altos índices de desempleo (9.4% a corte Marzo de 2018) según (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018b), ocupación informal (del 48% en 23 ciudades y áreas metropolitanas) a Febrero de 2018 según (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018a), población en condición de pobreza (28% al 2016 en términos monetarios, según (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2017) e ingreso promedio de los colombianos (USD7250 al 2016, según (Melguizo, Nieto-parra,

Perea, & Perez, 2017), para analizar las necesidades inmediatas de la población colombiana.

Con lo anterior se busca indicar que previo a la instalación y puesta en marcha de soluciones individuales de suministro de energía sostenible, existe un déficit de la nación en atender necesidades básicas e inmediatas de la población, por encima de la sostenibilidad en su consumo. Es pertinente priorizar el aspecto social al ambiental, máxime cuando según (IDEAM y PNUD, 2015) en el inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero (IDEAM & PNUD, 2015b) las emisiones de GEI asociadas a la industria energética solo representan 17,3Mton de CO2e de las 258,8Mton de CO2e (6,68%) de las emisiones totales de Colombia.

De igual forma un interrogante valido en el aspecto social surge para el escenario en el que una vez las soluciones financiadas por la nación o entidades privadas estén en operación, cuál sería el esquema para el aseguramiento de los activos destinados a Autogeneración y Generación distribuida. El alto riesgo para la potencial aparición de un mercado negro o ilegal de partes de las soluciones individuales y la consecuente afectación a las condiciones de seguridad ciudadana. Este es un riesgo latente en una nación con las necesidades marcadas por las cifras indicadas en el anterior párrafo.

El costo promedio de inversión en un sistema fotovoltaico con almacenamiento, no interconectado a la red, en condición de autogenerador para una vivienda familiar (con capacidad del orden de hasta 5KW) es de aproximadamente USD 8600/Kwp (Corpoema, 2012). Este es un factor que afecta la expansión de este tipo de sistemas, es previsible que el endeudamiento familiar anteponga créditos de vivienda, estudio o vehículo, productos tradicionales y de mas fácil asimilación al endeudamiento que el autoabastecimiento de energía, particularmente con la falta de formalización y manejo efectivo de líneas de crédito y opciones de financiamiento que ocurre con los colombianos, que se tornan como economía subterránea alcanzando el 19% del PIB (Asobancaria, 2017).

Por otro lado en términos de soluciones a gran escala, Colombia aun demuestra que los grandes proyectos de infraestructura no trasladan efectivamente el beneficio a las

comunidades del área de influencia, como es el caso de La Guajira "*Si bien la persistente pobreza que sufre este departamento tiene múltiples determinantes, es claro que la aplicación de los recursos de regalías no tuvo el impacto esperado en el bienestar de la población, ni en el desarrollo regional* (Contraloría General de la República, 2016)*"*. En años recientes el instrumento de consulta popular ha dado a líderes sociales y población en general, herramientas para participar activamente en las decisiones económicas y ambientales que conllevan determinadas industrias en su región(Sepúlveda, 2018), es previsible que aun bajo el marco de la sostenibilidad el aspecto social cree divergencia de intereses que dificulten el desarrollo de los proyectos FNCER a gran escala.

Los grandes volúmenes de energía con FNCER producidos en la guajira serán evacuados a través de proyectos de infraestructura de transmisión que creará empleos durante la etapa de construcción para la mano de obra local, sin embargo este fenómeno será pasajero y el beneficio que obtienen las grandes empresas no tiene instrumentos claros que transfieran el beneficio a la región, particularmente en La guajira con los altos índices de mortalidad infantil que registra (Bonet-morón & Hahn-de-castro, 2017).

4.4 Aspecto Tecnológico

La referenciada transición del modelo tradicional de despacho centralizado y demanda pasiva a un modelo con flujo de energía en doble vía, generación distribuida, participación de la demanda e incursión de nuevos actores del mercado, tiene implícito la aparición de tecnologías asociadas al nuevo modelo, las cuales requieren tanto del desarrollo de capacidades de adopción y normalización con la infraestructura local como el desarrollo de capacidades I+D para promover el desarrollo local de tecnología propia.

Como parte de un ejercicio de paralelo a este trabajo fue desarrollado por el autor un aporte para el Observatorio de Energía del Grupo de Investigación en el sector energético colombiano para UPME. El cual comprendió un ejercicio de vigilancia sobre las tecnologías emergentes para el sector eléctrico tras la incorporación las FNCER, en este se encontraron tendencias fundamentales en el campo de la investigación de celdas y tecnologías de aprovechamiento de la energía solar para conversión a energía eléctrica.

Se denotó la importancia de la implantación tecnológica en Colombia de la gestión de la demanda, tecnología capaz de gestionar activamente una red de distribución de manera económica y segura, […] permitiendo 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).

Adicionalmente, se identificaron necesidades de crear capacidad local para la incursión de medidores inteligentes que apoyen la gestión de demanda, el manejo de grandes volúmenes de información y la gestión eficiente de energía, demanda de condiciones de mercado, reglamentación técnica, organismos de calibración y certificación, y principalmente de plataformas tecnológicas con alta conectividad y que faciliten la participación de los usuarios para la mejora de los hábitos de consumo y para los operadores en la optimización del sistema de potencia.

Como se comentó en el apartado 3.2 la actividad tecnológica en Colombia en el campo de las FNCER es incipiente, muestra de ello es la actividad patente relacionada para el ejemplo referenciado en tecnologías para turbinas eólicas, es necesario dar inicio a los lineamientos en términos de ciencia y tecnología que están integrados en la Ley 1715 de 2014 y propender por el fomento de investigación y desarrollo tanto en tecnologías físicas (hardware) como en modelos de negocio, sistemas de información, pronostico y diseño de proyectos FNCER(software), mediante el fortalecimiento de las capacidades de los profesionales e instituciones nacionales

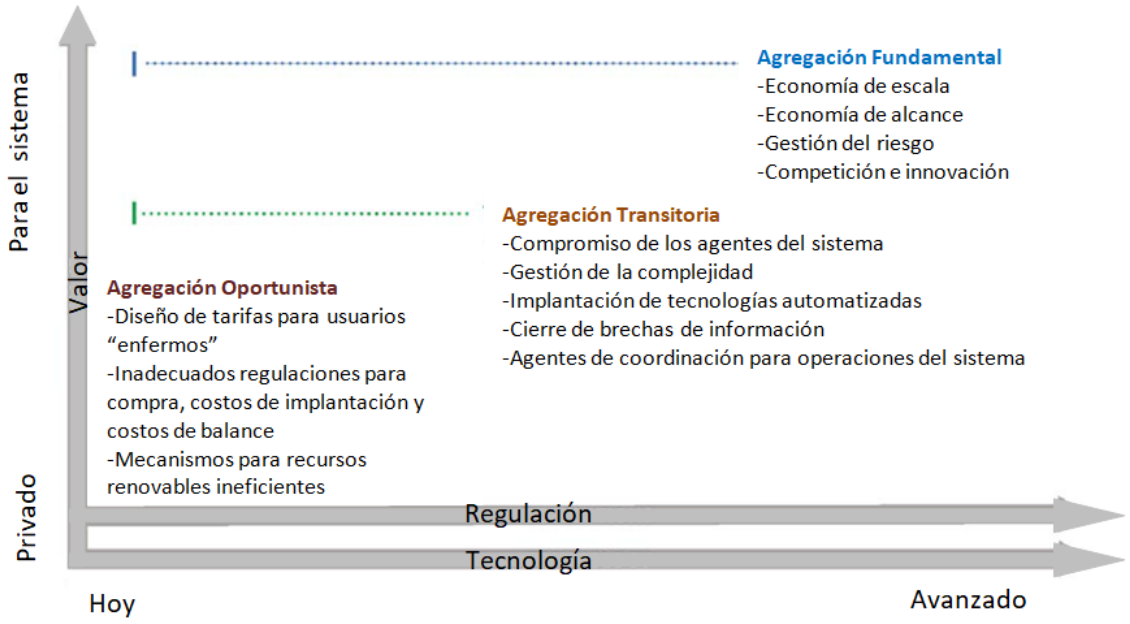
Un aspecto complementario, que se cita es la aparición de actores que median entre el mercado y los usuarios o inversionistas interesados en la participación en proyectos FNCER pero que cuentan con limitantes técnicas para obtener una posición fuerte en el juego, y estos son los agregadores de mercado.

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 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 vacios regulatorios, mientras que en mercados maduros en términos de tecnología y regulación, se genera valor para el sistema, en la ilustración 4-6 se muestra gráficamente esta relación entre madurez y valor generado.

Figura 4-6 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 la investigación de (Burger et al, 2016) 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.

4.5 Aspecto Ambiental

Tras la firma del acuerdo de Paris, Colombia 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), es tal vez este compromiso, el verdadero impulsor de la transición energética por ende es pertinente analizar el potencial en la reducción de contribución en la emisión de GEI de los componentes de la matriz energética en Colombia.

Para este efecto, la cartilla del inventario nacional de gases de efecto invernadero (IDEAM & PNUD, 2015a) indica que el sector energía representa el 44% de emisiones de GEI, es decir 17,3 MtonCO2Eq y dentro de este sector, el transporte (terrestre y aéreo) y la industria de la energía (refinación de petróleo, fabricación de combustibles sólidos y centrales térmicas) representan el 61,4% de las emisiones de GEI. Particularmente, para la industria que impactaría la entrada de las FNCER en la matriz energética, el potencial de emisiones a mitigar solo es del 0.027% del total de las emisiones globales, esta información se presenta la tabla 4-2

Tabla 4-2. Industria Energía en Colombia, emisiones respecto al total global

Ranking	Sector	Subsector	Emisiones	Total Global
1	Transporte	Transporte Terrestre	32,60%	0,090%
2	**Energía**	**Centrales Térmicas**	**9,70%**	**0,027%**
3	Energía	Fabricación de Combustibles sólidos y otras industrias Energéticas	8,00%	0,022%
4	Energía	Aviación, Navegación, Ferrocarriles	5,70%	0,016%
5	Energía	Refinación de Petróleo	5,50%	0,015%
6	Manufactura	Minerales no metales	4,60%	0,013%
7	Manufactura	Productos Químicos	3,20%	0,009%

Fuente: Elaboración propia con información de (IDEAM & PNUD, 2015a).

Para determinar el porcentaje de aporte se tomó como referencia la información del inventario nacional de GEI. Para determinar el aporte al total global, se tomó el valor medio de diversas fuentes donde se coincide que las emisiones totales de GEI de

Colombia está entre 0.23% y 0.36% entre los años 2014 y 2017, esta información se presenta en contexto en la tabla 4-3, respecto a los países que realmente impactan en el cambio climático, al tener una alta representatividad en las emisiones de GEU atmosféricas.

Tabla 4-3. Emisiones Globales de GEI, Países Seleccionados

País	(Borden & Andres & Marland, 2014) (%)	(Global Carbon Project, 2014) (%)	(World Resources Institute, 2017) (%)	(Banco Mundial, 2014) (%)
(1) China	31,16%	30,159%	26,860%	28,479%
(2) Estados Unidos de América	16,30%	15,397%	14,360%	14,539%
(3) India	7,46%	6,559%	6,650%	6,194%
(4) Japón	3,71%	4,997%	3,090%	3,359%
(5) Alemania	2,46%	3,558%	N.D.	1,992%
(6) Federación Rusa	0,50%	2,109%	5,030%	4,719%
(43) Colombia	**0,26%**	**0,246%**	**0,360%**	**0,233%**

Fuente: (Boden, Andres, & Marland, 2014)**,** (World Bank, 2014)**,**(Global Carbon Atlas, 2016) y (Friedrich, Ge, & Pickens, 2017)

Esta información se presenta con el fin de analizar si los objetivos de Colombia para la protección del medio ambiente realmente deben orientar su mayor esfuerzo hacia una fuerte promoción e incentivo de la industria limpia de la energía eléctrica energética, la cual per se, es mayormente privada, de grandes capitales y con esquemas de ley que garantizan su ingreso, o sí los objetivos deben orientarse hacia necesidades medioambientales más inmediatas y con menor potencial de participación del capital privado.

En un primer análisis del recurso vital, según el (IDEAM, 2011) La degradación de las cuencas colombianas; producto de la deforestación, pérdida de suelos, contaminación por metales pesados, por cargas orgánicas en diferentes formas, especialmente por basuras y desechos domésticos y la injerencia de la variabilidad climática, desfavorece el abastecimiento y calidad de agua para el consumo humano.

Según el Estudio Nacional de Aguas de 2014, en 2012 se estimó una carga vertida de 205 toneladas de mercurio al suelo y agua para la extracción de oro y plata, 19.780m3 de

fertilizantes, 226 toneladas de herbicidas, 118 toneladas de plaguicidas para el cultivo de cocaína. El mismo informe indica que luego del monitoreo de 2013, el índice de calidad del agua es “malo” en las corrientes del Magdalena, Cauca, Meta, Casanare y varias cuencas mas(IDEAM, 2014).

En el caso de los metales, Colombia libera 75 Toneladas anuales de mercurio, el tercer lugar en términos de este tipo de contaminación a nivel mundial. Por cada grado de oro se utilizan 7 gramos de mercurio, y de las 58 toneladas de oro que produce el país el 86% es ilegal(Departamento de Planeación Nacional, 2016). Las fuentes hídricas de Colombia están cargadas de mercurio el cual es probado que “es tóxico para la salud humana, por tanto plantea una amenaza especialmente para el desarrollo del niño en el útero y durante los primeros años de vida”(OPS/OMS Colombia, 2008).

El área de bosque de Colombia en el año 2010 era de 60,449 millones de hectáreas, equivalente al 54.48% de su territorio, una cifra que podría tenerse como alentadora, sin embargo la cifra alarmante indica que en 1990 era de 62,519 Millones de hectáreas lo que representa en 20 años la pérdida de más de 2 Millones de hectáreas, la pérdida de bosque no solo afecta la absorción de CO2, también, de acuerdo con (García Romero, 2013) aumenta la sedimentación de cuencas y ríos.

De acuerdo con el (IDEAM, 2011) La calidad del aire en las ciudades colombianas, por el consumo de energía de los combustibles fósiles deja de ser óptima y los efectos los sufre principalmente la población en forma de enfermedades respiratorias que en muchos casos se traducen en discapacidad por enfermedad y en algunos otros casos en muertes prematuras, […] entre 2007 y 2010 el sistema de vigilancia de calidad de aire en Colombia constituido por 170 estaciones de monitoreo excedió los valores establecidos por las resoluciones 601 de 2006 y 610 de 2010.

No se pretende desvirtuar la importancia de la transición de generación de energía eléctrica a partir de fuentes convencionales a las FNCER, es claro que la nación debe tener un compromiso serio con el cambio climático. En 2016 Colombia tuvo una tasa de 23 muertes por cada 100.000 habitantes por consecuencia del cambio climático, y pérdidas económicas por USD 3.634 Millones(Eckstein, Künzel, & Schäfer, 2017).

Realmente el aspecto a analizar es si la potencial mitigación del cambio climático para Colombia esta propiamente en los insumos de la matriz energética o en la protección de los cuerpos de agua, bosques y áreas de valor ecológico y en la sustitución de combustibles para el transporte.

4.6 Aspecto Legal

La ley 143 de 1994 establece el régimen para la actividad de generación, interconexión, trasmisión, distribución y comercialización de electricidad, delega en el ministerio como primera obligación: Promover la libre competencia en las actividades del sector. En su artículo 7 indica el mismo criterio respecto a la participación abierta de agentes económicos, públicos, privados o mixtos. El artículo 23, indica como competencia de la CREG determinar las condiciones para la liberación gradual del mercado hacia la libre competencia(Ministerio de Minas y Energía, 2002).

Tomando como base el informe el informe mensual de variables de generación de energía de UPME para 2017, es posible determinar que 4 grupos económicos poseen el 70% de la capacidad de generación de energía en el país, como se indica en la tabla 4-4.

Tabla 4-4. Capacidad de generación actual y proyectada empresas seleccionadas.

Grupo Empresarial	Empresa	Capacidad Actual		Adiciones Capacidad (Proyección)	
		MW	% del Total Nacional	MW	% de su capacidad actual
Enel	Emgesa	3488,6	20,89%		
	Enel Green Power			500	14,33%
EPM	Empresas públicas de Medellín	3479	20,83%	402	11,56%
Brookfield	Isagen	2988,9	17,89%	1437,3	48,09%
Argos	Empresa de energía del pacifico	1047,9	6,27%	233,2	12,33%
	Celsia.	232,8	1,39%		
	Zona franca celsia	610	3,65%		
Total Nacional		**16703**	**70,93%**	**5145**	**30,80%**

Fuente: Elaboración propia con información de (Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2017)**,**(Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2016a) y (Unidad de planeación Minero Energética (UPME), 2018)

La información presentada en la tabla 4-4, se construyó tomando como referencia el plan de expansión de referencia Generación – Transmisión 2017-2031, en lo referente a las empresas que cumplen con las resoluciones UPME 003 y 004 de 2016 para agentes con capacidad de generación eólica aprobada en La Guajira, y con el informe de incentivos de la Ley 1715 de 2014 a corte de Abril de 2018, (donde se especifica por tipo de proyecto, solar, eólico e hídrico) se puede identificar que esta tendencia se mantiene y que estas empresas continuarían con una posición dominante en el sector, y como esta situación como comentado por (Hoyos Gómez, 2016), dificulta la consolidación de nuevos agentes en el mercado eléctrico.

A lo largo del documento, se presentaron elementos regulatorios y normativos que son objeto de análisis en el contexto legal, y que representan desafíos y oportunidades para las FNCER y en general para el sector eléctrico, la falta de un objetivo de inserción de renovables fijo y medible, la capacidad de respuesta de las entidades estatales para el análisis expedito de proyectos, la latente corrupción que rodea los grandes proyectos de infraestructura, el poder la consulta popular y su impacto en la inversión y desarrollo de proyectos en el país, se complementan con un evidente panorama de dominio que no está acorde con los objetivos de ley y su principio de equidad, que garantice una cobertura equilibrada y adecuada de los servicios de energía en el país, para la satisfacción de las necesidades básicas de la población(Ministerio de Minas y Energía, 2002).

4.7 PESTEL

Dado el contexto y la justificación de los numerales previos del capítulo a continuación se sintetizan los factores del análisis de contexto que merecen revisión continua, y que bajo la metodología de la VTeIC presentada en el capitulo 2 aportarán elementos de decisión en términos de I+D, política pública, fortalecimiento institucional y formación de capacidades que favorezcan la regulación de las FNCER en Colombia.

Figura 4-7 Gráfico PESTEL, síntesis de análisis de contexto.

Fuente: Elaboración propia, imágenes tomadas de base de datos libre pixabay.com

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

A nivel mundial, países como Dinamarca, Alemania y Reino Unido, cuentan con una alta madurez en términos de política para la promoción de las energías renovables, los mecanismos de incentivo y financiación incluso pasan por etapas de transformación y rediseño como consecuencia de la competitividad ganada por las fuentes y el cumplimiento de los objetivos de inserción de renovables en la matriz energética.

China representa la mayor capacidad instalada de generación de energía con fuentes renovables, y enfrenta retos de interconexión y evacuación hasta el punto de tener riesgo de capacidad renovable inoperante, aun cuando es el más grande emisor de gases de efecto invernadero se evidencia un compromiso mayor al de Estados Unidos quien bajo su política de seguridad energética renunció a los objetivos acordados en la COP21.

Colombia da muestras de avance en términos de esquemas de remuneración y procesos de conexión para Autogeneradores y generación distribuida, al momento de finalizar este documento el ministerio de minas y energía expidió la resolución 795 de 2018, en la cual define el mecanismo de contratación de energía para horizontes de 10, 15 y 20 años, donde participarán conjuntamente energías convencionales y no convencionales renovables, se espera que antes de finalizar el año 2018 se definan los pliegos de la subasta de contratación a largo plazo.

Tras cuatro años de emisión de la ley 1715 aun continúa en desarrollo el rediseño del mercado para ajustarse a una operación más cercana al despacho y la integración de fuentes de alta variabilidad, y principalmente no se define un objetivo en términos de capacidad instalada o energía suministrada a partir de FNCER en un determinado

horizonte de tiempo, lo que dificulta la medición de la efectividad de las políticas y sus mecanismos.

La metodología propuesta, basada en vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, como proceso sistemático de captura y análisis de información, es una herramienta clave y eficaz para producir insumos de decisión que aporten al diseño de política pública, marco regulatorio, reglamentos técnicos, adopción de estándares entre otros, a partir de las tendencias y disrupciones tecnologías que implícitamente alteran la regulación existente. El carácter anticipativo de la metodología facilita la identificación de instituciones y países líderes, organizaciones y autores de referencia, inventores y dueños de patentes, mecanismos de mercado y fuentes de información para la asimilación de tecnología asociada a la transición energética; información que en su etapa de inteligencia y difusión se convierte en insumo de decisión.

La metodología propuesta se validó en un estudio de caso específico para la identificación de factores claves de penetración e integración de grandes volúmenes de energía eólica en la matriz energética. Se identificó la necesidad desarrollar capacidades de investigación y desarrollo en los modelos de predicción del recurso eólico, diseño de modelos de decisión para ofertas de energía de renovable y fijación de niveles de reserva operativa, esto en el marco de la necesidad del rediseño del mercado para facilitar la generación con fuentes de alta variabilidad y las ofertas de energía más cercanas al despacho real, como por ejemplo a través de mercados intradiarios.

El análisis de contexto, que hace parte de la metodología propuesta y que en el documento se presentó como un capítulo individualizado, resalta indicadores de pobreza, desigualdad, desempleo y bajo ingreso como medición y muestra de las necesidades insatisfechas de la población colombiana. Los incentivos y la promoción de las fuentes renovables de energía claramente tienen un impacto sobre el bienestar de la población, particularmente de aquella que habita en las aun existentes zonas sin cobertura o con deficiente cobertura del servicio de energía eléctrica. Sin embargo es imperante que los esfuerzos del estado atiendan necesidades más inmediatas de la población y se permita al mercado eléctrico, con la regulación adecuada, operar libre y competitivamente.

El aporte de Colombia en términos de emisiones de gases de efecto invernadero representa un valor de mínima representatividad del total de emisiones globales, y aun así el sector transporte representa mayor potencial para un real impacto medioambiental positivo (con la consecuente reducción de enfermedades respiratorias en las grandes urbes) respecto a la utilización de fuentes libres o de bajas emisiones para la producción de electricidad. La promoción de las FNCER aporta a los objetivos de desarrollo sostenible, pero sin el establecimiento de metas y fijación de prioridades, el riesgo de sumar esfuerzos en los puntos menos críticos es alto y por ende aumenta el riesgo de aumentar las pérdidas humanas y materiales por consecuencia del cambio climático.

5.2 Recomendaciones

La promoción de las fuentes renovables de energía a partir de incentivos tributarios y tarifas preferenciales son una fórmula que ha funcionado en los países maduros en penetración de FNCER, sin embargo las barreras de mercado no se limitan a los aspectos financieros, es necesario lograr la aceptación pública, reducir las barreras institucionales y burocráticas, optimizar los procesos de evacuación e interconexión, así como promover el I+D como elemento clave para la producción local de tecnologías para las renovables.

Es necesario definir los indicadores y la línea base sobre los cuales sea posible medir el impacto y la efectividad de las políticas para las energías renovables, los grupos económicos de países de la OCDE cuentan con sistemas de registro y análisis de información para categorizar el éxito de los marcos regulatorios. Un elemento complementario para facilitar la integración es la adopción de estándares, prácticas y normalización técnica de aceptación y uso internacional.

Las instituciones estatales asociadas con la definición de política, regulación y supervisión del sector eléctrico, así como las instituciones de educación superior y fomento de la investigación, tienen un gran potencial de aporte en la transición energética. La creación de unidades especializadas de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva aportan información de decisión que favorece la construcción de

lineamientos flexibles y a la vez robustos que permiten la anticipación y adaptación de la regulación con efectividad a la dinámica tecnológica.

La reducción del error en los modelos de predicción de recursos de alta variabilidad como el solar y el eólico conllevan a la reducción de pérdidas económicas del generador (con valor típicos de hasta el 10%) el cual adquiere compromisos de energía y consecuentemente incrementa su ingreso. Los modelos y herramientas varían de geografía en geografía y por tanto en Colombia se cuenta con una gran potencial para adelantar oportunamente la investigación y desarrollo de modelos de predicción de corto plazo, algoritmos para las ofertas de energía como función de los pronósticos climáticos y la fijación de niveles de reserva operativa a partir de modelos probabilísticos de viento.

En la era de la información, el constante desarrollo de herramientas tecnológicas para la captura, almacenamiento, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos, junto con la alta conectividad entre sistemas supone para la industria eléctrica un desafío para responder a la protección y optimización de la información del mercado a través de aplicaciones basadas en blockchain, captura y análisis de variables mediante big data o el internet de las cosas para mejorar los procesos de uso final de energía. Para responder a ello, la vigilancia tecnológica mitiga las barreras del mercado anticipándose a las irrupciones tecnológicas y aportando insumos para la toma de decisiones.

Los registros de propiedad intelectual e industrial, como las patentes, son un indicador del éxito de las políticas, y están asociados directamente con la reducción de los costos de las tecnologías renovales, tecnologías las cuales se caracterizan por sus altos costos iniciales de capital, el desarrollo de modelos correlativos entre la efectividad de las políticas, las patentes verdes y el comportamiento del costo nivelado de la electricidad es una necesidad del sector y precisa de investigación futura y desarrollo a profundidad de las temáticas aquí indicadas.

Colombia, dado su alto riesgo ante fenómenos climáticos debe reforzar y reorientar los compromisos ambientales hacia los puntos claves de nuestros ecosistemas y recursos. Un escenario con producción de energía eléctrica libre de emisiones de gases de efecto invernadero es alcanzable por las condiciones actuales para la atracción de inversión

extranjera, la abundancia de recursos renovables del país y la alta capacidad técnica de los profesionales del sector eléctrico colombiano, sin embargo, sin afianzar los compromisos como sociedad, en términos de protección de los cuerpos de agua, mitigación de la deforestación, uso eficiente y racional de la energía y transición a una matriz de transporte libre de emisiones, entre otros, podrá alejar al país de los compromisos adquiridos y mermar el beneficio efectivo de la transición energética.

A. Anexo: Tendencias tecnológicas con incidencia en el marco regulatorio de las energías renovables.

Como resultado del desarrollo de trabajos de investigación en el GRISEC – Grupo de investigación en el sector energético Colombiano de la Universidad Nacional de Colombia, los cuales son parte del 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 (GRISEC, 2018). Un ejercicio consistió en la aplicación de la metodología en este documento propuesta y a continuación se exponen parte de los resultados obtenidos en tal documento.

A1 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, 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). La tabla A-1 relaciona los elementos constitutivos de beneficio y de costo en la implementación de un sistema de gestión de la demanda.

Tabla A-1. Aspectos de costo y Beneficio de la DSR

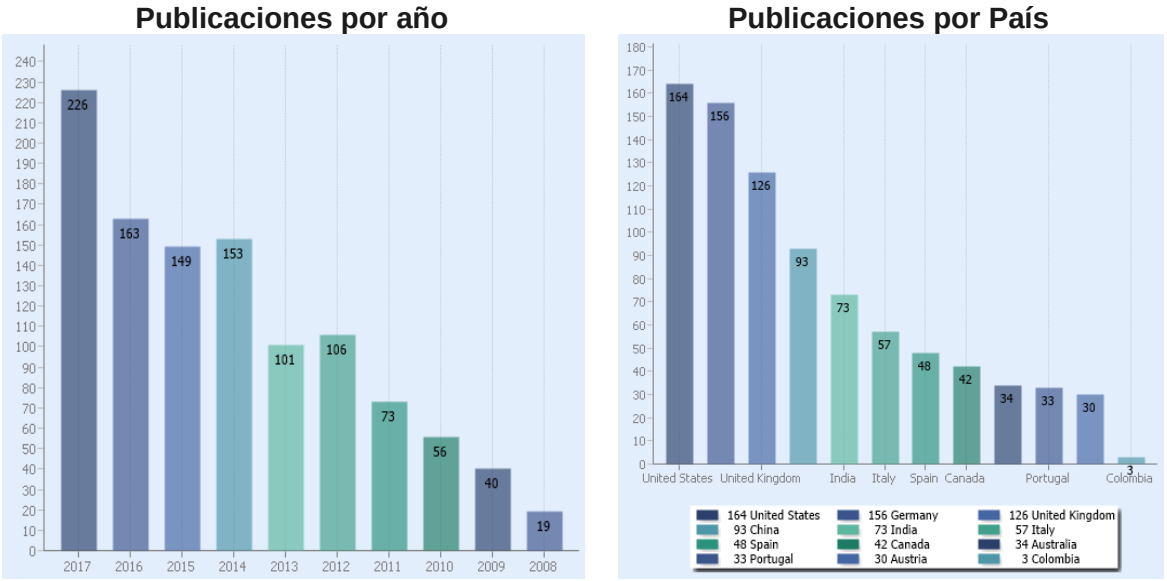
Tipo	Aspecto	Descripción
Beneficio	**Económicos**	Descuentos en la factura de energía eléctrica contra el cumplimiento del cambio de patrones de consumo contratados.
	Reducción de precio	El precio de mercado de reduce contra la reducción del consumo y la consecuente reducción en de uso de plantas de 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 recuden 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, se identifica que respecto a países líderes en publicaciones (Estados Unidos, el Reino Unido y Alemania) existe un rezago en términos de documentación, adopción e implementación de tecnologías para la DSR.

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 figura A-1 resultado del análisis cienciometrico.

Figura A-1. Tendencia de publicación científica, por año y país, para DSR.



Fuente: Elaboración propia con información de Scopus y tratamiento con Matheo Analyzer

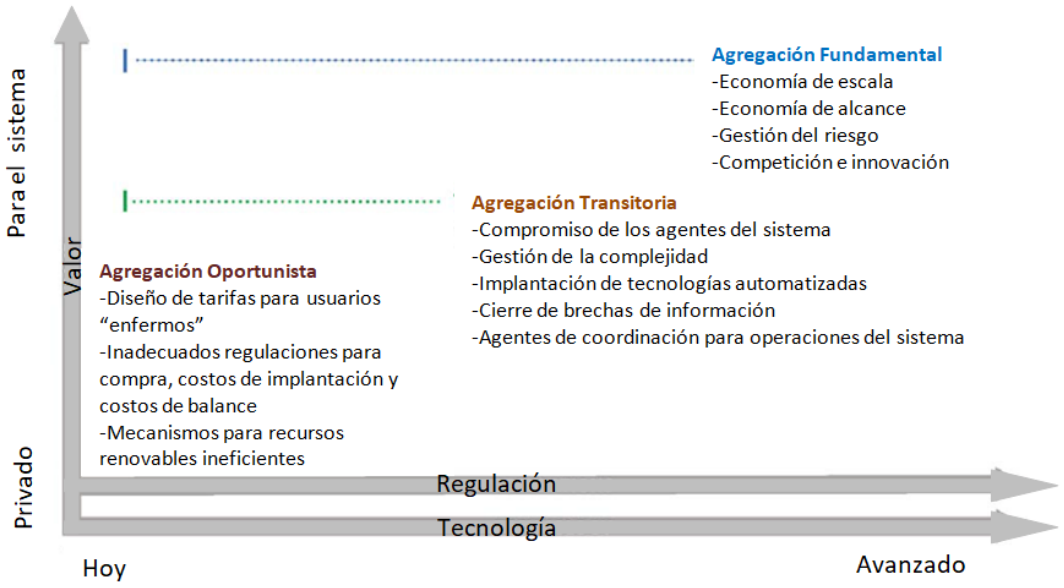
A-2 Agregadores de mercado

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 et al., 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 vacios regulatorios, mientras que en mercados maduros en términos de tecnología y regulación, se genera valor para el sistema, en la figura A-2 se muestra gráficamente esta relación entre madurez y valor generado.

Figura A-2 Valor de agregadores basado en el contexto regulatorio y tecnológico.



Fuente: Traducción libre de (S. Burger et al., 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.

A-3 Servicios auxiliares para el sistema

Es crucial la preparación del sistema de potencia en términos de confiablidad 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 A-2 describe de manera general los servicios auxiliares para el sistema:

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

Tabla A-2 Servicios Auxiliares de gestión de generación distribuida y DSR.

Servicio Auxiliar	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)

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.

A-4 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 modelo de mercado naturalmente demanda de estandarización, especificación y certificación en las fronteras comerciales[3].

Sin embargo la tendencia de desarrollo e investigación, se encamina 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 A-3.

Tabla A-3. Características y desafíos de los medidores inteligentes

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: Extraído de (Sharma & Mohan Saini, 2015)

De acuerdo con la conclusión del estudio de Sharma y Saini (2015), 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.

A-5 Modelos de Negocio para recursos distribuidos

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 las

[3] 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

principales características de estos modelos de negocio, los cuales se resumen a continuación en la tabla A-4

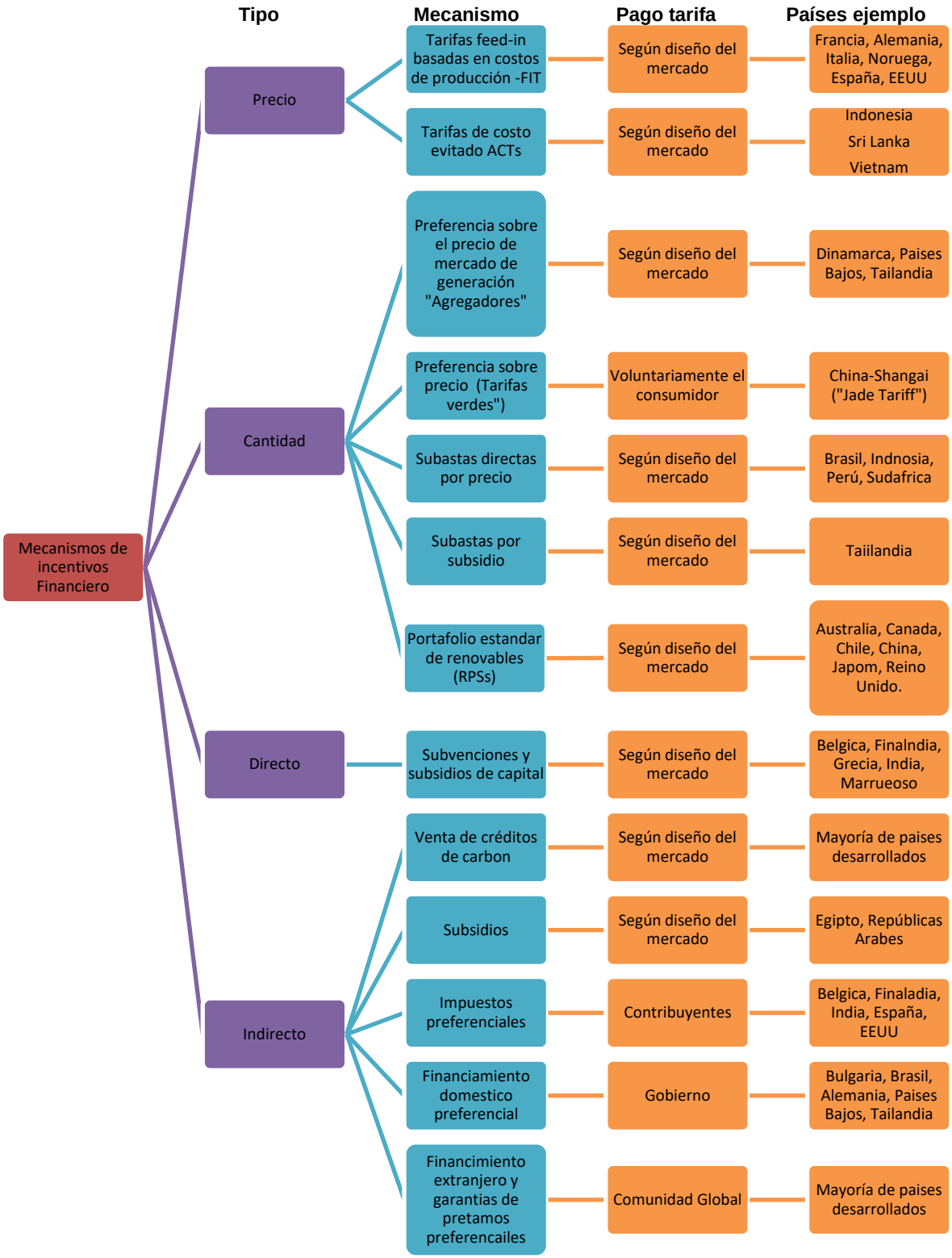
Tabla A-4 Lista general de modelos de negocio para recursos distribuidos

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)

Finalmente la figura A-3 busca presentar un árbol temático que sintetiza las políticas, instrumentos y países que han adoptado tipo mecanismos de tipo directo, indirecto, precio y cantidad para la promoción de las energías renovables en su matriz energética.

Figura A-3 Resumen de políticas e instrumentos para promoción de renovables



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

B. Anexo: Información complementaria de Vigilancia Tecnológica

El objeto de este trabajo es formular una metodológica basada en la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva VTeIC específicamente para la anticipación a eventos de transición energética cuyo análisis y difusión soporte los procesos de decisión en la construcción de política pública y marco regulatorio. Para obtener información detallada sobre el proceso de VTeIC existe literatura completa y formación específica, sin embargo a continuación de detallan algunos formatos y tablas referenciados en el documento y de utilidad para realizar la VTeIC.

Tabla B-1 Ficha de Necesidades de Vigilancia

DEFINICIÓN DE NECESIDADES DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA				
POR QUÉ				
PARA QUÉ				
Factores críticos de vigilancia	**Cuestión Crítica a Vigilar (preguntas de vigilancia)**	**Descriptores (KW, Sintagmas)**	**Restrictor (delimitación geográfica, años, etc.)**	**Prioridad (Alta, Media, Baja)**
FCV 1	**KIQ 1**			
	KIQ 2			
	KIQ n			
FCV 2	**KIQ 1**			
	KIQ 2			
	KIQ n			
Experto(s) de consulta				

Fuente: (Sánchez-Torres, 2017b)

Tabla B-2. Herramientas de software para Vigilancia tecnológica e Inteligencia competitiva

Nombre	Planeación	Búsqueda	Análisis	Inteligencia	Difusión
AskOnce		●●			●
CI Spider	●	●●	●		●●
Competitor-Analysis.com		●	●		
Copernic 2011 Basic		●●●			
Denodo Soluciones	●	●●●			●●
DigOut4U	●●	●●●	●		●
Elementary Watson	●	●●			●
find Agent		●●	●●		●●
Goldfire	●	●●●●	●●		●
Hoovers Online	●	●●●			
Inxigth Star		●●●			
Knowledge Works		●●●●	●●	●●●●	●●
Knowledgist		●●●	●●		●
Matheo-Analizer		●●●	●●		●
MindModel		●	●●		
Online Miner		●●●	●●		
Open Portal 4U	●	●●●	●●	●●	●●
Plumptree Software	●●	●●●●			●
Seekip.com	●	●●●●			●
Semio Software	●	●●●●	●		
Sonar Professional		●●●●	●		●
Strategic Finder	●●	●●●●	●		●
Tetralogic		●	●●		●
TextAnalyst			●●		
Webferret	●	●●	●		
WebSeeker	●	●●●●			●
Wincite	●	●●●	●	●●●	●●
Watchsite	●	●●●			
WebQL			●●		
Xcise		●●	●		
Tipo de Apoyo: ●Muy Poco ●●Poco ●●●Bueno ●●●●Fuerte					

Fuente: (Sánchez-Torres & Palop Marro, 2002)

Tabla B-3 Bitácora de búsqueda

BITÁCORA ECUACIONES DE BÚSQUEDA				
Preguntas de Vigilancia tecnológica			**Sintagmas y Palabras Clave:**	
Fecha	***Ecuación de búsqueda***	***Base de Datos***	***Número de resultados***	***Observaciones***

Fuente: (Sánchez-Torres, 2017b)

Bibliografía

Abdmouleh, Z., Alammari, R. A. M., & Gastli, A. (2015). Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *45*, 249–262. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.035

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

ANEEL, A. N. de E. E. (2017). PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - ANEEL. Recuperado el 22 de mayo de 2018, a partir de http://www.aneel.gov.br/proinfa

Aquila, G., Pamplona, E. de O., Queiroz, A. R. de, Rotela Junior, P., & Fonseca, M. N. (2017). An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *70*(October 2015), 1090–1098. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.013

Asobancaria. (2017, diciembre). Avances y desafíos en la reducción del sobreuso del efectivo en Colombia. *Semana Económica*, 1–11. Recuperado a partir de https://marketing.asobancaria.com/hubfs/Asobancaria Eventos/Asobancaria - Semanas-Economicas/1119.pdf

Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. *México: Editorial Mc …*. Recuperado a partir de http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=EARTH.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=022575

Bloomberg New Energy Finance. (2015). Wind and solar boost cost-competitiveness versus fossil fuels | Bloomberg New Energy Finance. Recuperado el 21 de abril de 2018, a partir de https://about.bnef.com/blog/wind-solar-boost-cost-competitiveness-versus-fossil-fuels/

Bloomberg New Energy Finance. (2017). New Energy Outlook 2017, 6.

Boden, T., Andres, B., & Marland, G. (2014). *Ranking of the world's countries by 2014 total CO2 emissions from fossil-fuel burning, cement production, and gas flaring.*

Emissions.

Bonet-morón, J., & Hahn-de-castro, L. W. (2017). La mortalidad y desnutrición infantil en La Guajira. *Banco de la República*, *52*(255), 1–49. Recuperado a partir de http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_255.pdf

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

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

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

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2016a). Documento CREG FNCER 161- diciembre 2016. Bogotá D.C.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2016b). Propuesta para la implementación de un despacho vinculante. Documento CREG-004B. Bogotá D.C.: CREG.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2016c). Resolución 242 de 2016 Proyecto de Resolución Energía firme para parques eólicos. CREG.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2016d). Resolución 243 de 2016 Energía Firme para el cargo por confiabilidad de plantas solares fotovoltaicas.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2017a). documento agenda regulatoria. Bogotá D.C.: CREG.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2017b). Resolución 201 de 2017

Energía Firme para el cargo por confiabilidad de plantas solares fotovoltaicas.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2017c). *Taller Autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el SIN*. Barranquilla. Recuperado a partir de http://www.creg.gov.co/phocadownload/presentaciones/2017/PDF/autogeneracin a pequea escala y generacin distribuida en el sin.pdf

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2018a). Circular021-2018 - Términos de referencia para la contratación de un estudio sobre la modernización del despacho y el mercado Spot de energía eléctrica – despacho vinculante y mercado intradiarios. Bogotá D.C.: CREG.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2018b). Circular025-2018 Publicación de Términos de referencia para la contratación de un estudio de consultoría para el diseño de indicadores de seguimiento a la integración de la autogeneración y la generación distribuida.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Resolución CREG 038-2018 Regulación de la Autogeneración en la zonas no interconectadas. (2018). Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2018d). Resolución No 030 de 2018 - Regulacion de autogeneracion a pequeña escala y generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. Bogotá D.C.: CREG. Recuperado a partir de http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/$FILE/Creg030-2018.pdf

Congreso de Colombia. Ley No. 1665, Diario Oficial § (2013). Recuperado a partir de http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY 1665 DEL 16 DE JULIO DE 2013.pdf

Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Recuperado el 4 de marzo de 2018, a partir de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

Contraloría General de la República. (2016). *Uso y manejo de las regalías La Guajira 2012-2015*. Bogotá. Recuperado a partir de https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/600907/Uso+y+manejo+de+las+regalías+La+Guajra_13_diciembre_2016.pdf/31072221-be34-4ec6-87e0-f10874a8747f?version=1.0

Cornella, A. (2010). Infoxicación: buscando un orden en la información, 125.

Corpoema. (2012). *Inversiones y gastos de AOM para la actividad de generación en zonas no interconectadas utilizando recursos renovables*. Bogotá D.C. Recuperado a partir de http://www.creg.gov.co/phocadownload/presentaciones/corpoema_zni_aom.pdf

Corporación Transparencia por Colombia. (2017). *Índice de Transparencia Nacional 2015-2016*. *Colección de Documentos Observatorio de Integridad N. 19*. Bogotá D.C.

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

de Castro, L. (2016). *Mercados de Corto Plazo y Fuentes no Convencionales de Energías Renovables*. *CREG Expert Panel on Electricity Market Reform*.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). *Pobreza Monetaria Y Desigualdad*. *Dane*. Recuperado a partir de http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/economia/article/view/7192/7267

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018a). *Boletín técnico indicadores del mercado laboral*. Recuperado a partir de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/mmm/bol_emm_ene18.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018b). *Boletín técnico Medición de empleo informal y seguridad social Boletín técnico*.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018c). *Comunicado de prensa - Producto Interno Bruto Cuarto Trimestre 2017*.

Departamento de Planeación Nacional. (2016). “También tenemos que hacer la paz con la naturaleza porque el mercurio sigue causando estragos”: Simón Gaviria Muñoz. Recuperado el 9 de mayo de 2018, a partir de https://www.dnp.gov.co/Paginas/“También-tenemos-que-hacer-la-paz-con-la-naturaleza-porque-el-mercurio-sigue-causando-estragos”-Simón-Gaviria-Muñoz.aspx

Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Plan Nacional de Desarrollo, Todos Por un Nuevo País 2014 - 2018*. *Gobierno de Colombia* (Vol. 53). Bogotá D.C. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Department of Energy, U. (2017). *Transforming the Nation ’ s Electricity System : The Second Installment of the Quadrennial Energy Review*.

Dinero. (2018). Colombia avanza en generación de energías renovables. *Dinero*. Recuperado a partir de https://www.dinero.com/pais/articulo/colombia-avanza-en-generacion-de-energias-renovables/257078

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

Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2017). *Global climate risk index 2018: Who suffers most from Extreme weather events? Weather-related loss events in 2016 and 1997 to 2016*. Recuperado a partir de https://germanwatch.org/en/download/7170.pdf

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

EITI. (2013). Colombia and Ukraine commit to implement EITI | EITI. Recuperado a partir

de https://eiti.org/news/colombia-ukraine-commit-to-implement-eiti#

European Commission. (2017). *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committe and the Committe of the Regions (Renewable Energy Progress Report)*. Bruselas. Recuperado a partir de https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/EN/COM-2017-57-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF [accessed on 21 August 2017]

European Environment Agency. (2001). *Renewable energies: success stories*. Copenhagen. Recuperado a partir de https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_27/Issues_No_27_content.pdf.

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

Foley, A. M., Leahy, P. G., Marvuglia, A., & McKeogh, E. J. (2012). Current methods and advances in forecasting of wind power generation. *Renewable Energy*, *37*(1), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.033

Fraunhofer Institute for wind energy and energy system technology IWES. (2017). *Germany Wind Energy Report 2016 - Press Release*. Kassel.

Friedrich, J., Ge, M., & Pickens, A. (2017). World's Top 10 Emitters. Recuperado el 9 de mayo de 2018, a partir de http://www.wri.org/blog/2017/04/interactive-chart-explains-worlds-top-10-emitters-and-how-theyve-changed

García Romero, H. (2013). Deforestación en Colombia : Retos y perspectivas. *El Desafío del Desarrollo Sustentable en América Latina*, 123–142. Recuperado a partir de http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/337/3/KAS SOPLA_Deforestacion en Colombia retos y perspectivas.pdf

Global Carbon Atlas. (2016). CO2 Emissions | Global Carbon Atlas. Recuperado el 9 de mayo de 2018, a partir de http://globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions

Global Wind Energy Council. (2011). *Analysis of the regulatory framework for wind power generation in Brazil*. Bruselas. Recuperado a partir de http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Brazil_report_2011.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

GRISEC. (2018). *Informe de Vigilancia Tecnológica en Política y tecnologías emergentes para energía renovable (Preliminar)*. Bogotá D.

Grupo del Banco Mundial. (2017). *Doing Business en Colombia 2017*. Recuperado a

partir de http://espanol.doingbusiness.org/~/media/WBG/DoingBusiness/Documents/Subnational-Reports/DB17-Sub-Colombia.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

Gutiérrez, H. (2013). Colombia : Overview of corruption and anti-corruption. *U4 - Anti-corruption Resource Centre*, *373*(March), 9.

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

Hernández Vidal, J. (2018). Decreto 570 de 2018 Los lineamientos para proyectos de energías renovables. Recuperado el 27 de abril de 2018, a partir de http://estudiolegalhernandez.com/noticias/decreto-570-de-2018-los-lineamientos-para-proyectos-de-energías-renovables

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

Heydarian-Forushani, E., Moghaddam, M. P., Sheikh-El-Eslami, M. K., Shafie-Khah, M., & Catalão, J. P. S. (2014). Risk-constrained offering strategy of wind power producers considering intraday demand response exchange. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *5*(4), 1036–1047. https://doi.org/10.1109/TSTE.2014.2324035

Hong, S. (s/f). La magia de la información sobre patentes, 1–8. Recuperado a partir de http://www.wipo.int/export/sites/www/sme/es/documents/pdf/patent_information.pdf

Hoyos Gómez, L. S. (2016). *Impacto de la Ley 1715 de mayo 13 de 2014 sobre el sector eléctrico colombiano : análisis de los nuevos actores del mercado Impacto de la Ley 1715 de mayo 13 de 2014 sobre el sector eléctrico colombiano : análisis de los nuevos actores del mercado*.

ICONTEC. (2017). *Cartilla Adopciones NTC en la Web del Icontec*. Bogotá D.C. Recuperado a partir de http://www.icontec.org/Ser/Nor/Documentos compartidos/CARTILLA ADOPCIONES NTC EN LA WEB DE ICONTEC.pdf

IDEAM. (2006). Atlas del viento y energía eólica de Colombia, 168.

IDEAM. (2011). Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables 2011, 120. Recuperado a partir de

http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022651/InformeTomo3.pdf

IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. *Estudio Nacional del Agua 2014*.

IDEAM, & PNUD. (2015a). Cartilla Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia.

IDEAM, & PNUD. (2015b). *Inventario Nacional Y Departamental De Gases Efecto Invernadero - Colombia*. *Zetta Comunicadores* (Vol. 3). Bogotá D.C. Recuperado a partir de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf

IEA. (2008). *Deploying renewables: Principles for effective Policies*. *Untersuchung im Auftrag des Renewable Energy* (Vol. 47). https://doi.org/10.1016/S0034-3617(03)80080-2

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/978-3-906042-58-9

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 ”.

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 Electrotechnical commission. (2018). IEC - TC 88 Dashboard > Projects / Publications: Work programme, Publications, Stability Dates, Project files. Recuperado el 25 de abril de 2018, a partir de http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:5801681987208::::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1282,25

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

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.

Jacobsson, S., & Lauber, V. (2006). The politics and policy of energy system transformation - Explaining the German diffusion of renewable energy technology. *Energy Policy*, *34*(3), 256–276. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.08.029

Jaramillo Arenas, J. F. (2017). *Implementación de Mercados Intradiarios de Generación en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

Johnson, G., Scholes, K., & Whittington, R. (2007). *Exploring Corporate Strategy*. *Financial Times Prentice Hall*. https://doi.org/10.1016/0142-694X(85)90029-8

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

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

Lawrence Berkeley National Laboratory. (2016). *Key China Energy Statistics 2016*. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. California. Recuperado a partir de http://eetd.lbl.gov/publications/key-china-energy-statistics-2014

Llewellyn, J. (2007). *The Business of Climate Change : Challenges and Opportunities*. New Tork. Recuperado a partir de http://www.lehman.com/press/pdf_2007/TheBusinessOfClimateChange.pdf

Matos, M. A., & Bessa, R. J. (2011). Setting the operating reserve using probabilistic wind power forecasts. *IEEE Transactions on Power Systems*, *26*(2), 594–603. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2065818

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

Melguizo, A., Nieto-parra, S., Perea, J. R., & Perez, J. A. (2017). No sympathy for the devil! Policy priorities to overcome the middle-income trap in Latin America, (340), 38.

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

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

MESICIC. (2017). *Informe Final Colombia - Mecanismo de seguimientode la implementación de la convención interamericana contra la corrupción*.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2016). Resolución 1283 - Requisitos Certificado beneficio ambiental FNCER.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Resolucion 186 de 2012 - Metas Ambientales. Recuperado a partir de https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/Insentivos/Resolucion_186_de_2012_-_Metas_Ambientales.pdf

Ministerio de Minas y Energia. (2016). Invierta y Gane con Energía, 28. Recuperado a partir de http://ccep.co/attachments/article/424/ccep_invierta-y-gane-con-energia.pdf

Ministerio de Minas y Energia. Resolución 40072 de 2018 (2018).

Ministerio de Minas y Energía. (2002). Ley 143 de 1994 - Ley Eléctrica. *Diario Oficial*, *1994*(41434), 347. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Ministerio de Minas y Energía. Decreto 1073 de 2015 Ministerio de Minas y Energía (2015).

Ministerio de Minas y Energía. (2015b). Decreto N° 2143, 8. Recuperado a partir de http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/decretos/2015/Decretos2015/DECRETO 2143 DEL 04 DE NOVIEMBRE DE 2015.pdf

Ministerio de Minas y Energía. Decreto 0570 de 2018 (2018). https://doi.org/10.1111/jnc.14333/full

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

Momoh, J., & Mili, L. (2009). *Economic market design and planning for electric power systems*. *Power Engineering* (Vol. 52). Recuperado a partir de http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=X8of77v5uSkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Economic+Market+Design+and+Planning+for+Electric+Power+Systems&ots=68VvBAaiJV&sig=D9w6cxgYfDIrmLrOrBzfusv56aQ

Morales Plaza, J. I. (2011). *Análisis de los factores clave para la inversión en proyectos de energía renovable: El Caso Termosolar*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Mosquera, P. (2014, marzo 13). Panorama - Conseguir un 100% de energía renovable es sólo cuestión de voluntad política - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. *energiasrenovables.com*. Recuperado a partir de https://www.energias-renovables.com/panorama/conseguir-un-100-de-energia-

renovable-es-20140313

Neira, A. (2018, enero 27). Desigualdad aumentó en el 2017 y la brecha entre ricos y pobres. *El Tiempo*. Recuperado a partir de http://www.eltiempo.com/economia/sectores/desigualdad-aumento-en-el-2017-y-la-brecha-entre-ricos-y-pobres-175900

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/

Nussbaum, A., & Martin, C. (2015). Wind Power Now Cheaper Than Natural Gas for Xcel, CEO Says - Renewable Energy World. Recuperado el 21 de abril de 2018, a partir de https://www.renewableenergyworld.com/articles/2015/10/wind-power-now-cheaper-than-natural-gas-for-xcel-ceo-says.html

OECD. (2012a). Colombia - OECD Anti-Bribery Convention - OECD. Recuperado el 1 de mayo de 2018, a partir de http://www.oecd.org/countries/colombia/colombia-oecdanti-briberyconvention.htm

OECD. (2012b). *Investment Policy Reviews: Colombia 2012*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264167742-en

OECD. (2014a). *Environmental Performance Reviews: Colombia 2014*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264208292-en

OECD. (2014b). *Reviews of Innovation Policy: Colombia 2014*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264204638-en

OMPI: Organización mundial de la propiedad intelectual. (2013). Las patentes: fuente de información Tecnologica. *Ompi N° L434/2S*, http://patentscope.wipo.int/. https://doi.org/ISBN 978-92-805-1723-1

OPS/OMS Colombia. (2008). Mercurio y Salud. Recuperado el 9 de mayo de 2018, a partir de http://www.paho.org/col/index.php?option=com_content&view=article&id=2046:mercurio-y-salud&Itemid=460

Pereira, M. G., Camacho, C. F., Freitas, M. A. V., & Silva, N. F. Da. (2012). The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(6), 3786–3802. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.024

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

PNUD. (2016). Desarrollo humano para todos. *Informe sobre el desarrollo humano 2016*, 40. Recuperado a partir de

http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016_SP_Overview_Web.pdf

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

Portafolio. (2017, noviembre 29). Alto costo energía eléctrica Colombia. *Portafolio*. Recuperado a partir de http://www.portafolio.co/negocios/alto-costo-energia-electrica-colombia-512119

Presidencia de la República. (s/f). ¿Cuáles son las ventajas para Colombia de ingresar a la OCDE? Recuperado el 30 de abril de 2018, a partir de http://www.colombiaenlaocde.gov.co/faqs/Paginas/FAQS.aspx

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

Reiche, D., & Bechberger, M. (2004). Policy differences in the promotion of renewable energies in the EU member states. *Energy Policy*, *32*(7), 843–849. https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00343-9

REN21. (2016). *Renewables 2016 Global Status Report*. *Renewables 2016 Global Status Report*. Paris. https://doi.org/ISBN 978-3-9818107-0-7

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

Sáenz, J. (2018). El rezago de Colombia en energías renovables. *El Espectador*. Recuperado a partir de https://www.elespectador.com/economia/el-rezago-de-colombia-en-energias-renovables-articulo-748703

Sánchez-Torres, J. M. (2017a). *Guía de aplicación Vigilancia Tecnológica, Inteligencia Competitiva y prospectiva. Versión Preliminar*. *Guía de aplicación Vigilancia Tecnológica, Inteligencia Competitiva y Prospectiva. Versión Preliminar.* (0a ed., Vol. 1). Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

Sánchez-Torres, J. M. (2017b). *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

Saritas, O., & Burmaoglu, S. (2015). The evolution of the use of Foresight methods : a

scientometric analysis of global FTA research output. *Scientometrics*, *105*(1), 513–524. https://doi.org/10.1007/s11192-015-1671-x

Sawin, J. L. (2004). Policy Lessons for the Advancement & Diffusion of Renewable Energy Technologies Around the World. *International conference for renewable energies*, 52. https://doi.org/10.1002/jsc.572

Segura García, H. (2018, febrero 11). “El humo de la guerra no nos dejó ver la corrupción”: Fernando Carrillo. *El espectador*. Recuperado a partir de https://www.elespectador.com/elecciones-2018/noticias/politica/el-humo-de-la-guerra-no-nos-dejo-ver-la-corrupcion-fernando-carrillo-articulo-738571

Sepúlveda, L. (2018, mayo 7). Las consultas populares pasan factura a la inversión minera. *Portafolio*. Recuperado a partir de http://www.portafolio.co/economia/las-consultas-populares-pasan-factura-a-la-inversion-minera-516908

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

Skajaa, A., Edlund, K., & Morales, J. M. (2015). Intraday Trading of Wind Energy. *IEEE Transactions on Power Systems*, *30*(6), 3181–3189. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2014.2377219

Swanson, D., Barg, S., Tyler, S., Venema, H., Tomar, S., Bhadwal, S., … Drexhage, J. (2010). Seven tools for creating adaptive policies. *Technological Forecasting and Social Change*, *77*(6), 924–939. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.005

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

Torres, J., Vallejo, J., Torres, C., Pérez, E., & Preciado, N. (2015). Calculando el déficit de vivienda a partir de la gran encuesta integrada de hogares. *Revista ib*, 174–191.

Transparency International. (2017). Transparency International - Colombia. Recuperado el 1 de mayo de 2018, a partir de https://www.transparency.org/country/COL

UK Renewable Energy Association. (2016). *Renewable Energy View*. Londres.

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

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

Unidad de planeación Minero Energética (UPME). (2016a). Plan De Expansión De Referencia Generación – Transmisión.

Unidad de planeación Minero Energética (UPME). (2016b). *Plan Indicativo de Expnasión de Cobertura de Energía Eléctrica 2016-2020*. Recuperado a partir de http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/PIEC_2016-2020_PublicarDic202016.pdf

Unidad de planeación Minero Energética (UPME). (2016c). Resolución 143 de 2016, *2016*(49), 26.

Unidad de planeación Minero Energética (UPME). (2016d). Resolución N°045 de 2016.

Unidad de planeación Minero Energética (UPME). (2017). *Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano – marzo de 2017 subdirección de energía eléctrica – Grupo de generación introducción: subdirección de energía eléctrica.*

Unidad de planeación Minero Energética (UPME). (2018). Incentivos Tributarios - Ley 1715 de 2014 - Informe No. 4. Recuperado a partir de http://www1.upme.gov.co/Documents/InformeNo4_Fecha_Corte_30Sept17.pdf

Urbano, C. (2010). Algunas reflexiones a propósito de la “infoxicación”. *Anuario ThinkEPI*, *4*, 304–308. Recuperado a partir de http://recyt.fecyt.es/index.php/ThinkEPI/article/view/31282

Uruguay XXI. (2016). *Informe de Energías Renovables*. Montevideo. Recuperado a partir de http://www.uruguayxxi.gub.uy/informacion/wp-content/uploads/sites/9/2016/07/Informe-de-energías-renovables-Uruguay-XXI-Marzo-2016.pdf

Usaola, J., & Moreno, M. Á. (2009). Optimal bidding of wind energy in intraday markets. *2009 6th International Conference on the European Energy Market, EEM 2009*. https://doi.org/10.1109/EEM.2009.5207179

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

Von Roon, S., & Wagner, U. (2009). The interaction of Conventional Power Production and Renewable Power under the aspect of balancing Forecast Errors. *Proceedings 10th IAEE European Conference*, (August 2007). Recuperado a partir de

https://www.ffe.de/download/wissen/20090909_10th_IAEE_von_Roon_Serafin_Wagner_Ulrich.pdf

WIPO. (s/f). Preguntas frecuentes: Patentes. Recuperado el 1 de mayo de 2018, a partir de http://www.wipo.int/patents/es/faq_patents.html

World Bank. (2014). CO2 emissions (kt) | Data. Recuperado el 9 de mayo de 2018, a partir de https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT

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