



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Marco de referencia para la implementación de energías renovables no convencionales dentro del sistema eléctrico colombiano**

**Andrés Felipe Ardila Guevara**

Trabajo final presentado como requisito parcial para obtener el título de:  
Magister en ingeniería - Sistemas Energéticos

Director:

PhD. Carlos Jaime Franco Cardona

Codirectora:

PhD. Laura Milena Cárdenas Ardila

Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín  
Facultad de Minas  
Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión  
Medellín, Colombia  
2019

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por la oportunidad de regalarme una familia maravillosa, a mi padre Nelson por todo su apoyo y generosidad a mi madre Bernarda por su complicidad ya que sin ella esto no hubiera sido posible a mis hermanos por su apoyo incondicional especialmente a Nelson Eduardo por confiar en mí durante estos dos años, a mi amigo Sergio Cruz y su familia que me abrieron las puertas de su hogar durante mi estancia en Medellín, a mi director Carlos Jaime Franco y codirectora Laura Cárdenas por su asesoría durante el desarrollo de este trabajo, a dos mujeres maravillosas como Tatiana Belalcázar y Susana Marín que tuve la fortuna de conocer y fueron un apoyo fundamental durante todo este proceso académico y todas las demás personas que de una u otra forma pusieron su granito de arena en la consecución de este objetivo .

## Resumen

En los últimos años ha venido creciendo la necesidad de incorporar fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) dentro de la matriz energética, ya sea para reducir la huella de carbono en un intento por combatir el cambio climático y el cumplimiento de los diferentes tratados internacionales, mejorar la eficiencia energética en las industrias, consolidar la seguridad energética e incluso facilitar el acceso a la energía a poblaciones en zonas no interconectadas (ZNI), entre otros.

Esta tendencia mundial unido a los avances tecnológicos han permitido que cada vez sean más atractivas y competitivas las tecnologías renovables en el mercado, sin embargo, a nivel normativo y regulatorio, la política energética no se ha desarrollado al mismo ritmo, motivo por el cual esta incorporación no se ha realizado con la rapidez necesaria para dinamizar este mercado. Por lo tanto, surge la necesidad de analizar los diferentes componentes que debe tener la política energética de tal manera que nos permita identificar los vacíos regulatorios e institucionales que representan barreras de entrada para el libre desarrollo de estas nuevas fuentes de generación.

El propósito de este trabajo es proponer un marco de referencia para la implementación de las energías renovables no convencionales dentro del sistema eléctrico colombiano. Para lograrlo, se estudiarán diferentes casos de mercados en el mundo evaluando la estructura institucional y los principales mecanismos regulatorios implementados para fomentar el uso de FNCER dentro de sus sistemas eléctricos y la política para la transición energética.

Este análisis estructural permite evaluar las instituciones, los mecanismos y componentes dentro del plan de transformación energético que tiene proyectado Colombia para la integración de FNCER en el país, con el fin de identificar y proponer acciones que faciliten el proceso hacia el desarrollo de políticas con miras hacia la transición energética con una alta participación de FNCER en el mercado.

## Palabras Clave

Política energética, fuentes no convencionales de energía renovable, marco regulatorio, componentes, instituciones.

## Abstract

In recent years, it has been growing the need to incorporate non-conventional renewable energy sources (FNCER) within the energy matrix, either to reduce the carbon footprint in an attempt to combat climate change and compliance with the different treaties international, improve energy efficiency in industries, consolidate energy security and even facilitate access to energy to populations in non-interconnected areas (ZNI), among others.

This global trend together with technological advances have allowed renewable technologies to become increasingly attractive and competitive in the market, however, at the regulatory level, energy policy has not developed at the same pace, which is why has not been done quickly enough to boost this market. Therefore, the need arises to analyze the different components that energy policy must have in such a way that it allows us to identify regulatory and institutional gaps that represent barriers to the free development of these new sources of generation.

The purpose of this work is to propose a frame of reference for the implementation of non-conventional renewable energies within the Colombian electricity system. To achieve this, different cases of markets in the world are studied evaluating the institutional structure and the main regulatory mechanisms implemented to encourage the use of FNCER within its electrical systems and the policy for energy transition.

This structural analysis allows to evaluate the institutions, mechanisms and components within the energy transformation plan that Colombia has planned for the integration of FNCER in the country, in order to identify and propose actions that facilitate the process towards the development of policies with a view towards the energy transition with a high participation of FNCER in the market.

## Keywords

Energy policy, non conventional renewable energy source, framework, components, institutions

## Tabla de contenido

Resumen.....	3
Palabras Clave.....	3
Abstract .....	4
Keywords .....	4
INTRODUCCIÓN .....	11
Capítulo 1. ANTECEDENTES .....	13
1.1    Fuentes no convencionales de energía renovable - FNCER en Colombia.....	13
1.2    Planteamiento del problema .....	14
Conclusiones del capítulo.....	15
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Fuentes no convencionales de energía renovable - FNCER.....	16
2.1.1. Energía Eólica .....	16
2.1.2. Energía Solar.....	16
2.1.3. Energía Geotérmica .....	19
2.1.4. Energía de Biomasa .....	19
2.2. Estructura institucional del sector eléctrico .....	19
Conclusión del capítulo .....	20
Capítulo 3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
3.1. Necesidad de la revisión .....	21
3.2. Preguntas de investigación .....	21
3.3. Proceso de búsqueda .....	22
3.4. Criterios de inclusión y exclusión .....	22
3.5. Definición de los criterios de evaluación de la calidad.....	23
3.6. Recolección y análisis de datos .....	23
3.7. Resultados de la investigación .....	23
3.8. Síntesis de resultados .....	26
3.8.1. P1: ¿Qué componentes debería integrar la política energética para la implementación de FNCER? .....	26
3.8.2. ¿Cuál es la política energética aplicada actualmente a nivel mundial para la implementación de FNCER? .....	27
3.8.3. P3: ¿Cuáles son las instituciones y los procesos asociados para la implementación de FNCER a nivel mundial? .....	28

3.9. Resultados de los criterios de evaluación de la calidad .....	28
3.10. Limitaciones y vacíos de la literatura .....	29
Conclusión del capítulo .....	29
Capítulo 4. OBJETIVOS.....	30
OBJETIVO GENERAL.....	30
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	30
Capítulo 5. MARCO DE REFERENCIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FNCER .....	31
5.1. Marco internacional de políticas energéticas para la integración de FNCER .....	31
5.1.1. Alemania .....	31
5.1.1.1. Instituciones .....	32
5.1.1.2. Reglamentación y procesos regulatorios .....	32
5.1.2. Australia .....	32
5.1.2.1. Instituciones .....	33
5.1.2.2. Reglamentación y procesos regulatorios .....	33
5.1.3. China .....	33
5.1.3.1. Instituciones .....	34
5.1.3.2. Reglamentación y procesos regulatorios .....	34
5.1.4. Dinamarca .....	35
5.1.4.1. Instituciones .....	35
5.1.4.2. Reglamentación y procesos regulatorios .....	35
5.1.5. Estados Unidos .....	36
5.1.5.1. Instituciones .....	36
5.1.5.2. Reglamentación y procesos regulatorios .....	36
5.1.6. Japón.....	37
5.1.6.1. Instituciones .....	37
5.1.6.2. Reglamentación y procesos regulatorios .....	37
5.2. Estructura actual de la política energética para la implementación de FNCER a nivel nacional .....	38
5.2.1. Colombia .....	38
5.2.1.1. Instituciones .....	38
5.2.1.2. Reglamentación y procesos regulatorios .....	39
5.3. Marco de referencia para la integración de FNCER en el sistema eléctrico colombiano.....	41

5.3.1. Componente para la Integración Institucional.....	41
5.3.2. Componente regulatorio y de mercado.....	42
5.3.3. Componente tecnológico y de infraestructura .....	43
Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	44
6.1. Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos .....	44
6.1.1. Objetivo específico 1 .....	44
6.1.2. Objetivo específico 2 .....	45
6.1.3. Objetivo específico 3 .....	45
6.1.4. Objetivo general .....	46
6.2. Trabajos Futuros.....	46
Capítulo 7. REFERENCIAS.....	47

## Lista de abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
FNCER	Fuentes no convencionales de energía renovable
GEI	Gases efecto invernadero
MME	Ministerio de Minas y Energía
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
SIN	Sistema Interconectado Nacional
DNP	Departamento Nacional de Planeación



## Lista de Figuras

Figura 1. Matriz Energética Nacional (UPME, 2015) .....	14
Figura 2. Potencial de FNCER por tecnología en Colombia (UPME,2015).....	15
Figura 3. Mapa solar Colombia (IDEAM, 2015).....	17
Figura 4. Evolución de celdas fotovoltaicas por tecnología (NREL, 2019).....	18
Figura 5. Estructura Institucional (CREG,2018).....	20
Figura 6. Distribución de las publicaciones .....	24
Figura 7. Evaluación criterios de la calidad .....	29
Figura 8. Crecimiento porcentual de las renovables en el sistema eléctrico alemán.....	31
Figura 9. Trilema Energético de Japón .....	38
Figura 10. Plan Energético Nacional 2050.....	40

## Lista de Tablas

Tabla 1. Revistas Seleccionadas.....	24
Tabla 2. Revisión sistemática de literatura .....	25
Tabla 3. Componentes de la política energética para integrar FNCER .....	26
Tabla 4. Política energética actual .....	27
Tabla 5. Instituciones para la integración de FNCER.....	28

## INTRODUCCIÓN

La problemática del cambio climático está generando que cada vez sean más los países interesados en incursionar con fuentes no convencionales de energía renovable FNCER ya sea para mejorar el acceso a la energía en poblaciones vulnerables o para mejorar la eficiencia energética en la industria (Kanellakis, Martinopoulos, & Zachariadis, 2013).

El diseño de políticas encaminadas a abordar la problemática del cambio climático permite por un lado orientar lineamientos para reducir las emisiones de gases efecto invernadero GEI, mediante la promoción y adopción de tecnologías renovables no convencionales con los diferentes agentes del sector energético y por otro lado diversificar la matriz energética asegurando así el suministro de energía en el mediano y largo plazo.

En la mayoría de los casos el diseño de políticas busca incrementar la participación de tecnologías renovables en proyectos de pequeña, mediana y gran escala a nivel residencial, comercial e industrial, teniendo en cuenta el potencial y la disponibilidad del recurso natural explotable (solar, eólico) pero no tiene en cuenta la estructura organizacional en la cual debe articularse la política energética. Por tal motivo, surge la necesidad de identificar los parámetros necesarios para organizar los componentes de la política energética de un país. El desarrollo de estructuras regulatorias permitirán direccionar acciones eficientes de cara al cumplimiento de metas suscritas en acuerdos internacionales para el cambio climático (Scarlat, Dallemand, Monforti-ferrario, & Banja, 2015).

Países como Alemania, Australia, Dinamarca, China y Estados Unidos son líderes en la implementación de energías renovables con estructuras claras que les permite tener una política energética sostenible, incluso China que es el principal emisor de gases efecto invernadero GEI a nivel mundial está haciendo grandes esfuerzos en este ámbito con el fin de disminuir su huella de carbono (Zeng, Li, & Zhou, 2013).

La conferencia sobre el cambio climático COP 21 celebrada en París en 2015, busca reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en el contexto del desarrollo sostenible, Colombia se comprometió a reducir sus emisiones en un 20% de cara al año 2030 ( Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2016), por esta razón, se requiere reforzar las instituciones y los procesos de tal manera que nos permitan tener un marco regulatorio competitivo que facilite la transición energética en pro de diversificar la matriz energética del país.

El propósito de este trabajo es identificar los diferentes componentes que debería tener un marco de referencia para la implementación de las energías renovables no convencionales, teniendo en cuenta los casos que se han desarrollado exitosamente a nivel internacional, de tal manera que nos permita evaluar y comparar la política energética que Colombia ha implementado para impulsar estas tecnologías dentro de la matriz energética, con el fin de potenciar la estructura del marco regulatorio actual proponiendo acciones de mejora que garanticen una efectiva transición energética de cara a los principales retos que se avecinan tales como la movilidad eléctrica y la generación distribuida.

La metodología empleada para desarrollar este trabajo consistió en realizar una revisión sistemática de literatura, la cual permitió identificar los principales avances en torno a la estructuración de políticas energéticas para la articulación de FNCER dentro de la matriz energética. Con base en esta información y análisis de otros mercados a nivel internacional se definieron los aspectos que deberían ser tenidos en cuenta al momento de implementar políticas para la inclusión de nuevas fuentes de generación y se evaluó el rol de las instituciones presentes que actúan directamente sobre el diseño y regulación de los mecanismos para facilitar la integración de estos sistemas. Finalmente, con todos estos análisis se planteó un marco de referencia con los componentes más importantes para la implementación de FNCER dentro del sistema eléctrico colombiano.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: inicialmente se encuentran los capítulos denominados antecedentes, marco teórico y revisión de literatura los cuales están relacionados con la recopilación de información teórica y académica necesaria para desarrollar parte del trabajo y cumplir con algunos de los objetivos propuestos, posteriormente se encuentra el capítulo denominado marco de referencia para la implementación de FNCER en el cual se muestran análisis de mercados a nivel internacional y los avances en materia de política energética actual para la articulación de FNCER en Colombia.

Como resultado del trabajo se propone un marco de referencia con los principales componentes a tener en cuenta para la implementación de FNCER en el sistema eléctrico colombiano, que permita generar nuevos mercados y dinamizar en el mediano y largo plazo la transformación del sector eléctrico.

Este trabajo se limita al planteamiento de componentes institucionales, regulatorios y tecnológicos que se acomoden al mercado eléctrico colombiano para la implementación de FNCER viabilizando la transición energética, el cual permitirá en próximos trabajos explorar el impacto que tendría en la transformación del sector eléctrico colombiano.

## Capítulo 1. ANTECEDENTES

En este capítulo se presenta el proceso que llevó a Colombia al desarrollo de políticas energéticas en torno a la implementación de FNCER, identificando los principales motivos que han tenido lugar para legislar sobre este tema, el cambio climático, la eficiencia energética entre otros, de tal manera que permita identificar el planteamiento del problema, el alcance y las limitaciones de este trabajo.

### 1.1 Fuentes no convencionales de energía renovable - FNCER en Colombia

Colombia es un país con una dependencia por la generación hidráulica, a tal punto que cerca del 65% de la capacidad instalada proviene de este tipo de plantas, el 31% proviene de centrales térmicas a carbón y gas y el 5% restante proviene de pequeñas centrales o plantas menores (Castillo, Castrillón Gutiérrez, Vanegas-Chamorro, Valencia, & Villicaña, 2015). Este tipo de configuraciones de la matriz energética hacen que el sistema sea altamente vulnerable ante posibles contingencias debido a largos periodos de sequía (fenómeno ENSO), la limitada oferta de gas natural en el país o incluso a eventos aislados que causen salidas de plantas de generación (UPME, 2015). Por esta razón surge la necesidad de diversificar la matriz energética del país que permita asegurar el abastecimiento de energía.

La integración de las FNCER ha sido una propuesta que se ha venido trabajando desde hace unos años en Colombia, como principal producto de esta iniciativa se cuenta en la actualidad con la Ley 1715 de 2014, la cual promulga “la integración de las energías renovables no convencionales dentro de la matriz energética nacional, su participación en las zonas no interconectadas como medio necesario para un desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de GEI y la seguridad del abastecimiento energético, promoviendo así la eficiencia energética”(Congreso de Colombia, 2014).

La entrada en vigencia de la ley 1715 enmarcó las directrices para que entidades adscritas al Ministerio de Minas y Energía como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) iniciaran procesos para establecer los procedimientos necesarios para la entrada en operación de la ley mediante la expedición de decretos como el 2469 de 2014 que establece los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración o el decreto 066 de 2017 para la autogeneración a pequeña escala y generación distribuida, resoluciones como la 030 de 2018 la cual regula las actividades de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el sistema interconectado nacional u otro tipo de mecanismos para darle vida a lo expedido en la ley, los cuales han venido siendo publicados en el periodo 2014 - 2018.

Actualmente la UPME cuenta con más de 200 proyectos pre-inscritos en distintas etapas del proceso para la certificación y acreditación que buscan los beneficios de la ley 1715, de distintas tecnologías y capacidad (la mayoría menores a 20MW de capacidad instalada), de aprovechamiento solar, eólico y algunos de biomasa en el norte de Colombia departamentos de la guajira y Cesar (UPME, 2015).

## 1.2 Planteamiento del problema

Si bien el país está comprometido con la transición energética y la diversificación de su matriz, la participación de FNCER en el sistema interconectado nacional aun es mínima, solo el 5% de la canasta energética es de FNCER (Bueno López, Rodríguez Sarmiento, & Rodríguez Sánchez, 2016).

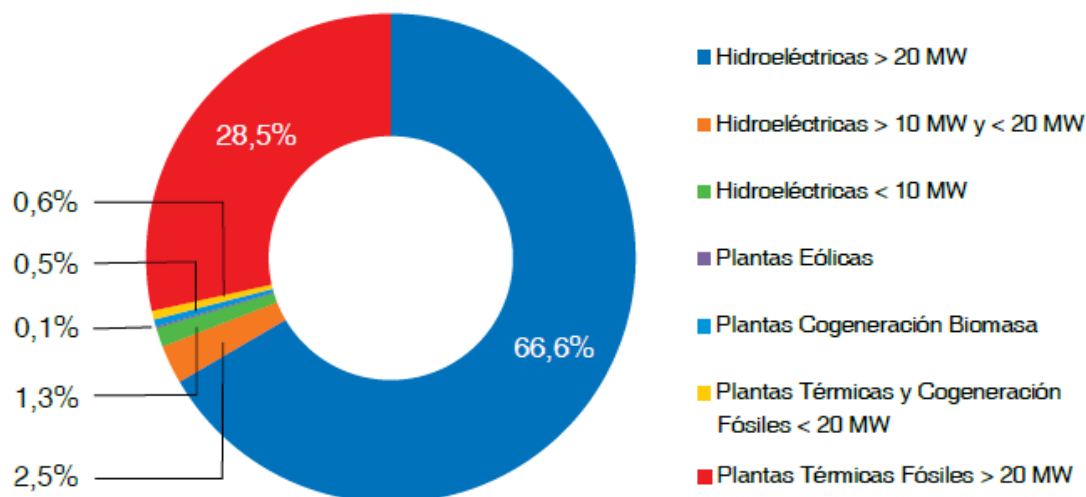


Figura 1. Matriz Energética Nacional (UPME, 2017)

En el año 2010, el MME estableció a través de la adopción del Plan de acción indicativo 2010-2015 del Programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE) (Resolución MEM 18-0919 de 2010), metas indicativas para lograr una participación del 3,5% de FNCER en términos de la capacidad instalada del Sistema interconectado nacional (SIN) para el año 2015, e incrementar dicha participación al 6,5% para el año 2020. De acuerdo con cifras disponibles a diciembre de 2014, a tal fecha, la participación de FNCER en el SIN fue de 2,71% en capacidad instalada, hecho que obedeció a las barreras existentes en ese momento para una mayor penetración de FNCER y a la ausencia de instrumentos y líneas de acción definidas para el cumplimiento de dichas metas (UPME, 2015).

Iniciativas como la ley 1715 de 2014 no han tenido el efecto esperado en la participación de nuevos proyectos, esto sumado a la reciente subasta de largo plazo de energías renovables celebrada en marzo de 2019 por el MME la cual resultó incierta, sin adjudicaciones debido al incumplimiento de las condiciones de concentración y dominancia determinadas por la CREG, representó un revés importante para los inversionistas interesados en desarrollar proyectos con FNCER en Colombia (Gómez, J, 2019). Por este motivo surge la necesidad de evaluar la forma bajo la cual está estructurada la política energética (a nivel de componentes e instituciones) y los procesos asociados para impulsar el desarrollo de proyectos productivos que dinamicen el mercado de energía dado el alto potencial que cuenta Colombia para desarrollar proyectos con FNCER (Bueno López et al., 2016).

Como podemos observar en la figura 2, Colombia tiene un alto potencial para desarrollar proyectos con FNCER debido a su ubicación geográfica y las características climáticas propias las cuales favorecen la implementación de estos proyectos. Por lo tanto, la conformación de un marco regulatorio competitivo es fundamental para dinamizar la masificación de estas tecnologías fomentando el crecimiento económico del país.

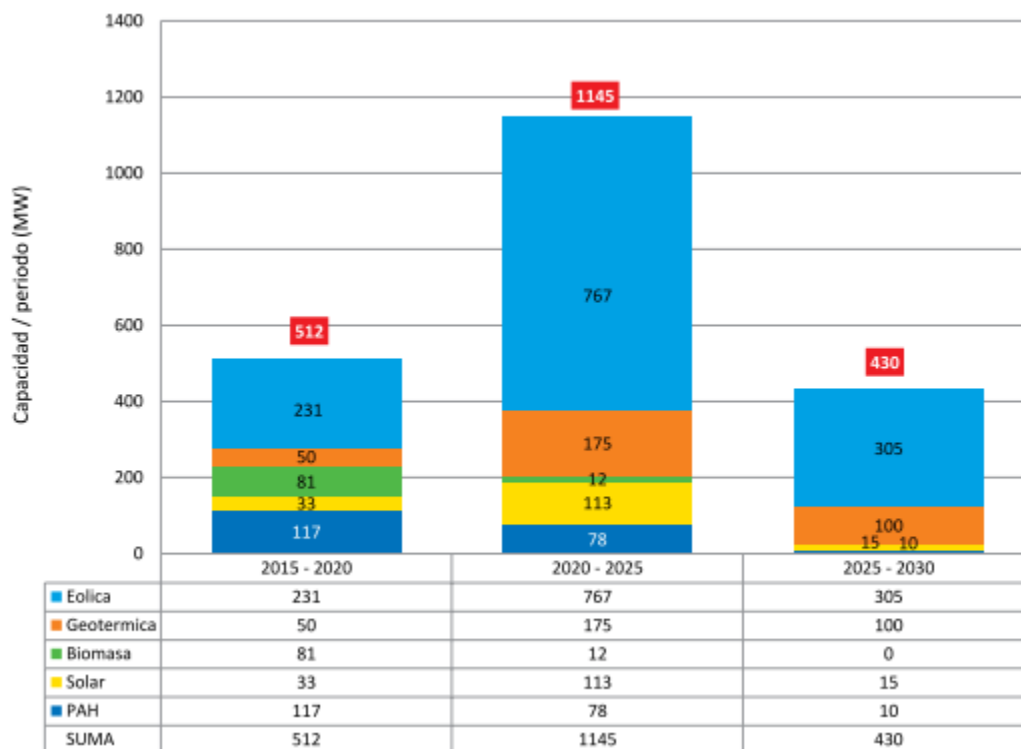


Figura 2. Potencial de FNCER por tecnología en Colombia (UPME,2015)

## Conclusiones del capítulo

Actualmente existe un interés por parte del gobierno nacional para impulsar el desarrollo de FNCER en Colombia debido al alto potencial de este tipo de recursos energéticos en el país, sin embargo, las políticas energéticas implementadas no han tenido el impacto suficiente para dinamizar el mercado y una muestra de esto es la baja participación de estos recursos en la matriz energética. Motivo por el cual surge la necesidad de evaluar la estructura regulatoria e institucional en torno a la política energética nacional para la integración de FNCER.

Este trabajo se limita al planteamiento de mecanismos que deberían ser implementados en materia de políticas energéticas para la diversificación de la matriz energética con una mayor participación de FNCER, teniendo en cuenta prácticas realizadas en otros países que sean aplicables en el entorno colombiano y las condiciones propias del mercado.

## Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la teoría relacionada con los diferentes tipos de FNCER con un alto potencial de uso en Colombia, adicionalmente se presentan los diferentes tipos de instituciones que actúan directamente sobre la política energética colombiana presentando así el escenario actual bajo el cual está organizada la estructura regulatoria nacional.

### 2.1. Fuentes no convencionales de energía renovable - FNCER

Las fuentes no convencionales de energía renovable son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la energía eólica, la energía geotérmica y la energía solar. A continuación, se describirán cada una de las FNCER potencialmente explotables en Colombia.

#### 2.1.1. Energía Eólica

La energía eólica es la FNCER de mayor difusión en el mundo, actualmente cuenta con más de 400GW instalados y presenta un crecimiento de cerca del 20% por año, el desarrollo tecnológico ha permitido que se exploten potenciales eólicos en el mar mediante proyectos tipo offshore, países como Dinamarca, España y China son líderes con cerca de un 34% de su generación por medio de esta tecnología (REN21, 2019).

Al igual que la energía solar, la energía eólica tiene un alto potencial explotable en la zona norte del país, principalmente en la alta Guajira donde se estima una densidad de energía media de 1530W/m<sup>2</sup> medidos a 50 metros de altura (Castillo et al., 2015). El único parque eólico en la actualidad es Jepirachi, que fue el primero en construirse en el país en 2004. Este parque se ubica en Puerto Bolívar en La Guajira, tiene una capacidad instalada de 19,5 MW el cual corresponde al 0,12% de la capacidad efectiva neta instalada en el sistema interconectado nacional (SIN). La UPME dentro de su plan de expansión del SIN ya tiene adjudicada una línea de 500 kV para darle salida a todo el potencial energético renovable del departamento de la Guajira hacia el interior del país, lo cual permitirá en el mediano plazo dinamizar la implementación de proyectos con FNCER en esta región.

#### 2.1.2. Energía Solar

Colombia cuenta con un gran potencial de recurso solar, llegando a un promedio diario multianual de irradiación de 4,5 kWh/m<sup>2</sup> destacando a la Guajira como la región con el mayor potencial para desarrollar proyectos de este tipo ya que cuenta con un promedio de irradiación diaria de 6 kWh/m<sup>2</sup> (Sánchez, Rodríguez, Collante, & Simbaqueva, 1993). En el país solo se está aprovechando este potencial en sistemas de telecomunicaciones o para la electrificación rural en zonas no



interconectadas mediante el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas (IPSE). La Figura 3 permite evidenciar el alto potencial solar que cuenta Colombia para el desarrollo de proyectos productivos en la mayoría de regiones del país.

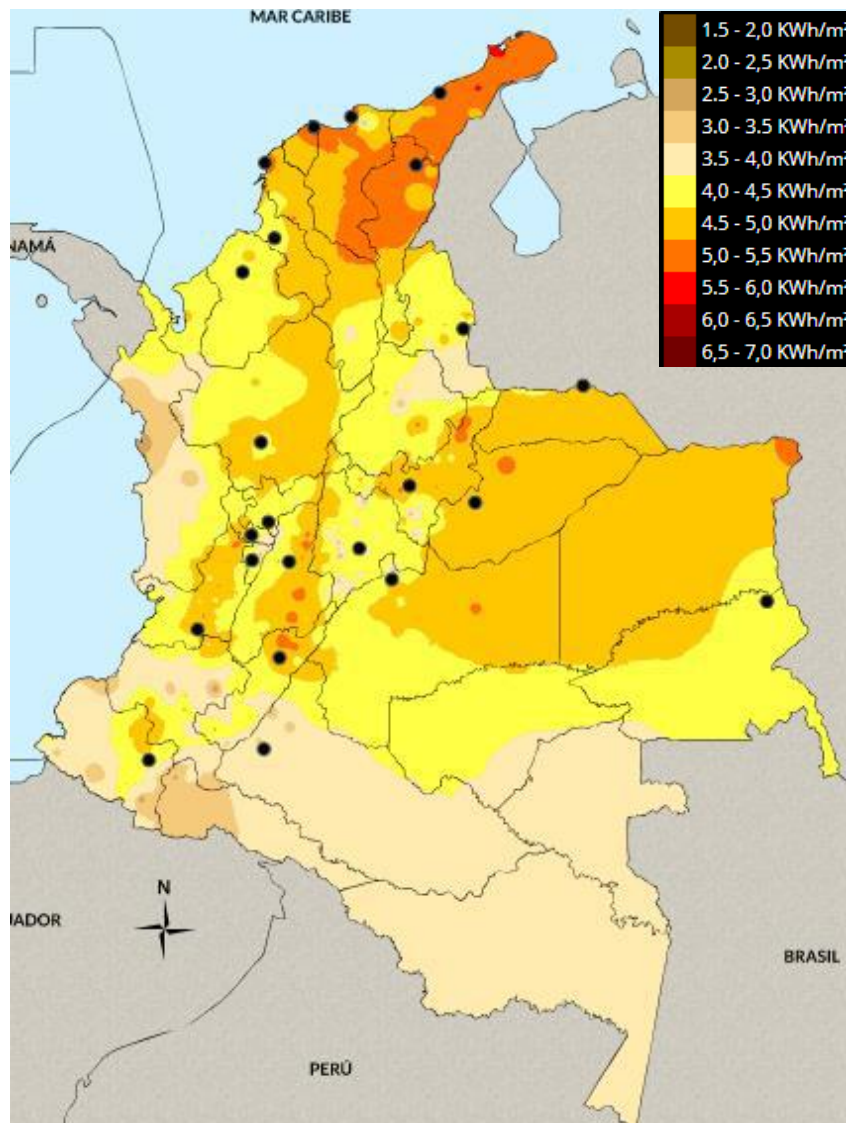


Figura 3. Mapa solar Colombia (IDEAM, 2015)

El desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de la energía solar ha venido creciendo como se puede apreciar en la Figura 4 en la cual se muestra el aumento en de la eficiencia en los distintos tipos de tecnologías de módulos fotovoltaicos, llegando a más de 40% de eficiencia en laboratorio para algunas tecnologías(NREL, 2019). Esto ha permitido que la curva de aprendizaje de la tecnología presente un comportamiento descendente generando que los precios sean más competitivos en los mercados al compararlos con las tecnologías convencionales. A pesar de esto aún queda mucho por desarrollar en materia de baterías y otros componentes necesarios para una implementación masiva de proyectos de este tipo.

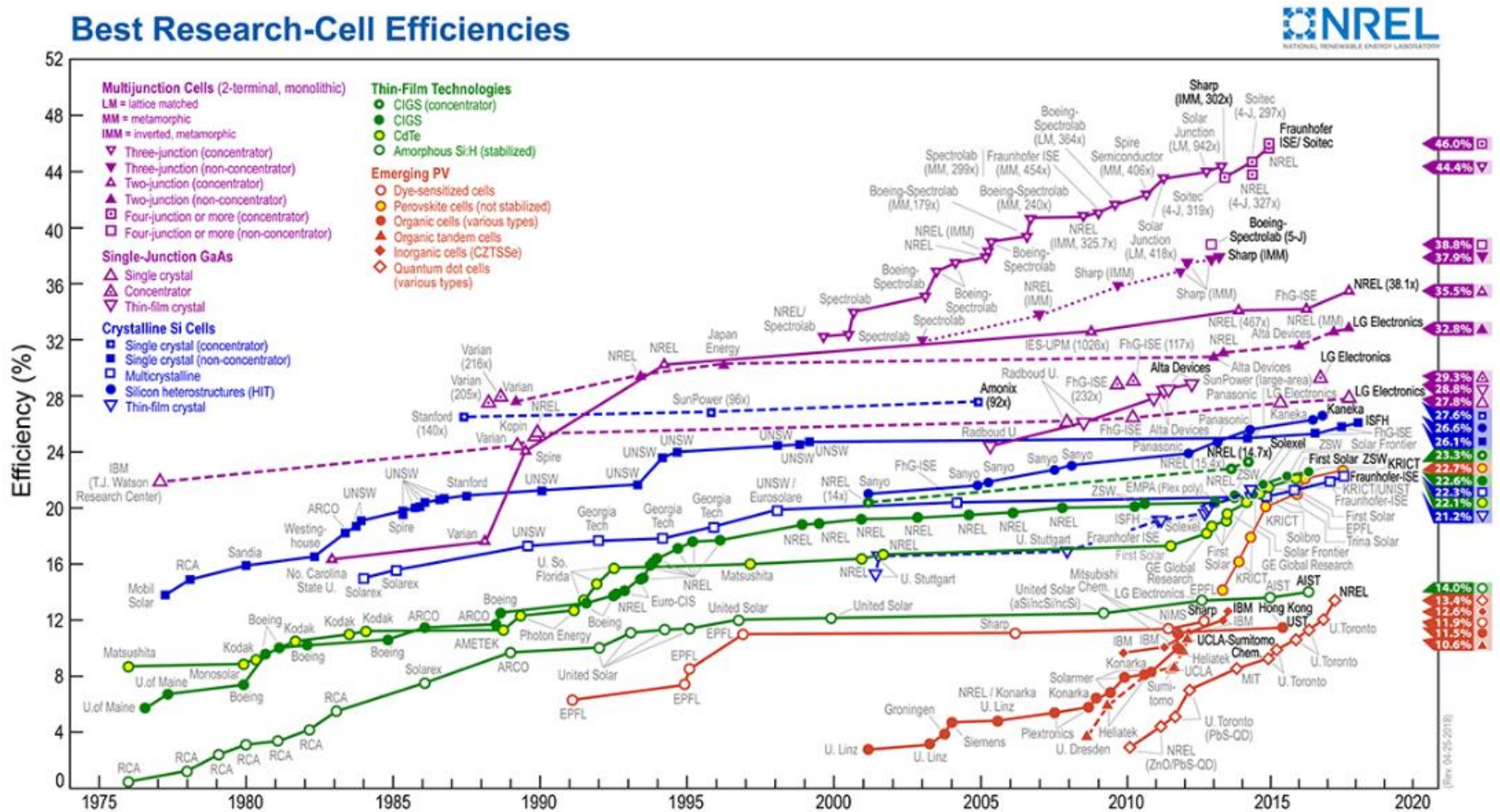


Figura 4. Evolución de celdas fotovoltaicas por tecnología (NREL, 2019)

### 2.1.3. Energía Geotérmica

La energía geotérmica es la que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor natural del interior de la tierra que se transmite a través de los cuerpos de roca caliente o reservorios por conducción y convección, donde se suscitan procesos de interacción de fluidos y rocas. Países como Islandia, Japón y Nueva Zelanda generan gran parte de su energía por medio de este tipo de plantas (Javier, Carrasco, & Martínez Márquez, 2015). Colombia cuenta con una cadena volcánica importante que forma parte del cinturón de fuego del pacífico, la mayoría de estos se encuentran en la cordillera central y cuentan con un potencial explotable cercano a los 100 MW (UPME, 2015). En la actualidad no se cuenta con ningún proyecto geotérmico con fines de generación de energía en Colombia, sin embargo, si se han realizado diversos estudios de factibilidad y exploración con proyectos de pequeña escala 10 MW con el fin de incursionar en el mediano plazo con proyectos de este tipo (Javier, Carrasco, & Martínez Márquez, 2015).

### 2.1.4. Energía de Biomasa

La energía de biomasa utiliza residuos agroindustriales como combustible principal para ciertas plantas de generación térmica. El sector agropecuario es fuente potencial de biomasa, brinda material aprovechable como bagazo de caña de azúcar y panelera, cascarilla de arroz, pulpa de café, palma de aceite, frijol, caña de azúcar y cebada, según estudios realizados por la UPME se reportan 29 millones de ton/año de biomasa residual agrícola, cuyo potencial energético es del orden de los 12.000 MWh/año. Además, el país cuenta con otras fuentes potenciales de biomasa, como la producción de algas, sistemas de producción pecuaria que generan grandes volúmenes de estiércol, los residuos sólidos urbanos de los cuales el 56% representan material orgánico, entre otros (Castaño Uribe et al., 2014).

Se estima que el potencial energético de residuos agrícolas e industriales RAI (bagazo de caña, palma africana, café maíz, arroz, banano y plátano) son de 331,64 PJ/año, los residuos pecuarios son de 117,55 PJ/año (bovinos, porcinos y avícolas) y los residuos sólidos urbanos de 12 ciudades principales alcanzan los 192 TJ/año. En 2003 se estimó un potencial de biomasa de 16,267 MWh/año de energía primaria compuesto principalmente del potencial de residuos agroindustriales y de cosechas (Castaño Uribe et al., 2014).

## 2.2. Estructura institucional del sector eléctrico

La estructura institucional del sector eléctrico colombiano se transformó con la entrada en vigencia de las leyes 142 y 143 de 1994 más conocidas como la ley de servicios públicos domiciliarios y ley eléctrica, estas dos leyes se crearon fundamentalmente para asegurar la eficiencia del sistema y atender la demanda del servicio de energía eléctrica con calidad y confiabilidad. Adicionalmente permitió la creación de instituciones las cuales se encargarían de regular, planear, controlar, administrar y operar el sistema eléctrico (Fernández Torres, 2016).

La entidad encargada de suministrar los lineamientos de la política energética nacional está a cargo del Ministerio de Minas y Energía (MME), el cual se ocupa de formular, adoptar, dirigir y coordinar las políticas públicas del sector minero energético del país (Congreso de Colombia, 2014). El Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) se encargan de estructurar los planes de expansión de los diferentes recursos energéticos del sistema de acuerdo a las necesidades de oferta y demanda. Otra de las entidades adscritas al MME es la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) la cual se encargada de regular todos los servicios de energía eléctrica (generación, transmisión, distribución y comercialización), gas natural y gas licuado de petróleo (GLP), garantizando que estos servicios se presten al mayor número de personas, al menor costo posible para los usuarios y con una remuneración adecuada para las empresas prestadoras de estos servicios de tal manera que permita garantizar calidad, cobertura y expansión. Todos estos servicios son vigilados por la Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios (SSPD), entidad que ejerce controla y vigila a todos los agentes del mercado garantizando el cumplimiento de las leyes y reglas de las operaciones. La Figura 5 muestra el esquema institucional del sector energético el Colombia.



Figura 5. Estructura Institucional (CREG,2018)

## Conclusión del capítulo

Las FNCER cuentan con un alto potencial explotable el cual permitiría en el mediano y largo plazo mitigar los efectos del cambio climático mediante procesos de generación limpia, adicionalmente, siguen evolucionando tecnológicamente reduciendo la brecha con respecto a la generación convencional. Por otra parte, es importante implementar políticas energéticas incluyentes que viabilicen el desarrollo de estas tecnologías y permitan diversificar la matriz energética nacional y su participación en los mercados de energía.

Cabe resaltar la importancia de analizar el marco institucional actual con el fin de identificar posibles acciones de mejora en materia institucional y de estrategia para facilitar la transición hacia FNCER.

## Capítulo 3. REVISIÓN DE LITERATURA

Para identificar los principales avances en materia de gestión de políticas y estructuras regulatorias e institucionales para la incorporación de FNCER, era necesario una exploración específica en distintas fuentes de información, motivo por el cual se decidió planear la investigación mediante la metodología de revisión sistemática.

El estudio fue realizado utilizando la metodología de revisión sistemática de literatura la cual permite la construcción de conocimiento a partir del análisis de evidencias en estudios primarios realizados sobre un tema en particular. Esta revisión permite obviar problemas de la revisión tradicional, informal o narrativa que en la mayoría de los casos esta sesgada hacia una posición determinada por el autor, adicionalmente la revisión tradicional es difícil de organizar y en la mayoría de los casos no se puede reproducir. Por otra parte, la revisión sistemática permite formular preguntas de investigación para responder en el estudio (Kitchenham & Charters, 2007).

La metodología de la revisión sistemática de literatura incluye los siguientes pasos:

1. Necesidad de la revisión
2. Formulación de las preguntas de investigación
3. Proceso de búsqueda
4. Definición de los criterios de inclusión y exclusión de la información obtenidos
5. Definición de los criterios de evaluación de calidad de la información recolectada
6. Resultados de la investigación
7. Síntesis de resultados
8. Resultados de los criterios de evaluación de la calidad
9. Limitaciones y vacíos de la investigación

### 3.1. Necesidad de la revisión

La revisión sistemática de literatura resuelve la necesidad de identificar y resumir los principales hallazgos existentes sobre un tema de interés. En este contexto, la gestión de políticas energéticas para la implementación de FNCER, la cual ha venido desarrollándose con aportes que provienen de áreas como energía renovable y políticas energéticas, generando que la información esté dispersa en distintas áreas del conocimiento. Por este motivo se concluye que, debido a la amplitud y la diversidad de las fuentes bibliográficas, se requiere de una revisión sistemática de literatura para dar cuenta de los principales desarrollos en la gestión de políticas energéticas para la integración de FNCER.

### 3.2. Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación son la base del proceso de investigación, ya que permiten detectar los estudios primarios, la información que se extrae del material bibliográfico identificado y el

mecanismo de síntesis. En esta investigación en particular, las preguntas fueron diseñadas con el fin de identificar los componentes, instituciones y procesos que deberían ser tenidos en cuenta al momento de implementar políticas para la integración de FNCER y la diversificación de la matriz energética.

A continuación, se presentan las preguntas de investigación que se responderán en esta investigación.

- P1: ¿Qué componentes debería integrar la política energética para la implementación de FNCER?
- P2: ¿Cuál es la política energética aplicada actualmente a nivel mundial para la implementación de FNCER?
- P3: ¿Cuáles son las instituciones y los procesos asociados para implementar FNCER a nivel mundial?

### 3.3. Proceso de búsqueda

Para realizar la búsqueda se utilizaron las bases bibliográficas de Science Direct y Scopus. Las cadenas de búsqueda fueron diseñadas a partir de las siguientes palabras claves:

- “Energy policy”
- “Framework”
- “Non conventional renewable energy source”
- “Energy transition”
- “Institutions”
- “Components”
- “Processes”

La búsqueda fue restringida a las siguientes áreas temáticas sobre las publicaciones disponibles electrónicamente entre enero 2009 y enero de 2019:

- Energy policy
- Renewable energy
- Energy economics

### 3.4. Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron únicamente los artículos relacionados con la temática de políticas energéticas para la inclusión de FNCER, transformaciones institucionales y regulatorias hacia la transición energética, procesos y desarrollos de nuevos mercados con participación de FNCER. Adicionalmente, solo se revisaron artículos en inglés. Se excluyeron los artículos relacionados con el diseño de políticas para tecnologías renovables que no son potencialmente explotables en Colombia.

### 3.5. Definición de los criterios de evaluación de la calidad

Con la evaluación de la calidad de los artículos se buscó establecer las publicaciones que tenían la información más completa y necesaria para el análisis. Para ello se evaluaron las preguntas de investigación relacionadas en la sección 3.2 y se calificó cada pregunta con un 2 si el artículo contestaba a la pregunta establecida o con un 0 si no contestaba. La calificación final es la suma de las calificaciones individuales. La calificación máxima es de 6 y la mínima de 0.

### 3.6. Recolección y análisis de datos

Los datos extraídos de cada estudio fueron los siguientes:

- Autores
- Revista
- Año de publicación
- Tipo de investigación: revisión, investigación o aplicación
- Cantidad de referencias bibliográficas citadas
- Cantidad de citas al artículo
- Mecanismos o políticas para la implementación de FNCER
- Principales instituciones públicas o privadas promotoras para la integración de FNCER
- Componentes y procesos regulatorios implementados para la integración de FNCER

### 3.7. Resultados de la investigación

El análisis inicial arrojó 978 artículos con referencia a las palabras claves asociadas, sin embargo, en este análisis metodológico solo se reportarán los artículos que fueron tenidos en cuenta para desarrollar esta investigación dados los criterios de inclusión y exclusión presentados anteriormente en la sección 3.4. El primer criterio de exclusión permitió descartar más de 560 artículos que solo mencionaban políticas generales con fuentes convencionales de energía, el segundo criterio permitió descartar más de 230 artículos que no hacían referencia a transformaciones institucionales con miras hacia la transición energética, el tercer criterio de exclusión permitió descartar cerca de 160 artículos que no hacían referencia a la participación de FNCER en los mercados eléctricos. Finalmente, se recopilaron 20 artículos los cuales cumplieron con los criterios de inclusión planteados para desarrollar esta investigación.

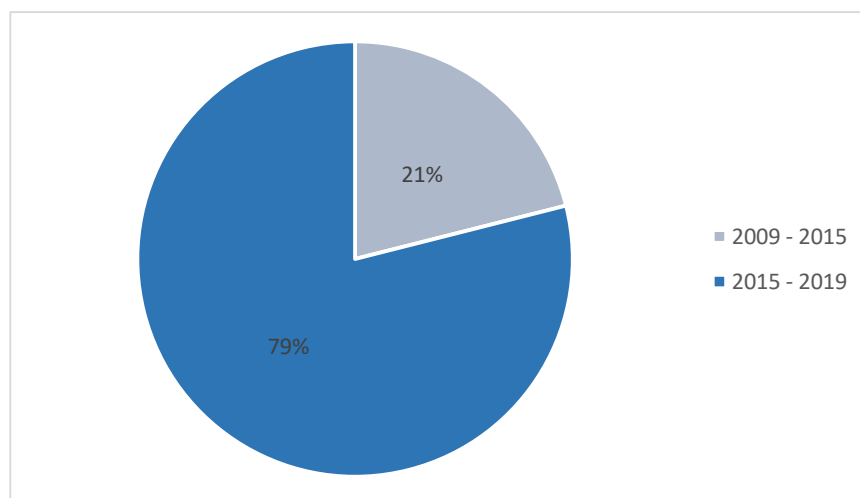
En la tabla 1, se reportan las publicaciones seriadas en las cuales se publicaron al menos un artículo de interés para la investigación.

*Tabla 1. Revistas Seleccionadas*

Revista	Número de artículos
Energy Policy	13
Renewable and Sustainable Energy Reviews	2
Energy Research & Social Science	2
Environmental Innovation and Societal Transitions	1
Research Policy	1
Renewable energy	1

Al aplicar la búsqueda diseñada, se recuperaron 20 artículos que aparecen listados en la tabla 2. Se encontraron 4 artículos con más de 40 citaciones, escritos desde el año 2018. El artículo más citado, escrito por Kucharski & Unesaki en 2018, describe los mecanismos utilizados por Japón para promover la integración de FNCER después del tsunami de 2011 en la que quedó expuesta la necesidad de diversificar la matriz energética del país. La calificación se basó en la cantidad de preguntas de investigación que los artículos respondieron con un 2 por cada respuesta que respondieran, la calificación máxima fue de 6.

En la Figura 6 se puede observar la distribución de la publicación de artículos desde 2009 hasta 2019. Se resalta el hecho que cerca del 80% de los artículos analizados se hayan producido entre el 2015 y 2019. Esto muestra la tendencia reciente que hay en el mundo sobre la necesidad de estructurar políticas para la integración de FNCER en la matriz energética como mecanismo para combatir el cambio climático.



*Figura 6. Distribución de las publicaciones*



*Tabla 2. Revisión sistemática de literatura*

Estudio	Revista	Tipo de investigación	Referencia/Citas	Calificación
Kucharski, B Unesaki, Hironobu (2018)	Environmental Innovation and Societal Transitions	Investigación	60/40	6
Liu, Junxia (2019)	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Revisión	36/40	6
Bradshaw, Amanda de Martino Jannuzzi, Gilberto (2019)	Energy Policy	Investigación	88/15	6
Veum, Karina Bauknecht, Dierk (2019)	Energy Policy	Aplicación	27/5	6
Liu, Dunnan Liu, Mingguang Xu, Erfeng (2019)	Energy Policy	Revisión	36/2	6
Spijkerboer, Zuidema, (2019)	Energy Policy	Aplicación	39/2	6
Simsek, Lorca (2019)	Energy Policy	Revisión	77/1	6
Batinge, Musango, Brent (2019)	Energy Policy	Aplicación	130/3	6
Proskuryakova, Liliana Ermolenko, Georgy (2019)	Renewable Energy	Revisión	120/3	6
Levin, Todd Kwon, Jonghwan (2019)	Energy Policy	Investigación	38/3	6
Bryant, Scott Straker, Karla (2019)	Energy Policy	Aplicación	80/2	6
Zhou, Shan Matisoff, Daniel C. (2019)	Energy Research & Social Science	Revisión	76/2	6
Capellán-Pérez, Iñigo Campos-Celador, Álvaro (2018)	Energy Policy	Aplicación	124/2	6
Viviana, Martínez Castillo, O. L. (2019)	Energy Policy	Investigación	51/1	6
Njoh, Ambe J. Etta, Simon (2019)	Energy Policy	Investigación	32/1	6
Rogge, Karoline S Reichardt, Kristin (2016)	Research Policy	Investigación	110/12	5
Miller, Clark A Richter, Jennifer Leary, Jason O (2015)	Energy Research & Social Science	Revisión	75/8	4
Elisa, Elia Alves, Cia Steiner, Andrea (2015)	Energy Policy	Investigación	63/2	4
Abdmouleh, Alammari, Gastli (2015)	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Revisión	33/5	4
Florini, Ann, Ñ, Benjamin K Sovacool (2009)	Energy Policy	Aplicación	58/20	2

### 3.8. Síntesis de resultados

A continuación, se responden las preguntas de investigación planteadas en la sección 3.2 a partir de los resultados obtenidos del análisis de las fuentes primarias de información recopiladas durante el estudio

- P1: ¿Qué componentes debería integrar la política energética para la implementación de FNCER?
- P2: ¿Cuál es la política aplicada actualmente a nivel mundial para la implementación de FNCER?
- P3: ¿Cuáles son las instituciones y los procesos asociados para implementar FNCER a nivel mundial?

#### 3.8.1. P1: ¿Qué componentes debería integrar la política energética para la implementación de FNCER?

La Tabla 3 hace referencia a la necesidad de incorporar conceptos de la literatura como el neo-institucionalismo, estudios y planeación estratégica, transiciones socio-técnicas, desarrollo tecnológico, análisis de impacto normativo (ANI) y mercados competitivos como algunos de los componentes que deberían tenerse en cuenta al momento de gestionar políticas energéticas para la integración de FNCER. Sin embargo, son conscientes que este proceso requiere tiempo para afianzar los diversos mecanismos para tener una política energética sólida en torno a la transición energética.

*Tabla 3. Componentes de la política energética para integrar FNCER*

Componentes para la integración de FNCER	N° Artículos
Neo-institucionalismo	7
Planeación estratégica	4
Transiciones Socio-Técnicas	4
Desarrollo tecnológico	2
Mercados competitivos	2
Análisis de Impacto Normativo ANI	1

El neo-institucionalismo hace referencia a la articulación de todas las instituciones económicas, políticas y sociales que participan en el desarrollo de políticas energéticas como promotoras de cambios en la consecución de nuevos objetivos así lo presenta (Kucharski & Unesaki, 2018) en su artículo. Así como la planeación estratégica, fundamental para trazar horizontes de largo plazo auditables en cualquier momento del tiempo. las transiciones socio-técnicas hacen referencia a cambios en el modelo energético tradicional que van de la mano con el desarrollo tecnológico y la participación de nuevos mercados eléctricos competitivos como el “*day-ahead, intraday, auxiliary services*”. Finalmente, el análisis de impacto normativo evalúa los impactos y los costos regulatorios

de las diferentes medidas que representaría realizar cambios estructurales en los modelos institucionales.

### 3.8.2. ¿Cuál es la política energética aplicada actualmente a nivel mundial para la implementación de FNCER?

La política energética para la implementación de FNCER en la mayoría de los artículos analizados muestra un manejo del estado enmarcado en el cumplimiento de metas a mediano y largo plazo como mecanismo para combatir el cambio climático, así se puede apreciar en 15 artículos los cuales muestran escenarios a largo plazo con una serie de medidas regulatorias (incentivos tributarios y retribuciones o tarifas fijas) para beneficiar la participación de proyectos con FNCER. La mayoría de políticas están enfocadas a indicadores cuantitativos que se puedan verificar con el paso del tiempo como victorias tempranas, algunos países como China, Dinamarca y Alemania cuentan con una proyección de nuevos proyectos de FNCER que se irán implementando con los años y así evitar estancamientos en el cumplimiento de las metas trazadas.

*Tabla 4. Política energética actual*

Política energética actual	Nº Artículos
Metas a mediano y largo plazo de reducción de emisiones	15
Proyección de escenarios	8
Benéficos tributarios	6
Reducción de aranceles en importación de equipos	5
Feed-in tariff por tecnología	3
Contratos PPA (Power Purchase Agreement) en asociaciones público-privadas	2
Subastas de largo plazo	1

El planteamiento de metas en el mediano y largo plazo en reducción de emisiones de GEI son las medidas más utilizadas por los gobiernos en términos de política energética. Esta medida es determinada de acuerdo a una serie de proyecciones de escenarios planteados mediante estudios técnicos de potenciales explotables y de difusión de nuevos proyectos con FNCER, mecanismos regulatorios como beneficios tributarios, deducciones de renta y aranceles e incluso fondos para retribuciones o tarifas fijas tipo Feed-in tariff que prioricen las tecnologías con mayor potencial explotable como sucede en China con la energía eólica offshore.

Las subastas de largo plazo en asociaciones público-privadas es otra de las medidas implementadas por países como China en donde garantizan el financiamiento y comercialización de estos nuevos recursos, en algunos casos implementan modelos de contratación tipo PPA (Power Purchase Agreement) que garanticen un precio de venta estable durante un periodo de tiempo, con el fin de obtener los ingresos necesarios que permitan financiar los proyectos.

### 3.8.3. P3: ¿Cuáles son las instituciones y los procesos asociados para la implementación de FNCER a nivel mundial?

Las principales instituciones son a nivel estatal, ministerios o secretarías encargadas de la administración del sector energético nacional ya que es el estado el encargado de direccionar las políticas energéticas que considere más adecuadas para promover el desarrollo de FNCER como medio para el desarrollo sostenible, así lo plantean nueve artículos en particular los cuales hacen énfasis en procesos para diversificar la matriz energética como medio para mejorar la seguridad energética de las naciones. Cinco artículos plantean la inclusión de la comunidad educativa como instituciones universidades o centros de investigación, así como el apoyo de las empresas privadas y gobiernos locales, que actúen como gestores y promotores de políticas locales que puedan ser escalables a entidades nacionales con el fin de ajustar las políticas energéticas a las necesidades de las comunidades.

*Tabla 5. Instituciones para la integración de FNCER*

Instituciones y procesos asociados	N° Artículos
Ministerios y secretarías	9
Instituciones educativas y Centros de investigación	5
Procesos de reestructuración institucional	5
Procesos de desarrollo estratégicos y de mercados	4
Procesos culturales	3
Instituciones independientes	3
Gobiernos regionales	2
Transición tecnológica	2
Instituciones independientes	1

Los procesos asociados a la implementación de FNCER están ligados principalmente a reestructuraciones institucionales y de mercado, esto radica en un cambio en la visión cultural hacia una transformación de los sectores eléctricos. La transición energética es fundamental para aumentar la participación de FNCER de cara al futuro.

### 3.9. Resultados de los criterios de evaluación de la calidad

La calificación del criterio de calidad se hace con el fin de encontrar los artículos que más preguntas de investigación respondan, con el fin de que sean referentes en la investigación. En la Figura 7 se muestra el promedio de la calificación en cada uno de los años de publicación. En general, el promedio de la calificación de calidad es de 4,5 sobre una calificación máxima de 6, se puede apreciar que los artículos realizados entre el 2017 y 2019 cuentan con una calificación máxima los cuales permitieron responder las 3 preguntas planteadas en la sección 3.2.

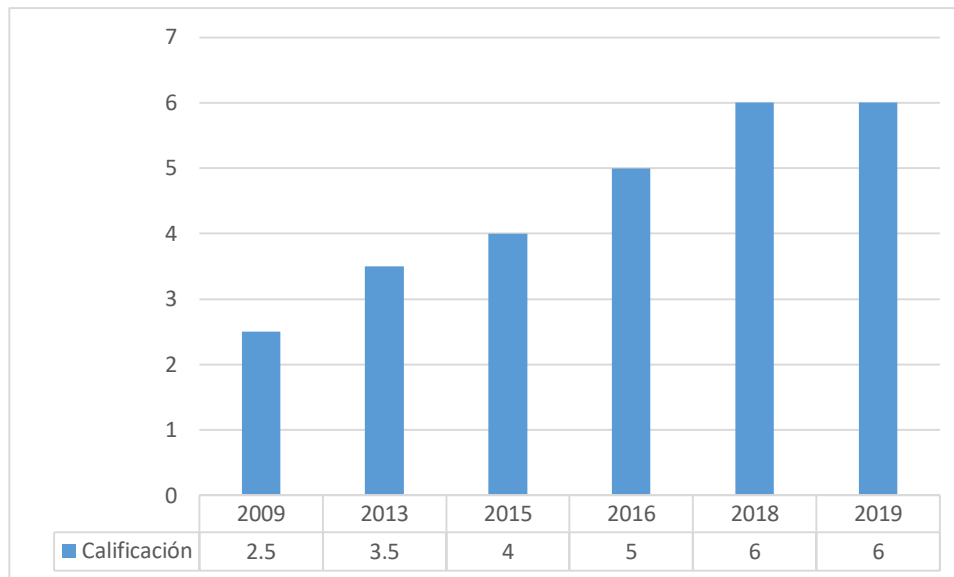


Figura 7. Evaluación criterios de la calidad

### 3.10. Limitaciones y vacíos de la literatura

A partir de la investigación realizada surgen varias preguntas de investigación sobre aspectos que no han sido resueltos de forma satisfactoria. Si bien existen marcos institucionales con políticas energéticas en desarrollo por parte de algunos países líderes en la incorporación de FNCER, en el ámbito local de Sudamérica y especialmente en Colombia, no se cuenta con información referente sobre mecanismos, ni componentes de políticas energéticas para la implementación de FNCER, ni de procesos de reestructuración institucionales hacia la transición energética, solo se encontró información referente a las políticas energéticas actuales que en la mayoría de los casos hacen un análisis específicos de la ley 1715 de 2014. Motivo por el cual surge la necesidad de abordar esta investigación en torno a un referenciamiento para la integración de FNCER en el sistema eléctrico colombiano.

### Conclusión del capítulo

Este estudio permitió identificar de una forma organizada los principales avances en materia de políticas energéticas para la implementación de FNCER, transición energética y estructura institucional que se han venido desarrollando y publicando en los últimos años, la transición energética es un proceso lento que requiere todo el análisis para que las políticas realmente incentiven el crecimiento de FNCER en los sistemas eléctricos y en los mercados.

## Capítulo 4. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Proponer un marco de referencia para la implementación de las energías renovables no convencionales dentro del sistema eléctrico colombiano.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar y describir la reglamentación, las instituciones y los procesos actuales para la incorporación de las energías renovables no convencionales en el sistema eléctrico colombiano.
- Identificar y describir la reglamentación, las instituciones y los procesos actuales para la incorporación de las energías renovables no convencionales a nivel internacional.
- Definir los componentes de un marco de referencia para la implementación de energías renovables no convencionales dentro del sistema eléctrico colombiano.

## Capítulo 5. MARCO DE REFERENCIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FNCER

El objetivo de este capítulo es proponer un marco de referencia para la implementación de FNCER dentro del sistema eléctrico colombiano, teniendo en cuenta toda la información teórica relevante recopilada durante los capítulos anteriores, adicionalmente presenta un referenciamiento de las principales políticas energéticas implementadas a nivel internacional para la integración de FNCER, de tal manera que nos permita establecer un punto de partida dentro del proceso de reestructuración del sistema eléctrico con fines a la incorporación de nuevas fuentes de generación dentro de la matriz energética nacional.

### 5.1. Marco internacional de políticas energéticas para la integración de FNCER

A continuación, se presenta un análisis internacional de políticas para la integración de FNCER de algunos de los países más representativos que han presentado mayores avances a nivel institucional para la transición energética y difusión de FNCER en donde se muestran las políticas, instituciones y procesos que han venido realizando en pro de diversificar la matriz energética y combatir el cambio climático (Esteban, Ordoñez, Jaime, & Cardona, 2017).

Cada uno de los análisis mostrará información relevante sobre las metas trazadas en el largo plazo en participación de FNCER, la estructura organizacional de las instituciones encargadas de direccionar las políticas energéticas y los procesos regulatorios que han desarrollado para dinamizar la integración de FNCER en los mercados.

#### 5.1.1. Alemania

Alemania es uno de los países con mayores avances en materia de implementación de FNCER en su sistema eléctrico. En el año 2000 únicamente el 6% de la electricidad consumida provenía de fuentes renovables, cifra que a día de hoy asciende a cerca de un 30%. La meta del gobierno alemán es lograr que entre el 40% y 45% del consumo de energía del país provenga de FNCER de cara al 2025 como se puede apreciar en la figura 8 (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2015).

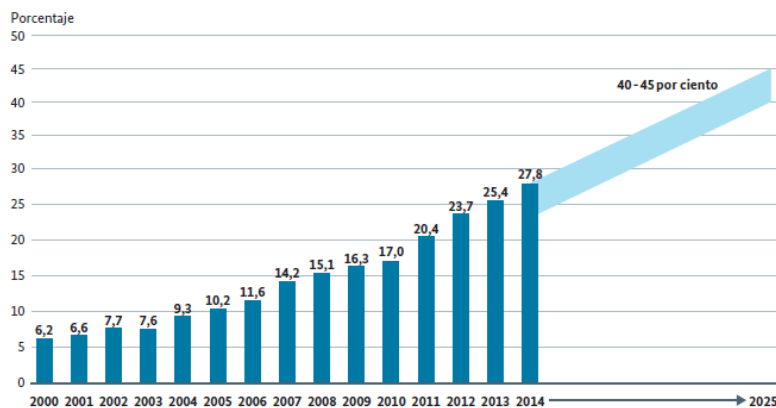


Figura 8. Crecimiento porcentual de las renovables en el sistema eléctrico alemán

#### **5.1.1.1. Instituciones**

La estructura institucional de Alemania está conformada por una serie de ministerios federales, cada uno encargado de manejar determinados sectores en el país, el sector energético está a cargo del ministerio federal de economía y energía (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy) y es la institución responsable de lograr el objetivo de la transición energética a través de la gestión de políticas. Las principales medidas están direccionadas hacia ámbitos como electricidad, transporte y calefacción todo esto enmarcado en un plan federal estructurado con una serie de medidas a largo plazo de cara al año 2050. (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2015).

#### **5.1.1.2. Reglamentación y procesos regulatorios**

La ley de energías renovables (EEG) sentó las bases para el desarrollo de energía proveniente de FNCER, dicha ley fue firmada en el año 2000 la cual le proporcionaba una tarifa fija por cada kilovatio-hora generado con FNCER (solar, eólica, biomasa e hidráulica) a los usuarios hasta por un periodo de 20 años. El acelerado desarrollo de tecnologías renovables generó que los costos se redujeran ampliamente permitiendo a estas tecnologías competir a la par con fuentes convencionales, por este motivo para el año 2014 el gobierno decidió modificar la ley de energías renovables enfocándola hacia la integración de estos sistemas a los mercados eléctricos (Spijkerboer, Zuidema, Busscher, & Arts, 2019).

Los mercados energéticos en Europa cada vez se encuentran más interconectados, razón por la cual el gobierno alemán está promoviendo mecanismos de indicadores y objetivos compartidos mediante el establecimiento de normas comunes que faciliten el cumplimiento de metas a largo plazo sin afectar los precios de la energía para los usuarios. Para viabilizar esta propuesta es necesario aumentar la capacidad de las líneas eléctricas y los gasoductos trasfronterizos, así como las terminales de gas natural licuado. Así mismo han promovido alianzas estratégicas con instituciones internacionales como la Agencia Internacional de Energía (EIA), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Red de Energías Renovables (REN21) como actores que les permitan fortalecer las políticas energéticas en torno a reducción de emisiones y transición energética (Scarlat et al., 2015).

#### **5.1.2. Australia**

Australia posee uno de los sistemas interconectados más grandes del mundo, su matriz energética está ampliamente dominada por fuentes convencionales de altas emisiones como el carbón que cubre más de 70% de la canasta energética, solo el 6% proviene de FNCER (Douglas, 2017). Sin embargo, el gobierno federal australiano está implementando políticas para la incorporación de FNCER dentro de su portafolio para la transición energética mediante procesos de planificación regionales en cada uno de los estados federales. Actualmente cuenta con inversiones superiores a los 200 millones de dólares en tecnologías renovables y es pionero en articulación de sistemas de almacenamiento con baterías a las redes de distribución (Douglas, 2017).



### 5.1.2.1. Instituciones

El Departamento de Medio Ambiente y Energía de Australia es la institución encargada de promover políticas encaminadas hacia la transición energética mediante la inclusión de FNCER dentro del sistema eléctrico australiano. Esta iniciativa ha venido siendo trabajada estrechamente con la colaboración de otras instituciones adscritas al departamento como lo son el Consejo de Energía del Consejo de Gobiernos de Australia (COAG), organismos del mercado de energía como la Comisión Australiana de Mercado de Energía (AEMC), el Operador del Mercado Energético Australiano (AEMO) y el Regulador Energético Australiano (AER). Juntos han promovido planes a mediano y largo plazo con metas de reducción de emisiones y penetración de FNCER que para el año 2050 cubran más del 30% de la matriz energética nacional (Byrnes, Brown, Foster, & Wagner, 2013).

### 5.1.2.2. Reglamentación y procesos regulatorios

Una de las principales medidas del gobierno australiano para la implementación de FNCER ha sido mediante un programa de soporte en tiempos de máxima demanda pico, mediante la participación de recursos energéticos distribuidos DER por medio de agentes agregadores de demanda en el mercado de energía, quienes ofertan su disponibilidad para reducir la necesidad de despachar una central de generación convencional.

En abril de 2016 el gobierno australiano inició un proceso de planeación con la agencia nacional de investigación científica de Australia (CSIRO) la cual desarrolló una hoja de ruta para la implementación de tecnologías de generación de bajas emisiones con miras al 2050, esta entidad junto con la agencia de energías renovables de Australia (ARENA) forman parte de los mecanismos utilizados por el gobierno federal de Australia para cumplir con los compromisos de reducción de emisiones en virtud al acuerdo de París de 2015, combatir el cambio climático, mejorar la eficiencia energética en las industrias y optimizar el mercado de energía mayorista (Graham, Hayward, Foster, Story, & Havas, 2018).

Actualmente el gobierno de Australia se encuentra trabajando en una nueva ley llamada “Ley de Cambio Climático y Transición Energética” que integrará temas como la seguridad del suministro y la reducción de GEI en una sola iniciativa llamada Garantía Energética Nacional (NEG) que pretende reducir los precios de la energía y aumentar la inversión en FNCER (energía eólica, solar, baterías) (Pierce, Schott, Savage, & Zibelman, 2018).

### 5.1.3. China

China es el principal emisor de GEI a nivel mundial, esto debido a la rápida industrialización y urbanización en los últimos 50 años convirtiéndolo en el mayor consumidor de energía en el mundo, sin embargo, es el país que mayor inversión presenta en proyectos con FNCER para el año 2017 invirtió cerca de US\$45 Billones de dólares en proyectos de este tipo y cuenta con una capacidad instalada de 728.000 MW (Buckley, Nicholas, & Brown, 2018).

### 5.1.3.1. Instituciones

La república popular China cuenta con una estructura institucional centralizada, el consejo de estado está formado por 26 ministerios gubernamentales cada uno encargado de un sector determinado de la economía del país. En el año 2003 se creó la oficina nacional de energía la cual se encargaría de manejar todos los temas relacionados con economía energética, sin embargo, en 2008 el gobierno decide crear dentro de su estructura institucional la Administración Nacional de Energía (NEA) cuya función principal es la de regular el sector minero energético (electricidad, petrolero y carbón). Actualmente existe una propuesta de los líderes del partido comunista el cual propone al gobierno chino la intención de establecer un nuevo Ministerio de Energía que reemplace al NEA y permita consolidar la autoridad en temas relacionados con la energía, esto debido a que actualmente la responsabilidad de estos temas se encuentra dispersa en varios ministerios ocasionando reprocesos en las directrices de políticas energéticas establecidas por el gobierno.

### 5.1.3.2. Reglamentación y procesos regulatorios

China se comprometió con los procesos para el cambio climático motivo por el cual en el año 2000 el gobierno promulgó la ley de energías renovables (REL) como pilar fundamental para disminuir la dependencia de combustibles fósiles, dentro de su plan de largo plazo está diversificar la matriz energética con más de un 40% de generación proveniente de FNCER. El mecanismo de tarifas fijas tipo *feed-in-tariff* implementado desde 2004 dinamizó el mercado solar y eólico a tal punto que en 2014 tuvieron que revisar la medida para reducir la tasa de retribución y así evitar que el gobierno entrara en sobrecostos por subsidios de electricidad. A partir de 2018 los nuevos proyectos conectados a la red no cuentan con este tipo de beneficio (Liu, 2019). Se espera que esta medida política muestre la primera contracción de la demanda fotovoltaica mundial desde el año 2000.

La REL incluyó la creación de un fondo de apoyo para incentivar el desarrollo de nuevos proyectos con FNCER provenientes de la recaudación de impuestos adicionales a las centrales eléctricas, se esperaba que para el 2016 el fondo tuviera 80 mil millones de yuanes, pero la recaudación real estuvo muy por debajo de esa cifra debido a que las compañías eléctricas se niegan a pagar por energía renovable y la ley no contempla penalidades como si ocurre en otros países como Japón (Liu, 2019).

La demanda de energía sigue aumentando rápidamente debido a crecimiento de alta velocidad y al desarrollo moderno del país, generando que a pesar de la alta penetración de FNCER aún no sea suficiente para satisfacer las necesidades de energía primaria.

El marco legal actual de China para las FNCER aún es limitado como lo muestra (Zeng et al., 2013) en su artículo debido a su fragmentación y baja operatividad. El gobierno necesita integrar la ley y el sistema de políticas de energía renovable, mejorar la viabilidad de la REL y brindar suficiente soporte financiero. Se espera que a través de estas medidas se puedan brindar apoyos más sistemáticos y eficientes para el desarrollo de proyectos con FNCER en el país.

#### 5.1.4. Dinamarca

Dinamarca es sin duda uno de los países líderes en la implementación de energía renovable, en 2015 cubrieron más del 66% de la demanda con FNCER de los cuales el 40% fue mediante energía eólica (6500 MW de capacidad instalada) que para el año 2020 podría superar el 50%. Esto les ha permitido reducir las emisiones de GEI en más de un 30% desde 1990 y tienen proyectado reducirla en un 40% para el 2020 superando el compromiso que tienen con la Unión Europea (UE) de un 34% (Kanellakis et al., 2013).

##### 5.1.4.1. Instituciones

La agencia danesa de energía es la institución encargada por el gobierno danés para establecer los lineamientos de la política energética la cual está fundamentada bajo 3 pilares fundamentales que se muestran a continuación.

1. Lograr una transición del sector energético de bajas emisiones de GEI de manera rentable
2. Mantener la posición de liderazgo de Dinamarca en una serie de tecnologías y sistemas de baja emisión de carbono.
3. Hacer que Dinamarca sea autosuficiente en energías renovables en 2050.

En 2007 el gobierno de Dinamarca creó la comisión danesa de política para el cambio climático quien con el apoyo de la agencia danesa de energía tenían como objetivo planear la transición energética baja en carbono de cara al 2050, para lograr este objetivo desarrollaron análisis detallados de diversos escenarios donde se evaluaron las posibilidades técnicas y los costos asociados que tendría para la sociedad danesa un sistema energético de bajas emisiones (Breum, 2015).

##### 5.1.4.2. Reglamentación y procesos regulatorios

Como principal mecanismo para dinamizar la implementación de proyectos con FNCER el gobierno de Dinamarca a través de la agencia danesa de energía implementó un programa de apoyo financiero y de mercado para estimular la demanda mediante el sistema *feed-in-tariff* priorizando el acceso a la red y garantizando tarifas fijas reguladas. Adicionalmente, fomentaron la reducción de subsidios para combustibles fósiles con el fin de desincentivar a las empresas a utilizar ese tipo de combustibles (Danish Energy Agency, 2016).

La agencia danesa de energía dentro de las políticas y los procesos para cumplir con los objetivos propuestos se enfocó principalmente en la eficiencia energética, junto con el apoyo de universidades y centros de investigación promovieron el desarrollo tecnológico y fomentaron dentro del parlamento europeo la creación de la “*energy union comission*” quien es la institución que permite el libre flujo de energía a través de las fronteras manteniendo un suministro seguro y sostenible en cada país de la UE, reduciendo las facturas de energía en los hogares e impulsando el crecimiento económico de la región poniendo a Europa a la vanguardia de la producción de energía renovable, las tecnologías de energía limpia y la lucha contra el calentamiento global (Breum, 2015).

### 5.1.5. Estados Unidos

Estados Unidos es el segundo país que más emisiones de GEI genera en el mundo detrás de China y es el único país considerado en este análisis que se encuentra fuera del tratado de París celebrado en 2015. A pesar de no formar parte de los compromisos para el cambio climático Estados Unidos es uno de los países con mayor avance tecnológico en materia de energía renovable, actualmente cubren cerca del 16% de la matriz energética con FNCER, la energía eólica y solar son las de mayor crecimiento debido al alto potencial explotable que cuenta el país en estados como California y Texas (Chernyakhovskiy et al., 2016).

#### 5.1.5.1. Instituciones

Estados Unidos es un gobierno federal, el departamento de energía de los Estados Unidos es la institución responsable de la política energética y la seguridad nuclear del país. Antiguamente múltiples agencias federales manejaban diversas posturas de la política energética estadounidense, pero a raíz de la crisis energética de 1973 el gobierno propuso la creación de un departamento que se hiciera cargo de toda la política energética de la nación.

Existen algunas agencias independientes como la Comisión Federal de Regulación de Energía (FERC), que trabajan de la mano con el departamento de energía en temas relacionado con comercio interestatal de energía eléctrica en los mercados mayoristas, transporte de petróleo por oleoducto y gas natural. Esta comisión ha venido realizando importantes avances a nivel regulatorio para la diversificación de la matriz energética mediante la comercialización de los recursos energéticos distribuidos (DER) que son la principal apuesta en el largo plazo del gobierno de los Estados Unidos para una masiva penetración de FNCER en los mercados mayoristas (Prehoda, Pearce, & Schelly, 2019).

#### 5.1.5.2. Reglamentación y procesos regulatorios

Cada uno de los estados federales en los Estados Unidos cuentan con diferentes mecanismos de incentivos para la promoción de FNCER dependiendo del potencial explotable en cada región, sin embargo, el departamento de energía junto con la FERC promovieron el plan federal de gestión energética como mecanismo de apoyo para facilitar el cumplimiento de los objetivos de cada estado en materia de transición energética (D. Energy, 2017).

La ley de independencia energética que plantea objetivos fijos de crecimiento de cara al 2050 en donde el 80% de la energía consumida por el país sea producida por FNCER, mecanismos como los bonos de carbono comercializables en los mercados financieros, los créditos fiscales federales y la investigación e innovación tecnológica han sido unos de los mecanismos implementados dentro de la política energética estadounidense para incentivar la participación de FNCER y dinamizar el mercado (Prehoda et al., 2019).

### 5.1.6. Japón

Japón importa más del 90% de la energía que consume, más del 70% de la matriz energética está compuesta por combustibles fósiles, sin embargo, ha venido haciendo importantes avances hacia la diversificación de la canasta energética (Casado, 2016).

#### 5.1.6.1. Instituciones

El gobierno de Japón está conformado por 14 ministerios todos ellos bajo el mando del primer ministro japonés quien es nombrado por la asamblea nacional como máximo organismo del poder estatal. El ministerio de economía comercio e industria (METI) como principal autoridad del sector energético de Japón realizó un análisis institucional de la transición energética a raíz del tsunami de 2011 que provocó el accidente nuclear de Fukushima el cual puso en riesgo la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico nacional, poniendo en evidencia la estructura de monopolio regional del sector eléctrico y la dependencia por la generación convencional (petróleo, carbón, gas y nuclear). (Kucharski & Unesaki, 2018)

#### 5.1.6.2. Reglamentación y procesos regulatorios

El llamado triple desastre de Fukushima estimuló un replanteamiento en la política energética de Japón. Teniendo en cuenta esto para 2014 propusieron el plan estratégico de energía (SEP) el cual requiere de importantes reformas institucionales y estructurales, como modificaciones a la ley de servicios eléctricos de 1995 que le permitirá a las empresas participar dentro del mercado de energía mayorista, regulaciones específicas como incentivos para las FNCER mediante mecanismos *feed-in-tariff* y transiciones socio-técnicas que faciliten una transición energética con mayor participación de FNCER. (Aoki & Rothwell, 2013)

Durante años la política energética de Japón se ha basado en las “3 Es”, referencia a las iniciales en inglés de “Energy security,” “Environment” y “Economic efficiency” (Figura 9). Sin embargo, tras el accidente de Fukushima se agregó otro factor dentro del esquema de política energética, “Safety” que garantice la seguridad en las centrales nucleares, motivo por el cual reforzaron los protocolos de la Autoridad de Regulación Nuclear (NRA)(Casado, 2016).

Los gobiernos locales están cada vez más comprometidos con el gobierno central en el desarrollo de programas de energía renovable, algunas ciudades japonesas como (Shizuoka y Odawara) han desarrollado servicios de electrificación comunitaria a través de asociaciones público-privadas para promover energías renovables. Estos proyectos tienen el efecto de descentralizar la generación de electricidad y crear fuentes de alimentación locales independientes de las grandes centrales de generación.



Figura 9. Trilema Energético de Japón(Casado, 2016)

## 5.2. Estructura actual de la política energética para la implementación de FNCER a nivel nacional

### 5.2.1. Colombia

Colombia al igual que la mayoría de países comprometidos con el cambio climático se encuentra dentro de la dinámica mundial para la transición energética. A continuación, se presenta el estado actual del modelo institucional, la reglamentación y los procesos regulatorios que se han venido realizando para la integración de FNCER dentro de la matriz energética nacional.

#### 5.2.1.1. Instituciones

El modelo institucional en Colombia parte de un sistema centralizado en el cual el poder ejecutivo se encarga de establecer las directrices a nivel de políticas nacionales (incluidas las políticas energéticas), la institución que asume todo el componente relacionado al sector minero energético es el MME quien con entidades adscritas a él se encargan de diversificar los lineamientos promocionados por el ejecutivo.

En la actualidad existen distintas instituciones las cuales se encargan de planear, regular y vigilar los distintos procesos asociados a la política energética, cada una de ellas se maneja de forma independiente tanto a nivel presupuestal como administrativo según el rol que representan en el sector. El Plan Energético Nacional (PEN) que se muestra en la Figura 10 plantea una participación de un 20% de FNCER dentro de la matriz energética de cara al año 2050 (CIDET-IEB, 2015). Sin embargo, si no existe una sinergia que vincule las instituciones alrededor de un mismo objetivo como la integración de FNCER, con metas auditables en el corto, mediano y largo plazo difícilmente se logre cumplir con la propuesta del PEN.

### 5.2.1.2. Reglamentación y procesos regulatorios

La ley 1715 de 2014 es el primer paso que realiza el estado colombiano en pro de incentivar la participación de FNCER, la ley cuenta con una serie de incentivos tributarios, arancelarios y fiscales tales como “deducción del IVA, exclusión de arancel, reducción del 50 % de la inversión del impuesto de renta durante los siguientes 5 años al año de inversión sin superar el nivel de renta líquida y permitiendo la depreciación acelerada hasta máximo 20 % del valor del activo en cada año” (Hoyos, Franco, & Dyner, 2017).

Para acceder a estos beneficios es necesario realizar una serie de trámites administrativos ante diversas instituciones como la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) para tramitar la licencia ambiental del proyecto, registrar y certificar el proyecto ante la UPME, tramitar en la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) las exenciones tributarias para la importación de equipos y tecnología. Esta serie de trámites en promedio duran 6 meses para lograr la adjudicación de un proyecto, lo que ha generado un represamiento de proyectos preinscritos ante la UPME ocasionando en algunos casos desinterés parte de los inversionistas (UPME, 2015).

Las subastas de largo plazo son otro de los procesos que se han venido desarrollando para aumentar la participación de FNCER en el mercado eléctrico colombiano. EL MME tiene proyectada una segunda subasta de largo plazo para el tercer trimestre de 2019 en donde se espera que se logren adjudicar proyectos teniendo en cuenta que no hubo adjudicaciones en la primera subasta realizada en marzo de 2019. Sin embargo, aún es insuficiente para dinamizar el mercado.

La falta de mecanismos eficientes para la implementación en FNCER en Colombia abre la puerta hacia una propuesta que permita identificar los principales componentes que deberían ser integrados dentro del proceso hacia la transición energética sostenible.

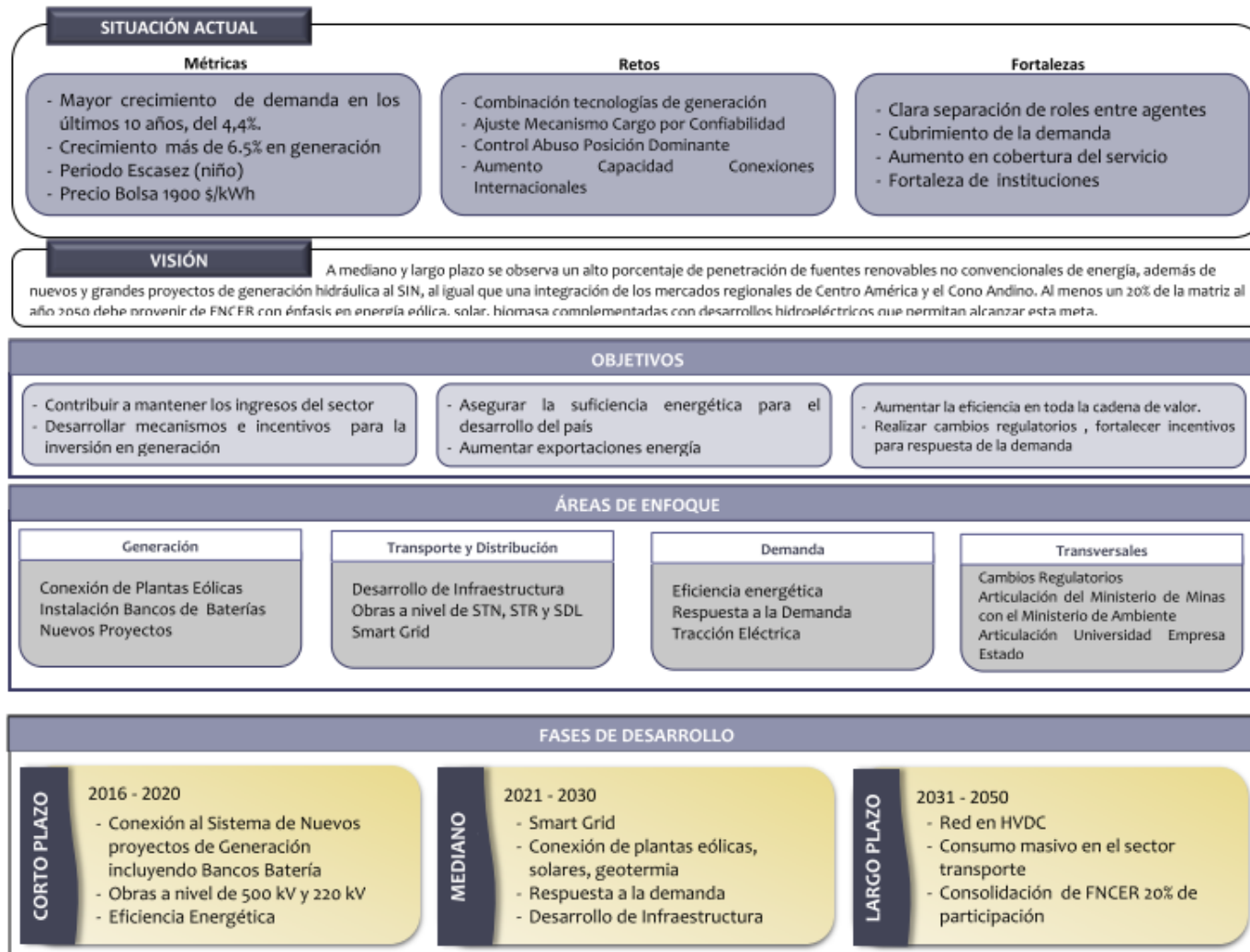


Figura 10. Plan Energético Nacional 2050 (CIDET-IEB, 2015)



### 5.3. Marco de referencia para la integración de FNCER en el sistema eléctrico colombiano

Teniendo en cuenta toda la información recopilada durante esta investigación y los vacíos identificados durante la revisión de literatura se propone el siguiente marco de referencia para la integración de FNCER en el sistema eléctrico colombiano.

La propuesta de marco de referencia se centrará en tres componentes que deberían ser complementados (institucional, regulatorio y tecnológico) dentro de la transformación del sector eléctrico para viabilizar la transición energética hacia una integración de FNCER, que permita asegurar el abastecimiento de energía en el largo plazo, disminuir la huella de carbono y dinamizar el mercado.

#### 5.3.1. Componente para la Integración Institucional

Teniendo en cuenta la revisión de las estructuras institucionales para la implementación de políticas energéticas a nivel internacional exploradas al comienzo del capítulo, se puede apreciar una similitud en la forma como están organizadas mediante organismos jerárquicos, algunos con cierta independencia que se articulan entre sí para desarrollar planes estratégicos de largo plazo en torno a sectores específicos de la economía. Particularmente el sector energético permite una participación de diversas instituciones de índole público, privado, académico, social, ambiental que aportan conocimiento específico para el diseño de políticas y lineamientos encaminados en este caso a la integración de FNCER.

Las instituciones permiten desarrollar iniciativas encaminadas hacia transformaciones culturales de procesos que se han venido realizando de manera tradicional durante muchos años. El sector energético y la problemática del cambio climático ha generado una transformación en la visión estructural de las políticas para la explotación de los recursos naturales.

El MME como principal institución que abarca todos los desarrollos en materia de política energética, debe convocar una misión para definir la hoja de ruta de la transición energética que incluya cambios en la arquitectura del mercado eléctrico y de funcionamiento de las entidades sectoriales, así como su articulación con otros sectores. Colombia cuenta con una estructura institucional organizada del sector minero energético, con entidades que participan activamente en el desarrollo del sector, el gobierno nacional está comprometido con la transición energética y en el diseño de políticas para la integración de FNCER (MME, UPME, CREG, DNP). Sin embargo, la transformación del sector eléctrico y la digitalización de los mercados requiere un fortalecimiento de las instituciones que les permita contar con recursos adecuados para el ejercicio de las nuevas funciones que se articularán mediante el plan para la transición energética. La participación de la comunidad académica (universidades y centros de investigación) así como de la población en general es fundamental para desarrollar mecanismos de participación ciudadana con políticas vinculantes. Temas como la eficiencia energética, recursos energéticos distribuidos DER, los bonos

de carbono, desarrollo e infraestructura tecnológica, participación de FNCER en la matriz energética entre otros, requieren de compromisos por parte de las instituciones a nivel regulatorio y de incentivos para una difusión masiva en la comunidad.

Los incentivos de la ley 1715 de 2014 son una buena herramienta para lograr el objetivo del plan nacional de desarrollo de este gobierno que plantea un aumento en la capacidad instalada de 1500MW de energías alternativas de cara al 2022, actualmente solo hay 50 MW (MME, 2018). Sin embargo, es importante revisar los mecanismos para la obtención de los beneficios planteados por la ley, con el fin facilitar la gestión de los trámites respectivos y reducir los tiempos y costos de transacción.

La regulación sectorial debe adaptar herramientas de Análisis de Impacto Normativo (AIN) como las que plantea en la sección 3.8.1 que permitan estimar los impactos y los costos regulatorios de las diferentes medidas que requiere el sector eléctrico dentro de su transformación.

### 5.3.2. Componente regulatorio y de mercado

El marco regulatorio es fundamental para aumentar la participación de FNCER en la matriz energética nacional. Sin embargo, la forma como está estructurado el modelo de mercado en el sector eléctrico colombiano no permite aumentar dicha participación debido a su carácter centralizado y de corto plazo (Hoyos et al., 2017). Por esta razón es necesario modificar el sistema de mercado permitiendo el ingreso de sistemas de comercialización en tiempo real o mercado intradiario, dinamizar el mercado de derivados financiero en energía con mecanismos de comercialización a largo plazo con energía renovable (futuros, opciones, swaps), crear el mercado de energía minorista y de servicios complementarios como promotores para la comercialización de FNCER.

Los recursos energéticos distribuidos (DER) son otro de los mecanismos que permitirían aumentar la difusión de FNCER en el mercado convirtiendo a los usuarios en prosumidores. La regulación debe permitir la entrada de nuevos agentes en la cadena de prestación del servicio de energía eléctrica al mercado como agregadores de demanda, que puedan participar en el mercado de energía mayorista y/o minorista mediante la agregación de múltiples sistemas DER ofertando y comercializando la disponibilidad de estos recursos. La regulación debe definir quien asumiría ese nuevo rol de agente agregador (asociaciones público-privadas), así como regular esquemas para la remuneración de los servicios complementarios y gestión de la demanda.

Mecanismos como el despacho vinculante en los mercados intradiarios son necesarios para garantizar procesos de comercialización de energía renovable con precios eficientes y competitivos, disminuyendo la incertidumbre por la volatilidad en la generación con tecnologías de este tipo (Cigre, 2018). La regulación deberá introducir mecanismos que promuevan la descentralización y la digitalización, así como la participación de respuesta de la demanda y esquemas de tarifas horarias para fomentar formación de precios y competencia en los mercados energéticos.

### 5.3.3. Componente tecnológico y de infraestructura

Aumentar la participación de FNCER en el sistema eléctrico nacional SIN requiere de un importante esfuerzo a nivel tecnológico, el gobierno debe aumentar la capacidad de transporte de energía en las zonas con mayor potencial renovable mediante la licitación y construcción de nuevas líneas transmisión, mejorar y aumentar la capacidad de las redes de distribución local y regular los puntos de conexión común para soportar el crecimiento en el mediano y largo plazo de sistemas tipo DER.

Es fundamental implementar una política para la transición tecnológica hacia medidores inteligentes, así como viabilizar un mercado de datos armónico entre los usuarios y los demás actores del mercado, que vaya articulado a la penetración de la infraestructura de medición avanzada (AMI), donde los agentes y el público en general puedan conocer en tiempo real los datos del mercado y las transacciones, ya que los protocolos actuales de la operación del sistema de energía eléctrica no están preparados para gestionar miles de transacciones individuales en el nivel de distribución, integrarlas y permitir su monetización.

Transiciones tecnológicas como la movilidad eléctrica y mecanismos como el internet de las cosas (IoT) son desarrollos que incrementarán la demanda de energía en el futuro, por lo tanto, es importante desarrollar políticas de infraestructura eléctrica que permitan soportar el crecimiento acelerado de estas tecnologías.

## Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 6.1. Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos

Colombia está comprometida con el compromiso para el cambio climático en la reducción de emisiones de GEI, la gestión de políticas para la transición energética mediante la participación de FNCER forma parte fundamental de los esfuerzos para la consecución de metas en el largo plazo.

A continuación, se presentan las conclusiones de este trabajo final de maestría de acuerdo con los objetivos definidos para el logro y cumplimiento del objetivo general.

#### 6.1.1. Objetivo específico 1

“Identificar y describir la reglamentación, las instituciones y los procesos actuales para la incorporación de las energías renovables no convencionales en el sistema eléctrico colombiano”.

El capítulo dos, en la sección 2.2 identifica y describe las instituciones presentes dentro de la estructura organizacional del sector eléctrico en Colombia. El éxito en el desarrollo de políticas energéticas radica en articular todas las instituciones estatales y regionales, comunidad académica, entidades privadas y comunidad en general para que participen activamente en la formulación de mecanismos para impulsar proyectos integrales que faciliten la integración de FNCER en las regiones.

El capítulo cinco, sección 5.2 muestra la reglamentación y los procesos que se han venido realizando para la incorporación de FNCER en Colombia, se concluye que: si bien existen procesos en pro de incrementar la participación de FNCER en la matriz energética que se han venido realizando tales como las subastas de largo plazo y los incentivos de la ley 1715 de 2014, aun no son suficientes y es fundamental una reestructuración del sector eléctrico hacia modelos de mercados completos.

El crecimiento de la infraestructura no solo a nivel eléctrico es necesario para garantizar la explotación del potencial renovable en el país que en la mayoría de los casos se encuentra en zonas de difícil acceso, la política energética debe estar acompañada por una política integral para el desarrollo sostenible que brinde oportunidades de crecimiento a las comunidades.

El mercado de energía debe evolucionar hacia modelos de mercados completos con mercados intradiarios y de servicios complementarios como promotores para la comercialización de proyectos con FNCER, así mismo deben promover el desarrollo de subastas de largo plazo para viabilizar financieramente la implementación de nuevos recursos de generación, esto permitirá reducir el riesgo por fenómenos ENSO y aumentar la confiabilidad y eficiencia del sistema.

### 6.1.2. Objetivo específico 2

“Identificar y describir la reglamentación, las instituciones y los procesos actuales para la incorporación de las energías renovables no convencionales a nivel internacional”.

El capítulo 3 de la revisión sistemática de literatura en la sección 3.2 presenta dentro de las preguntas de investigación interrogantes asociados hacia los principales procesos e instituciones presentes en la integración de FNCER, los cuales fueron desarrollados en la sección 3.8 y corroborados al momento de analizar el marco internacional del capítulo cinco.

El capítulo cinco, sección 5.1 muestra un análisis internacional de los principales países que han realizado avances significativos en materia de transición energética hacia el aumento en la participación de FNCER. En cada uno de los casos mostrados se presenta la estructura institucional y las políticas centralizadas en indicadores de largo plazo como reducción de emisiones de GEI, en todos los casos es imperativo la gran importancia que se le da al aumento en la participación de la matriz energética a las FNCER como promotoras de desarrollo tecnológico y sostenible.

Se concluye que la transición energética es un proceso de largo plazo el cual requiere de compromisos auditables con metas cuantitativas que permitan evaluar el estado de los objetivos en diferentes etapas del proceso, con el fin de tomar acciones de mejora y asegurar el cumplimiento de los objetivos de cara al futuro. Es fundamental encontrar lineamientos dentro de la política energética para la integración de FNCER que sean sostenidos en el tiempo, esto permite un proceso continuo y ascendente que no se interrumpa por motivos o intereses particulares.

### 6.1.3. Objetivo específico 3

“Definir los componentes de un marco de referencia para la implementación de energías renovables no convencionales dentro del sistema eléctrico colombiano”.

El capítulo 3 de la revisión sistemática de literatura en la sección 3.2 presenta un interrogante asociado hacia los principales componentes presentes en la política energética para la integración de FNCER. se concluye que la política energética debe contener una serie de componentes institucionales, regulatorios y tecnológicos que estén articulados entre sí como principales ejes de transformación.

El capítulo 5, secciones 5.1 y 5.2 corroboran dentro de los análisis internacionales y nacional que estos componentes están presentes en cada uno de los casos analizados mediante instituciones regulatorias y desarrollos tecnológicos. El desarrollo tecnológico y la nueva era de la información y las comunicaciones le presentará al sector eléctrico una oportunidad para revolucionar e innovar con nuevos modelos de comercialización, la regulación también debe promover incentivos dentro de los sistemas tarifarios que incluyan gestión de la demanda como mecanismos para promover el desarrollo de FNCER y recursos energéticos distribuidos.

#### 6.1.4. Objetivo general

“Proponer un marco de referencia para la implementación de las energías renovables no convencionales dentro del sistema eléctrico colombiano”.

Aumentar la participación de FNCER dentro del sistema eléctrico colombiano requiere de una transformación del sector eléctrico, este trabajo presenta una propuesta de marco de referencia en base a tres componentes esenciales determinados de acuerdo a la investigación realizada.

El capítulo 5 sección 5.3 plantea dicho marco de referencia en donde se presentan los componentes identificados en materia institucional, regulatoria y tecnológica como principales ejes para la transición energética con miras a una mayor participación de FNCER.

## 6.2. Trabajos Futuros

El diseño de políticas energéticas para la integración de FNCER es un proceso que involucra diversos sectores. Algunos de los aspectos que no fueron tenidos en cuenta durante la investigación y que podrían contribuir con un mayor referenciamiento son los siguientes.

- El costo transaccional dentro del proceso de reestructuración de las instituciones no fue tenido en cuenta debido a la ausencia de información y sería interesante explorar los mecanismos existentes para determinar la viabilidad en la implementación y modificaciones de estructuras regulatorias.
- Referenciamiento de mercados eléctricos con participación de sistemas DER que permita identificar diferentes modelos de comercialización con el fin de adecuar y acoplar el que mejor se acomode al sistema eléctrico colombiano.

Para finalizar, cabe señalar que esta es una iniciativa nueva que Colombia recién está promoviendo y aún queda mucho trabajo para lograr un modelo para la transición energética con una alta participación de FNCER.

## Capítulo 7. REFERENCIAS

- Agency, D. E. (2016). Energía en Dinamarca - Una transición verde.
- Aoki, M., & Rothwell, G. (2013). A comparative institutional analysis of the Fukushima nuclear disaster: Lessons and policy implications. *Energy Policy*, *53*, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.058>
- Atn, C. (n.d.). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia*.
- Breum, H. (2015). The Danish Energy Model. *Danish Energy Agency*. Retrieved from [www.ens.dk/en](http://www.ens.dk/en)
- Buckley, T., Nicholas, S., & Brown, M. (2018). China 2017 Review World's Second-Biggest Economy Continues to Drive Global Trends in Energy Investment (tbuckley@ieefa.org) Simon Nicholas, Energy Finance Analyst (snicholas@ieefa.org) Melissa Brown, Energy Finance Consultant (mbrown@ieefa.org), (January). Retrieved from <http://ieefa.org/wp-content/uploads/2018/01/China-Review-2017.pdf>
- Bueno López, M., Rodríguez Sarmiento, L. C., & Rodríguez Sánchez, P. J. (2016). Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema eléctrico colombiano. *Costs Analysis of Electric Generation from Renewable Sources in the Colombian Electricity System.*, *34*(2), 394–419. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2003.1241410>
- Byrnes, L., Brown, C., Foster, J., & Wagner, L. D. (2013). Australian renewable energy policy : Barriers and challenges. *Renewable Energy*, *60*, 711–721. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.024>
- Casado, M. F. (2016). El Futuro Energético de Japón: Entre el Regreso A la Senda Nuclear y el Giro Hacia Las Renovables. *UNISCI Discussion Papers*, *2016*(41), 71–104. [https://doi.org/10.5209/rev\\_RUNI.2016.n41.52675](https://doi.org/10.5209/rev_RUNI.2016.n41.52675)
- Castaño Uribe, C., Zca Subdirector de Meteorología, J., Andrade, A., Lucia Ospina, O., Alejandra Anzola García, M., González, Y., & Fernando Ruiz Mario Rodríguez Mario Esteban Silva Edición Patricia Parada, C. (n.d.). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM*.
- Castillo, Y., Castrillón Gutiérrez, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico colombiano. *Prospectiva*, *13*(1), 39. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.358>
- Chernyakhovskiy, I., Tian, T., McLaren, J., Miller, M., Geller, N., Chernyakhovskiy, I., ... Geller, N. (2016). U.S. Laws and Regulations for Renewable Energy Grid Interconnections. *Nrel*, (September), 1–29. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66724.pdf>
- CIDET-IEB. (2015). Mapas de ruta para la materialización de dos objetivos energéticos. *Unidad de Planeación Minero Energética*, *(3)*, 1–214.
- Congreso de Colombia. (2014). Ley N° 1715 del 13 de mayo de 2014. *Upme*, (May), 26. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Douglas, P. (2017). Fact Sheet.

- Energy, D. M. (2017). Legislación De Energía Y Sostenibilidad Una Guía Global Para Gestores Energéticos.
- Esteban, R., Ordoñez, V., Jaime, C., & Cardona, F. (2017). Esquema para la transición energética en el sector eléctrico de Colombia.
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2015). Making a success of the energy transition On the road to a secure, clean and affordable energy supply.
- Fernández Torres, F. R. (2016). Análisis del marco normativo del sector eléctrico colombiano, impactos en la regulación eléctrica de la ley 1715 de 2014.
- Graham, P. W., Hayward, J., Foster, J., Story, O., & Havas, L. (2018). GenCost 2018 Updated projections of electricity generation technology costs. *Csiro*, (December), 1–63. Retrieved from <https://doi.org/10.25919/5c587da8cafe7%0A%0A>
- Hoyos, S., Franco, C. J., & Dyer, I. (2017). Integración de fuentes no convencionales de energía renovable al mercado eléctrico y su impacto sobre el precio. *Ingeniería Y Ciencia*, 13(26), 115–146. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.13.26.5>
- IDEAM. (n.d.). Mapa Solar Colombiano, 78. <https://doi.org/10.5194/osd-7-291-2010>
- Javier, F., Carrasco, C., & Martínez Márquez, D. (2015). La Energía Geotérmica De Baja Entalpía Geothermal Energy of Low Enthalpy, 4, 96–108. <https://doi.org/10.17993/3ctec.2015.v4n3e15.96-108>
- Kanellakis, M., Martinopoulos, G., & Zachariadis, T. (2013). European energy policy — A review. *Energy Policy*, 62, 1020–1030. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.008>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Source: “ Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in SE ” , Kitchenham et al Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering Source: " Guidelines for performing Systematic Literature Reviews i, 1–44. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134500>
- Kucharski, B., & Unesaki, H. (2018). An institutional analysis of the Japanese energy transition, 29(December 2017), 126–143. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.07.004>
- Liu, J. (2019). China’s renewable energy law and policy : A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99(August 2018), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.007>
- Members, R. E. N. (2019). *Renewables 2019 global status report 2019*.
- Mundial, M. A. (n.d.). Subastas de electricidad procedente de fuentes de energía renovable en América Latina y Caribe.
- Murphy, C., Sun, Y., Cole, W., Maclaurin, G., Turchi, C., Mehos, M., ... Mehos, M. (2019). The Potential Role of Concentrating Solar Power within the Context of DOE ’ s 2030 Solar Cost Targets, (January).
- Office, M., & Wind, P. (2018). 2018 Paris Session, 1–2.



- Pierce, J., Schott, K., Savage, C., & Zibelman, A. (2018). NATIONAL ENERGY GUARANTEE ENERGY SECURITY BOARD CHAIRMAN Australian Energy Market Commission, (August).
- Prehoda, E., Pearce, J. M., & Schelly, C. (2019). Policies to overcome barriers for renewable energy distributed generation: A case study of utility structure and regulatory regimes in Michigan. *Energies*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/en12040674>
- Sánchez, C., Rodriguez, F., Collante, E., & Simbaqueva, O. (1993). Atlas de radiación solar de Colombia. ... , HIMAT, Bogotá, Colombia, 13–22. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Atlas+de+Radiación+Solar+de+Colombia#0>
- Scarlat, N., Dallemand, J., Monforti-ferrario, F., & Banja, M. (2015). Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union – An overview from National Renewable Energy Action Plans and Progress Reports. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 969–985. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.062>
- Spijkerboer, R. C., Zuidema, C., Busscher, T., & Arts, J. (2019). Institutional harmonization for spatial integration of renewable energy : Developing an analytical approach. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1593–1603. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.008>
- Zeng, M., Li, C., & Zhou, L. (2013). Progress and prospective on the police system of renewable energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.048>