UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

“OPORTUNIDADES Y BARRERAS PARA EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO”

Angel Jose Rueda Quintero

MAGISTER EN ECONOMÍA ENERGÉTICA

2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

"OPORTUNIDADES Y BARRERAS PARA EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO"

Tesina de grado presentada por

Angel Jose Rueda Quintero

Como requisito parcial para optar al grado de

Magister en economía Energética

Profesor Guía

MSc. Ing. Wilfredo Jara Tirapegui

Profesor Coreferente

Ing. Francisco Aguirre Leo

Agosto 2016

TÍTULO DE LA TESINA:

OPORTUNIDADES Y BARRERAS PARA EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

AUTOR:

Angel Jose Rueda Quintero

TRABAJO DE TESINA, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de Magíster en Economía Energética del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Wilfredo Jara Tirapegui ……..

Francisco Aguirre Leo …….

Santiago, Chile. Agosto de 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios la oportunidad que me brindo y la fuerza que me dio para afrontar este desafío, a toda mi familia en Colombia, a mi esposa liana y mi hijo José Matías por su constante apoyo y comprensión.

A la empresa Endesa Chile, por su apoyo económico y logístico.

A todos los profesores de Magister quienes colaboraron directa o indirectamente en mi formación y en especial a los profesores guía Wilfredo Jara y coreferente Francisco Aguirre, por su tiempo y aportes a este trabajo.

A mis compañeros de magister: Carlos Mante, Rodrigo Rozas, Sebastian Campos, Fernando Montaño, Marco Monzalve, Hugo Espinosa, Juan Arévalo, Gastón Subiabre, Alejandro Tramolado, Patricio Opazo, Juan Ojeda, Alfredo Toledo.

A mis amigos y colegas de trabajo: Alejandro Valdes, Tania Aracena, Manuel Meneses y Eduardo Gorup por sus consejos y aportes desinteresados de información.

DEDICATORIA

A mi esposa Iliana y mi hijo José Matías por su comprensión, fuerza y amor ya que sin ellos esto no hubiera sido posible, a mi madre y mis hermanos en Colombia por su apoyo y en espacial a mi padre que desde el cielo me guía e ilumina.

RESUMEN

En el mundo actual, las necesidades de combustible para suplir los requerimientos energéticos de la vida moderna son abastecidos con cerca de 80% de la producción mundial de hidrocarburos, y a medida que los países se desarrollan y sus poblaciones aumentan, también crecen sus demandas energética y con ello las graves consecuencias para el medio ambiente y los recursos naturales. Para el caso de Colombia, la generación de energía primaria proviene en su mayoría de la hidroelectricidad, dada la abundancia del recurso en el país. En segundo lugar se presentan los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), con la consecuente emisión de agentes contaminantes que implica la combustión de este tipo de energéticos. Por ejemplo en el 2014, las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) como resultado del consumo de combustibles fósiles en todo el mundo sumaron cerca de 35,7 Gt[1]. En busca de una solución energética real y viable, el concepto de la generación a través de fuentes renovables no convencionales toma fuerza como opción para abastecer de energía eléctrica al consumidor. En sintonía con esta tendencia, este trabajo de tesis se enfocó en las oportunidades y barreras para el desarrollo de las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico Colombiano, especialmente las fuentes eólicas, solares, biomasa y geotérmica.

Este trabajo de tesis parte definiendo el concepto de fuente no convencional de energía renovable, abordando los aspectos técnicos básicos de generación para la producción de electricidad; Posteriormente se hace una descripción detallada del mercado eléctrico mayorista en Colombia, revisando su estructura, regulación, formación de precios y matriz tecnológica de generación.

De igual manera se hace un repasos del estado del arte de las energías renovables tanto en el panorama nacional como mundial, en este último se hace foco en los casos de los mercados en Europa y Suramérica, revisando sus

[1] PBL Netherlands Environmental Assessment Agency - 2015 Report Tomado de: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-in-global-co2-emissions-2015-report-98184.pdf

características, oportunidades, riesgo y en espacial las lecciones aprendidas.

A partir de la información recopilada y procesada, se presenta un análisis crítico de las oportunidades de desarrollo que tendrían las FNCER[2] al ser integradas en el mercado eléctrico mayorista en Colombia, de igual manera se describen las posibles barreras tanto técnicas, operativas y económicas que pudiesen limitar su participación en el mercado, de igual forma se presenta un análisis de los beneficios directos e indirectos y las posibles estrategias para enfrentar las barreras anteriormente identificas.

Finalmente el último apartado, señala las conclusiones y recomendaciones, las cual recogen y sintetizan los principales aportes de la tesina, dentro de los cuales podemos destacar: - Primero, no existe una formula única para la integración de las FNCER son variadas y distintas, todo dependerá de las políticas públicas, la disponibilidad del recurso y por último el mercado. -Segundo, que los incentivos propuestos por la ley 1715 de 2015 (reducción de Impuestos) aunque bastante buenos, no resulta suficiente ya que de acuerdo a la estructuración del mercado. - Tercero, Colombia es un país privilegiado, ya que posee alto potencial de fuentes no convencionales de energías renovables (viento, sol, biomasa, geotermia) que aún no han sido aprovechadas.

[2] FNCER , Fuente No Convencional de Energía Renovable

ABSTRACT

In today's world, needs fuel to meet the energy requirements of modern life are stocked with about 80% of world production of hydrocarbons, and as countries develop and their populations increase, so do their energy demands and with it serious consequences for the environment and natural resources. In the case of Colombia, the generation of primary energy comes mostly hydroelectricity, given the abundance of the resource in the country. Second fossil fuels (oil, gas and coal) are presented, with the consequent emission of pollutants that involves the combustion of this type of energy. For example in 2014, emissions of carbon dioxide (CO_2) as a result of fossil fuel consumption dioxide worldwide totaled about 35.7 Gt[3]. Looking for a real and viable energy solution, the concept generation through non-conventional renewable sources takes force as an option to supply electric power to the consumer. In line with this trend, this thesis work focused on opportunities and barriers to the development of non-conventional renewable energies in the Colombian electricity market, especially wind, solar, biomass and geothermal sources.

The present thesis part defining the concept of unconventional renewable energy source, addressing the basic technical aspects of generation for electricity production; Subsequently, a detailed description of the wholesale electricity market in Colombia is reviewing its structure, regulation, pricing and technology generation matrix.

Likewise, an review the state of the art of renewable energies in the national and world stage, in the latter, focus was on cases of markets in Europe and South America is reviewing its characteristics, opportunities, risk and space lessons learned.

[3] PBL Netherlands Environmental Assessment Agency - 2015 Report Tomado de: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-in-global-co2-emissions-2015-report-98184.pdf

From the collected and processed information, a critical analysis of the development opportunities that have the FNCER to be integrated into the wholesale electricity market in Colombia, likewise possible both technical, operational and economic that could be described presents you limit your market share, just as an analysis of the direct and indirect benefits and possible strategies to address presented above identify barriers.

Finally, the last section outlines the conclusions and recommendations, which collect and summarize the main contributions of the thesis, in which we highlight: -First, there is no single formula for the integration of FNCER are varied and different, all will depend on public policies, availability of resources and ultimately the market. -Second, The 1715 law proposed by 2015 (reduction of tax) incentives although quite good, is not enough because according to the structure of the market. - Third, Colombia is a privileged country, possessing high potential of unconventional renewable energy sources (wind, solar, biomass, geothermal) that have not yet been exploited.

GLOSARIO

AGC: Automatic Generation Control

ASIC: Administrador del Sistema De Intercambios Comerciales

CAC: Comité asesor de comercialización

CEN: Capacidad Efectiva Neta.

CH_4: Metano

CND: Centro Nacional de Despacho

CNO: Consejo Nacional de Operación

CO_2: Dióxido de Carbono

CxC: Cargo por Confiabilidad

ENFICC: Energía Firme para el Cargo por Confiabilidad

ERNC: Energías Renovables No Convencionales

FCE: Fuentes Convencionales de Energía

FNCE: Fuentes No Convencionales de Energía

FNCER: Fuentes No Convencionales de Energía Renovable

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GREC: Comisión de Regulación de Energía y Gas

Gt: Gigatoneladas

GW/h: Gigawatt-hora

HFC: Hidrofluorocarbonos

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

MEN: Mercado Eléctrico Mayorista

MINMINAS: Ministerio de Minas y Energía

MR: Mercado Regulado

MW/h:	Megaawatt-hora
N_2O:	Oxido Nitroso
NOx:	Óxidos de Nitrógeno
OEF:	Obligación de Energía Firme
PFC:	Perfluorocarbonos
SF_6:	Hexafluoruro de azufre
SOx:	Óxidos de Azufres
SSPD:	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
TW/h:	Terawatt-hora
UPME:	Unidad de Planeación Minero Energética
XM:	Empresa Expertos en Mercados
ZNI:	Zonas No Interconectadas

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN 17
2. OBJETIVOS 18
2.1. Objetivo General 18
2.2. Objetivo Especifico 18
3. METODOLOGÍA 19
4. MARCO TEÓRICO 21
4.1. Contexto de la Energías Renovables No Convencionales 21
4.2. Que son las Energías Renovables No Convencionales 23
4.3. Tecnologías de generación con ERNC 25
4.4. Ventajas y desventajas de las ERNC 35
5. MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO 37
5.1. Descripción del sistema eléctrico Colombiano 37
5.2. Característica hidro-climática 39
5.3. Capacidad de generación y trasmisión 40
5.4. Estructura institucional del sector eléctrico Colombiano 43
5.5. Marco regulatorio 45
5.6. Cronología de la normativa en el sistema eléctrico Colombiano 47
5.7. Estructura del mercado 48
5.8. Estructura de Oferta y Demanda 52
5.9. Mercado Eléctrico – La Bolsa 54
6. ESTADO DEL ARTE DE LA ERNC EN COLOMBIA 58
6.1. ERNC - Contexto Colombia 58
6.2. Objetivo de la Ley 1715 de 2014 59
6.3. Definiciones de las FCE, FNCE y FNCER. 59
6.4. Normativa asociada a las ERNC - FNCER 61
6.5. Incentivos a las ERNC – FNCER Ley 1715 de 2014 62
6.6. Nivel de producción ERNC – FNCER 65
7. LA EXPERIENCIA DE LA INTRODUCCIÓN DE LAS ERNC EN MERCADOS ELÉCTRICOS EN EUROPA Y SURAMÉRICA 67
7.1. ERNC en el mundo 67

7.2. Mercados con alta participación de las ERNC en sus matrices de generación eléctrica. 69
8. LAS OPORTUNIDADES Y BARRERAS PARA EL DESARROLLO DE LAS ERNC EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO 83
8.1. Oportunidades de las ERNC – FNCER 83
8.2. Oportunidades económicas de las ERNC – FNCER 94
8.3. Barreras típicas de las integración de ERNC – FNCER 96
8.4. Barreras detectadas por tipo de fuente 100
8.5. Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2015 – 2029 102
8.6. Escenario 12 105
8.7. Estrategia para el caso Colombiano 106
8.7.1 Eólica 106
8.7.2 Solar 107
8.7.3 Biomasa 108
8.7.4 Geotérmica 109
9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN 111
9.1 Conclusiones 111
9.2 Recomendaciones 114
10. BIBLIOGRAFIA 117

Índice de Figuras

Figura 1 Proceso de combustión 21
Figura 2 Producción mundial de energías renovables [GWh] de electricidad en el 2014 .. 22
Figura 3 Capacidad mundial de ERNC Instalada en 2014 23
Figura 4 Energías Renovables No Convencionales según fuente. 24
Figura 5 Esquema de una central hidroeléctrica, con turbina Pelton..... 25
Figura 6 Central hidroeléctrica de embalse, Guavio - Colombia 27
Figura 7 Esquema típico de una central eólica..... 28
Figura 8 Aerogeneradores de eje horizontal- C. Eólica Canela..... 29
Figura 9 Esquema típico de una central de biomasa 31
Figura 10 Planta solar fotovoltaica San Andrés ubicada en la Región de Atacama 32
Figura 11 Cinturón de fuego del pacifico 34
Figura 12 Esquema típico de una central de geotérmica..... 35
Figura 13 Cadena de valor del mercado eléctrico colombiano 37
Figura 14 Descripción de tipos de precios 38
Figura 15 Descripción general del mercado mayorista 39
Figura 16 Efectos del fenómeno del Niño en el precio de bolsa..... 40
Figura 17 Capacidad efectiva neta del SIN a 2015 [16.420 MW]..... 40
Figura 18 Producción neta del SIN a 2015 [66.548 GWh]..... 41
Figura 19 Diagrama zonal del sistema interconectado nacional 42
Figura 20 Principales agentes de mercado del SIN en 2015 42
Figura 21 Institucionalidad del sector eléctrico..... 43
Figura 22 Esquema de relaciones institucional del sector eléctrico Colombiano 45
Figura 23 Esquema de la regulación..... 46
Figura 24 lineamientos de la ley de servicios domiciliarios 142 de 1994 47
Figura 25 Cronología del sistema eléctrico Colombiano..... 48
Figura 26 Diagrama simplificado de la estructura del MEM 49
Figura 27 Estructura del mercado eléctrico mayorista (oferta-demanda) 53
Figura 28 Curva de oferta por tecnología y demanda diaria 54
Figura 29 Teoría económica de la oferta y demanda..... 55
Figura 30 Curva típica de Oferta - Demanda horária típica [MWh] 55
Figura 31 Esquema simplificado del funcionamiento de la bolsa de energía..... 57
Figura 32 Definición de generación de electricidad según fuente de producción..... 58
Figura 33 Fuentes no convencionales de energía renovables. 62
Figura 34 Capacidad efectiva de energía por departamento - UPME 66
Figura 35 Capacidades de energía renovable en el mundo a 2014 67
Figura 36 Capacidad mundial de energía eólica 2004-2014..... 68
Figura 37 Capacidad mundial de energía Solar 2004-2014..... 68
Figura 38 Metas de inserción de ERNC en Europa..... 73
Figura 39 Metas de inserción de ERNC en Latinoamérica..... 75

Figura 40 Capacidad de ERNC al cierre de 2015 [2170 MW]..... 77
Figura 41 Comparación metas de la ley 20257 vs ley 20698 79
Figura 42 Modelación de las fuentes renovables e intermitentes. 83
Figura 43 Península de la Guajira, Caribe Colombiano alto potencial de energía eólica... 85
Figura 44 Escenarios UPME para el desarrollo del parque generador en Colombia..... 86
Figura 45 Mapa de radiación solar global en Colombia..... 88
Figura 46 Principales volcanes activos de Colombia 93
Figura 47 Valor esperado costo marginal. Escenario de largo plazo..... 94
Figura 48 Mix de tecnologías escenarios plan de expansión en generación 2015 – 2029 102
Figura 49 Desempeño de los escenarios de largo plazo por indicador..... 105

Índice de Tablas

Tabla 1. Propuesta metodológica para el trabajo de investigación. 20
Tabla 2. Capacidad efectiva neta de las fuentes no convencionales de energías renovables 65
Tabla 3 Fomento de las ERNC en Europa 72
Tabla 4 Ventajas y desventajas de los mecanismos de fomentos de las ERNC en Europa 74
Tabla 5 Status del fomento de las ERNC en Latinoamérica 80
Tabla 6 Potenciales para diferentes regiones del país 84
Tabla 7 Irradiación promedio para diferentes regiones 87
Tabla 8 Capacidad instalada y de generación de la cogeneración con biomasa a 2015 .. 90
Tabla 9 Potenciales energéticos de residuos agrícolas 91
Tabla 10 Potenciales energéticos de residuos pecuarios 91
Tabla 11 Potenciales energéticos de otros residuos 92
Tabla 12 Potenciales energéticos de fuentes de metano 92
Tabla 13 Costo de desarrollo por tecnología 95
Tabla 14 Barreras encontradas por tipo de fuente 100
Tabla 15 Escenarios de largo plazo (I) 103
Tabla 16 Escenarios de largo plazo (II) 104
Tabla 17 Propuesta del plan de desarrollo eólico 107
Tabla 18 Propuesta del plan de desarrollo solar 108
Tabla 19 Propuesta del plan de desarrollo de la biomasa 109
Tabla 20 Propuesta del plan de desarrollo geotermia 110

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda por recursos energéticos a nivel mundial y una conciencia cada vez más preocupada por los temas ambientales (Cambio Climático, otros) han llevado a un aumento de la aplicación de las Energías Renovable No Convencionales (ERNC) en la matriz energética de la mayoría de los países. De esta forma, en la actualidad las ERNC se han convertido en una opción real para enfrentar las necesidades de energía en las grandes economías (Alemania, España, USA) así como también en economías emergentes (Chile, Brasil).

En el caso de Colombia, siendo un país emergente dentro de América Latina ha quedado muy atrás en la integración de la ERNC; tanto es así, que éstas solo representa el 2,71% de la capacidad instalada[4]. Frente a este escenario, se abre la oportunidad para este estudio de explorar la integración de las ERNC en este país, y analizar su relativo subdesarrollo en esta materia. En Colombia el tema energético es de suma importancia ya que su sistema de generación eléctrica es muy vulnerable a los efectos del cambio climático, dada su alta dependencia de los recursos hidroeléctrico, lo que genera que el país pase por periodos de escasez y precios muy altos de la energía, como ya han ocurrido en el pasado (1992-1993) y los más recientes 2010 y 2013 por el fenómeno del Niño.

En este contexto, la propuesta de esta tesina busca aportar elementos para la discusión y el análisis de las oportunidades y barreras para el desarrollo de las ERNC en el mercado eléctrico Colombiano, el cual posee recursos naturales que aún no han sido integrados en su matriz energética, los cuales permitirían la diversificación de su matriz energética, logrando balancear la variabilidad hidroeléctrica y minimizar los riesgos asociados a la volatilidad de los precios de los hidrocarburos.

Este estudio está dividido en seis capítulos: el primero presenta un marco teórico conceptual y referencial sobre las energías ERNC, las principales tecnologías de generación y sus ventajas y desventajas. El segundo capítulo desarrolla el sector eléctrico Colombiano, su contexto tecnológico, normativo y comercial. El los capítulos tres y cuatro se presenta el estado del arte de las ERNC en Colombia, seguido del contexto de las ERNC en la región y en Europa. El capítulo cinco analizará las oportunidades y barreras para el desarrollo de las ERNC en el mercado eléctrico Colombiano. Finalmente, El capítulo sexto y último, presentan las conclusiones y recomendaciones para un mejor desarrollo de las ERNC en Colombia.

[4]Capacidad efectiva neta -CEN- instalada en el SIN al finalizar 2014. XM - Descripción del sistema eléctrico Colombiano. Tomado de: http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

El objetivo general del presente estudio corresponde al análisis de la integración de las ERNC en la matriz energética Colombiana, revisando sus oportunidades y barreras, para su desarrollo dentro del mercado eléctrico mayorista, tomado en cuenta los aspectos normativos, ambientales, tecnológicos y comerciales, a partir de la revisión de las experiencias aprendidas de los mercados eléctricos en Europa y Sudamérica.

2.2. Objetivo Especifico

Los objetivos específicos propuestos a desarrollar en el presente trabajo son:

I. Verificar el contexto tecnológico de generación y producción de las ERNC (solar, eólica, biomasa, geotermia)

II. Describir y analizar el Mercado Eléctrico Colombiano, su contexto normativo, tecnológico y comercial

III. Contextualizar en general el estado del arte de la integración de las ERNC en la matriz energética en Colombia.

IV. Analizar las experiencias de la introducción de las ERNC de otros mercados eléctricos en Sudamérica y en Europa, oportunidades, amenazas, barreras, riesgos.

V. Analizar las oportunidades y barreras para el desarrollo de las ERNC en el mercado eléctrico Colombiano, tomado en cuenta los aspectos económicos, técnicos, ambientales y regulatorios

VI. Establecer recomendación y conclusiones aplicables al escenario y contexto Colombiano de la introducción de las ERNC.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación es necesario diseñar una metodología, la cual nos permita abordar los objetivos definidos en el capítulo anterior; de esta forma, la propuesta metodológica considera los siguientes puntos:

a) Revisión bibliográfica y levantamiento de referencias, Para realizar un levantamiento de la información referente a los temas de mercado, tecnologías y regulación del sistema eléctrico Colombiano.

b) Definición del marco conceptual. Para ello se definirá, que son las ERNC, sus principales tecnologías de producción, ventajas y desventajas.

c) Definición del mercado eléctrico mayorista en Colombia. Para ello se revisará este mercado, su formación, regulación y su tecnología para la producción de energía eléctrica.

d) Luego de la descripción del mercado eléctrico Colombiano, se analizará el estado actual del desarrollo de las ERNC en la matriz eléctrica Colombiana.

e) Análisis de mercados con alta participación de las ERNC en su matriz de generación eléctrica. En este estudio se revisará los casos de los mercados en Europa y Suramérica, sus características, riesgos oportunidades y las lecciones aprendidas.

f) A continuación, se analizará las oportunidades y barreras que tienen las ERNC en el mercado eléctrico mayorista en Colombia, que beneficios trae la integración, como así mismo lo que no hacer.

g) Complementando lo anterior, se entregarán las Conclusiones y recomendaciones para un mayor desarrollo de las ERNC en Colombia.

Tabla 1. Propuesta metodológica para el trabajo de investigación.

Revisión Bibliográfica	•Levantamiento de antecedentes en la web, Paper, revistar , otras •UPME, GREC, MINMINAS, XM
Marco Conceptual	•Definición de las ERNC •Aspectos técnicos , tecnologías, ventajas y desventajas
Definicion del MEM Colombiano	• Tecnologías, producción y regulación del MEM •MEM , Bolsa, mercado primario y secundario
Estado del arte ERNC	• Situación actual de las ERNC en Colombia
ERNC en Europa y Latam	•Revisión y análisis de las lecciones aprendidas de mercados con ERNC , éxitos y fracasos
Oportunicades y Barreras	•Análisis de las oportunidades y barreras de la integración de las ERNC en el MEM Colombiano
Conclusiones	•Conclusiones de la investigación •Recomendaciones

Fuente: Elaboración propia

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Contexto de la Energías Renovables No Convencionales

La mayoría de nosotros hacemos uso de la energía de una forma u otra, ya sea directa o indirectamente, asumimos que la energía simplemente está, la usamos al encender una ampolleta, ver televisión, cocinar alimentos; Pero nunca nos imaginamos la complejidad que conlleva esto, en otras palabra, como hacer que la energía llegue desde la fuente de producción hasta nuestras casas. Desde los inicios de la revolución industrial (siglo XIX) la producción de energía eléctrica ha estado basada principalmente a partir de medios convencionales, haciendo uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), lo que representa altos niveles de contaminantes (NOx, SOx), además de la emisión de gases de efecto invernadero (CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC, SF_6) Se estima que cerca del 77,2% de la energía producida en 2014 (Figura 2) se obtuvo por medios convencionales lo que representó una producción de 35,7 Gt[5] de CO_2. A este ritmo estamos contaminando y dañando al planeta a una tasa más alta de lo que él se puede recuperar.

Figura 1 Proceso de combustión

Fuente: Introducción a las Energías Renovables No Convencionales.[6]

[5] PBL Netherlands Environmental Assessment Agency - 2015 Report Tomado de: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-in-global-co2-emissions-2015-report-98184.pdf

[6] Jara Wilfredo – Endesa Eco. Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) 2006 Tomado de: http://www.endesa.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEINFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf

En este sentido, las energías renovables no convencionales se trasforman en una herramienta indispensable en la mitigación de la producción de GEI; además, son una forma de producción de electricidad más sustentable y amigable con el medio ambiente, esta última razón ha hecho que las ERNC haya tenido una amplia aceptación por la sociedad.

Hoy en día las ERNC han dejado de ser un sueño o una declaración de intención de cierto sector de la sociedad, para convertirse en una real solución a los temas producción de electricidad. En el año 2013 la producción mundial de electricidad con ERNC cerró en 19,1%, cifra que de acuerdo al último informe del REN21 fue superada y se estima que la producción total a partir de medios no convencionales fue de un 22,8% (ver Figura 2) para el año 2014.

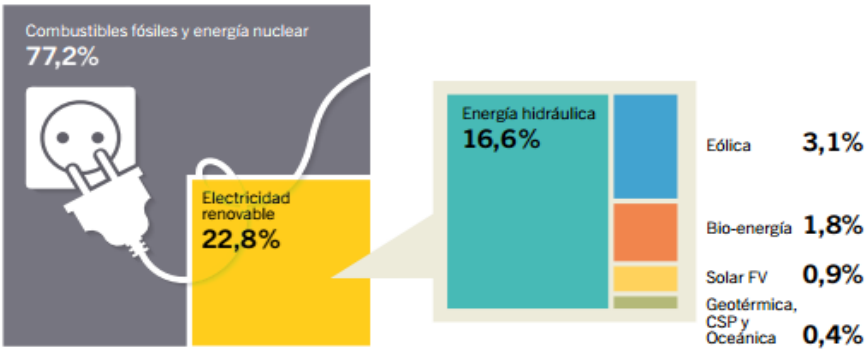

Figura 2 Producción mundial de energías renovables [GWh] de electricidad en el 2014

Fuente: REN21 Renewables 2015 Global Status Report.[7]

Hoy por hoy las energías renovables representan el 27,7% de la capacidad mundial de generación de energía (ver Figura 3) y cerca del 22,8% de la demanda mundial de electricidad, lo que se traduce en un mercado cada vez más creciente.

[7] REN21. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf , Página 20

		INICIO DE 2004[1]	2013	2014
CAPACIDAD				
Capacidad de energía renovable (total, sin incluir hidraúlica)	GW	85	560	**657**
Capacidad de energía renovable (total, incluir hidraúlica)	GW	800	1.578	**1.712**
Capacidad de energía hidraúlica (total)[3]	GW	715	1.018	**1.055**
Capacidad de bioenergía	GW	<36	88	**93**
Generación de bioenergía	TWh	227	396	**433**
Capacidad de energía geotérmica	GW	8,9	12,1	**12,8**
Capacidad solar fotovoltaica (total)	GW	2,6	138	**177**
Energía solar térmica de concentración (total)	GW	0,4	3,4	**4,4**
Capacidad de energía eólica (total)	GW	48	319	**370**

Figura 3 Capacidad mundial de ERNC Instalada en 2014

Fuente: REN21 Renewables 2015 Global Status Report[8]

4.2. Que son las Energías Renovables No Convencionales

Por definición, una fuente de energía renovable es aquella que es virtualmente inagotable o que cuenta con una capacidad de regenerarse en un periodo de tiempo inferior al que toma su uso. Gran parte de las fuentes de energía que hoy día utilizamos provienen directa o indirectamente del Sol (ver Figura 4), en otras palabras, el sol es nuestro principal proveedor de energía y nuestra estrella más cercana.

Su influencia directa la podemos ver en forma de radiación, la cual es aprovechada ya sea por las plantas a través de la fotosíntesis o por un panel solar que trasforma la radiación en energía eléctrica. De igual manera pero de una forma indirecta observamos su influencia sobre los mares y la atmosfera lo cual se traduce en las olas, viento y lluvia lo cual no es más que la trasformación de la energía solar en distintas clases de energía.

[8] REN21. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf Página 11

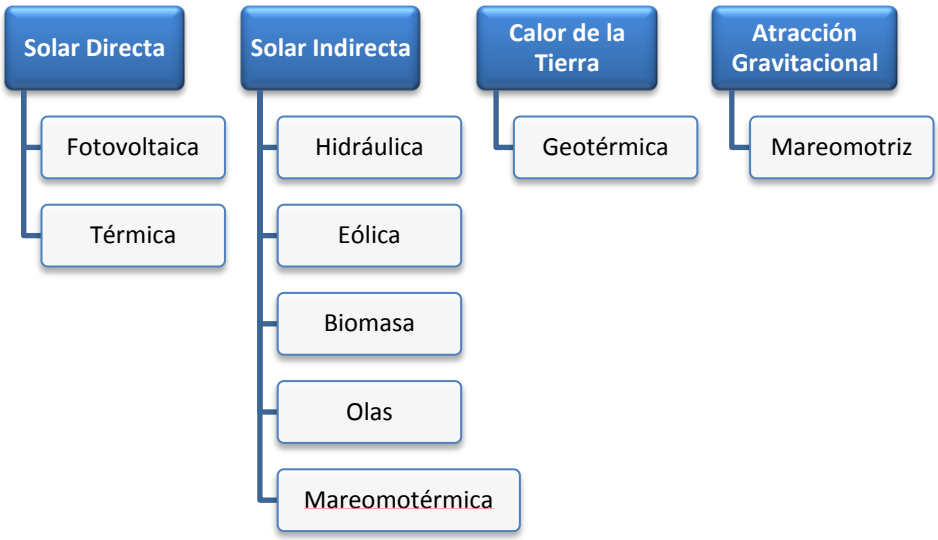

Figura 4 Energías Renovables No Convencionales según fuente.

Fuente: Elaboración propia

Uno de los principales inconvenientes del uso de las energías renovables a escala industrial, lo suficiente para remplazar las energías convencionales, radica en la disponibilidad del recurso: el viento, el agua, el sol, están sujetas a la geografía y condiciones climáticas: adicional a esto se requieren de largos análisis y estudios en sus etapas tempranas, con el fin de caracterizar y estimar las condiciones del recurso.

No obstante a todas sus dificultades, cada vez más las energías renovables ganan mayor participación en la matrices de generación, ya sea influenciadas por los compromisos que las naciones han adquirido para enfrentar y disminuir las emisiones de GEI[9] o bien por la influencia de una sociedad cada vez más comprometida en los mecanismos de desarrollos sustentable.

[9] REN21 Renewables 2015 Global Status Report.

4.3. Tecnologías de generación con ERNC

Continuando con la descripción de las ERNC nos enfocaremos en el análisis de las tecnologías que cuentan con mayor grado de desarrollo y aplicación comercial a nivel mundial, que de acuerdo al último informe del REN21 (ver Figura 2) se ubica en primer lugar la energía Hidráulica, seguida por la eólica, bioenergía, solar y geotérmica.

4.3.1. Energía Hidráulica.

El principio básico de la energía hidráulica se basa en el aprovechamiento de la energía almacenada en forma potencial que tiene el agua en altura, que durante su caída la energía potencial se transforma en energía cinética (salvo las pérdidas en tubería que se pierden por la fricción) la cual es posteriormente transformada en electricidad atreves del conjunto Turbina – Generador y de ahí a los trasformadores para su despacho a los centros de consumo.

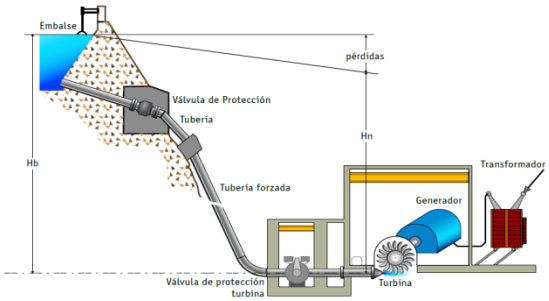

Figura 5 Esquema de una central hidroeléctrica, con turbina Pelton[10]

Fuente: Introducción a las Energías Renovables No Convencionales.[11]

[10] Jara Wilfredo – Endesa Eco. Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) 2006 Tomado de: http://www.endesa.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEINFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf

[11] Jara Wilfredo – Endesa Eco. Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) 2006 Tomado de: http://www.endesa.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEINFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf

De esta forma, podemos expresar la potencia hidráulica en función de: el tipo de fluido, el caudal y la altura neta del salto, por la siguiente expresión:

$$\textbf{Potencia Hidraulica}: \boldsymbol{\gamma * Q * Hn}$$

donde:

γ : Peso específico del agua ($1.000\ \mathrm{kg/m^3}$)

Q : Caudal de agua ($\mathrm{m^3/s}$)

Hn : Altura neta (m)

Como lo hemos mencionado, el aprovechamiento de la energía hidráulica varía principalmente en función de la disponibilidad del caudal, la altura de la caída y el tipo de fluido; estos factores son fundamentales y determinan el tipo de turbina hidráulica más conveniente para aprovechar al máximo la energía del fluido.

Podemos distinguir dentro de las turbinas las de más amplio uso a nivel industrial:

- Turbinas Pelton: Grandes alturas, pequeños caudales.
- Turbinas Francis: Condiciones medias de altura y caudal.
- Turbinas Kaplan (Hélice): Pequeñas alturas y grandes caudales.

Al igual que existen distintos tipos de turbinas, podemos clasificar a las centrales que las contienen según su diseño:

- Centrales de Embalse: A partir de la contrición de un muro de presa se logra crear lagos artificiales los cuales almacenan un gran volumen de agua el cual es aprovechado para la generación, debido a su capacidad de almacenamiento, los embalse poseen la capacidad de regulación en otras palabras pueden desembalsar agua para generar electricidad de manera semanal, mensual o multianual.

- Centrales de Pasada: En este tipo de centrales no existe un embalse, y su aprovechamiento del agua está ajustado a las condiciones hidrológicas, en otras palabras, en condición humedad cuenta con alta producción, lo contrario ocurre en condición seca disminuye su potencia en función de la disminución del caudal.

Centrales de Bombeo o reversibles: Es un tipo especial de central, cuenta con dos embalses a diferentes nivel, en donde el agua fluye del nivel superior al nivel inferior cual el costo de la energía es mayor, generalmente en horas peak, luego se bombea el agua desde el nivel inferior al superior cual el costo de la energía en mucho más barata generalmente en la noche, logrando así acumular agua y continuar nuevamente con el ciclo productivo.

Figura 6 Central hidroeléctrica de embalse, Guavio - Colombia

Fuente: Endesa Chile - Conózcanos - Nuestro Negocio[12]

4.3.2. Energía Eólica

La energía eólica corresponde a la energía cinética contenida en el viento, como ya se mencionó este tipo de energía es considerada una forma indirecta de energía solar, ya que producto de la radiación del sol sobre la atmosfera se producen diferencias de temperatura y presión en las masas

[12] Endesa Chile Tomado de : http://www.endesa.cl/es/conocenos/nuestroNegocio/centrales/Paginas/centralelguavio.aspx

de aire, lo que origina el flujo de aire de las zonas frías de alta presión a las cálidas de baja presión, a este desplazamiento de masas de aire se le conoce como viento.

El mecanismo de aprovechamiento de la energía eólica se hace mediante generadores eléctricos conectados a hélices, las que son impulsadas por la acción del viento, con lo cual se logra trasformar la energía del viento en torque mecánico y luego en energía eléctrica.
Podemos expresar la potencia de un aerogenerador como: la relación entre la densidad del aire (ρ), del área (A) de barrido del rotor y de la velocidad del viento (V)

$$\textbf{Potencia Eólica}: \mathbf{0,5 * \rho * A * V^3}$$

donde:

$\boldsymbol{\rho}$: densidad del aire
A : área(A)de barrido del rotor
V : Velocidad del viento

Además, hay que tener en cuenta la ley de Betz: que establece que solo se puede aprovechar un 16/27 (el 59%) de la energía cinética en energía mecánica por un aerogenerador

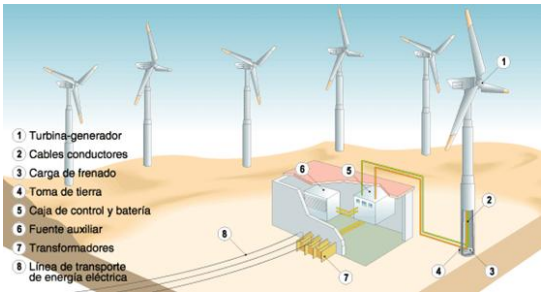

Figura 7 Esquema típico de una central eólica

Fuente: Asociación española de Industria eléctrica[13]

[13] Unesa – Electricidad. Tomado de : http://www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar/esquemas/imagenes_centrales/eolica.gif

Dentro de las instalaciones eólicas comerciales de mayor uso en la industria podemos distinguir:

- Eólica on-shore: Equipos emplazados en tierra firme, alcanzan potencias de hasta 4,5 MW[14]. El viento es más inestable, pero la instalación es más económica.
- Eólica off-shore: tecnologías emplazados en el mar, existen prototipos de 10 MW[15]. El viento es más estable en el océano, pero es más caro instalar estos equipos.
- Pequeñas aplicaciones: Existen diversos tipos de aerogeneradores para aplicaciones domésticas y de pequeña escala, con rangos de potencias que van desde 60 a 100 kW[16]

Figura 8 Aerogeneradores de eje horizontal- C. Eólica Canela

Fuente: Endesa Chile - Conózcanos - Nuestro Negocio[17]

[14] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Energía Eólica, Pag 55, Enercon 4,5 MW
[15] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Energía Eólica, Pag 59, Sea Titan 10 MW
[16] Asociación Empresarial Eólica España Tomado de :
http://www.aeeolica.org/uploads/documents/Ignacio_Cruz_La_energa_elica_de_media_potencia.pdf
[17] Endesa Chile Tomado de :
http://www.endesa.cl/es/conocenos/nuestroNegocio/centrales/Paginas/centraleolicacanela.aspx

4.3.3. Energía Biomasas

Entendemos el concepto de biomasa a toda materia orgánica de origen vegetal, animal o derivados de los mismos. Partiendo de este principio, entenderemos a la bioenergía como la obtenida a partir del procesamiento de materia orgánica, vegetal, animal o de la transformación de la misma, ya sea mediante la combustión directa, o mediante su procesamiento para la generación de otro tipo de combustibles con el fin de generar electricidad.

La biomasa puede utilizarse a partir de diversas fuentes energéticas para diversos tipos de aplicaciones, siendo un tipo de energía versátil, a continuación enumeraremos las aplicaciones más comunes de uso industrial

- Cogeneración: Consiste en la utilización de biomasa para generar calor y electricidad a partir de su combustión directa.
- Biogás: Consiste en la generación de gas a partir de procesos NREL
- Biocombustibles: Consiste en la transformación de biomasa vegetal o animal en combustibles líquidos, dentro de estos podemos distinguir los biocombustibles de primera generación, los cuales se producen directamente de cosechas que pueden destinarse a la alimentación humana o del ganado, los de segunda generación también se conocen con el nombre de biocombustibles avanzados. Lo que les diferencia de los de primera generación es el hecho de que la materia prima usada para su producción no son cosechas que pueden destinarse para alimentación en primera instancia, y los más recientes son los llamados de y se refiere a los biocombustibles obtenidos a partir de algas o microalgas. Por ello también se les conoce como oleoalgal, oilgae o algaeoleum.[18]

[18] Portal Energías Renovables Info - Eólica, Tomado de : http://www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/tipos-biocombustibles/

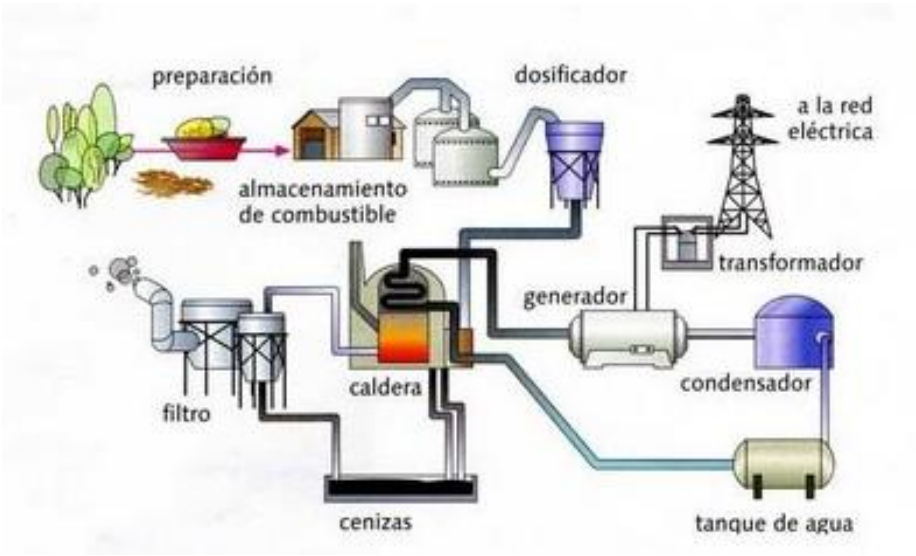

Figura 9 Esquema típico de una central de biomasa

Fuente: Asociación española de Industria eléctrica[19]

La capacidad de entrega de energía de la biomasa la podemos expresar en su poder calorífico, el cual se puede estimar mediante la ecuación de Dulong (que incluye agua, sin cenizas).

$$\frac{\mathbf{kJ}}{\mathbf{kg}}:\left[\mathbf{145 * C + 610}\left(\mathbf{H - \frac{1}{8}\,O}\right)\mathbf{+ 40.5 * S + 10 * N}\right]\mathbf{*\ 2.33}$$

donde:

C: Carbono, % p/p
H: Hidrógeno, % p/p
O: Oxigeno, % p/p
S: Azufre, % p/p
N: Nitrogeno, % p/p

Formula Dulong, para la estimación del PC de Residuos Sólidos[20]

[19] Unesa – Electricidad. Tomado de : http://www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar/esquemas/imagenes_centrales/Biomasa.gif
[20] Clases de ERNC MEE424 - Biomasa.

4.3.4. Energía Solar

En el principio de este capítulo se mencionó que la mayor parte de la energía renovable de alguna forma es indirectamente proveniente del Sol, ahora haremos referencia a la forma directa de la energía solar, la cual corresponde a la radiación que recibe la superficie de la tierra proveniente del sol. Esta radiación llega en forma de luz y calor.

La irradiancia es la magnitud en que se mide la energía recibida sobre la superficie de la tierra y se mide en W/m^2, esta varía según la hora del día, la inclinación de los rayos solares y la cobertura de nubes**.**

$$\textbf{Irradiancia}: \frac{\textbf{Pine}}{\textbf{As}}$$

donde:

Pine : Potencia incidente

As : Área de superficie incidente

Figura 10 Planta solar fotovoltaica San Andrés ubicada en la Región de Atacama

Fuente: Sun Edinson Latam[21]

Podemos considerar a la energía solar como una energía limpia, además de ser abundante entre todas las energías renovables. Hoy en día podemos aprovechar

[21] Fuente de la información SunEdison Inc. 2014. Tomado de: http://www.sunedisonlatam.com

dicho recurso de múltiples formas, podemos mencionar las tres tecnologías principales para su aprovechamiento[22]:

- Paneles fotovoltaicos: Permiten convertir la radiación solar en energía eléctrica en forma directa
- Concentrador solar de potencia: Esta tecnología permite utilizar el calor concentrado de los rayos del sol para aprovecharlos en un generador de vapor, el cual opera de manera convencional a un ciclo térmico de alta temperatura, aprovechando su energía cinética para mover directamente el conjunto turbina y el generador para producir electricidad.
- Colectores solares: Permiten aprovechar la radiación solar en forma directa para calentar agua para uso sanitario o en aplicaciones industriales.

4.3.5. Energía Geotérmica

Geotermia es una palabra de origen griego, que deriva de "geos" que quiere decir tierra, y de "thermos" que significa calor es decir el calor de la tierra[23]. En otras palabras, la energía geotérmica en la energía que corresponde al calor contenido en el interior de la tierra, y junto con la energía mareomotriz son las únicas fuentes renovables que no depende directamente del sol.

La geotermia es una de las energías renovables que cuenta con la más baja participación para la generación eléctrica a nivel mundial; principalmente por el alto costo de las exploraciones y perforaciones de los pozos, sin embargo las aplicaciones térmicas pueden ser de pequeña escala.

[22]Portal Energías Renovables Info - Solar, Tomado de : http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-energia-solar/
[23] Fuente de la información enciclopedia en línea. Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Geotermia

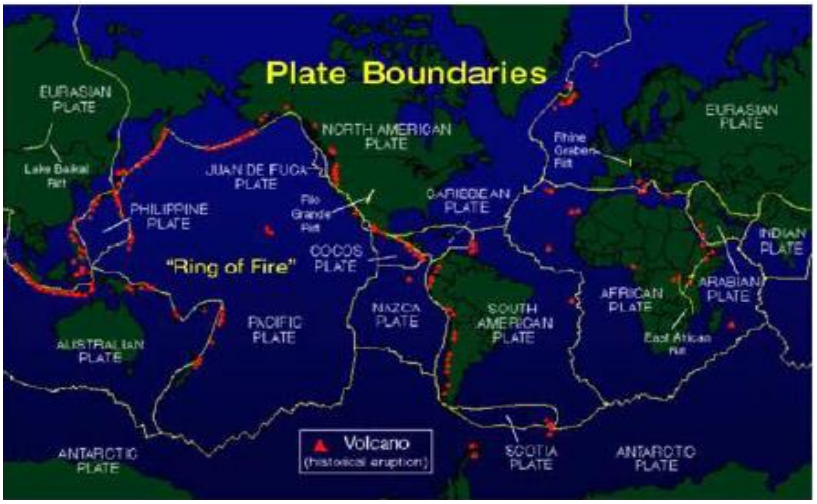

Figura 11 Cinturón de fuego del pacifico

Fuente: MEE424 ERNC - Geotermia[24]

Podemos distinguir dentro de las centrales de generación geotérmicas tres principales grupos:

- Alta entalpía: Son centrales de generación que utilizan fuentes de vapor de alta temperatura aprovechando su energía cinética para mover directamente el conjunto turbina generador y producir electricidad.
- Media entalpía: Centrales de generación eléctrica que usan temperaturas menores, pero vaporizan un fluido de trabajo.
- Baja entalpía: Son aplicaciones térmicas que aprovechan fuentes de agua de baja temperatura o el calor del subsuelo.

[24] Clases de ERNC MEE424 - Geotermia

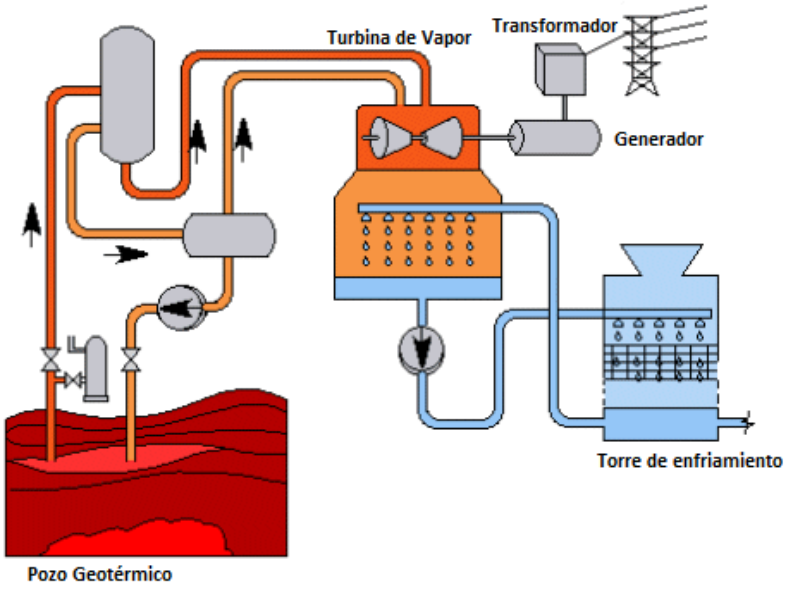

Figura 12 Esquema típico de una central de geotérmica

Fuente Blog energía geotérmica[25]

4.4. Ventajas y desventajas de las ERNC

4.4.1. Hidráulica

- Ventajas: No genera emisiones de ningún tipo. Es la tecnología más madura y conocida.
- Desventajas: Alto costo de inversión inicial, impacto en zonas inundadas, factor de planta dependiente de las condiciones hidrológicas.

4.4.2. Eólica

- Ventajas: Es una fuente inagotable. Se puede aprovechar como electricidad o como fuerza mecánica. Puede emplazarse en todo tipo de relieve.

[25] Blog energía geotérmica Tomado de: http://et29energiageotermica.blogspot.cl/

- Desventajas: Bajos factores de planta. Alta intermitencia. Presenta variaciones de intensidad y dirección. Ocupa grandes extensiones de terreno y afecta al paisaje.

4.4.3. Biomasa

- Ventajas: No requiere grandes espacios para instalaciones. Puede ser emplazada cerca de las fuentes de biomasa y/o de los centros de consumo.
- Desventajas: Requiere de cadenas de suministro que aseguren abastecimiento a largo plazo. Disponible sólo en algunas áreas determinadas, Puede generar competencia para uso de suelo agrícola alimentario y biomasa para uso energético.

4.4.4. Solar

- Ventajas: Al igual que la eólica es virtualmente inagotable, disponible en toda la superficie terrestre. Sirve para generar electricidad o calor.
- Desventajas: No está disponible durante la noche. Presenta variaciones estacionales. Ocupa gran superficie de terreno.

4.4.5. Geotérmica

- Ventajas: No requiere grandes espacios para instalaciones. No depende del clima. Es una tecnología probada y conocida, Alto factor de planta
- Desventajas: Tiene un costo de inversión inicial muy alto. Altos niveles de ruido. Puede generar emisiones de gases a la atmósfera.

5. MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

5.1. Descripción del sistema eléctrico Colombiano

El mercado eléctrico mayorista en Colombia es un mercado altamente competitivo[26], el cual basa sus principios en un sistema de despacho por precio (no por costo) siendo el único mercado a nivel Latinoamericano de este tipo. Fue creado con la Reforma Eléctrica de 1994, a partir de las leyes 142 y 143 las cuales define el marco regulatorio que establece las condiciones para el desarrollo del sector. Con la promulgación de dichas leyes se definen las cuatro principales actividades que actualmente conocemos en el sector: generadores, transmisores, distribuidores, comercializadores. De igual manera, se definen lo que son los grandes consumidores de electricidad o usuarios no regulados. Por otra parte se crea un ente regulador - CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) - el cual tiene como objetivo asegura y promover reglas y normas aplicables a este mercado.

Figura 13 Cadena de valor del mercado eléctrico colombiano

Fuente: elaboración propia

El mercado eléctrico de energía mayorista en Colombia actualmente se encuentra divido en dos segmentos:

- Mercado de contratos bilaterales (largo plazo)
- La bolsa de energía (corto plazo)

[26]Descripción del sistema eléctrico Colombiano. XM tomado de: http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx

La energía es transada en bolsa o mediante contratos bilaterares con otros generadores, comercializadores o directamente con los grandes consumidores o usuarios no regulados.

La bolsa de energía (mercado de corto plazo) es un mercado para las 24 horas del día siguiente, con obligación de participación para todos los generadores registrados en el mercado.

Los comercializadores son los que atienden usuarios y les prestan el servicio de facturación. Les pueden vender a los usuarios no regulados a precios libres y los otros a precios regulados. Los comercializadores y usuarios no regulados celebran contratos de energía con los generadores, estableciendo el precio de electricidad sin intervención del estado.

Figura 14 Descripción de tipos de precios

Fuente: elaboración propia

Los usuarios regulados tienen relación con el mercado mayorista a través del comportamiento de precios del mercado y de los precios a los cuales realice transacciones su comercializador para atenderlo.

Los generadores reciben un ingreso adicional proveniente del cargo por confiabilidad, cuyo pago depende del aporte que la energía que cada generador aporta a la firmeza del sistema y de su disponibilidad real.[27]

[27] Descripción del sistema eléctrico Colombiano. XM tomado de: http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx

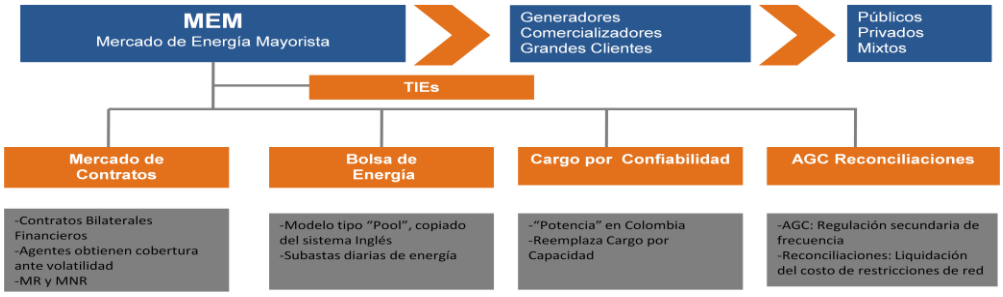

Figura 15 Descripción general del mercado mayorista

Fuente: elaboración propia

5.2. Característica hidro-climática

En Colombia el tema climático juega vital importancia dados sus efectos en el sistema de generación eléctrica, ya que esté es muy vulnerable a sus efectos producto de la alta dependencia que el mercado tiene a los recursos hidroeléctrico (67%), esta característica origina que el país pase por periodos de escases y precios muy altos de la energía, explicados principalmente por los efectos del fenómeno del Niño[28].

Podemos mencionar algunas características del sistema.

- País con alta variabilidad hidrológica
- Régimen Pluvial con dos estaciones diferenciadas: "Verano": 1 diciembre a 30 de abril ; "Invierno": 1 mayo a 30 de noviembre.
- Sequías periódicas asociadas al Fenómeno del Pacífico (Fenómeno del Niño), reflejadas en el precio "spot". La temperatura superficial del Océano Pacífico a través de los años oscila entre condiciones extremas cálidas (El Niño) y frías (La Niña).
- Último fenómeno del Niño fue en 2010 obligando a la intervención del mercado por parte del regulador.

[28]NOAA ENSO Monitoring Tomado de:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc_Sp.html

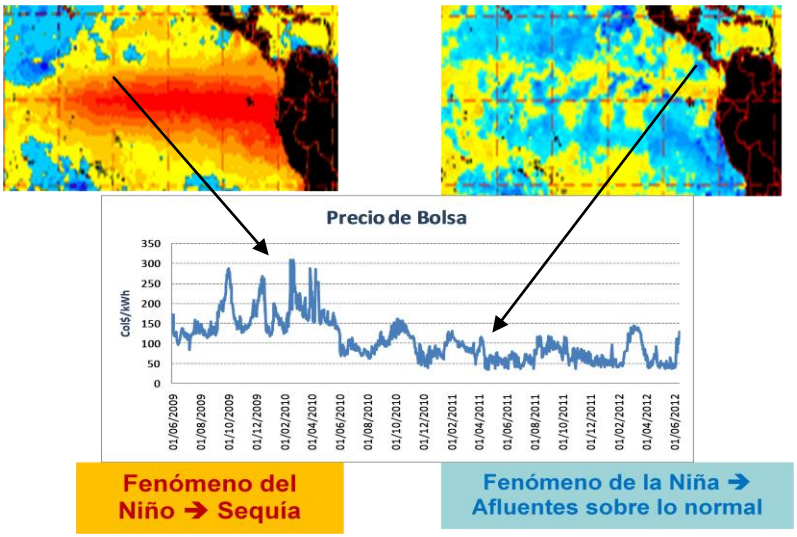

Figura 16 Efectos del fenómeno del Niño en el precio de bolsa

Fuente: elaboración propia

5.3. Capacidad de generación y trasmisión

El sistema eléctrico Colombiano cuenta con una capacidad neta instalada de 16.420 MW al cierre de 2015 representados en 10.892 MW de capacidad hidroeléctrica, 4.743 MW de capacidad en termoeléctricas, 699 MW en plantas menores y 87 MW en cogeneración.

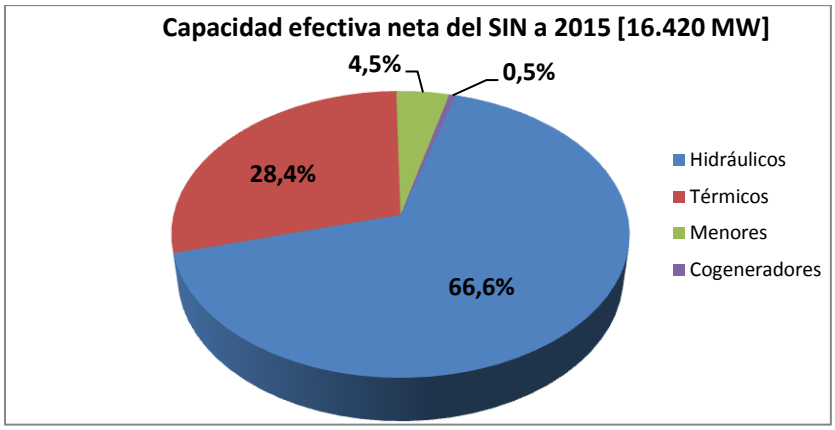

Figura 17 Capacidad efectiva neta del SIN a 2015 [16.420 MW][29]

Fuente: elaboración propia

[29] Capacidad efectiva neta XM Tomado de: http://informesanuales.xm.com.co/2015/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx

Dada su demanda, el sistema Colombiano para el 2015 produjo 42.464 GWh hidroelectricidad equivalentes al 63,8 % del total de la generación, 20.631 GWh térmicos equivalentes al 31 % y 3.454 GWh con otras tecnologías que representaron el 5.2% del total de la generación.

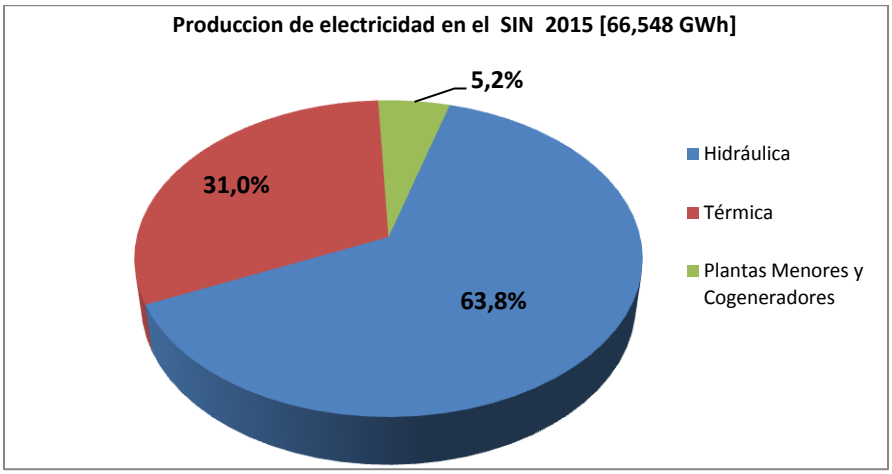

Figura 18 Producción neta del SIN a 2015 [66.548 GWh][30]

Fuente: elaboración propia

Para atender la demanda nacional de electricidad, Colombia cuenta con un sistema de interconexiones a nivel nacional (SIN), el cual trasporta la electricidad de alto voltaje desde los centros de producción hasta los centros de consumo y cuenta con una extensión aproximada de 24.913 km. De igual manera, el SIN se encuentra subdivido en 5 zonas las cuales atienden los principales centros de demanda del país: Caribe, Valle, Centro, Antioquia y Oriente.

[30] Producción de electricidad neta XM Tomado de: http://informesanuales.xm.com.co/2015/SitePages/operacion/2-4-Generaci%C3%B3n-del-SIN.aspx

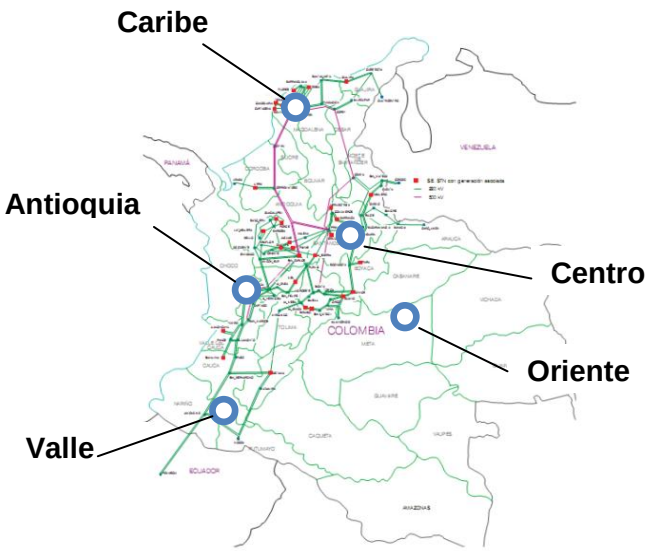

Figura 19 Diagrama zonal del sistema interconectado nacional

Fuente: elaboración propia

El sistema eléctrico colombiano cuenta con la participación de agentes públicos (EPM) y privados, los cuales se reparte el mercado; cerca de 50 empresas de generación están registradas con activos, pero sólo seis representan el 87% de la capacidad instalada.

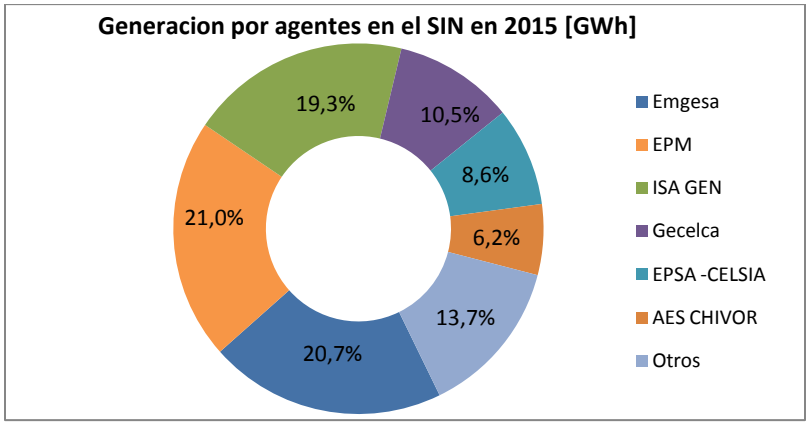

Figura 20 Principales agentes de mercado del SIN en 2015[31]

Fuente: elaboración propia

[31] Generación por agentes XM Tomado de: http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/2-12-Anex-Generacion-por-agente.aspx

5.4. Estructura institucional del sector eléctrico Colombiano

En esta sección abordaremos la institucionalidad del sector, la cual no es más que una estructura orgánica para soportar y permitir el óptimo funcionamiento del mercado eléctrico mayorista. Esta institucionalidad basa sus principios de acuerdo a lo establecido en las leyes N° 142 y N° 143 (1994) las cuales establecieron un esquema que involucra a las entidades que producen la energía, las que la transportan, las que la venden, las que coordinan a todas las anteriores, las que establecen las políticas generales, las que hacen las normas para entregar productos de buena calidad a un precio razonable y las que vigilan que todos cumplan las normas existentes[32].

Figura 21 Institucionalidad del sector eléctrico

Fuente: GREC Mercado eléctrico Colombiano[33]

Dirección y Política: El Gobierno Nacional está encargado de diseñar la política del sector, a través del Ministerio de Minas y Energía.

[32] GREC Mercado eléctrico Colombiano Tomado de: http://www.creg.gov.co/index.php/es/sectores/energia/estructura-energia

[33] GREC Mercado eléctrico Colombiano Tomado de: http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/mercado_mayorista/estructura.htm

Planeación: A cargo de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), que tiene por objetivo planear de manera integral el desarrollo minero energético, apoyar la formulación de política pública, y coordinar la información sectorial con los agentes y partes interesadas.

Regulación: La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) es la encargada de reglamentar, a través de normas jurídicas, el comportamiento de los usuarios y las empresas con el objetivo de asegurar la prestación de estos servicios públicos en condiciones de eficiencia económica con una adecuada cobertura y calidad del servicio.

Consejo y Comité: El Comité asesor de comercialización (CAC), asiste a la CREG en el seguimiento y la revisión de los aspectos comerciales del Mercado de Energía Mayorista. El Consejo Nacional de Operación(CNO) tiene por función principal acordar los aspectos técnicos para garantizar que la operación del sistema interconectado nacional sea segura, confiable y económica y ser el ejecutor del Reglamento de Operación.

Control y vigilancia: La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), es la encargada de vigilar el comportamiento de los agentes y sancionar las violaciones a las leyes y reglas.

Operación y administración de mercado: Tiene por objetivo la operación (CND) y administración (ASIC) de los recursos de generación, interconexión y transmisión del sistema nacional, teniendo como objetivo una operación segura, confiable y económica.

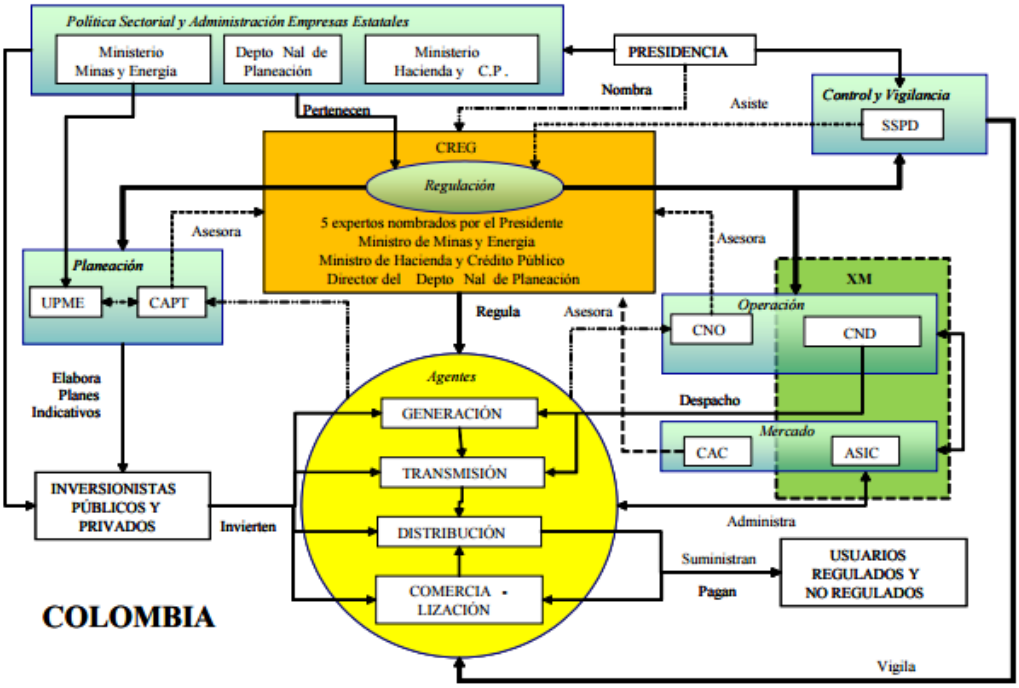

Figura 22 Esquema de relaciones institucional del sector eléctrico Colombiano

Fuente: GREC Mercado eléctrico Colombiano[34]

Como se puede observar en la Figura 22, el nivel de relaciones entre los distintos actores que conforma la institucionalidad en el sector eléctrico Colombiano pude resultar algo complejo, pero gracias a esta estructura en la que convergen instituciones públicas (MinMinas, CREG,UPME, SSDP) y privadas (XM, Agentes, Usuarios) se ha logrado que el sector funcione y se desarrolle de la mejor forma posible.

5.5. Marco regulatorio

Como ya lo hemos dicho anteriormente, los principios normativos y regulatorios del sector eléctrico Colombiano surge a parir de la reforma eléctrica de 1994 y más específicamente con la promulgación de las leyes 142 y 143 de 1994 las cuales establecieron las bases fundamentales y estructurales del actual sector eléctrico Colombiano.

[34] GREC Mercado eléctrico Colombiano Tomado de: http://www.creg.gov.co/images/contenidos_estaticos/documentos/mercado_electrico_colombiano.pdf

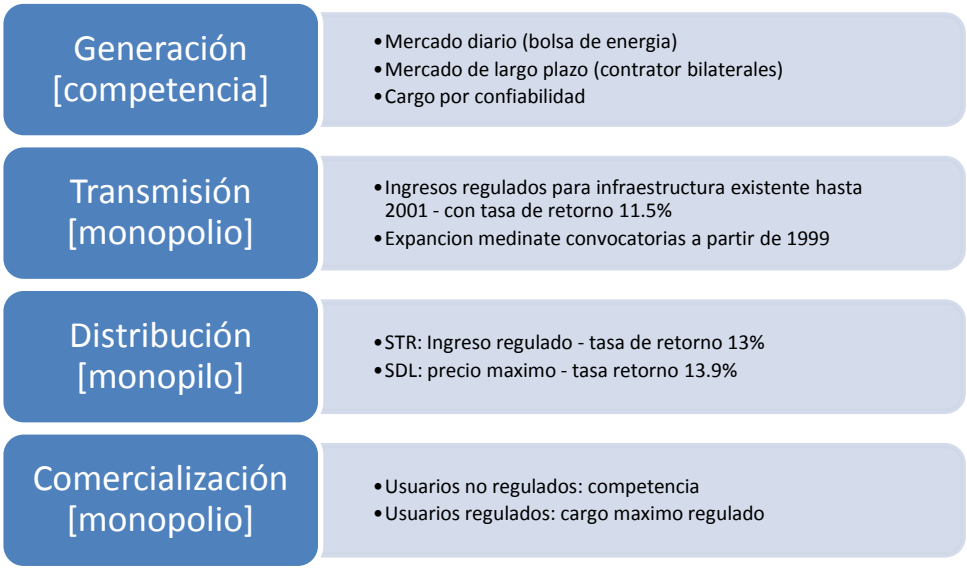

Figura 23 Esquema de la regulación

Fuente: GREC Marco regulatorio del sistema eléctrico colombiano[35]

La promulgación de estas dos leyes trajo consigo grandes benéficos a la estructura del sector; dentro de los cuales se pueden mencionar:

- Permitió la participación del sector privado en la prestación de los servicios públicos (Art 15 Ley 142)
- Genera la división de la cadena de producción en los segmentos de generación, transmisión, distribución y comercialización (Art 14.25 Ley 142)
- Crea la Comisión de Regulación de Energía y Gas como un sistema para la regulación del sector (Art 69.2 Ley 142)
- Se identifican los mecanismos para la defensa de la calidad y confiabilidad del servicio a través de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios[36] (Art 9 Ley 143)

[35] GREC Marco regulatorio del sistema eléctrico colombiano Tomado de: http://www.creg.gov.co/phocadownload/presentaciones/marco_regulatorio_sector_energia.pdf
[36] Empresa Eléctrica de Bogotá. Regulación Tomado de : http://www.eeb.com.co/transmision-de-electricidad/sector-energetico-en-colombia/regulacion

- Además, la Ley determinó que las actividades relacionadas con el servicio de electricidad se regirán por principios de eficiencia, calidad, continuidad, adaptabilidad, neutralidad, solidaridad y equidad (Art 9 Ley 143)

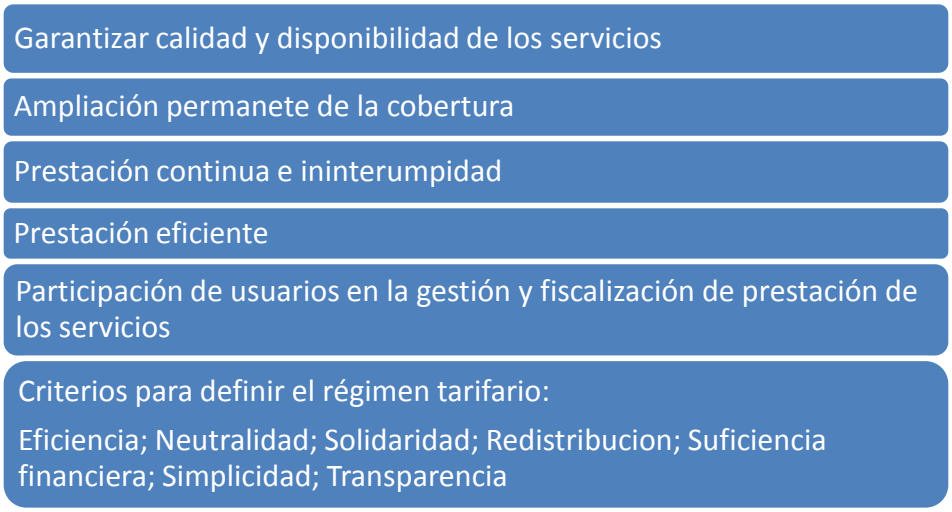

Figura 24 lineamientos de la ley de servicios domiciliarios 142 de 1994

Fuente: GREC Marco regulatorio del sistema eléctrico colombiano[37]

5.6. Cronología de la normativa en el sistema eléctrico Colombiano

Como lo hemos mencionado con anterioridad, dada la complejidad para la operación del modelo de mercado de tipo Pool (oferta por precios), la normativa Colombiana a lo largo de la historia ha ido evolucionando con la finalidad de dar respuesta a un mercado cambiante, él cual es puesto a prueba cada cierto tiempo por efecto de la hidrología extrema, producto de el fenómeno del Niño, en la Figura 25 podemos apreciar en mayor detalle y a grandes rasgos los principales modificaciones y normativas del mercado Colombiano.

[37]GREC Marco regulatorio del sistema eléctrico colombiano Tomado de: http://www.creg.gov.co/phocadownload/presentaciones/marco_regulatorio_sector_energia.pdf

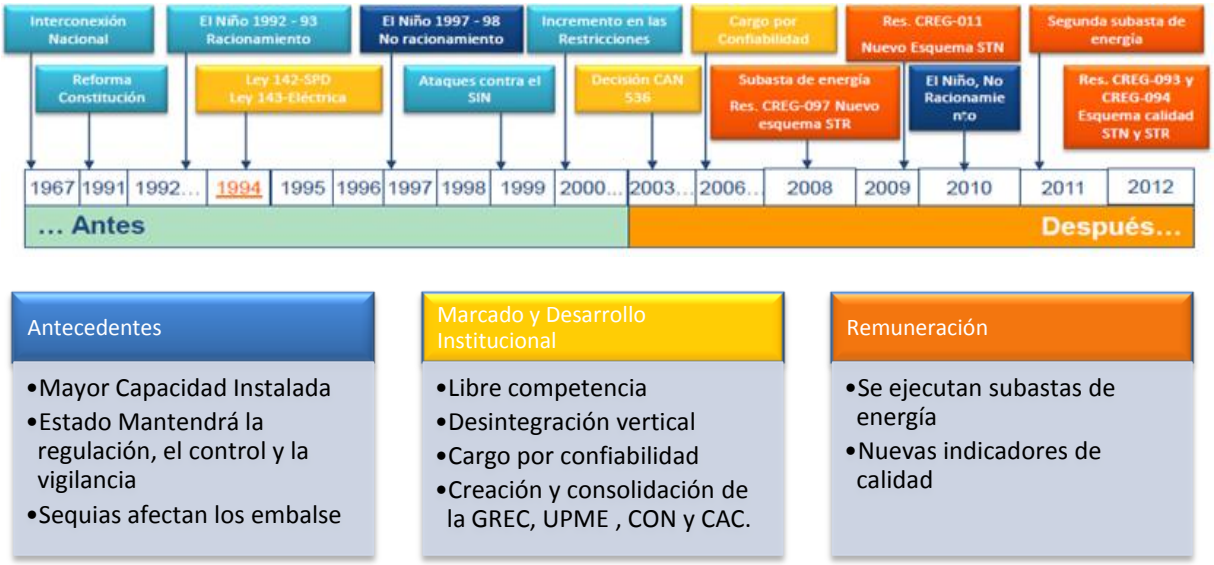

Figura 25 Cronología del sistema eléctrico Colombiano

Fuente: Elaboración Propia

5.7. Estructura del mercado

El mercado mayorista de electricidad al igual que cualquier otro mercado, se basa en el principio económico de la ley de la oferta y de la demanda[38], el cual encuentra su punto óptimo de equilibrio a través del precio. En este mercado el producto transado es la electricidad y la potencia, las cuales son ofertadas por los productores (generación), transportada por el sistema de trasmisión nacional (trasmisión) hasta los centros de consumos, en donde se entregan al usuario final a través de las redes de distribución (distribución); para finalmente, llegar al último punto de la cadena con el comercializador (comercialización), el cual es el responsable de la lectura y facturación, todo este proceso opera libremente de acuerdo con las condiciones de oferta y demanda.

[38] El MEM colombiano tiene un sistema de despacho por precio (no por costo). Único en Latinoamérica

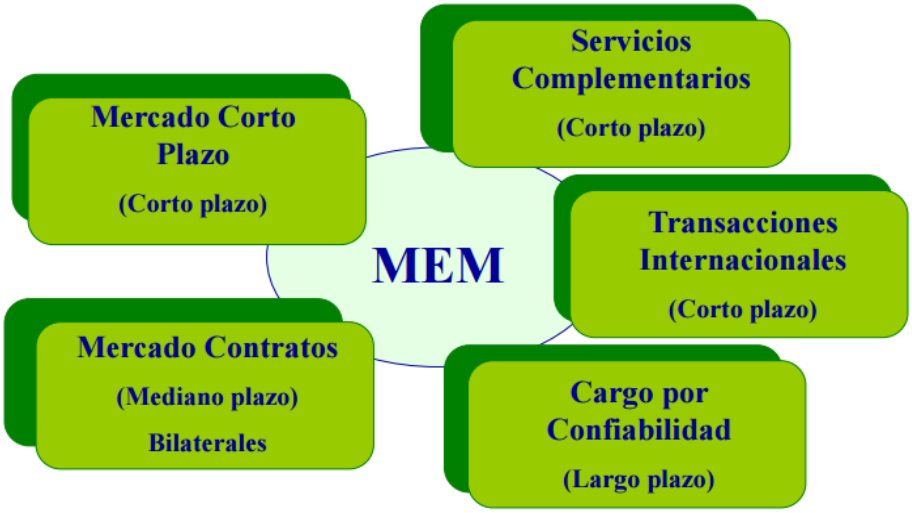

Figura 26 Diagrama simplificado de la estructura del MEM

Fuente: GREC Mercado eléctrico Colombiano[39]

A partir del análisis de la Figura 26 describiremos de manera simplificada la estructura del mercado eléctrico mayorista colombiano:

Mercado Corto Plazo: es el llamado también Mercado Spot (horario) en el cual participan los generadores (activos) y los comercializaciones (pasivos), el producto es la energía horaria, la cual es transada a precio de bolsa (marginal). La participación en este mercado queda sujeto al reglamento de operaciones expedido por la CREG, con el objetivo de garantizar la calidad y suministros.

Principios básicos de operación:

- Despacho por mérito de precios
- Mercado Spot (horario)
- Se efectúan a través del ASIC
- Toda la Energía se despacha en Bolsa

[39] GREC Mercado eléctrico Colombiano Tomado de: http://www.creg.gov.co/images/contenidos_estaticos/documentos/mercado_electrico_colombiano.pdf

Mercado de Contratos: Los contratos bilaterales son compromisos adquiridos por generadores y comercializadores para vender y comprar energía a precios, cantidades y condiciones contractuales negociadas libremente entre las partes.

El mercado de contratos bilaterales es fundamentalmente un mercado financiero. La función de estos contratos es reducir la exposición a la volatilidad de precios en el mercado de corto plazo del generador y del usuario final[40].

Dentro del mercado de contratos podemos identificar dos tipos de mercados:

Mercados Regulados:

- Licitaciones a través de convocatorias públicas
- Generador no tiene limitaciones de cantidad (Q)
- Debe respaldar su déficit frente al mercado por medio de garantías líquidas
- No existen restricciones a la forma de los contratos
- No hay restricción sobre el horizonte de tiempo
- Las dos modalidades de contratos más comunes son las denominadas: Pague lo Contratado y Pague lo Demandado.

Mercados No regulados:

- Consumos mensuales > 55 MWh, o Dmax > 100 kW
- Aproximadamente el 31% de la demanda de electricidad.
- Pueden optar por comprar la energía en el spot a través de un comercializador; o mediante contratos bilaterales a precios libremente pactados con otros agentes.
- Históricamente con precios inferiores a los que se dan en el mercado regulado.

[40] GREC Marco Mercado mayorista eléctrico colombiano Tomado de: http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/mercado_mayorista/contratos.htm

Servicios Complementarios: Es un mercado de corto plazo en el cual solo participan los generadores, en el cual se oferta el denominado AGC al servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia. Sólo pueden vender AGC centrales que tengan el equipamiento necesario para ello.

Transacciones Internacionales: Es un mercado de corto plazo en el cual se establece el despacho coordinado con Ecuador y Venezuela. Las transacciones entre mercados se hace a un precio de oferta en nodo de entrega.

Cargo por Confiabilidad: Es una remuneración que se le paga a un agente generador por la disponibilidad de activos de generación con las características y parámetros declarados para el cálculo de la ENFICC, que garantiza el cumplimiento de la Obligación de Energía Firme que le fue asignada en una Subasta para la Asignación de Obligaciones de Energía Firme o en el mecanismo que haga sus veces. Esta energía está asociada a la Capacidad de Generación de Respaldo de que trata el artículo 23 de la Ley 143 de 1994 y es la que puede comprometerse para garantizar a los usuarios la confiabilidad en la prestación del servicio de energía eléctrica bajo condiciones críticas.[41]

El CxC es el mecanismo que se ha establecido en Colombia para promover la expansión a largo plazo del parque generador. Objetivo de este cargo es remunerar la energía firme entregada, asegurando un ingreso económico a las nuevas plantas y/o unidades de generación por un plazo de hasta 20 años que les ayuda a recuperar sus costos fijos y de inversión iniciales. Este ingreso es adicional al ingreso que perciben por la venta de energía a través de contratos y la Bolsa de Energía.

[41] CREG – Cargo por Confiabilidad Tomado de : http://www.creg.gov.co/index.php/es/component/glossary/Glossary-1/C/page,4/?Itemid=0

5.8. Estructura de Oferta y Demanda

Como se mencionó al principio del capítulo, el mercado eléctrico mayorista en Colombia es un mercado altamente competitivo[42], el cual basa sus principios en un sistema de despacho por precio (no por costo) siendo el único mercado a nivel Latinoamericano de este tipo. Fue creado con la Reforma Eléctrica de 1994, a partir de las leyes 142 y 143 las cuales define el marco regulatorio que establece las condiciones para el desarrollo del sector, con la promulgación de dichas leyes se definen las cuatro principales actividades que actualmente conocemos en el sector: generadores, transmisores, distribuidores, comercializadores, de igual manera se definen lo que son los grandes consumidores de electricidad o usuarios no regulados. Por otra parte se crea un ente regulador - CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) - el cual tiene como objetivo asegura y promover reglas y normas aplicables a este mercado.

En la actualidad el mercado se divide en dos segmentos: mercado de contratos bilaterales (largo plazo) y la bolsa de energía (corto plazo). El producto energía se puede transar en bolsa o mediante contratos bilaterales con otros generadores, comercializadores o directamente con los grandes consumidores o usuarios no regulados (aquellos cuya demanda es 100 kW o 55 MWh/mes).

La bolsa de energía (mercado de corto plazo) es un mercado para las 24 horas del día siguiente con obligación de participación para todos los generadores registrados en el mercado con reglas explicitas de cotización y en que la energía por contratos es independiente del precio de corto plazo.

Por otra parte, los comercializadores son los que atienden a usuarios y les prestan el servicio de facturación. Les pueden vender a los usuarios no regulados a precios libres y los otros a precios regulados. Los comercializadores y usuarios no regulados celebran contratos de energía con los generadores, estableciendo el precio de electricidad sin intervención del estado.

[42]XM . Descripción del sistema eléctrico colombiano. Tomado de: http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx

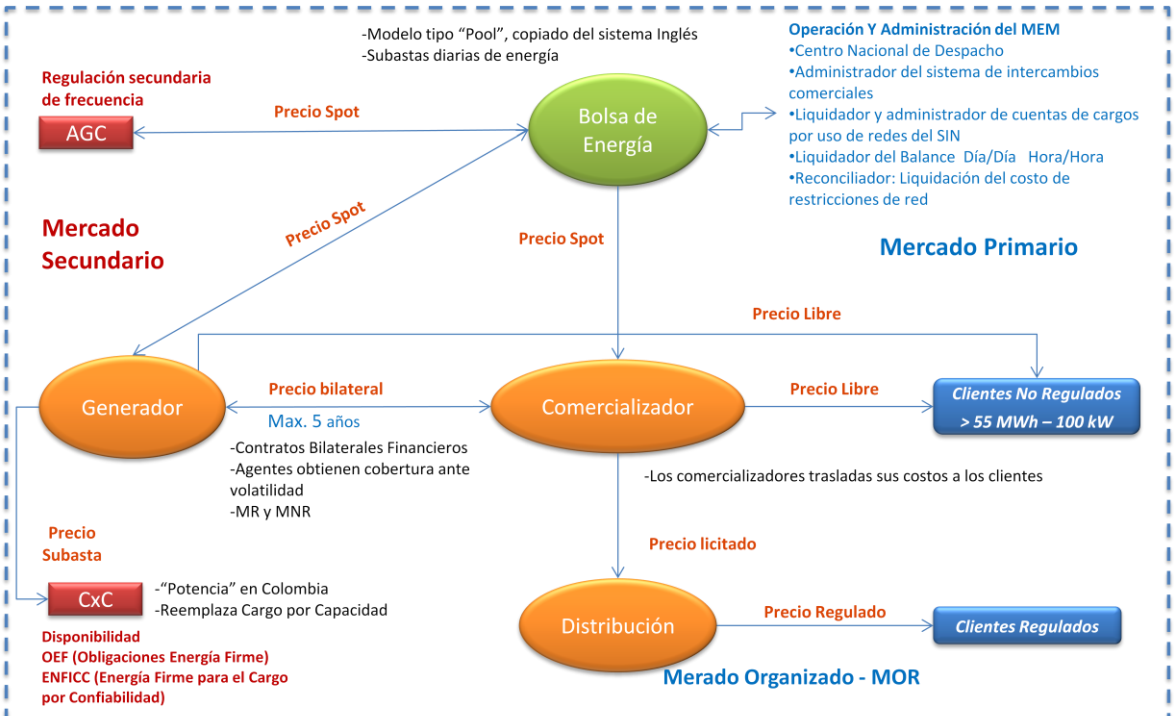

Figura 27 Estructura del mercado eléctrico mayorista (oferta-demanda)

Fuente: elaboración propia

Los usuarios regulados tienen relación con el mercado mayorista a través del comportamiento de precios del mercado y de los precios a los cuales realice transacciones su comercializador para atenderlo.

Los generadores reciben un ingreso adicional proveniente del cargo por confiabilidad, cuyo pago depende del aporte de energía que cada generador aporta a la firmeza del sistema y de su disponibilidad real.[43]

[43] XM . Cómo funciona el mercado mayorista eléctrico en Colombia. Tomado de: http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx

5.9. Mercado Eléctrico – La Bolsa

El mercado eléctrico colombiano es pionero en región en el uso e implementación de un mercado de energía en bolsa, éste se ha basado en el modelo de tipo *Pool* similar al desarrollado en Inglaterra y Gales[44], basado en operaciones financieras a través de remates centralizados y contratos bilaterales.

La operación del sistema eléctrico corresponde a un sistema de nodo único, es decir el agente hace su oferta de precio y disponibilidad sin considerar el estado de las restricciones de la red. Con base en las ofertas más económicas, se seleccionan los recursos que serán despachados para abastecer la demanda hora a hora (Figura 28). A este despacho se le conoce como Despacho Ideal, pues difiere del despacho real en que este último incorpora las restricciones que puedan presentarse en la red de transmisión[45].

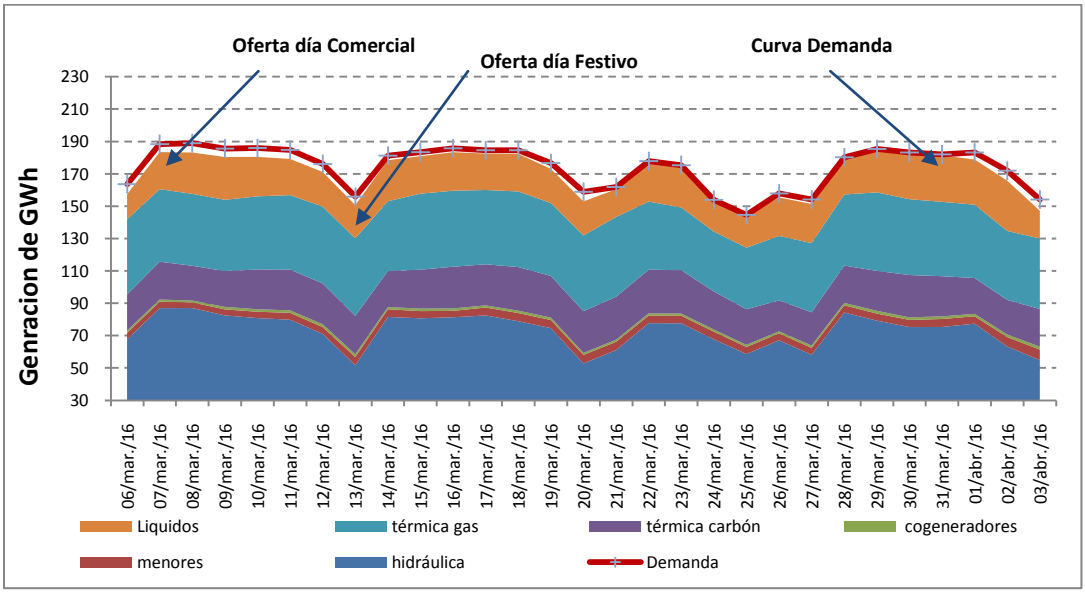

Figura 28 Curva de oferta por tecnología y demanda diaria[46]

Fuente: elaboración propia – datos XM

[44] Corso Diana – Universidad Rosario. Análisis del sector de energía eléctrica colombiano y regional negociación de energía eléctrica Cemex Colombia s.a.
[45] CREG. Mercado mayorista – Bolsa. Tomado de: http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/mercado_mayorista/bolsa.htm
[46] Fuente de la información XM http://www.xm.com.co/PortalInformacion/Paginas/default.aspx?tabId=Oferta

Las ofertas de precio que presenten los generadores que participan en el MEM deben reflejar los costos variables de generación y los costos de oportunidad.

El precio (P) del último recurso utilizado para atender la demanda (Q) total de energía (Figura 29) en cada hora es el que fija el precio al que serán remunerados todos los recursos inframarginales a esa misma hora y se denomina Precio de Bolsa (Figura 30)

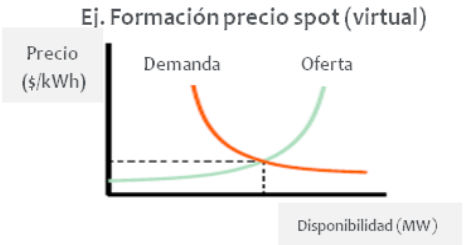

Figura 29 Teoría económica de la oferta y demanda

Fuente: elaboración propia

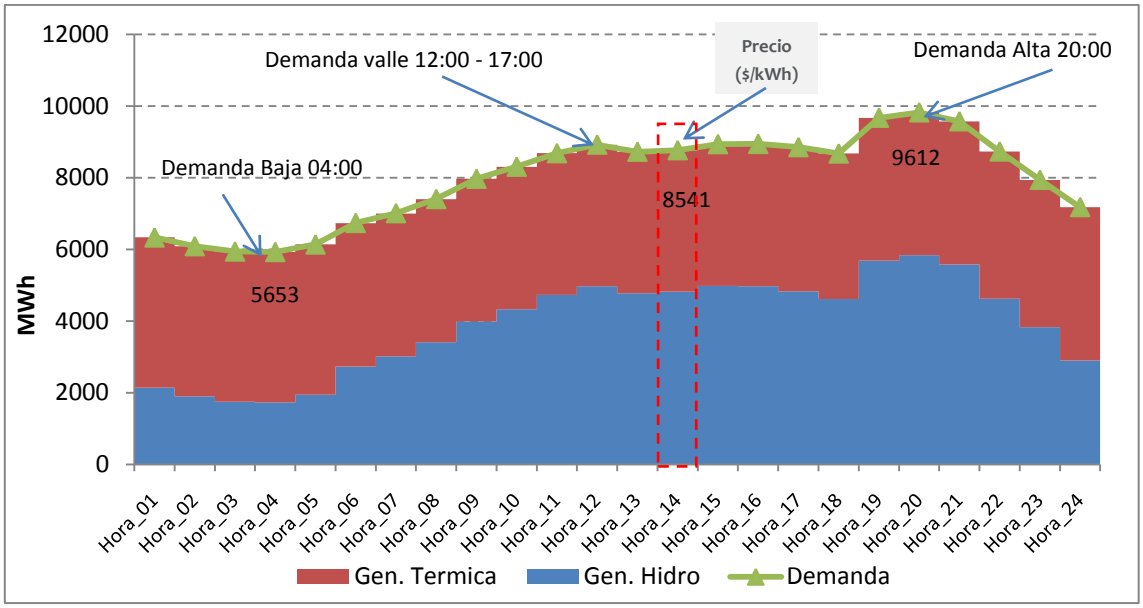

Figura 30 Curva típica de Oferta - Demanda horária típica [MWh][47]

Fuente: elaboración propia

[47] XM .Información Operativa y Comercial - Despecho Diario. Tomado de: http://ido.xm.com.co/ido/SitePages/generacion.aspx

A continuación se resumen las características más importantes de funcionamiento de la bolsa de energía, en el mercado eléctrico colombiano:

- Mercado de Generadores (activos) y Comercializadores (pasivos).
- Una oferta de Precio para el día y por hora
- El producto Energía horaria.
- Uninodal
- El precio uniforme marginal
- La participación con sujeción al Reglamento de Operación que expide la CREG

Procesos del funcionamiento de la bolsa de energía (Figura 31)

Balance: cosiste en hacer un balance energético entre el balance ideal y real, con la finalidad de establecer los posibles excesos o déficit para cada uno de los agentes participantes en los contratos, o para los que compran o venden energía directamente a través de la bolsa.

Disponibilidad comercial: en este proceso se declaran las disponibilidades de cada equipo de generación.

Calculo de precio de bolsa: El precio en la bolsa de energía se determina como el mayor precio de oferta de las unidades con despacho centralizado que han sido programadas para generar en el Despacho Ideal y que no presentan inflexibilidad[48].

Regulación secundaria de frecuencia: La operación fuera de mérito necesarias para suplir los servicios de regulación secundaria de frecuencia, son

[48] Rios C – Ortega H. Universidad Católica de Chile - La bolsa de energía de Colombia. Tomado de: http://web.ing.puc.cl/power/alumno05/colombia/Proyect%20web_archivos/page0009.htm

comercialmente obligación de los generadores, en proporción a la potencia despachada y remuneradas de acuerdo al precio del mercado secundario de AGC.

Valorizaciones de las transacciones: Las valorizaciones de las transacciones en el mercado de la bolsa las podemos resumir de la siguiente forma:

Generadores

- Generación Ideal – Contratos > 0 => Venta Spot
- Generación Ideal – Contratos < 0 => Compra Spot

Comercializadores

- Demanda – Contratos > 0 => Compra Spot
- Demanda – Contratos < 0 => Venta Spot

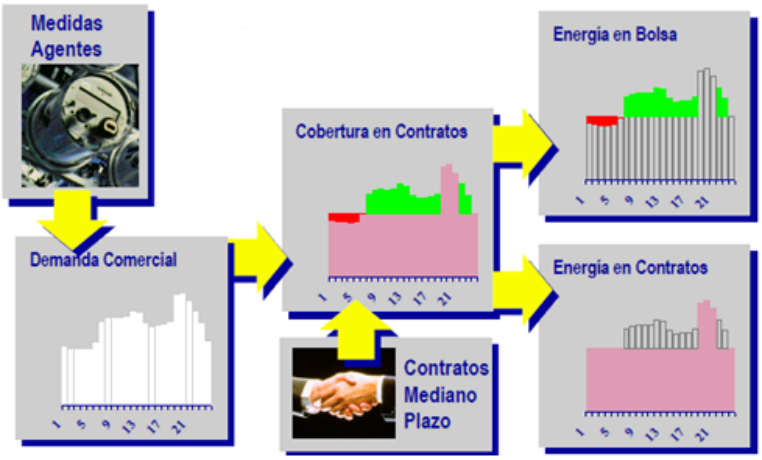

Figura 31 Esquema simplificado del funcionamiento de la bolsa de energía

Fuente: GREC Mercado eléctrico colombiano[49]

[49] GREC Mercado eléctrico colombiano Tomado de: http://www.creg.gov.co/images/contenidos_estaticos/documentos/mercado_electrico_colombiano.pdf

6. ESTADO DEL ARTE DE LA ERNC EN COLOMBIA

6.1. ERNC - Contexto Colombia

De acuerdo a la legislación Colombiana se adoptara el término “FNCER” para hacer referencia a las energías no convencionales de acuerdo a lo definido en el artículo 5 de la Ley 1715 de 2014 (integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional). En la Figura 32 se muestra la definición de generación de electricidad según fuentes de producción.

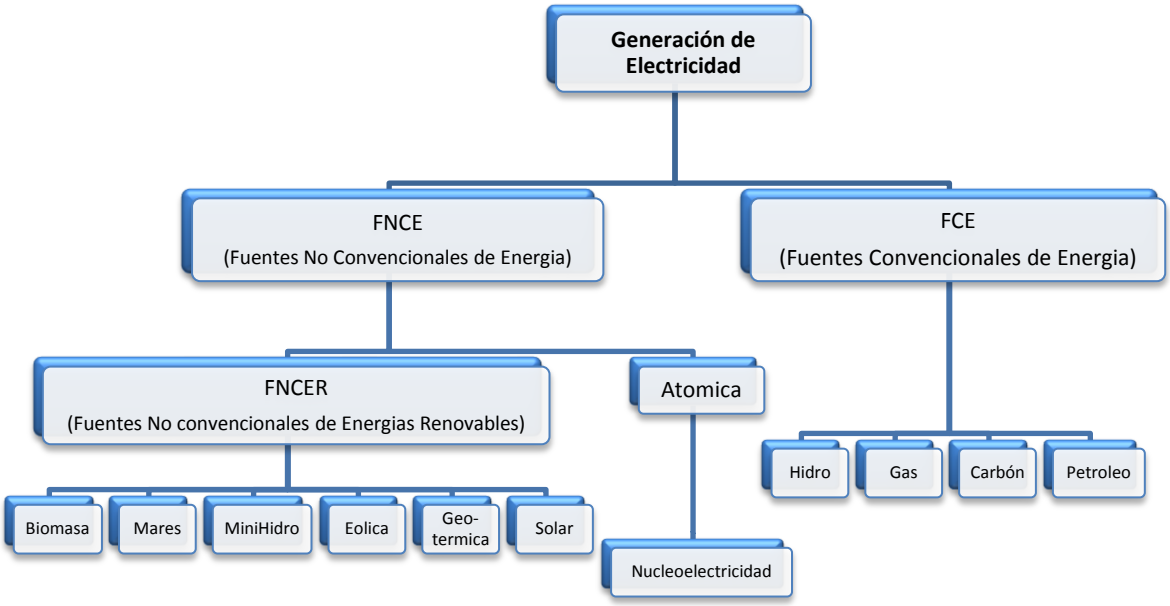

Figura 32 Definición de generación de electricidad según fuente de producción

Fuente: elaboración propia

6.2. Objetivo de la Ley 1715 de 2014

"Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.[50]*"*

En Colombia de acuerdo a la definición normativa la generación de electricidad se separa de acuerdo a la fuente u origen del suministro del recurso energético, en otras palabras la ley reconoce dos orígenes: Fuentes convencionales y Fuentes no convencionales, en la Figura 32 podemos observar en mayor detalle la segmentación que hace la ley.

6.3. Definiciones de las FCE, FNCE y FNCER.

"Artículo 5 Ley 1715 de 2014 Numerales 15 al 17"

15. Fuentes Convencionales de Energía. Son aquellos recursos de energía que son utilizados de forma intensiva y ampliamente comercializados en el país.

16. Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE). Son aquellos recursos de energía 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 FNCE la energía nuclear o atómica y las FNCER. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCE según lo determine la UPME.

[50] Ley 1715 de 2014 Tomado de:
http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

17. Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). 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 eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER según lo determine la UPME[51].

De igual manera queda explicitado en la Ley lo que se entenderá por cada una de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) : Biomasa, Mareas, MiniHidro, Eólica, Geotérmica, Solar (Figura 32)

"Artículo 5 Ley 1715 de 2014 Numerales 8 al 13"

8. Energía de biomasa. Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que se basa en la degradación espontánea o inducida de cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos, y que no contiene o hayan estado en contacto con trazas de elementos que confieren algún grado de peligrosidad.

9. Energía de los mares. Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que comprende fenómenos naturales marinos como lo son las mareas, el oleaje, las corrientes marinas, los gradientes térmicos oceánicos y los gradientes de salinidad, entre otros posibles.

10. Energía de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que se basa en los cuerpos de agua a pequeña escala.

[51] Ley 1715 de 2014 Tomado de:
http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

11. Energía eólica. Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en el movimiento de las masas de aire.

12. Energía geotérmica. Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en el calor que yace del subsuelo terrestre.

13. Energía solar. Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste de la radiación electromagnética proveniente del sol.[52]

6.4. Normativa asociada a las ERNC - FNCER

"Ley 1715 de 2014"

La Ley 1715 de 2014 regula la integración energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, además tiene por objeto, promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. [53]

Además de promover la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, la Ley 1715 de 2014 promueve e incentiva :

[52] Ley 1715 de 2014 Tomado de: :http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

[53] Federación nacional de productores de biocombustibles de Colombia - Ley 1715 de 2014. Tomado de: http://www.fedebiocombustibles.com/files/1715.pdf

- ✓ La integración de las energías renovables en la generación eléctrica en Zonas No Interconectadas con el objetivo de la sustitución de generación con diesel
- ✓ La entrega de excedentes de autogeneración a pequeña y gran escala al SIN (medición bidireccional).
- ✓ La conexión y operación de la generación de energía distribuida.
- ✓ Incentivar las medidas de uso eficiente de energía.
- ✓ Creación y promoción del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía – FONAGE.

En la Figura 33 se indican las fuentes no convencionales de energías renovables, según la legislación colombiana.

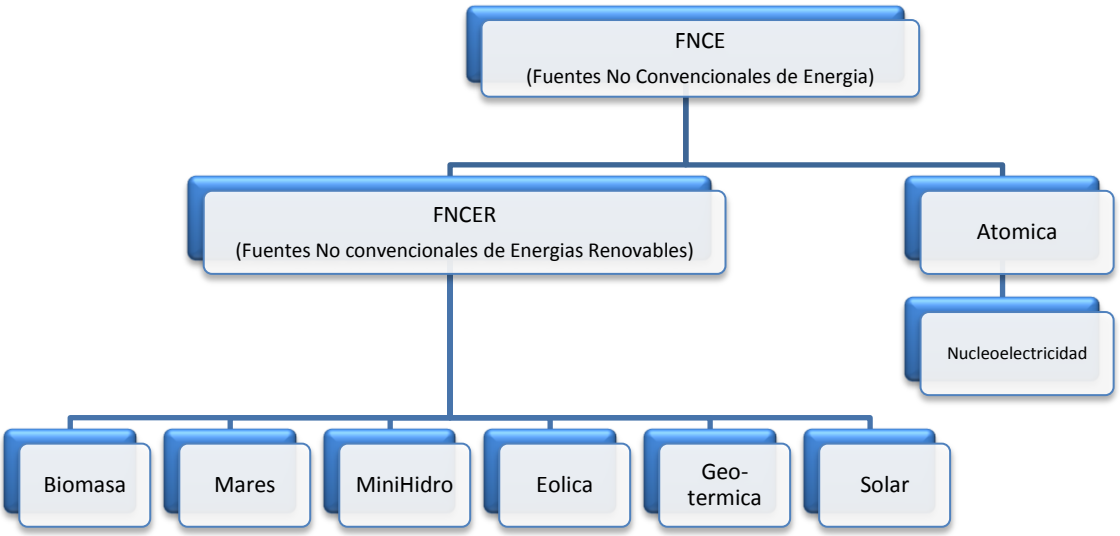

Figura 33 Fuentes no convencionales de energía renovables.

Fuente: elaboración propia

6.5. Incentivos a las ERNC – FNCER Ley 1715 de 2014

De acuerdo a lo señalado en la Ley, esta establece los mecanismos para incentivar y promover proyectos de inversión tendientes a desarrollar las fuentes

de energías no convencionales, podemos destacar cuatro incentivos los cuales hacen referencia a: Reducción de renta, Exclusión de IVA, Exención de aranceles, Depreciación acelerada.

A continuación mencionaremos cada uno de los cuatro incentivos que establece la Ley 1715 de 2014, los cuales son desarrollados en el Capítulo III de dicha Ley "*Incentivos a la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía"*

Capítulo III

"Ley 1715 de 2014. Incentivos a la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía"[54]

Artículo 11. Incentivos a la generación de energías no convencionales. Reducción de renta.

- Reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada

  El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente, determinada antes de restar el valor de la inversión.

Artículo 12. Instrumentos para la promoción de las FNCE. Incentivo tributario IVA.

- Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre inversión e inversión, para la producción y utilización de energía partir de las fuentes no convencionales, así como

[54]Ley 1715 de 2014 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA.

Artículo 13. Instrumentos para la promoción de las energías renovables. Incentivo arancelario.

- Exención del pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos con FNCE.
- Será aplicable y recaerá sobre maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición esté sujeto a la importación de los mismos.

Artículo 14. Instrumentos para la promoción de las FNCE. Incentivo contable depreciación acelerada de activos.

- Aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre inversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin.
- La tasa anual de depreciación será no mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual.

A la fecha, aun no se encuentra disponible la totalidad de la reglamentación de la Ley 1715[55] , razón por la cual se hacen lentos los procesos de integración de las fuentes no convencionales de energías renovables. (MinMinas ha expedido el Decreto 2469 de 2014 lineamientos relacionados con la entrega de excedentes de autogeneración a gran escala, Decreto 2429 de 2014 implementación de mecanismos de respuesta de la demanda.)

[55]Entrevista a el senador José David Name Cardozo al diario El Heraldo de Barraquilla. Tomado de: http://m.elheraldo.co/local/19-proyectos-de-energia-limpia-que-aliviarian-el-sistema-pero-siguen-frenados-253596

6.6. Nivel de producción ERNC – FNCER

Como ya lo hemos menciono, Colombia en uno de los pocos países de la región que ha quedado rezagado en la integración de las energías renovables no convencionales en su matriz de generación eléctrica. Al cierre de 2015 las FNCER representaban el 4,35% de la capacidad neta de generación del SIN y solo el 5,2% de la generación de electricidad (ver Figura 18); esta baja participación de las fuentes no convencionales se debe principalmente a la abundancia de generación convencional a partir de la hidroelectricidad de gran escala; sumado a este factor, el poco impulso que ha tenido el gobierno para incentivarlas, pese a haber firmado metas indicativas para la participación de estas fuentes en la matriz de generación.[56]

Tabla 2. Capacidad efectiva neta de las fuentes no convencionales de energías renovables

Recursos	Capacidad Neta 2015 MW
MiniHidro	**608.5**
Eólica	**18.4**
Cogeneradores	**86.6**
Total FNCER	**680.6**

Fuente: elaboración propia

De la Tabla 2 podemos observar que 18 MW corresponden a generación eólica de la central Jepírachi[57] ubicada al norte de Colombia, en la península de la Guajira; 86.6 MMW de cogeneración a partir del bagazo de caña provenientes principalmente de ingenios azucareros ubicados en el valle geográfico del río Cauca (Cauca, Valle del Cauca, Risaralda, Caldas y Quindío[58]); y 608.5 MW de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos distribuidos a los largo del país con potencias que rondan un mínimo de 0,18 MW hasta un máximo de 19,9 MW.

[56] UPME Integración de las energías renovales en Colombia Tomado de : http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

[57] EMP – Parque Eolico Jepirachi Tomado de : http://www.epm.com.co/site/Home/Institucional/Nuestrasplantas/Energ%C3%ADa/ParqueE%C3%B3lico.aspx

[58] Sector azucarero colombiano Tomado de : http://www.asocana.com.co/publico/info.aspx

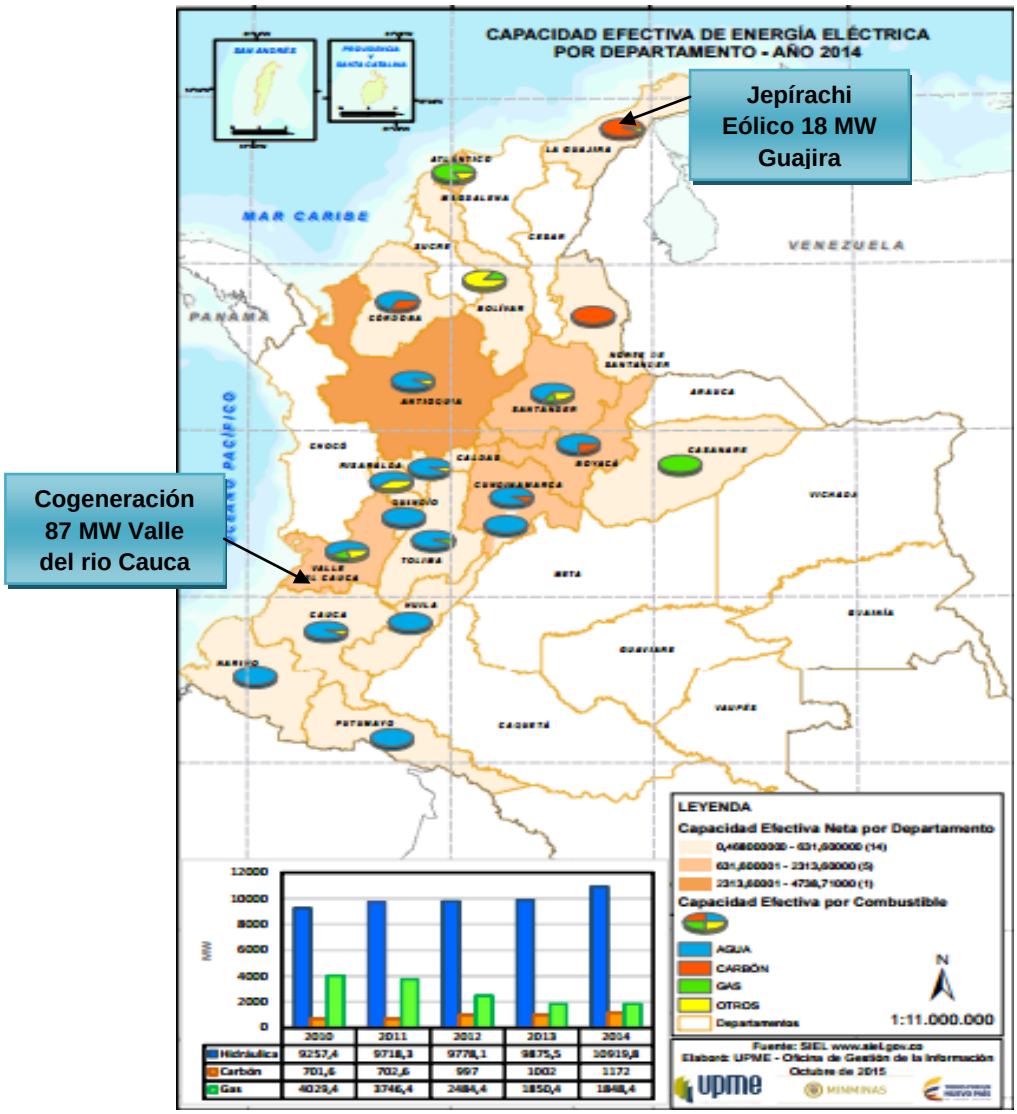

Figura 34 Capacidad efectiva de energía por departamento - UPME

Fuente: UPME – SIMEC- sistema de información minero energético colombiano[59]

Como lo podemos apreciar en la Figura 34 , la capacidad instalada de fuentes no convencionales de energía es muy escasa y subdesarrollada pese a los altos potenciales con que el país cuenta, como lo veremos más adelante en el capítulo 8.

[59] SIMEC - sistema de información minero energético colombiano. UPME Tomado de: http://sig.simec.gov.co/GeoPortal/images/pdf/BOLETIN_2015/UPME_EN_Capacidad%20Efectiva%20y%20Generaci%C3%B3n%20de%20EE_2014.pdf

7. LA EXPERIENCIA DE LA INTRODUCCIÓN DE LAS ERNC EN MERCADOS ELÉCTRICOS EN EUROPA Y SURAMÉRICA

7.1. ERNC en el mundo

Como ya se ha mencionado en el capítulo 4, el desarrollo de las ERNC son una realidad cada vez creciente, la cual año a año se posiciona como una fuente cada vez más confiable, en este contexto, países como China, Alemania, España y Estados Unidos, se han consolidado como abanderados en el desarrollo de grandes capacidades de ERNC (Hidráulica, Eólica, Solar, Geotermia y biomasa) para la producción de energía eléctrica.

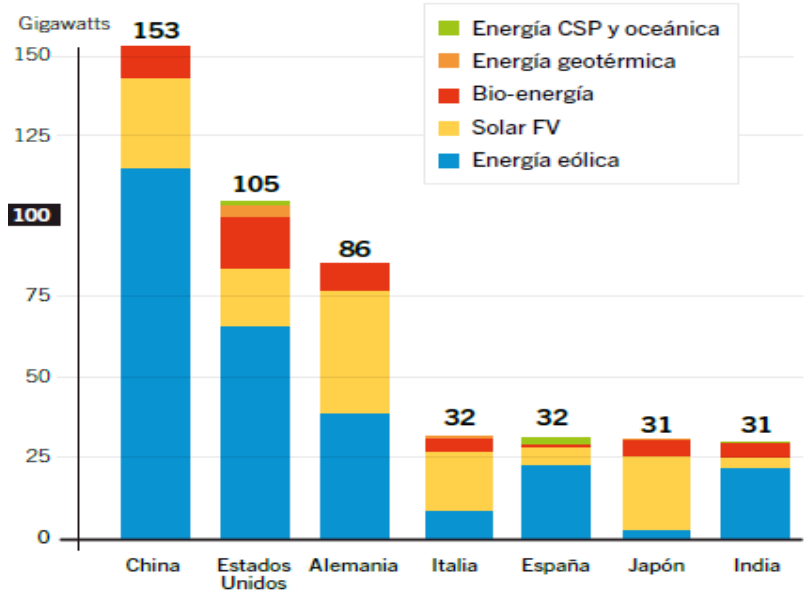

Figura 35 Capacidades de energía renovable en el mundo a 2014

Fuente: REN21 Renewables 2015 Global Status Report[60]

Si analizamos la capacidad instalada de ERNC a 2004 en el mundo era de 85[61] GW y su producción no superaba los 33 TW/h. Hoy día dichas capacidades han

[60] REN21.Tomado de : http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf

quedado muy atrás por ejemplo para el caso de las tecnologías eólica y solar Fotovoltaica para el año 2004 solo contaban con 48GW y 3,7GW de capacidad instaladas respectivamente; y al cierre de 2014 dichas capacidades suman en conjunto 547GW. (Ver Figura 36 y Figura 37)

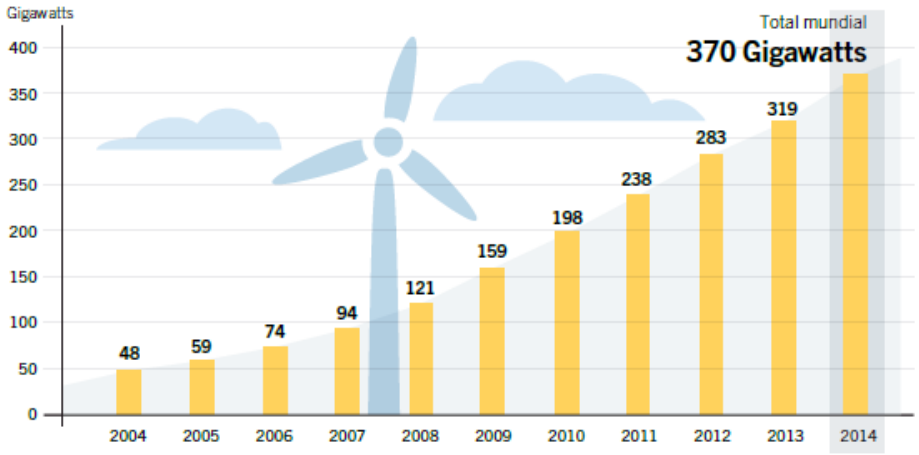

Figura 36 Capacidad mundial de energía eólica 2004-2014

Fuente: REN21 Renewables 2015 Global Status Report[62]

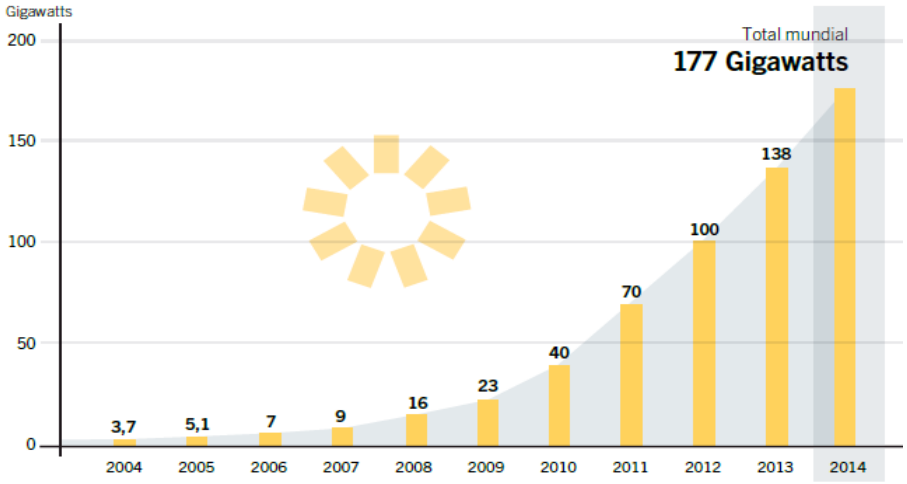

Figura 37 Capacidad mundial de energía Solar 2004-2014

Fuente: REN21 Renewables 2015 Global Status Report[63]

---

[61]REN21- 2005 Tomado de:
http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/RE2005_Global_Status_Report.pdf
[62] REN21. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf

Países como Estados Unidos, Brasil y Alemania lideran la utilización de bioenergía en el sector transporte (REN21), otros países como China, Estados Unidos y Turquía lideran el aprovechamiento de energía térmica en forma de calor útil a partir de la energía solar y la energía geotérmica[64]

7.2. Mercados con alta participación de las ERNC en sus matrices de generación eléctrica.

En este numeral abordaremos los mercados con alta participación de las ERNC en sus matrices de generación, haremos foco en especial en los mercados de Europa y Latinoamérica de los cuales analizaremos sus principales características, fomentos y oportunidades.

7.2.1. ERNC en Europa – fomentos y características.

La introducción de las ERNC en las matrices de generación de energías eléctrica en Europa fue un proceso gradual el cual estuvo marcado por un fuerte impulso desde los gobiernos, los cuales buscaban fomentar la inversión en energías renovables las cual se encontraba en clara desventaja frente a la generación térmica convencional (carbón, gas, petróleo). Tal proceso se basó en la incorporación de distintos incentivos los cuales tenían por objetivo desarrollar las ERNC, dentro de estos mecanismos de fomentos podemos distinguir los siguientes:

---

[63] REN21. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf

[64] UPME – Integración de la ERNC en el mercado Colombiano Tomado de : http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

1. **Feed in-Tariff**: Este tipo de incentivo está dirigido al precio de la generación eléctrica, usualmente toma la forma de un precio global por la electricidad. De esta forma, se fija la tarifa que una empresa eléctrica, usualmente una distribuidora, y los grandes clientes, están obligados a pagar a las empresas generadoras de electricidad proveniente de ERNC. La autoridad (estatal o regional) regula las tarifas las que normalmente quedan fijadas por varios años.

   El costo adicional que se produce en este esquema es pagado por las distribuidoras en proporción a su volumen de ventas y traspasado directamente a los consumidores, mediante una prima en el precio por kWh[65].

2. **Incentivo en la tarifa (Prima o premio)**: Una variante del sistema de precios fijos regulados es el mecanismo de primas o premio adicional por sobre los precios de mercado, pagados a las fuentes de ERNC. Según este sistema, el gobierno determina una prima fija o un incentivo medioambiental que se paga por encima del precio normal o de mercado libre de la electricidad a los productores de ERNC. El caso de un incentivo como prima o premio, adicional por sobre el precio de mercado de la electricidad, históricamente se lo ha considerado como una clase de Feed-in tariffs.[66]

3. **Sistema de Cuotas:** Son incentivos a la cantidad dirigidos a la generación eléctrica. La electricidad proveniente de ERNC se vende a los precios del mercado de la energía convencional. A fin de financiar el costo adicional de la generación de energía procedente de fuentes renovables y de garantizar que se produzca la cantidad deseada, todos los consumidores (o en algunos países los productores) están obligados a adquirir un determinado número de certificados de energías renovables o Certificados Verdes negociables, a los productores de electricidad proveniente de ERNC de acuerdo con un

[65] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 4
[66] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 5

porcentaje fijo, cupo o cuota, de su consumo/producción total de electricidad. La autoridad define la meta obligatoria (cuota o porcentaje) de suministro de energía eléctrica producida por ERNC que debe ser cumplida por parte de los generadores, distribuidores, consumidores, etc. Los importes de las multas por incumplimiento se transfieren bien a un fondo de investigación, desarrollo y demostración para las energías renovables, o bien al presupuesto general del Estado.

Una vez definido, como los productores/consumidores desean comprar estos certificados al precio más barato posible, se desarrolla un mercado secundario en el que los productores de electricidad mediante ERNC compiten entre sí para vender los **Certificados Verdes**. Su precio es fijado de acuerdo a las condiciones de oferta y demanda (impulsado por la obligatoriedad de la cuota). De esta forma, se crea para los productores de electricidad basados en ERNC, una fuente de financiamiento por la venta de certificados, la que es adicional a la venta de la energía a los precios convencionales de mercado. Por lo tanto, los **Certificados Verdes** son instrumentos de mercado, que tienen la capacidad teórica, si funcionan correctamente, de garantizar la mejor rentabilidad para la inversión.[67]

4. **Licitaciones**: Incentivo a la cantidad, en que el apoyo financiero puede ser enfocado a la inversión o a la generación. En el primer caso, se anuncia un monto fijo de capacidad a instalar y se contrata la capacidad de generación luego de un proceso de licitación ofreciendo a los ganadores una serie de condiciones favorables para la inversión, incluyendo subsidios por kW instalado. En el caso del enfoque a la generación se ofrece apoyo de acuerdo al precio ofrecido por kWh y por un tiempo determinado.[68]

[67] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 6
[68] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 7

5. **Incentivos tributarios**: Son incentivos al precio dirigidos a la generación eléctrica que operan otorgando exenciones o reducciones de la carga tributaria o impuestos específicos aplicados a la producción de energía eléctrica. Difieren del mecanismo de tarifas solo en términos del flujo de caja el que representa costos evitados en vez de ingresos adicionales.[69]

En la actualidad el impacto que han tenido las ERNC en los mercados europeos ha sido muy amplio y variable, tanto en su mecanismos como en las destinas metas de inserción que estas tienen al 2020 (Figura 38), que van desde valores del 14% hasta un 49%, países como Portugal (24,9%), España (20,1%), Alemania (13,1%) y Suecia (11,6%) son los abanderados en el apoyo a la generación con energías renovables[70]

En la Tabla 3 se presentan de manera resumida los distintos mecanismos utilizados en Europa para la promoción y fomento de las energías renovables.

Tabla 3 Fomento de las ERNC en Europa

País	Sistemas de apoyo a ERNC en la UE, 2005
Austria	Feed in Tariffs
Bélgica	Cuota y certificados verdes (por regiones)
Dinamarca	Feed in Tariffs
Finlandia	Feed in Tariffs + ayuda a la inversión + crédito fiscal
Francia	Feed in Tariffs + subastas
Alemania	Feed in Tariffs
Grecia	Feed in Tariffs + ayudas a la inversión + créditos fiscales
Irlanda	Subastas
Italia	Cuota y certificados verdes
Luxemburgo	Feed in Tariffs +ayudas a la inversión
Portugal	Feed in Tariffs +ayudas a la inversión
España	Feed in Tariffs
Suecia	Cuota y certificados verdes
Holanda	Feed in Tariffs + exención ecotasa
Reino Unido	Cuota y certificados verdes

Fuente: Curso de ERNC – Fomento a las ERNC MEE 424[71]

[69] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 7
[70] Systep chile – Tomado de : http://www.systep.cl/documents/Rudnick_CIGRE_29052014_v2.pdf
[71] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 16

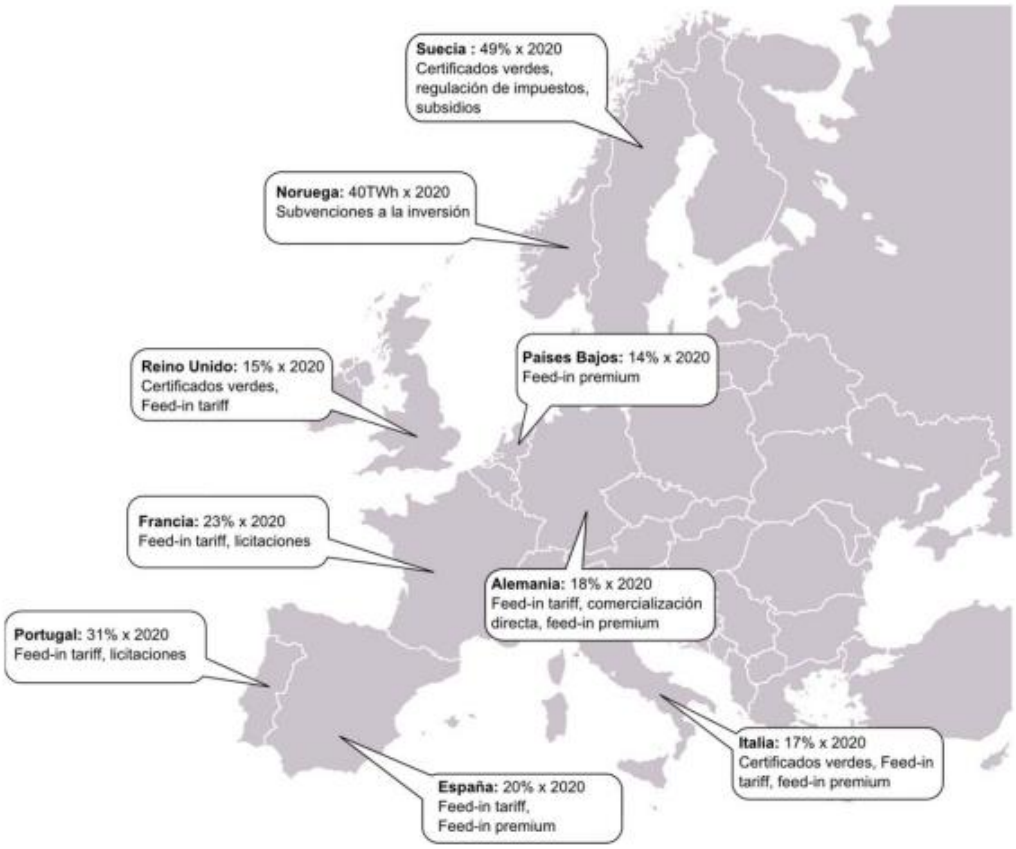

Figura 38 Metas de inserción de ERNC en Europa

Fuente: Systep.cl - Desafíos y oportunidades de inserción ERNC en Chile[72]

Luego de haber visto los distintos mecanismos de incentivos y metas para el desarrollo e inserción de las ERNC en Europa, analizarnos las principales ventajas y desventajas que conllevan cada uno de estos fomentos; en la Tabla 4 podemos observas en detalle sus pros y contras y comparaciones entre cada uno de dichos mecanismos.

[72] Systep Chile – Tomado de : http://www.systep.cl/documents/Rudnick_CIGRE_29052014_v2.pdf

Tabla 4 Ventajas y desventajas de los mecanismos de fomentos de las ERNC en Europa

SISTEMA	VENTAJA	DESVENTAJA
Tarifas (Feed in Tariffs)	Gran efectividad y eficiencia.	Puede no incentivar suficientemente la competencia.
	Bajo riesgo para los inversionistas.	Riesgo de sobre compensación, si no se considera la curva de aprendizaje de cada tecnología, con una reducción gradual en el tiempo.
	Apoyo estratégico para la innovación tecnológica. Positivo impacto en la diversidad tecnológica Posibilidad de ajuste. Simplicidad.	
Premio o Prima		Menor nivel de competencia entre los productores, en el caso de otros sistemas (cuotas).
Cuotas y Certificados	Competencia entre generadores.	Menos eficiente dado el riesgo para el inversionista.
	Sustenta las tecnologías de más bajo costo.	Mayores costos administrativos.
	En teoría tienen menor riesgo de exceso de financiación.	Poco favorables para tecnologías no muy maduras.
	Rápido desarrollo si existe voluntad política.	Definición de cuotas y multas no es fácil, lo cual influencia en el resultado del sistema.
	Rápido despliegue de tecnologías específicas.	Mayor costo para el consumidor, por la mayor complejidad.
	En teoría logran el máximo partido de las fuerzas del mercado.	Limita la diversificación.
	Buen complemento de algunas tecnologías.	Si las multas son muy bajas, podría demorar el desarrollo de fuentes de ERNC.
Licitaciones (Tendering)	Rápido desarrollo si existen voluntad política	Por su operación discontinua causa inestabilidad
	rápido despliegue tecnologías especificas	costos administrativos altos y potencial para crear barreras administrativas
	en teoría logran un máximo partido de las fuerzas de mercado	si competencia es excesiva el desarrollo pide verse bloqueado No es adecuado para un merado grande y en rápido crecimiento Riesgo de oferta poco realista
Subsidio a la inversión	Buen complemento para algunas de las tecnologías	ineficiente si se utiliza como instrumento principal
Incentivos tributarios	Buen instrumento secundario	Buen resultado en países con alta carga impositiva y para tecnologías mas competitivas

Fuente: Energías Renovables y Generación eléctrica en Chile[73]

[73]Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Energías Renovables y Generación Eléctrica En Chile – N° 13 Temas de Desarrollo Humano Sustentable. Cortesía del profesor Wilfredo Jara T.

7.2.2. ERNC en Latinoamérica –fomentos y características.

Al igual que en europa, latinoamarica ha iniciado su camino en la integración de las ERNC en sus matrices de generación, como lo podemos observar en la Figura 39. La región presentan distintas modalidades para el fomento y metas muy ambiciosas y exigentes con respecto a las ERNC.

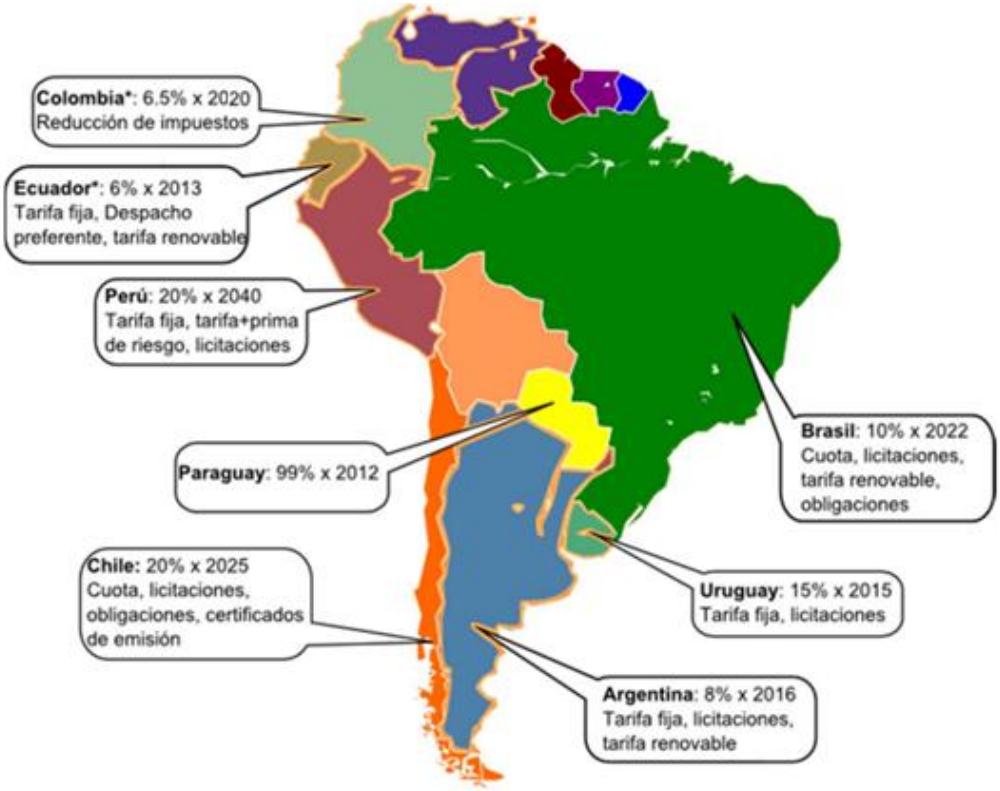

Figura 39 Metas de inserción de ERNC en Latinoamérica

Fuente: Systep.cl - Desafíos y oportunidades de inserción ERNC en Chile[74]

Analicemos el caso de Brasil, el cual es uno de los países de la región con la mayor capacidad instalada de generación y gran dependiente de la energía hidroeléctrica. En los últimos cinco años, En Brasil aproximadamente entre el 75%

[74] Systep Chile – Tomado de : http://www.systep.cl/documents/Rudnick_CIGRE_29052014_v2.pdf

y el 80% de la generación eléctrica del país provino de centrales hidroeléctricas[75], que pese a estar sometidas a estrés producto de una prolongadas sequías, supieron responder al sistema.

El esquema de fomento a las energías renovables en Brasil, es el llamado Programa de Incentivo de Fuentes Alternativas de Electricidad - PROINFA (Tabla 5) el cual surge a partir de la ley 10.438 de 2002[76] que obligan a las empresas a comprar energía para cumplir con una cierta cuota proveniente de energías renovables. Además, se hace un llamado a concesiones por la empresa Electrobras[77] para abastecer, durante 20 años, los requerimientos de energías renovables que tendría el sistema.

Características del PROINFA

- Subsidio pagado por el consumidor (tasa garantizada)
- Precios fijos con condiciones especiales de financiación
- Acuerdo de compra de energía por 20 años por ELETROBRAS
- Nacionalización mínima: 60 %
- Exigencia de conocimientos técnicos, legales, fiscales y económica y financiera

Otro caso para analizar, es el de la introducción de las ERNC en Chile, país de la región que basó su mecanismo de desarrollo para la impulsión de las ERNC a partir de los sistemas de Cuotas, el cual fue propuesto a partir de la ley 20257 de 2008 la cual define y reglamenta todo el escenario para las ERNC.

Desde la entrada en vigencia de la Ley 20.257 de 2008, la generación ERNC ha mostrado un sostenido incremento, en 2011 se contaba con participación del

[75] Climascopio 2015 – Tomado de: http://global-climatescope.org/es/pais/brasil/#/details
[76] Camara Dos Deputados - Electrosul - PROINFA Tomado de:
[77] En la mayor empresa generación, transmisión y distribución controlada por el gobierno de Brasil

3,2%[78] correspondiente a 514 MW de capacidad instalada, la cual resulta baja si la comparamos con el año 2015 la cual cerró en 2170 MW instalados lo que representa a 10,79% de capacidad nacional.

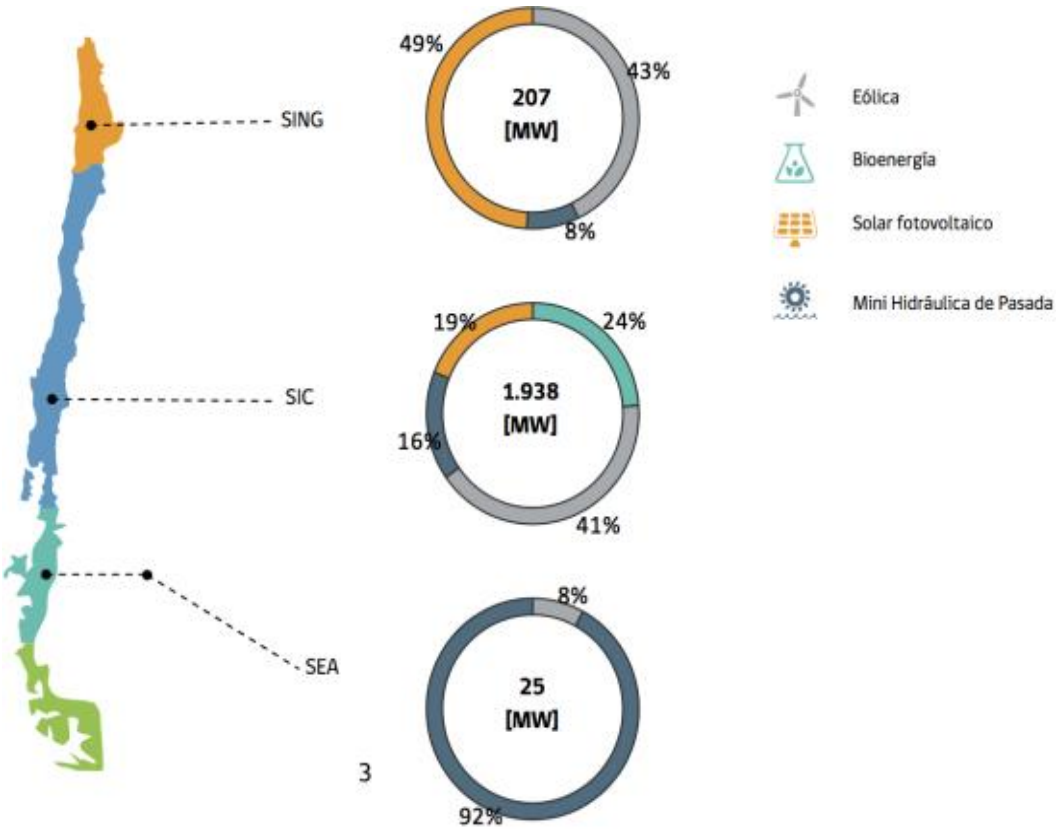

Figura 40 Capacidad de ERNC al cierre de 2015 [2170 MW]

Fuente: Curso de ERNC – Fomento a las ERNC MEE 432[79]

Ley 20257 de 2008

- Esta ley crea las condiciones para materializar proyectos ERNC y generar confianza en el mercado eléctrico para estas tecnologías.
- Busca que las ERNC logren integrarse de manera natural en el mercado eléctrico. Plantea el objetivo de que el 5% de la energía comercializada

[78] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424-2012 – ERNC en Chile, Pag 4
[79] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE432 – Regulación en ERNC, Pag 5

proceda de fuentes renovables entre 2010 y 2014 y a partir de este año un crecimiento constante del 0,5% adicional para alcanzar el 10% en 2024

- No buscaba generar ingresos a las ERNC superiores (subsidiados) a los del mercado eléctrico un mercado paralelo de bajo riesgo.
- No existe discriminación por tecnología ERNC
- Posibilidad de transar los certificados (acreditación) de generación renovable
- Mecanismos de flexibilidad: posibilidad de posponer el 50% de la obligación y uso de excedentes al año siguiente [80]

Dentro de los principios generales de la ley 20257de 2008 podemos destacar::

- Eficiencia y competencia: estimular la concreción de los proyectos más económicos.
- Eficacia: asegurar la incorporación de proyectos ERNC al mercado.
- Equidad: impactar tanto a clientes regulados como libres.
- Simplicidad legal: rápida implementación, se apoya en la estructura del
- mercado eléctrico y en los organismos que en él operan.

Ley 20698 de 2013

Modificación de la Ley 20257, 20% al 2025, con un senda progresiva que parte con el 6% en el 2014.

- Amplía a 20% la magnitud de la obligación para 2025, para aquellos contratos suscritos a partir de julio de 2013, con un nuevo cronograma de incremento de la obligación.

[80] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 19

- Esto genera 3 regímenes para la obligación en función de la fecha de suscripción de los contratos de suministro
- Crea un mecanismo de licitaciones para la parte de la obligación "que no sea cubierta con la inyección de energía provenientes de proyectos ERNC en operación, en construcción o bloques de energía adjudicados".[81]

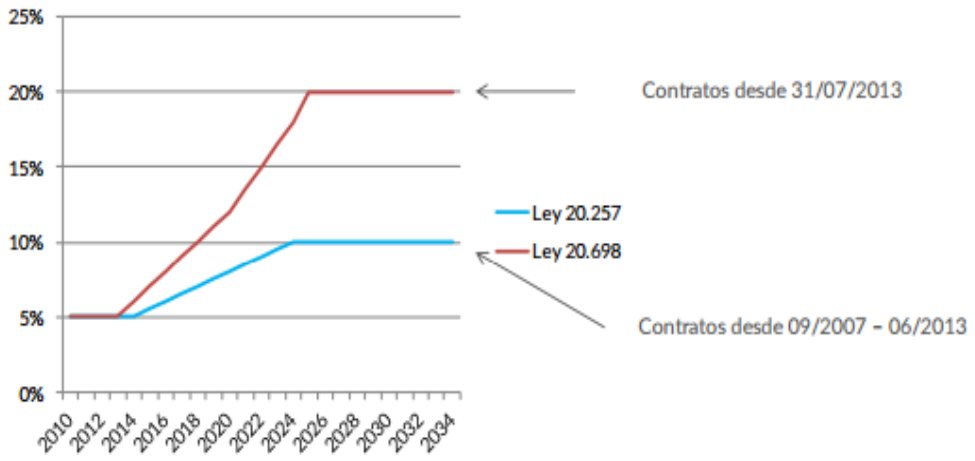

Figura 41 Comparación metas de la ley 20257 vs ley 20698

Fuente: Curso de ERNC – Fomento a las ERNC MEE 432[82]

- Anualmente el ministerio de energía debe convocar la licitación, con tres años de anticipación al año en que se prevea que no existe energía suficiente para cumplir la obligación.
- Se resuelven por precio de energía referido a una barra del sistema.
- El precio (con indexadores) y la cantidad de energía adjudicada rigen por 10 años.
- La energía adjudicada se destina a dar cumplimiento a la obligación de acreditación de ERNC de los comercializadores, a prorrata de sus retiros mensuales de energía.[83]

[81] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE432 – Regulación ERNC, Pag 18
[82] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE432 – Regulación ERNC, Pag 18

Tabla 5 Status del fomento de las ERNC en Latinoamérica

ARGENTINA ➢ Ley de incentivos a ERNC de 1998 y 2006: • Establece primas adicionales al mercado y beneficios fiscales • Objetivo de 8% del consumo eléctrico nacional en 2016 cubierto con energías renovables ➢ Primas para eólica y minihidráulica (adicionales a precio de mercado). ➢ En 2010 el Gobierno convoca licitaciones públicas (programa GENREN) a través de la empresa pública ENARSA. Ésta adjudicó 895 MW renovables (incluyendo 754 MW eólicos).	**COLOMBIA** ➢ Legislación incipiente con escasos incentivos que no permiten viabilizar proyectos de energías renovables. ➢ Primeros objetivos no vinculantes a 2020 (3,5% a 2015 y 6,5% a 2020).
BRASIL ➢ Primer programa, Proinfa I y II; PPA por 20-30 años con Eletrobras adjudicados a través de subastas por tecnologías: Eólica, Minihidráulica, Biomasa. ➢ El Plan Decenal 2010-2019 prevé la instalación de 14GW de renovables para alcanzar los 22GW a final de 2019. ➢ Licitaciones de renovables: Subastas específicas por tecnología: • 2008: se subastaron 1.300 MW de biomasa. • 2009: se licitaron 1.800 MW eólicos. • Agosto 2010: Se licitaron 2.892 MW de los cuales 2.048 MW son eólicos.	**PERU** ➢ Ley de incentivos de ERNC de 2008. ➢ Objetivo 5% del consumo nacional con tecnologías renovables en cinco años. ➢ Subastas diferenciadas por tecnología. ➢ Primeras subastas realizada en 2010 (adjudicados 432 MW). Se convocan cada 2 años. ➢ Se tiene previsto convocar una nueva subasta para minihidráulicas en 09/2013 y del resto de tecnologías en 01/2014.

Fuente: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 19 [84]

[83] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE432 – Regulación ERNC, Pag 19
[84] Fuente de la Información: Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC, Pag 19

7.2.3. Lecciones aprendidas en la integración de las ERNC

Para el año 2009, en España la generación de electricidad en base a fuentes de energías renovables llegó a porcentajes cercanos al 20%, en el caso de Alemania se llegó a un 10% del total de sus generación, razón por la cual sus sistemas se encontraban altamente insertos por las ERNC[85].

Hasta hace algunos años, el desarrollo de las energías renovables en los países anteriormente mencionados, parecía próspero y que no tendría mayores dificultades, pero a raíz de problemas fiscales que los aquejan y sumado a los esquemas tarifarios (Feed in Tariffs) que existen en España y Alemania los cuales implican grandes subsidios por parte del estado a las tecnologías de generación renovables, han hecho que las inversiones en ERNC se hayan visto afectadas debido principalmente a los retiros de los beneficios que tenían las ERNC y que las hacían realmente rentables.

7.2.4. Los Diez errores de la política de apoyo a fomento las energías renovables en España.

La política Española de apoyo a las energías renovables no convencionales suele presentarse como un caso de éxito. En efecto lo fue, ya que han llevado a un sobre desarrollo de estas fuentes de generación. Pero pese a su gran éxito, se han cometido graves errores desde el punto de vista de la regulación y la planificación, que han ocasionado sobre costos importantes que han

[85] Libertad y Desarrollo - Energía Renovable No Convencional: Políticas de Promoción en Chile y el Mundo Tomado de : http://lyd.org/lyd/biblioteca/pdf/e000218-1.pdf

desequilibrado el sistema tarifario Español y que pesarán sobre los consumidores Españoles de energía durante muchos años.[86]

A continuación se presentaran los diez errores que se presentaron en el modelo Español:

1. *Se establecieron primas y tarifas que no guardaban relación con los costes reales, y no se previeron mecanismos de corrección o actualización.*
2. *Se establecieron primas y tarifas que no estaban vinculados a cupos o volúmenes de producción renovable prefijados, y que no se modificaron aun cuando se construyó mucha más capacidad de la prevista.*
3. *Se diseñaron mecanismos regulatorios imperfectos o no suficientemente definidos, que fomentaban los abusos*
4. *Se planificó un mix de renovables con una elevada participación de las tecnologías más caras.*
5. *Los mecanismos de despacho de las renovables no incentivaron suficientemente el funcionamiento óptimo y la adaptación de la producción a las necesidades del mercado.*
6. *Se planificó un volumen de producción renovable superior a los objetivos políticos fijados en la legislación europea.*
7. *Se planificó una generación térmica de respaldo muy superior a las necesidades,*
8. *Se definió un mecanismo inadecuado de determinación de la capacidad de conexión y acceso a la red.*
9. *Falta de transparencia en el coste a cliente final.*
10. *Se imputó todo el coste del apoyo a las renovables, de manera injusta e ineficiente, a los consumidores de electricidad*[87]*.*

[86] Extracto tomado del documento "Diez errores de la política de apoyo a las renovables en España" cortesía del profesor Wilfredo Jara T.

8. LAS OPORTUNIDADES Y BARRERAS PARA EL DESARROLLO DE LAS ERNC EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

8.1. Oportunidades de las ERNC – FNCER

De acuerdo al último informe del Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2015 – 2029 publicado por la UPME, Colombia cuenta con amplio potencial de fuentes no convencionales de energías renovables las cuales aún no han sido aprovechadas, dicho informe presenta por primera vez con información histórica de la velocidad del viento en la Guajira, radiación y brillo solar en las principales ciudades del país, y el comportamiento de los cultivos y residuos para la generación eléctrica a partir de la biomasa.

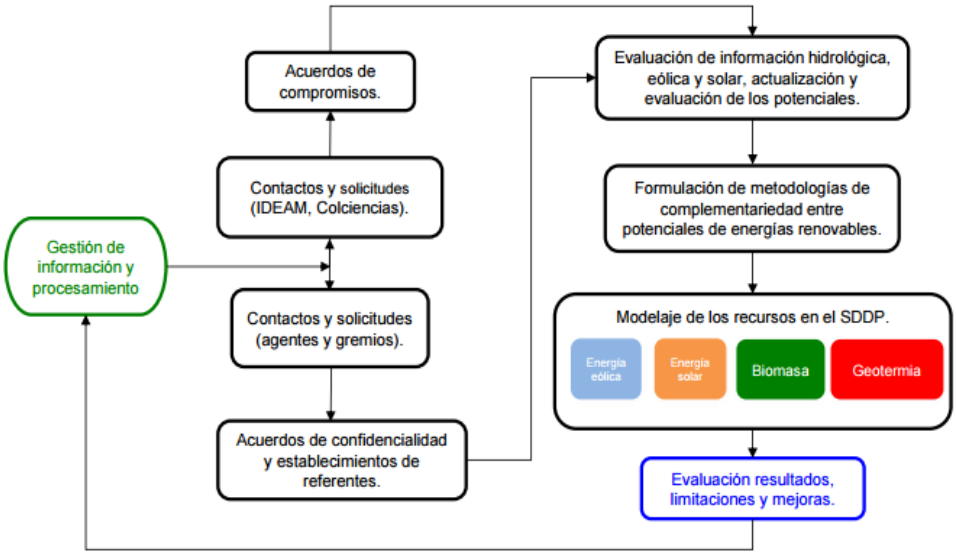

Figura 42 Modelación de las fuentes renovables e intermitentes.

Fuente: UPME[88]

[87] Extracto tomado del documento "Diez errores de la política de apoyo a las renovables en España" cortesía del profesor Wilfredo Jara T.

[88] UPME Plan_Expansion_GT_2015-2029 – Tomado de : http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2016/Plan_Expansion_GT_2015-2029/Plan_GT_2015-2029_VF_22-12-2015.pdf

En la Figura 42 se observa de manera esquemática la modelación para la evaluación de la FNCER elaborado por la UPME, en el cual se presenta un flujo de información para el modelamiento de las fuentes renovables. Dicho esquema entrega como principales nichos de desarrollo la energía eólica, solar, biomasa y geotérmica para ser integradas al sistema interconectado nacional.

8.1.1 Eólica

Como ya lo hemos mencionamos en el capítulo 6, la capacidad instalada en generación eólica a 2015 suman 18.4 MW lo que representan el 0.11% capacidad instalada total, (ver Tabla 2) dicha capacidad corresponde al parque eólico Jepirachi (propiedad de EPM) el cual está ubicado en el departamento de la Guajira en el casta caribe Colombiana.

Si bien existe poca información y registros de la potencialidad de la energía eólica en Colombia hay estudios que indican la existencia de un amplio nicho de desarrollo (Huertas y Pinilla, 2007[89]) disponibles en algunas zonas del país, en la cual se destaca el departamento de la Guajira como la principal fuente de recurso eólico, y de igual manera destaca los departamentos de Santander, Boyacá, Risaralda, Tolima, Huila y el Valle del Cauca.

Tabla 6 Potenciales para diferentes regiones del país

Área Potencial eólico	Potencial eólico (MW de capacidad instalable)
Costa Norte	20,000
Santanderes	5,000
Boyacá	1,000
Risaralda - Tolima	1,000
Huila	2,000

Fuente: Huertas y Pinilla, 2007[90]

[89] Universidad EAFIT – Publicación de Revistas Tomado de : http://www.eafit.edu.co/revistas/revista-procesos/Documents/Revista%20Procesos%202009-2.pdf

[90] UPME – Estudios 2015 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

De acuerdo al estudio de Huertas y Pinilla, 2007 uno de los departamentos con los mayores regímenes de vientos alisios que recibe el país durante todo el año con velocidades promedio cercanas a los 9 m/s (a 80 m de altura), y dirección prevalente este-oeste, es la Guajira la cual se estiman que posee un potencial eólico del orden de 20 GW eléctricos (ver Tabla 6), lo cual representaría 1.2 la capacidad instalada a 2015.[91]

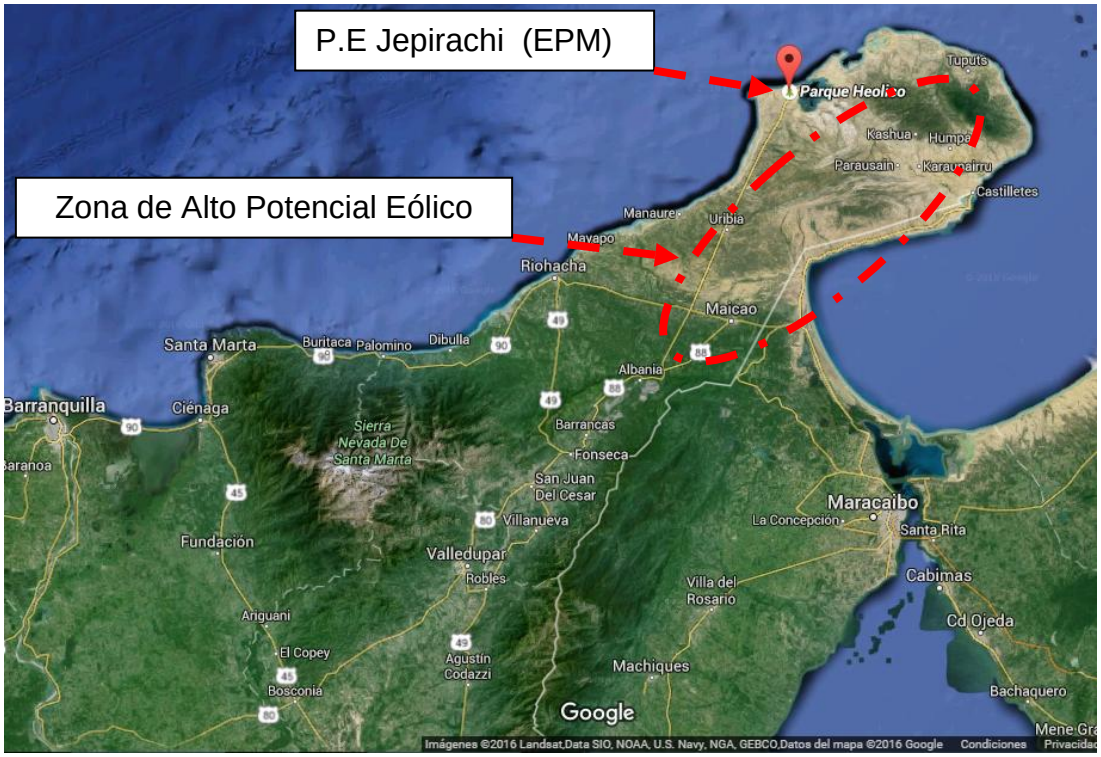

Figura 43 Península de la Guajira, Caribe Colombiano alto potencial de energía eólica

Fuente: Google Maps[92]

Al revisar información más reciente podemos notar que pese al amplio potencialidad teórico encontrado en el departamento de la Guajira, solo un porcentaje de dicha capacidad serian económica y técnicamente viable, la cual

[91] UPME – Estudios 2015 Pag. 38 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

[92] https://www.google.cl/maps/place/Parque+Heolico/@11.2067215,-72.7503372,314872m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0000000000000000:0x0af2eedd9e20ad6d!8m2!3d12.2250791!4d-72.0261097

representaría entre 6% - 16,5% que equivaldrían a instalar entre 1.200 a 3.300 MW, dicha capacidad se refleja en lo detallado en el Plan de Expansión de Referencia Generación - Transmisión 2015 – 2029, en el cual se destaca el escenario 12 (ver Figura 44) el cual contempla una mezcla óptima de todas las fuentes de energía primaria, tanto convencionales como no convencionales y se sustenta principalmente en generación térmica a base de carbón con alrededor de 1.000 megavatios, en generación eólica en el norte de La Guajira del orden de 1.200 megavatios, en generación hidráulica cercana a los 1.500 megavatios, en aproximadamente 500 megavatios para proyectos solares, geotérmicos, biomasa y en 700 megavatios de generación menor[93]

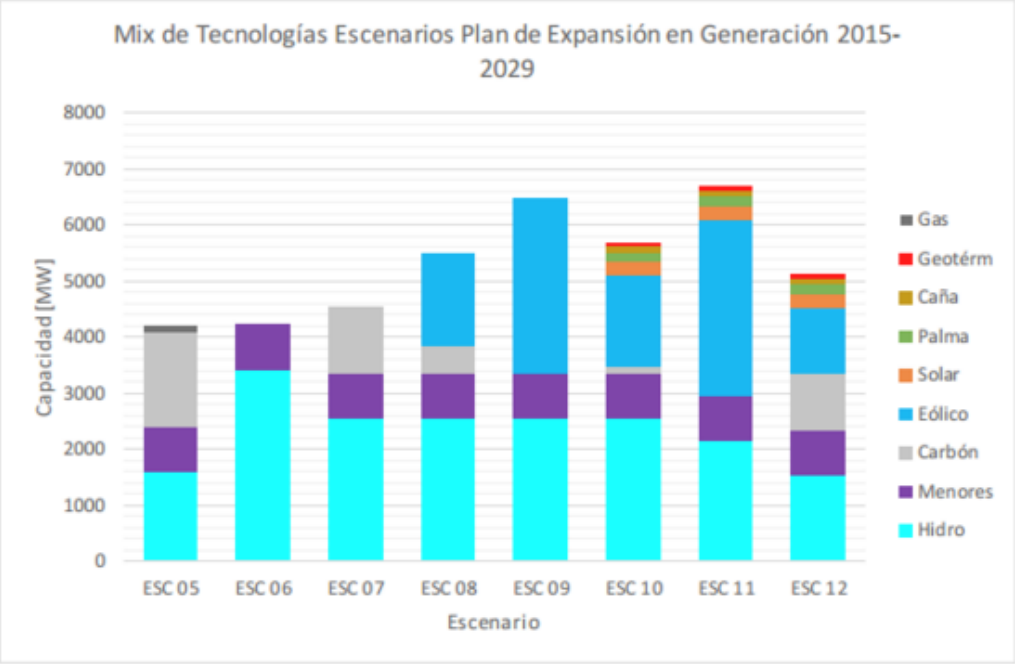

Figura 44 Escenarios UPME para el desarrollo del parque generador en Colombia

Fuente: UPME[94]

[93] http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/fotonoticias/plan-de-expansion-2015-2029
[94] UPME Noticias - Plan de Expansión Tomado de : http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/fotonoticias/plan-de-expansion-2015-2029

De igual manera que reconocemos que existe un gran potencial en recursos eólico para la costa Caribe, debemos reconocer las ventajas que ésta tendría en la región, ya que dicha zona es altamente dependiente de la generación térmica, con el consecuente alto precio de la energía producto de la operación de centrales a base de combustibles líquidos y gas. Otra ventaja que podemos señalar, es la complementariedad de la fuente eólica con la fuente hídrica, en virtud de la disponibilidad alterna de vientos y precipitación ante cambios de origen climático, como el fenómeno de El Niño, y los períodos cíclicos naturales de lluvias y sequía[95].

De las ventajas presentadas, de una capacidad técnico – económica detectada (de acuerdo a UPME) y sumado a lo maduro de la tecnología, podemos afirmar que en el mediano a el largo plazo la energía eólica podría llegar a ser una real una fuente para el desarrollo y diversificación de la matriz energética Colombiana.

8.1.2 Solar fotovoltaica (FV)

En el caso del potencial de la energía solar en Colombia se tienen estudios de caracterización del recurso solar que indican que el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 kWh/m^2/d (UPME, IDEAM, 2005), el cual es superior al promedio mundial de 3,9 kWh/m^2/d[96].

Tabla 7 Irradiación promedio para diferentes regiones

Área Potencial Solar	Promedio irradiación (kWh/m^2/día)
Guajira	6.0
Costa Atlántica	5.0
Orinoquía	4.5
Amazonía	4.2
Región Andina	4.5
Costa Pacífica	3.5

Fuente: UPME – IDEAM 2005

[95] UPME – Estudios 2015 Pag. 39 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

[96] VAISALA Tomado de : http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Scientific%20papers/Vaisala_global_solar_map.pdf

De acuerdo con el Atlas de radiación solar de la UPME, (ver Tabla 7) las regiones del país como Guajira, la Costa Atlántica a Orinoquia, Amazonas y la región Andina, presentan niveles de radiación por encima del promedio nacional y pueden llegar al orden de los 6,0 kWh/m^2/d, con lo cual podemos afirmar que el recurso está disponible en una proporción adecuada para su explotación comercial.

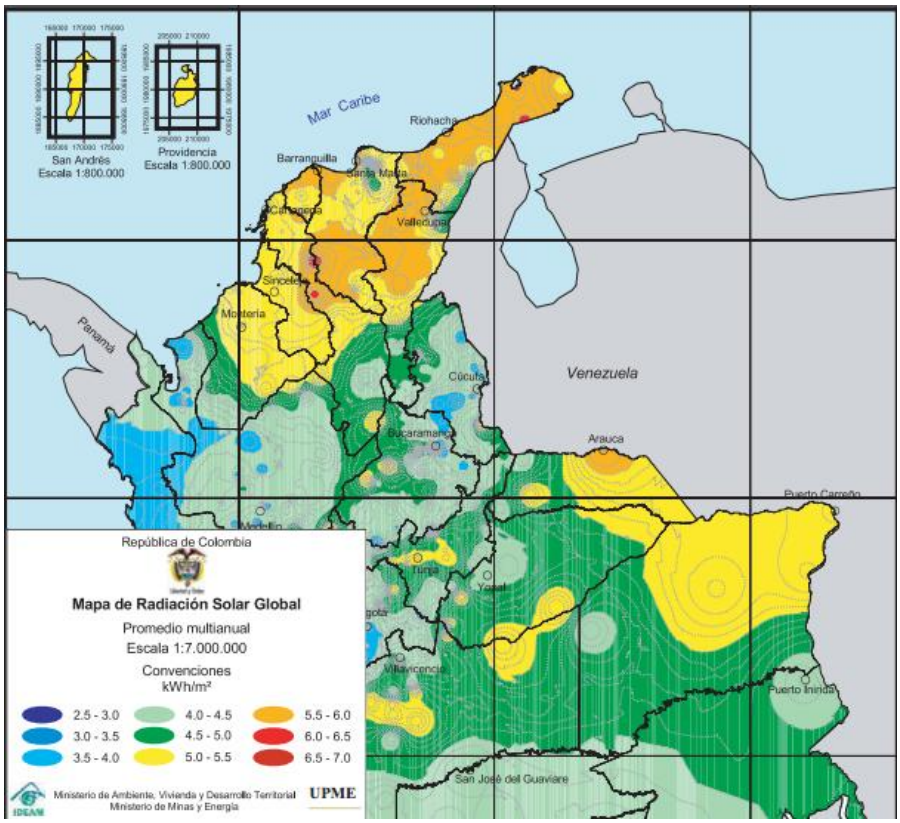

Figura 45 Mapa de radiación solar global en Colombia

Fuente UPME[97]

Al igual que en la energía eólica, podemos considerar la energía solar, especialmente la tecnología fotovoltaica, como una fuente potencial de desarrollo para las fuentes no convencionales de energías renovables en Colombia. Cabe

[97] UPME – mapa de radiación solar Tomado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf

señalar que una de sus principales ventajas es la gran cantidad de recurso disponible (medido a través de las estaciones de monitoreo del IDEAM), el cual brinda un nicho de oportunidades para al sector energético nacional. Por otra parte la constante disminución de los costos de inversión y el mejoramiento de la tecnología harían posible la entrada de pequeñas plantas de generación fotovoltaica enfocadas a remplazar la generación de electricidad con combustible líquido en las zonas no interconectadas, con la consecuente variabilidad en los precios de la energía producto de la volatilidad del precio del combustible. Por otra parte la ley 1715 de 2014 introduce la promoción de autogeneración a pequeña escala, lo cual incentiva la instalación de tecnología fotovoltaica[98] con la posibilidad de entregar los excedentes de generación al sistema generando ahorros o ingresos al usuario con lo cual la inversión se haría más atractiva y económicamente viable.

8.1.3 Solar de concentración (CSP)

La energía solar de concentración es otra forma de capturar la energía del sol, pero a diferencia de la energía solar fotovoltaica (transformación directa de la radiación solar en electricidad), lo que se aprovecha es el calor de la radicación el cual es capturado por el fluido calotransportador, el cual a su vez se usa para generar electricidad a partir de un ciclo convencional de vapor.

Aunque dicha tecnología cuenta con cierto grado de madurez, en Colombia ha tenido muy poca introducción y a la fecha no se registran proyectos asociados a dicha tecnología, no se descarta que en un futuro próximo dicha tecnología tenga alguna grado de penetración.

[98] La ley colombiana reconoce a la generación fotovoltaica como la principal fuente de generación a partir de la energía solar. De la información investigada para este trabajo, no encontramos evidencia para Colombia de proyectos de energía termosolar de concentración (CSP)

8.1.4 Biomasa

Sin duda la biomasa ha sido una de las energías renovables que ha acompañado a la humanidad desde sus inicios, ya sea en forma de leña u de otras materia animal o vegetal, y en usos tan variados que van desde la calefacción hasta la cocción de los alimentos. En Colombia, la biomasa es una de las fuentes no convencionales de energía renovables más conocida, en 2015 se generaron 66.548 GWh de electricidad en el SIN de los cuales 397 GWh equivalentes al 0,6% de tal generación fue a partir del uso de biomasa, correspondiente al uso del bagazo de la caña de azúcar. Entre tanto, el uso de la biomasa para la producción de calor en la industria, especialmente representado por el uso de bagazo, algo de leña, carbón vegetal y otros residuos (como los de la palma de aceite y el arroz, utilizados generalmente para producción exclusiva de calor), representa aproximadamente un 11% del total de energía final utilizada por tal sector de consumo[99].

Tabla 8 Capacidad instalada y de generación de la cogeneración con biomasa a 2015

Recursos	Capacidad Neta MW	Generación en GWh
Cogeneradores	**86.6**	**397**

Fuente Elaboración Propia

Si bien la biomasa tiene una utilización como energético para la generación eléctrica, el potencial para lograr un mayor aprovechamiento de residuos agropecuarios es considerable, en las Tabla 9 a la Tabla 12 se muestran los

[99] UPME – Estudios 2015 Pag. 44 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

potenciales para el uso de los residuos productos agrícolas, residuos porcinos, bovinos y avícolas, y otras fuentes de biomasa[100].

Tabla 9 Potenciales energéticos de residuos agrícolas

Cultivo	Toneladas producto (2012)	Residuo agrícola	Toneladas residuo (2012)	Potencial energético (TJ/año)
Palma	1.137.984	Cuesco	246.714	3.428
		Fibra	712.946	8.845
		Raquis	1.206.490	8.622
Caña Azúcar	2.681.348	RAC	8.741.194	42.761
		Bagazo	7.186.013	78.814
Caña panelera	1.284.771	Bagazo	4.817.888	52.841
		RAC	3.250.469	15.901
Café	1.092.361	Pulpa	2.327.929	8.354
		Cisco	224.262	3.870
		Tallos	3.303.299	44.701
Maíz	1.206.467	Rastrojo	1.126.840	11.080
		Tusa	325.746	3.389
		Capacho	254.564	3.863
Arroz	2.318.025	Tamo	5.447.359	19.476
		Cascarilla	463.605	6.715
Banano	1.834.822	Raquis	1.834.822	788
		Vástago	9.174.108	5.172
		Rechazo	275.223	484
Plátano	3.201.476	Raquis	3.201.476	1.374
		Vástago	16.007.378	9.024
		Rechazo	480.221	844
			Total	330.350

Fuente: UPME - Estudio Integración de las energías renovables[101]

Tabla 10 Potenciales energéticos de residuos pecuarios

Residuos pecuarios	Toneladas residuo (2008)	Potencial energético (TJ/año)
Bovino	99.168.608	84.256
Avícola	3.446.348	29.183
Porcino	2.803.111	4.308
Subtotal		117.748

Fuente: UPME - Estudio Integración de las energías renovables

[100] UPME – Estudios 2015 Pag. 45 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

[101] UPME – Estudios 2015 Pag. 46 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

Tabla 11 Potenciales energéticos de otros residuos

Otros residuos	Toneladas residuo (2008)	Potencial energético (TJ/año)
Residuos de poda	44.811	318
Centros acopio y plazas de mercado	120.210	92
Subtotal		410

Fuente: UPME - Estudio Integración de las energías renovables

Tabla 12 Potenciales energéticos de fuentes de metano

Fuentes de metano	Metros cúbicos de metano (2008)	Potencial energético (TJ/año)
Destilerías de etanol	11.246.861	130
Plantas de sacrificio bovino y porcino	5.130.017	59
Plantas de sacrificio avícola	780.543	9
Subtotal		198

Fuente: UPME - Estudio Integración de las energías renovables

Al igual que las anteriores FNCER, la biomasa en Colombia presenta algunas ventajas y oportunidades, no solo desde el punto medioambiental, sino también del know-how tecnológico y operativo, ya que la experiencia operativa y técnica adquirida por industria azucarera puede ser extrapolado para el aprovechamiento de otras fuentes de biomasa y residuos biológicos como recurso energético para su integración a la matriz energética.

8.1.5 Geotérmica

De las fuentes no convencionales de energías renovables, la Geotermia ha sido una de los recursos menos desarrollados, si bien Colombia no es uno de los países con mayor potencial de recurso geotérmico, sí cuenta con zonas como de alto potencial, como lo son la zona volcánica del Nevado del Ruiz, Cerro Negro y

Azufral (frontera con Ecuador), zonas en las que el recurso puede ser aprovechado para la generación de electricidad. Sin embargo, el principal reto para el desarrollo de este tipo de tecnología está en las etapas tempranas de exploración, y en la necesidad de establecer un marco regulatorio adecuado para la administración de este recurso que hasta el momento no ha sido explotado en Colombia[102].

Figura 46 Principales volcanes activos de Colombia

Fuente: Astronoo[103]

De acuerdo al estudio entregado por Haraldsson G. (2013) y OLADE (2013), el potencial para el desarrollo de la generación eléctrica a partir del recurso

[102] UPME – Estudios 2015 Pag. 48 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

[103] Astronoo Tomado de: http://www.astronoo.com/es/articulos/volcanes-colombia.html

geotérmico en Colombia por ahora se estima en el orden de 1 a 2 GW[104]. El cual estaría ubicado sobre la zona de influencia de la cordillera central.

El igual que las demás FNCER las geotermia presentas una serie de ventajas, una de las cuales radica en que el principio básico está basado en una tecnología ampliamente conocida (ciclo convencional de vapor) el cual la hace una tecnología madura, otra ventaja sobre las fuentes anteriormente mencionadas radica en su alto factor de planta, su firmeza y disponibilidad haciéndola una energía confiable y poco intermitente como lo son la eólica y las solar[105], por lo cual se identifica a la energía geotérmica como un nicho de oportunidad y de gran interés.

8.2. Oportunidades económicas de las ERNC – FNCER

En el numeral 8.1 se mencionaron las oportunidades de desarrollo para las FNCER a partir de los potenciales globales de dichas fuentes (viento, sol, biomasa y geotermia) presentes en Colombia.

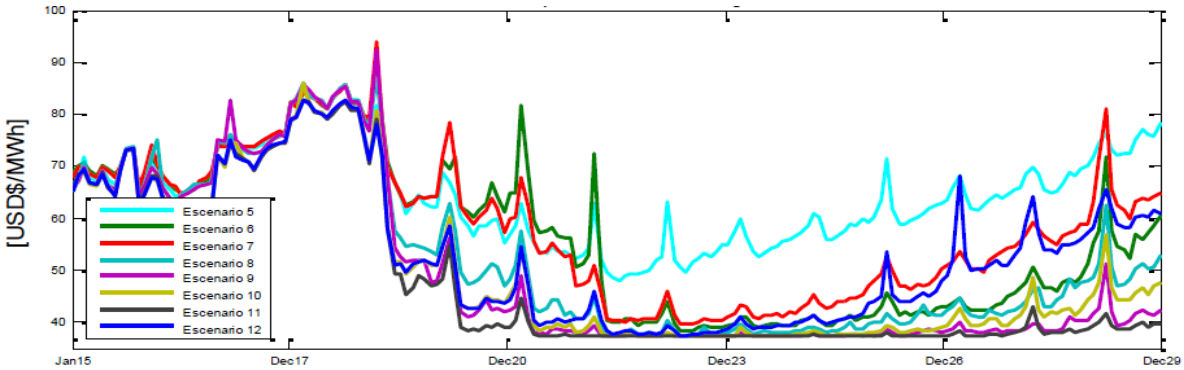

Figura 47 Valor esperado costo marginal. Escenario de largo plazo

Fuente: UPME[106]

[104] UPME – Estudios 2015 Pag. 48 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

[105] Al señalar la energía solar, se hace referencia a la energía solar fotovoltaica como fuente para la generación eléctrica.

[106] UPME – Plan de Expansión GT Pag. 255 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2016/Plan_Expansion_GT_2015-2029/Plan_GT_2015-2029_VF_22-12-2015.pdf

Ahora analizaremos las oportunidades que dichas tecnologías tienen desde el punto de vista del inversionista y la real posibilidad de la integración a la matriz energética Colombiana.

En la Tabla 13 se presentan los valores promedios de costo de desarrollo de las tecnologías presentes en Colombia, cabe señalar que dichos valores han sido construidos con información presente en el documento de la UPME del plan de expansión de referencia generación – transmisión 2015 – 2029

Tabla 13 Costo de desarrollo por tecnología

Recursos	USD/MWh
Carbón	**67 – 87**
Hidráulica	**56 – 64**
Gas	**67 - 70**
Eólica	**60 – 65**
Solar	**75 – 80**
Biomasa	**85 - 90**

Fuente: UPME

Al analizar la Figura 47 podemos observar que para el periodo 2015-2018 el valor esperado del costo marginal ronda el valor promedio de 71 USD$/MWh, el cual disminuye a 53 USD$/MWh en el horizonte 2019-2020. En el largo plazo 2023-2029, el valor promedio del costo marginal promedio se sitúa alrededor de los 60 USD$/MWh.[107]

Del análisis de Tabla 13 la tecnologías renovable con mayor oportunidad de desarrollo en el largo plazo es la eólica, seguido por la solar y la biomasa, en resumen para garantizar un real desarrollo de la FNCER en Colombia y que estas sean competitivas frente a las fuentes convenciones se requeriría de mayores incentivos que los propuestos en la ley 1715, además de mecanismos de apoyo que distingan por tipo de tecnología, lo cual generaría mayores oportunidades de inversión.

[107] UPME – Plan de Expansión GT Pag. 244 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2016/Plan_Expansion_GT_2015-2029/Plan_GT_2015-2029_VF_22-12-2015.pdf

8.3. Barreras típicas de la integración de ERNC – FNCER

En la sección anterior, se identificaron los posibles nichos de desarrollo de las fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER – para el mercado eléctrico Colombiano; dicho análisis hacía referencia a las potencialidades teóricas del recurso, pero no presentaba las posibles limitaciones o barreras a las que se podía enfrentar un proyecto de inversión, con el objetivo de esclareces dichas oportunidades se hace necesario analizar las barreras que limitan el desarrollo de las FNCER en la matriz de generación, esto con la finalidad de proponer los mecanismos que permitas minimizar o eliminar las barreras, logrando así el desarrollo de dichas energías.

De acuerdo a la documentación revisada, la literatura y aprovechando el conocimiento y expertiz de personas[108] que han desarrollado proyectos de ERNC para el mercado Chileno, se han identificado una seria de barreas típicas, a las cuales se enfrentas dichos proyectos de generación.

8.3.1 Barreas de Mercado:

Una barrera típica para cualquier proyecto, ya sea de generación convencional o no convencional son las barreas de mercado, las cuales representan el primer obstáculo que se debe superar para ingresar al mercado. Dado que Colombia está marcada fuertemente por agentes que basan su generación en fuentes convencionales de hidroelectricidad (gran escala) y termoelectricidad dentro de sus portafolios de negocio, lo cual les ha significado grandes inversiones económicas, dificultan la entrada de nuevas tecnologías que les compitan con posibilidad de llegar a ser más eficientes y con costo más bajos. Por otro lado, la regulación del mercado, así como los mecanismos de fijación de precios (Bolsa,

[108] Conversación con el Profesor Wilfredo Jara T, ex gerente de Endesa Eco, desarrollador del Parque Eólico Canela I y Canela II, proyecto minihidro Ojos de Agua, entre otros.

Cargo por confiabilidad, Disponibilidad y AGC), determinan las señales en pro o en contra de la penetración de las energías renovables.

Cabe mencionar que la señal de precios altos de la electricidad y el crecimiento de la demanda pueden por sí mismos actuar como señales del mercado en pro de las energías renovables; sin embargo estas señales no son suficiente ya que podrían mal interpretarse, generando una falsa expectativa de mercado; por eso se hace necesario la existencia de mecanismos regulatorios que clarifiquen y regulen las expectativas de los desarrollos renovables[109].

8.3.2 Barreas de Económicas y financiamientos:

Un proyecto FNCER, aun siendo de pequeña escala en capacidad instalada, tiene requerimientos financieros altos y dada la poca experiencia del sector financiero en este nicho de negocio, resulta ser una barrera para los desarrolladores que buscan acceso al financiamiento. En general, la banca sólo financia contra garantías reales del proyecto, con lo cual los proyectos renovales están en clara desventaja frente a los convencionales.

Asociada a la barrera mencionada anteriormente, se refleja que los mercados financieros nacionales no están preparados a la realidad de las energías renovables y por ende el concepto de Project Finance no constituye una opción en que el proyecto se financie contra los flujos futuros esperados y contra los activos del mismo proyecto[110]. En este aspecto se hace necesario trabajar en conjunto con la banca y las entidades financieras con el fin de crear mecanismos que permitan el financiamiento sobre la base de dar en garantía el flujo eléctrico futuro del respectivo proyecto.

[109] UPME – Estudios 2015 Pag. 54 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

[110] Desafíos y oportunidades de las energías renovables no convencionales (ERNC) en la matriz eléctrica de Chile. KAS Chile Tomado de http://www.kas.de/wf/doc/kas_31874-1522-4-30.pdf?120816223009

8.3.3 Barreas Regulatorias:

Al analizar el marco regulatorio e institucional para el mercado eléctrico Colombiano, nos damos cuenta que este se ha desarrollado en base a las practica de la generación con tecnologías convencionales; es normal que esta regulación no se preste para facilitar la implementación de nuevas prácticas o esquemas enfocado a la impulsión de las FNCER.

Las barreras constituidas en este aspecto pueden ser abordadas de manera apropiada a través de la normativa que permita la incorporación de las fuentes no convencionales en condiciones de equidad con las de las fuentes tradicionales. En este punto Colombia ha comenzado a dar los primeros pasos a través de la impulsión de la ley de las energías renovables (Ley 1715 de 2014) y reconoce la importancia de *"Establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía"*[111]

8.3.4 Barrea de Infraestructuras:

Como ya se ha mencionado con anterioridad, las FNCER pese a tener identificada su potencialidad y su virtual abundancia (sol, viento, biomasa y calor de la tierra), su disponibilidad suelen estar en sitios aislados, con poca infraestructura de carreteras, puertos y puentes; además, estás fuentes están alejadas de los grandes centros de consumo, razón por lo cual se requerirá de la licitación y construcción de líneas de trasmisión que permitan evacuar dicha energía. Aunque la barrera de infraestructura es poco tomada en cuenta, suele ser un factor clave para el desarrollo de los proyectos renovables ya que de no existir esta infraestructura adecuada los costos se elevan a puntos en que la inversión ya no resultaría atractiva. Dado que Colombia es un país en vía de

[111] Ley 1715 de 2014 Tomado de:
http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

desarrollo, todavía tiene deficiencia en materia de infraestructura lo cual representa una barrera para el desarrollo de las FNCER, dicha barreras puede ser superada a partir de la alianza entre el estado y los privados, aprovechando así las sinergias que surgen entre el desarrollo económico y el desarrollo social en pro del beneficio regional y nacional.

8.3.5 Barreas por capital Humano:

Pareciese no se ser una barrara ya que en Colombia se han desarrollado innumerables proyectos de generación eléctrica tanto térmicos como hidroeléctricos, pero es fundamental entender que el desarrollo de las energías renovables no convencionales conllevan la implementación de nuevas tecnologías de generación lo cual exige el contar con el capital humano con la formación, capacidades y experiencia adecuadas para dicho rubro. Por esta razón se hace necesario contar con personal altamente capacitado tanto técnica como profesional para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de dichas centrales, lo cual requiere de la integración de organismos tanto públicos y privados para el creación de programas de formación académicos en universidades y escuelas técnicas superiores que permitan el conocimiento y desarrollo de dicha tecnología en el mercado nacional.

8.3.6 Barrera Técnicas:

La implementación, diseño y construcción de los proyectos de energías renovables no convencionales requieren de cierto grado de expertíz tecnológico, el cual Colombia posee poca madurez, dicha inmadurez puede ser abordada a través de las alianzas de transferencia tecnológicas con países desarrollados en el manejo de las energías renovables, además de convenios con universidades, empresas e instituciones interesadas en promover el uso de las energías renovables no convencionales en el mundo.

8.4. Barreras detectadas por tipo de fuente

En el numeral 8.2 se mencionaron las barreras típicas que se presentan para un desarrollo de esta índole, a continuación presentaremos las principales barreras identificadas para cada tipo de fuentes analizada y su nivel de impacto de acuerdo a lo estudiado.

Tabla 14 Barreras encontradas por tipo de fuente

Tipo de Barrera	Eólica	Solar	Biomasa	Geotérmica
Social: La falta de la presencia del estado en las regiones con alto potencial de FNCER representa una de las principales barreras ya que la oposición de las comunidades puedes ser fuerte, esta barrera puedes ser atendida en la medida que se trabajen en planes integrales de desarrollo, no solo económicos sino también sociales.	Alta	Media	Media	Baja
Cargo por Confiabilidad: La filosofía o concepto de energía firme, como energía que debe estar en capacidad de ser entregada en cualquier instante de tiempo, es bastante exigente para las FNCER de carácter variable que dependen de las condiciones climáticas y del momento del día, del mes o del año.	Alta	Alta	Baja	Baja
Infraestructura: Colombia a igual que muchos países de Suramérica presenta problemas de infraestructura, y dado que las zonas con mayores potenciales para el aprovechamiento de las FNCER se encuentran localizadas en sitios alejados con poca infraestructura, se hace esencial superar dicha dificultad con la construcción de caminos puentes, al igual que la construcción de líneas de trasmisión.	Media	Baja	Media	Alta

Variabilidad del recurso: La energía eólica, al igual que otras FNCER como la energía solar y los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, por su naturaleza variable no se ajustan al modelo de despacho centralizado.	Media	Baja	Baja	Media
Financiamiento: La falta de conocimiento del mercado financiero y bancario local, hace que los proyectos de desarrollos FNCER resulten más riesgosos sumado a la ausencia de mecanismos locales de promoción para el desarrollo de estas fuentes, dificulta el acceso de los inversionistas fuentes de financiación favorables para la realización de estos proyectos.	Alta	Media	Media	Alta
Tecnológica: La falta de tecnologías puedes ser a partir de convenios de cooperación tecnológica que permita el intercambio de conocimiento con países más desarrollados en el tema de la generación renovables.	Media	Media	Media	Media
Capital Humano: La falta de personal capacitado puedes ser fácilmente superado en la medida que se introduzcan programas de formación.	Media	Media	Media	Media

Fuente: Elaboración propia

8.5. Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2015 – 2029

A la fecha se encuentra disponible el plan de expansión de referencia de generación y trasmisión para el periodo 2015 – 2029[112] propuesto por la UPME, dicho plan presenta diferentes escenarios para el desarrollo de la matriz de generación en el largo plazo; de igual manera propone los distintos mix de tecnologías de generación, tanto térmicos, hidráulicos y renovables. Dicho plan, aunque es solo de referencia, es una clara señal desde el regulador hacia el mercado, y busca orientar la inversión hacia las tecnologías que el regulador está viendo como mix óptimo para la generación y la disponibilidad del recurso.

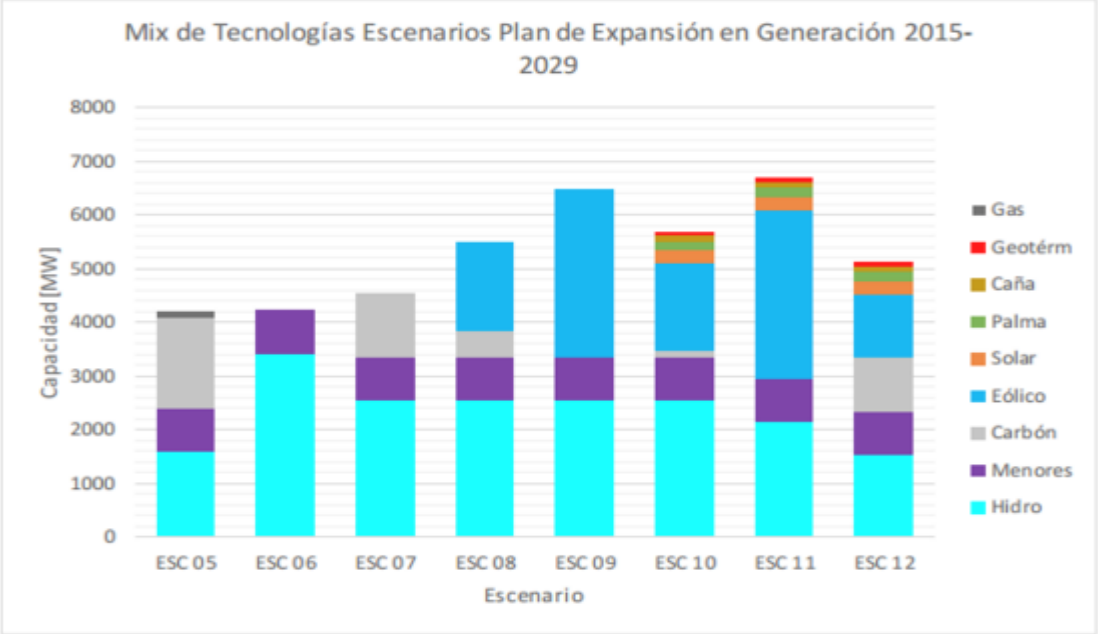

Figura 48 Mix de tecnologías escenarios plan de expansión en generación 2015 – 2029

Fuente: UPME

En las Tabla 15 y Tabla 16 se presentan en detalle los escenarios más probables propuestos por el plan de expansión (ver Figura 48) los cuales contemplan las

[112] UPME - Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2015 – 2029 Tomado de: http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/fotonoticias/plan-de-expansion-2015-2029

mezcla óptima de todas las fuentes de energía, tanto convencionales como no convencionales.

Tabla 15 Escenarios de largo plazo (I)

	Esc.	Descripción	Esc. de demanda	Interconexión con Ecuador	Interconexión con Centro América	Justificación
Escenarios-Largo Plazo	5	Considera en su base la expansión asociada al mecanismo del Cargo por Confiabilidad según el cronograma de la Tabla 5-9, la segunda etapa de Ituango, 1200 MW, 396.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia y Tolima, la proyección de nueva capacidad instalada de plantas menores (Gráfica 5-43) y los requerimientos adicionales, térmicos en su gran mayoría, que se incorporarían al SIN después del año 2019, ello para garantizar los criterios de confiabilidad energética.	Alto	Autónomo	Autónomo	Escenario que contempla recursos térmicos en su senda de expansión. Se tienen en cuenta 1815 MW térmicos, de los cuales 1700 MW son a base de carbón y 115 MW están asociados a un proyecto que utiliza el gas natural como recurso principal. Los proyectos están ubicados principalmente en las áreas eléctricas Caribe y Nordeste.
	6	Considera en su base la expansión asociada al mecanismo del Cargo por Confiabilidad según el cronograma de la Tabla 5-9, la segunda etapa de Ituango, 1200 MW, 396.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia y Tolima, la proyección de nueva capacidad instalada de plantas menores (Gráfica 5-43) y los requerimientos adicionales, hidroeléctricos en su gran mayoría, que se incorporarían al SIN después del año 2019, ello para garantizar los criterios de confiabilidad energética.	Alto	Autónomo	Autónomo	Escenario que contempla recursos hidroeléctricos a gran escala en su senda de expansión. Se tienen en cuenta 1830 MW hidroeléctricos, distribuidos en dos proyectos con capacidad de embalsamiento, ubicados en el área Antioquia.
	7	Considera en su base la expansión asociada al mecanismo del Cargo por Confiabilidad según el cronograma de la Tabla 5-9, la segunda etapa de Ituango, 1200 MW, 396.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia y Tolima, la proyección de nueva capacidad instalada de plantas menores (Gráfica 5-43) y los requerimientos adicionales, hidrotérmicos, que se incorporarían al SIN después del año 2019, ello para garantizar los criterios de confiabilidad energética.	Alto	Autónomo	Autónomo	Escenario que contempla una senda hidrotérmica en su formulación. Se tienen en cuenta 1185 MW térmicos a base de carbón y un proyecto hidroeléctrico de 960 MW con capacidad de embalsamiento. Los proyectos están ubicados en las áreas Caribe, Nordeste y Antioquia.
	8	Considera en su base la expansión asociada al mecanismo del Cargo por Confiabilidad según el cronograma de la Tabla 5-9, la segunda etapa de Ituango, 1200 MW, 396.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia y Tolima, la proyección de nueva capacidad instalada de plantas menores (Gráfica 5-43) y los requerimientos adicionales, hidroeléctricos, térmicos y eólicos, que se incorporarían al SIN después del año 2019, ello para garantizar los criterios de confiabilidad energética.	Alto	Autónomo	Autónomo	Representa un escenario alternativo de expansión, en función de la incorporación de generación eólica en el Norte de la Guajira, específicamente 1624 MW. Se contemplan 515 MW térmicos a base de carbón y la misma capacidad hidroeléctrica del escenario 7.

Fuente: UPME

Tabla 16 Escenarios de largo plazo (II)

	Esc.	Descripción	Esc. de demanda	Interconexión con Ecuador	Interconexión con Centro América	Justificación
Escenarios-Largo Plazo	9	Considera en su base la expansión asociada al mecanismo del Cargo por Confiabilidad según el cronograma de la Tabla 5-9, la segunda etapa de Ituango, 1200 MW, 396.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia y Tolima, la proyección de nueva capacidad instalada de plantas menores (Gráfica 5-43) y los requerimientos adicionales, hidroeléctricos y eólicos, que se incorporarían al SIN después del año 2019, ello para garantizar los criterios de confiabilidad energética.	Alto	Autónomo	Autónomo	Representa un escenario alternativo de expansión, en función de la incorporación de generación eólica en el Norte de la Guajira, específicamente 3131 MW. Se contempla la misma capacidad hidroeléctrica del escenario 8, pero ya no serían necesarios los 515 MW térmicos a base de carbón.
	10	Considera en su base la expansión asociada al mecanismo del Cargo por Confiabilidad según el cronograma de la Tabla 5-9, la segunda etapa de Ituango, 1200 MW, 396.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia y Tolima, la proyección de nueva capacidad instalada de plantas menores (Gráfica 5-43) y los requerimientos adicionales, térmicos, hidroeléctricos y renovables no convencionales, que se incorporarían al SIN después del año 2019, ello para garantizar los criterios de confiabilidad energética.	Alto	Autónomo	Autónomo	Representa un escenario de expansión con fuentes renovables no convencionales de energía (eólica, geotérmia, biomasa y generación solar fotovoltaica distribuida), cuya capacidad total es de 2198.2 MW. Asimismo, se contemplan 132 MW térmicos a base de carbón y la misma capacidad hidroeléctrica del escenario 8.
	11	Considera en su base la expansión asociada al mecanismo del Cargo por Confiabilidad según el cronograma de la Tabla 5-9, la segunda etapa de Ituango, 1200 MW, 396.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia y Tolima, la proyección de nueva capacidad instalada de plantas menores (Gráfica 5-43) y los requerimientos adicionales, térmicos, hidroeléctricos y renovables no convencionales, que se incorporarían al SIN después del año 2019, ello para garantizar los criterios de confiabilidad energética.	Alto	Autónomo	Autónomo	Representa un escenario de expansión con fuentes renovables no convencionales de energía (eólica, geotérmia, biomasa y generación solar fotovoltaica distribuida), cuya capacidad total es de 3705.2 MW. Asimismo, contempla 383 MW hidroeléctricos menos en relación al escenario 9.
	12	Considera en su base la expansión asociada al mecanismo del Cargo por Confiabilidad según el cronograma de la Tabla 5-9, la segunda etapa de Ituango, 1200 MW, 351.8 MW hidroeléctricos distribuidos en Antioquia, la proyección de nueva capacidad instalada de plantas menores (Gráfica 5-43) y los requerimientos adicionales, térmicos, hidroeléctricos y renovables no convencionales, que se incorporarían al SIN después del año 2019, ello para garantizar los criterios de confiabilidad energética.	Alto	Autónomo	Autónomo	Representa el escenario más diversificado, ya que está constituido por fuentes convencionales, como generación hidroeléctrica a mediana y gran escala, plantas térmicas a base de carbón, plantas menores, al igual que fuentes no convencionales, específicamente biomasa, geotermia, generación eólica y solar fotovoltaica distribuida.

Fuente: UPME

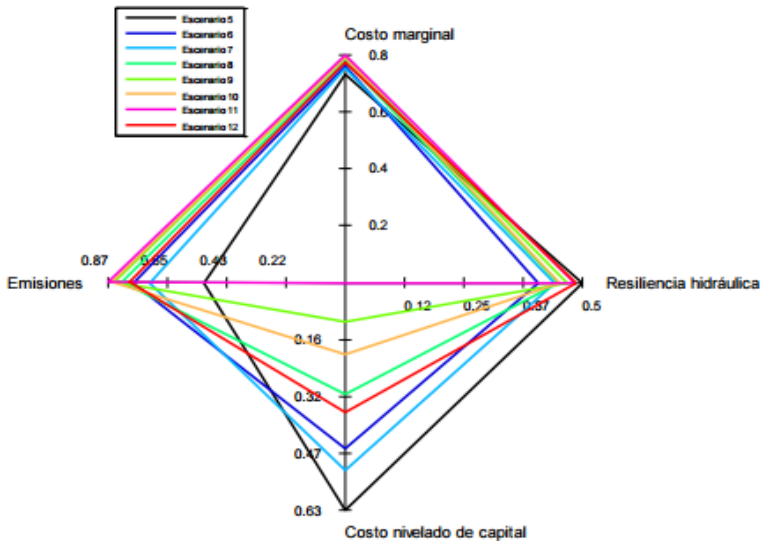

Figura 49 Desempeño de los escenarios de largo plazo por indicador

Fuente: UPME

8.6. Escenario 12

De los escenarios presentados en la Figura 48, se destaca el escenario 12, el cual es el que presenta la mayor resiliencia, en otras palabras la capacidad de adaptación ante eventos hidrológicos extremos (Fenómeno del Niño), además del buen comportamiento en cuanto a bajos costos de generación, los menores requerimientos de capital y uno de los más bajos factores de emisión de gases efecto invernadero[113] (ver Figura 49)

La expansión en base a este escenario, se sustenta en el desarrollo de la segunda fase de Ituango[114], 1200 MW; 351.8 MW de generación hidroeléctrica distribuida en el departamentos de Antioquia, 1020 MW térmicos a base de carbón y 1748.2 MW con fuentes renovables no convencionales de energía, específicamente geotermia, biomasa, generación eólica y solar fotovoltaica distribuida. Además este escenario representa la estrategia de largo plazo más diversificada con la incorporación de FNCER y plantas de generación térmica.

[113]UPME Tomado de: http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/fotonoticias/plan-de-expansion-2015-2029
[114] Central hidroeléctrica Ituango segunda face de 1200 MW Tomado de: http://www.hidroituango.com.co/

8.7. Estrategia para el caso Colombiano

8.7.1 Eólica

En el numeral 8.1.1 se mencionó el alto potencial eólico presente en el departamento de la Guajira, el cual pese a contar con grandes riqueza en recursos naturales, es uno de los departamento de Colombia más deprimidos, con una alta problemática socio económicas y una carente presencia del estado frente a las comunidades indígenas de la región. Esta situación representa una barrera para el desarrollo eólico y a la vez una oportunidad para que el Gobierno Nacional presente propuestas de mejoras en pro de satisfacer las necesidades básicas de la población, y la creación de mecanismos que permitan el desarrollo sostenible de la región.

El plan desarrollo eólico debe ser un propuesta integral la cual permita no solo el desarrollo económico, sino también el desarrollo social, marcado por un desarrollo de la infraestructura, la educación, la salud y las reales oportunidades de empleo de las comunidades.

Otro punto a analizar en el plan de desarrollo eólico para la Guajira es la complementariedad entre los recursos eólico e hídrico, el cual debe ser evaluado e integrado en los balances energéticos, con lo cual la energía firme aportada por la generación eólica permitiría disminuirá la variabilidad frente a los recursos hídricos.

De igual manera, el plan de desarrollo eólico, debe tener en cuenta que dado que el recurso tiene una componente de intermitencia, se debe contar con las herramientas que permitan su pronóstico y proyección; además de contar con los mapas de información de velocidades de viento y cantidad de recurso como base de datos publica y abierta.

Tabla 17 Propuesta del plan de desarrollo eólico

Estrategia	Desarrollo
Debe ser un propuesta integral la cual permita no solo el desarrollo económico de la región sino también el desarrollo social, de infraestructura, de educación, la salud.	Plan integral de desarrollo socioeconómico
	Complementariedad entre los recursos eólico e hídrico
	Diseño de herramientas que permitan su pronóstico y proyección del recurso además de contar con los exploradores de velocidades de viento

Fuente: Elaboración propia

8.7.2 Solar

El sol como energético es la fuente más cercana con la que las personas del común están familiarizadas, dicha fuente puede ser desarrollada en Colombia a través de los mecanismos propuestos por la Ley 1715, la cual promueve la autogeneración a partir del uso de la energía solar fotovoltaica[115].

Se propone un esquema de incentivos, como los utilizados en países de Europa[116] (Alemania) el Net Meeting, bajo la configuración de generación distribuida, la cual permita generar ahorros al usuario e incluso beneficios económicos al poder vender los excedentes a la red a un valor igual a mayor que la tarifa que paga el usuario. En una segunda mirada se propone, la creación de los mecanismos de apoyo técnico y económico para incentivas la energía solar fotovoltaica en las zonas no interconectadas al sistema nacional, con lo cual se lograría una disminución de la dependencia de combustibles líquidos y la consecuente reducción de precio de la energía en dichas zonas.

[115] La ley 1715 de 2014, reconoce a la energía solar fotovoltaica como fuente no convencional de energía renovable

[116] Universidad Católica de Chile – proyectos de investigación NetMeeting en Chile Tomado de : http://web.ing.puc.cl/~power/alumno13/netmet/NET%20METERING.htm#alemania

Tabla 18 Propuesta del plan de desarrollo solar

Estrategia	Desarrollo
Impulsión de la generación distribuida a través del uso de la FNCER en especial la energía solar	Impulsión del esquema NetMeeting a través de la generación distribuida para los usuario residenciales y comerciales
	La creación de los mecanismos de apoyo técnico y económico para incentivas la instalación de paneles fotovoltaicos en las zonas no interconectadas al sistema nacional

Fuente: Elaboración propia

8.7.3 Biomasa

Dado que Colombia es un país con tradición agrícola[117] y aprovechando los beneficios sociales directos e indirectos que tendría el desarrollo industrial de la biomasa, a partir de las actividades relacionadas con el acopio y el aprovechamiento energético de residuos (vegetal y animal) generados en las áreas rurales y agroindustriales[118]; se propone como primera medida la creación de un mecanismo de apoyo a los proyectos de inversión, en cuyos planes se incluyan el desarrollo de las comunidades campesinas, las cuales son pieza clave en la recolección y acopio del recurso. Como segunda medida crear los mecanismos necesarios que permitan que las comunidades rurales y campesinas puedan acceder a apoyo técnico y económico, con el objetivo de crear proyectos sustentables para las comunidades, con los beneficio inherentes de empleo y productibilidad en el campo.

[117] FINAGRO - Ministério de Agricultura Colombiano Tomado de : https://www.finagro.com.co/noticias/el-momento-del-agro

[118] UPME – Estudios 2015 Pag. 250 Tomado de:

Tabla 19 Propuesta del plan de desarrollo de la biomasa

Estrategia	Desarrollo
Desarrollo de las comunidades campesinas y rurales a través del aprovechamiento de FNCER presenta en la biomasa	Apoyo a los proyectos de inversión en cuyos planes se incluyan el desarrollo de las comunidades campesinas
	La creación de los mecanismos necesarios que permitan que las comunidades rurales y campesinas puedan acceder a apoyo técnico y económico en el objetivo de crear proyectos sustentables

Fuente: Elaboración propia

8.7.4 Geotérmica

Al analizar el caso de las fuentes geotérmicas, la legislación Colombiana establece que, la nación tiene el dominio exclusivo de los recursos geotérmicos presentes en el subsuelo. Además reconoce que dicha fuente puede ser aprovechadas para la producción de calor y energía eléctrica a través del mecanismo de concesión; Por desgracia a la fecha no existe una reglamentación especifica sobe este tema, lo cual dificulta el desarrollo de los proyectos de esta índole.

Bajo este escenario, se propone en primera instancia la definición de una normativa asociada, con el fin de aprovechar y desarrollar dichas fuentes. Tales definiciones deberán ser abordadas por los organismos nacionales competentes (Ministerio de Minas y Energías, UPME,CREG) en sintonía a la ley y de acuerdo a lo establecido en el código de recursos naturales establecidos la leyes 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, las Leyes 142 y 143 de 1994, la Ley 697 de 2001 y la Ley 1715 de 2014[119].

[119] UPME – Estudios 2015 Pag. 250 Tomado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

Tabla 20 Propuesta del plan de desarrollo geotermia

Estrategia	Desarrollo
Se propone en principio la definición de una normativa específica para la explotación del recurso	Desarrollo de mesa de trabajo para discutir la normativa asociada al tema geotérmico
	Desarrollo de las líneas de investigación y caracterización de los recursos geotérmicas en Colombia con el objetivo de desarrollar comercialmente el recurso

Fuente: Elaboración propia

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

9.1 Conclusiones

En el desarrollo de la tesina se ha revisado y analizado las diversas tecnologías de generación, la estructura de mercado eléctrico, mecanismos e incentivos propuestos por Ley, los nichos de oportunidades y las barreras para la integración. A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones a tener en cuenta para lograr una integración de las FNCER al Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

Si bien la integración de la energías renovables no ha sido fácil en ningún país del mundo. Hoy día existe mucha evidencia de casos de éxitos y fracasos para analizar y tener en cuenta. - *No existe un mecanismo de incentivo único y mejor, todo dependerá de la situación de cada país, disponibilidad de los recursos, la voluntad política entre otros*[120] -. Ahora bien, si analizamos la integración de las energías renovables a la matriz de generación Colombiana, no solo desde el punto de vista económico, menores precios de la energía, sino también de los beneficio que puede traer asociados con el proceso de aprendizaje de las nuevas tecnologías, efectos ambientales con la disminución de emisiones de GEI, el desarrollo de un adecuado sistema infraestructuras, la integración de las zonas no interconectadas y la complementariedad presente de las FNCER con la hidrología, minimizando así el riesgo inherente de la hidrología.

Ahora bien, dado que las ERNC a nivel mundial han requerido de incentivos para su integración y desarrollo, dado a sus altos costos iniciales, podemos concluir:

Primero, que los incentivos propuestos por la ley 1715 de 2015 (reducción de Impuestos) aunque bastante buenos, no resulta suficiente ya que de acuerdo a la estructuración del mercado los ingresos para rentar las inversiones en generación están dados por la venta de energía, el cargo por confiabilidad y la venta de servicios complementarios, siendo estos dos últimos muy penalizados para el caso

[120] Clases de ERNC MEE424 – Fomento a las ERNC

de las FNCER. Por tal motivo y luego del análisis se sugieren la revisión del cálculo del cargo por confiabilidad para dichas tecnología, con el objetivo de lograr valores más convenientes y acordes a la realidad; además de contar con los mecanismos tanto económicos como normativos, que incentiven la contratación de venta de energía a largo plazo (10 a 20 años) con lo cual se lograría estabilizar la viabilidad de muchos proyectos renovables.

Segundo, Colombia es un país privilegiado, ya que posee alto potencial de fuentes no convencionales de energías renovables (viento, sol, biomasa, geotermia) que aún no han sido aprovechadas, las cuales podrían ser integradas logrando así una diversificación de la matriz de generación

Tercero, cualquier tipo de desarrollo tiene un costo, el cual debe ser asumido ya sea por los agentes, la demanda o el estado, de cualquier forma, el mecanismo que se elija deberá ser bien analizado tanto en sus pros como sus contras, ya que el costo de desarrollo debe ser asumido por alguno o por un mix de los actores.

Cuarto, los países que han desarrollado fuertemente las ERNC para la generación, también han desarrollado he invertido fondos en investigación y desarrollo con el fin de sustentar el modelo.

Quinto, no existe una formula única para la integración de las ERNC son variadas y distintas, todo dependerá de las políticas públicas, la disponibilidad del recursos y por último el mercado.

Sexto, el tránsito hacia una matriz integrada con energías renovables requerirá de esfuerzo, tiempo y compromiso, dado que las decisiones que se tomen impactaran a la industria y a los clientes, por lo cual es necesario analizar y validar, con el fin de no caer en los mismos errores cometidos por otros países (caso España) y aprovechar los aciertos.

Séptimo, dado que las FNCER son diversas tanto en la forma de generación como es sus costos de inversión y desarrollo se hace necesario crear dentro del mecanismo de incentivos la herramienta que permita discriminar por tipo de

tecnología y generar los incentivos adecuados que permitan un correcto mix de renovables acorde con los potenciales y requerimientos de la matriz de generación.

Octavo, la integración de las FNCER en los diferentes países y sus mercados ha venido acompañado de una serie de políticas e incentivos que apuntaban a eliminar o disminuir las barreras que se generaban a este tipo de fuentes y que no permitían su desarrollo. En esta medida Colombia ha iniciado el camino para el desarrollo de las FNCER a través de la impulsión de la ley 1715 de 2014, la cual tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Este hito marca el primer paso en la consecución de la eliminación de las barreras a las FNCER y generar el marco normativo adecuado para su promoción y desarrollo

Noveno, al igual que en cualquier proceso o desarrollo, la integración de las fuentes renovables en los distintos mercados ha estado marcado de casos de éxitos (Brasil, Chile) y de fracasos (España). Pero el real valor de estas experiencias, está en las lecciones aprendidas y de las enseñanzas que podemos rescatar, con el objetivo de crear un banco de conocimientos que nos permitan afrontar los nuevos desafíos provenientes de la integración de las FNCER al mercado eléctrico colombiano.

9.2 Recomendaciones

- Mecanismos e incentivos propuestos por ley 1715.

Dado que a la fecha, aun no se encuentra disponible la reglamentación de la Ley 1715[121], la cual es de suma importancia y un paso fundamental en la promoción para los proyectos de FNCER; se recomienda a los organismos competentes (MinMinas, UPME, CREG) la pronta tramitación y reglamentación la cual permitiría destrabar los procesos de integración de las fuentes no convencionales de energías renovables al sistema eléctrico nacional.

- Creación de atributos FNCER

Dado que el actual mecanismo propuesto por la ley 1715 no hace distinción entre los distintos tipos de fuentes no convencionales de generación (eólica, solar, biomasa, geotérmica) se propone la creación de un atributo FNCER, el cual permita contar con las herramientas que facilite el desarrollo por igual de las energías renovables (mix óptimo), teniendo en cuenta el potencial, los costos de inversión y los beneficios asociados a la integración de las fuentes, y no solo permitir el desarrollo la tecnología más barata, evitando así la sobre instalación de parques, con su consecuente desequilibrio tanto de la matriz como en los costos marginales.

- Mesas de discusión de análisis de FNCER en Colombia y el mundo

Dado que la interacción las energías renovables en los distintos países del mundo ha sido un camino marcado por casos de éxitos y de fracasos, se propone la creación de una mesa de trabajo con la participación de la sociedad civil, la comunidad académica, el regulador y los inversionista con el objetivo de aprender y evidenciar los pros y contras del desarrollo de las energías renovables y las lecciones aprendidas aplicables al escenario Colombiano.

[121]Entrevista a el senador José David Name Cardozo al diario El Heraldo de Barraquilla. Tomado de: http://m.elheraldo.co/local/19-proyectos-de-energia-limpia-que-aliviarian-el-sistema-pero-siguen-frenados-253596

- El alto potencial de la Guajira como foco del desarrollo eólico

La Guajira pese a ser un departamento con grandes riquezas naturales (Carbón y Gas) y altos potenciales de FNCER (Eólico, Solar) es una de las zona más deprimidas de Colombia, con altos niveles de pobreza, por este motivo se propone que con la llegada de las FNCER se cree un plan de desarrollo integral para la región, el cual permita no solo un beneficio económico sino un beneficio social el cual involucre a la comunidad y el estado.

- Nuevos mecanismos para el cálculo de energía firme

Se propone la revisión de la metodología de cálculo de la ENFICC - energía firme para el cargo por confiablidad - para las centrales eólicas y solares, dado que esta metodología resulta ser muy conservadora; adicionalmente, no se está reconociendo la complementariedad que este tipo de plantas puede tener para épocas de bajas hidrologías.

- Creación de mapas para la medición recursos renovables

Se propone la creación de una base de datos publica, con información actualizada, clara y precisa de las distintas fuentes no convencionales de energías renovables que Colombia posee, con el objetivo de contar con un mapa de caracterización de los recursos y sus potencialidades, por región a nivel nacional, tomando como ejemplo el caso de Brasil (http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=atlas_eolico&) y Chile (Explorador de energía eólica y solar http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/ y http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/)

- Incentivos a la investigación FNCER

Producto de la llegada de nuevas tecnologías se hace necesario contar con capital humano altamente capacitado tanto técnico como profesional, por lo tanto se recomienda la creación de los mecanismos de apoyo y financiamiento a la investigación y desarrollo tanto en universidades, instituciones, agencias

gubernamentales y empresas, con el objetivo de desarrollar tecnología y conocimiento en el ámbito nacional.

- Creación de un centro de excelencia para la FNCER

Dado que la integración de FNCER a la matriz de generación requerirá de nuevas tecnologías, se hace necesaria contar con centros de excelencia e innovación, los cuales sean los semilleros de ideas y tecnologías “made in colombia” que permitan la promoción, fomento y desarrollo de dichas fuentes. Como ejemplo podemos mencionar el caso de Chile con el "Centro para la innovación y fomento de las energías sustentables" - CIFES (http://cifes.gob.cl/sobre-cifes/), el cual time por misión el diseño y operación de programas que van en apoyo de la materialización de proyectos ERNC competitivos, mediante acciones que propenden a la disminución de costos en las diferentes tecnologías ERNC, mediante la innovación y el fomento.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Información técnica del mercado.
   [En línea]
   http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx

2. CREG – Comisión de Regulación de Energía y Gas
   [En línea] http://www.creg.gov.co/

3. XM Colombia – Operador y administrador del mercado de energía
   [En línea] http://www.xm.com.co/Pages/home.aspx

4. UPME – Unidad de planeación minero energética
   [En línea] http://www1.upme.gov.co/

5. Ministerio de minas y energías Colombia
   [En línea] https://www.minminas.gov.co/

6. FNCER – Fuentes no convencionales de energías renovables
   [En línea] http://www1.upme.gov.co/sgic/

7. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency - 2015 Report
   [En línea] http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-in-global-co2-emissions-2015-report-98184.pdf

8. Jara Wilfredo – Endesa Eco. Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) 2006
   [En línea]
   http://www.endesa.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONE

SEINFORMES/Documents/Libro%20ERNC%20versi%C3%B3n%20de%20imprenta.pdf

9. REN21 Renewables 2015 Global Status Report.
[En línea] http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_Key-Findings_SPANISH.pdf

10. NOAA ENSO Monitoring
[En línea]
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc_Sp.html

11. Corso Diana – Universidad Rosario. Análisis del sector de energía eléctrica colombiano y regional negociación de energía eléctrica Cemex Colombia s.a.
[En línea]
http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4526/1022351767-2013.pdf?sequence=4

12. Ríos C – Ortega H . Universidad Católica de Chile - La bolsa de energía de Colombia. Tomado de:
[En línea]
http://web.ing.puc.cl/power/alumno05/colombia/Proyect%20web_archivos/page0009.htm

13. Ley 1715 de 2014
[En línea]
http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

14. Federación nacional de productores de biocombustibles de Colombia - Ley 1715 de 2014.
[En línea] http://www.fedebiocombustibles.com/files/1715.pdf

15. UPME – Integración de la ERNC en el mercado Colombiano
[En línea]
http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

16. Claro E – Arístegui J – Tomic E. Konrad Adenauer Stiftung - Desafíos y oportunidades de las energías renovables no convencionales (ERNC) en la matriz eléctrica de chile. Tomado de:
[En línea] http://www.kas.de/wf/doc/kas_31874-1522-4-30.pdf?120816223009

17. UPME - Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2015 – 2029
[En línea] http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/fotonoticias/plan- de-expansion-2015-2029