

**ESTUDIO DE LA PROSPECTIVA Y VIABILIDAD DE LAS ENERGÍAS  
RENOVABLES EÓLICA Y SOLAR EN COLOMBIA A 2050 POR MEDIO DEL  
SOFTWARE LEAP**

**ANDRÉS FERNANDO SERRANO REYES  
ERIKA NATHALIA ZÁRATE TORRES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2016**

**ESTUDIO DE LA PROSPECTIVA Y VIABILIDAD DE LAS ENERGÍAS  
RENOVABLES EÓLICA Y SOLAR EN COLOMBIA A 2050 POR MEDIO DEL  
SOFTWARE LEAP**

**ANDRÉS FERNANDO SERRANO REYES  
ERIKA NATHALIA ZÁRATE TORRES**

Trabajo de grado en la modalidad de investigación Presentado para optar por el  
título de

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

Director

**JAIME GUILLERMO BARRERO**

Ingeniero Electricista

Codirector

**MARÍA ALEJANDRA MANTILLA**

Ingeniera Electrónica

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro director de proyecto de grado Msc. Jaime Guillermo Barrero, el cual paso de ser nuestro docente a un mentor que por encima de todo nos enseñó grandes lecciones de vida.

Al Ingeniero Diego Motta, que sin estar vinculado en este proyecto nos colaboró en cada momento del mismo.

Al semillero en Prospectiva Energética de Colombia, que nos brindó la oportunidad de ser parte de un grupo selecto de personas muy capaces que se reunían cada sábado para compartir su conocimiento.

Finalmente a la Universidad Industrial de Santander, institución forjadora de nuestro intelecto donde pasamos momentos difíciles y también muchas alegrías pero que siempre mantuvo las puertas abiertas para nosotros y nos brindó la oportunidad de ser lo que nuestra constancia y disciplina nos permitió hasta el día de hoy.

## DEDICATORIAS

*A mis padres, lo que haga por ellos nunca será suficiente por todo  
aquello que han hecho por mí.*

*A mis hermanos, siempre nos tendremos pase lo que pase.*

*A Erika N., cualquier mención se quedaría corta para expresar que  
estos años pasaron volando estudiando y aprendiendo a su lado.*

*A mis amigos, ¡qué sería de la vida sin ellos!*

*Nos volveremos a encontrar.*

*Andrés F.*

*A Dios porque a Él le debo todo. Unos padres maravillosos, una familia peculiar y unos amigos sin iguales.*

*A mi madre porque sin importar las razones ha sido mi bastón, mi amiga y la persona a quien le debo lo que soy.*

*A mi padre por apoyarme en este camino, por permitir que se hiciera realidad, esto también es de él.*

*A Silvia Afanador por acompañarme en los buenos y malos momentos, por ser incondicional, paciente y mi mejor amiga.*

*A Andrés porque no sólo es mi amigo, es mi cómplice en todo esto y quien me acompañó de principio a fin sin ninguna objeción.*

*A mis amigos, ellos hicieron el camino más ameno e hicieron de la U una de las mejores etapas de mi vida.*

*¡Gracias a todos! jamás será suficiente.*

*Erika Nathalia*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	20
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ENERGÍAS RENOVABLES	22
1.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	23
1.1.1 Alemania	24
1.1.2 China	25
1.1.3 Japón	27
1.1.4 Estados Unidos	28
1.1.5 Italia	29
1.1.6 España	30
1.2 ENERGÍA EÓLICA	30
1.2.1 China	32
1.2.2 Estados Unidos	34
1.2.3 Alemania	35
1.2.4 España	36
1.2.5 India	37
1.3 NORMATIVA AMBIENTAL INTERNACIONAL	39
1.3.1 Protocolo de Kioto	40
1.3.2 COP21	40
2. COLOMBIA	42
2.1 FACTORES POLÍTICOS	42
2.1.1 Entes reguladores	42
2.1.2 Principales regulaciones en renovables no convencionales	43
2.1.3 Fondos especiales del Gobierno	48
2.2 FACTORES ECONÓMICOS	49

2.3 FACTORES SOCIO-DEMOGRÁFICOS	51
2.4 ENTORNO TECNOLÓGICO	52
2.5 FACTORES AMBIENTALES	52
2.6 SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO	53
2.6.1 Demanda	53
2.6.2 Capacidad Instalada	55
2.6.3 Generación	56
2.6.4 Energías Renovables en Colombia	58
2.7 RESERVAS DE LOS PRINCIPALES ENERGÉTICOS PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA	67
2.7.1 Carbón	67
2.7.2 Gas Natural	68
2.7.3 Recurso hídrico	70
2.8 CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA	71
3. PROSPECTIVA ENERGÉTICA	73
3.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL	73
3.1.1 MicMac	74
3.2 ANÁLISIS DEL JUEGO DE ACTORES	77
3.3 ELABORACIÓN DE ESCENARIOS	77
3.3.1 Escenario Tendencial (UPME)	78
3.3.2 Escenario Verde	79
3.3.3 Escenario Seguridad Energética	80
3.4 LEAP (RESULTADOS)	81
3.4.1 Demanda de Energéticos	82
3.4.2 Demanda en el Sector Eléctrico	87
3.4.3 Capacidad Instalada	91
3.4.4 Generación y consumo eléctrico	92
4. CONCLUSIONES	98

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	125

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Participación estimada de la energía renovable en la producción mundial de electricidad	23
Figura 2. Capacidad mundial solar de energía FV	23
Figura 3. Los 10 países líderes en capacidad instalada en solar FV	24
Figura 4. Parque solar fotovoltaico en Bruhrain, Alemania	24
Figura 5. Panorama del Edificio Riyuetan-Weipa, China	25
Figura 6. Capacidad solar instalada en China y prospectiva	26
Figura 7. Megaplanta de energía solar en Kagoshima, al sur de Japón 70 [MW]	28
Figura 8. Central Solar Star, California. La más grande central fotovoltaica del mundo, 579 [MW]	29
Figura 9. Capacidad mundial de energía eólica 2004-2014	31
Figura 10. Los 10 países líderes en capacidad de energía eólica	31
Figura 11. Capacidad eólica instalada en China y prospectiva	32
Figura 12. Participación en el mercado de los 10 mejores aerogeneradores	33
Figura 13. Generación de energía eólica por estados en EE.UU	35
Figura 14. Torre de refrigeración nuclear en el parque Wunderland Kalkar	36
Figura 15. Aerogenerador G97-2.0MW clase S producido por Gamesa	39
Figura 16. Puestos de trabajo a nivel mundial por fuentes	50
Figura 17. Pirámide de población, por edades y sexo, Censo 2005	51
Figura 18. Demanda energía eléctrica y su evolución	54
Figura 19. Participación de capacidad instalada por tecnologías a Diciembre de 2014	56
Figura 20. Histórico de generación de EE	57
Figura 21. Generación de EE por tecnología	57
Figura 22. Ubicación del parque Jepírachi	61

Figura 23. Ubicación de aerogeneradores del parque Jepírachi	62
Figura 24. Urbanización Ciudad Salitre 1065 (calentadores) instalados por el centro Las Gaviotas	65
Figura 25. Urbanización Ciudad Tunal (4540 calentadores) instalados por el centro Las Gaviotas	66
Figura 26. Eficiencia de calentadores y emisiones	66
Figura 27. Producción nacional de carbón entre 1980 y 2011	67
Figura 28. Prospectiva del consumo de carbón en Colombia a 2050	68
Figura 29. Comportamiento histórico de las reservas probadas de gas natural	69
Figura 30. Escenarios de incorporación de reservas de gas natural (2012-2030)	70
Figura 31. Embalse agregado en relación al ONI	71
Figura 32. Consumo histórico de combustibles para generación eléctrica	72
Figura 33. Plano de motricidad y dependencia	75
Figura 34. Matriz de influencias directas	76
Figura 35. Evolución de la demanda de energética por sectores. Escenario tendencial [TJ]	83
Figura 36. Evolución de la demanda de energética por sectores. Escenario seguridad [TJ]	83
Figura 37. Evolución de la demanda de energética por sectores. Escenario verde [TJ]	84
Figura 38. Demanda total – Comparación escenarios [TJ]	84
Figura 39. Evolución de la demanda por energéticos – Escenario tendencial [TJ]	85
Figura 40. Evolución de la demanda por energéticos – Escenario seguridad [TJ]	86
Figura 41. Evolución de la demanda por energéticos – Escenario verde [TJ]	86
Figura 42. Proyección demanda de electricidad por sectores– Escenario tendencial [TWh]	88

Figura 43. Proyección demanda de electricidad por sectores– Escenario seguridad [TWh]	88
Figura 44. Proyección demanda de electricidad por sectores– Escenario verde [TWh]	89
Figura 45. Demanda electricidad, escenarios [TWh]	89
Figura 46. Demanda electricidad 2014 por sectores [%]	90
Figura 47. Capacidad proyectada para cada escenario a 2050	92
Figura 48. Generación electricidad por fuentes [TWh] – Escenario Tendencial [UPME]	92
Figura 49. Generación de electricidad % participación en 2050 - Escenario Tendencial [UPME]	93
Figura 50. Generación electricidad por fuentes [TWh] – Escenario Seguridad [UPME]	94
Figura 51. Generación de electricidad % participación en 2050 - Escenario Seguridad [UPME]	94
Figura 52. Generación electricidad por fuentes [TWh] – Escenario Verde [UPME]	95
Figura 53. Generación de electricidad % participación en 2050 - Escenario Verde [UPME]	96
Figura 54. Árbol del LEAP	127
Figura 55. Barra de vista general	128
Figura 56. Vista principal de modelo	129
Figura 57. Creación de escenarios	132
Figura 58. Vista de resultados	134
Figura 59. Vista de diagrama	135
Figura 60. Balance energético	136
Figura 61. Vista general	137
Figura 62. Key Assumptions generales utilizados en la prospectiva	138
Figura 63. Valores de Participación en la fuente de la sub-rama cocción.	139

Figura 64. Proyección del Nivel de actividad sub-rama cocción para el escenario verde.	140
Figura 65. Sub-ramas del sector Industrial en demanda	141
Figura 66. Capacidad exógena por fuentes del sector transformación	142
Figura 67. Potencial de energías renovables en América Latina[100]	143

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Indicadores Económicos 2010-2014	49
Tabla 2. Demanda de energía tipos de mercados y actividades económicas	55
Tabla 2. Potencial de energía eólica por regiones en Colombia	59
Tabla 3. Características del parque eólico Jepírachi.	62
Tabla 4. Valores de irradiación promedio para las diferentes zonas del país	64
Tabla 5. Consumo de combustibles en el SIN	72
Tabla 6. Eficiencias y participación eléctrica para los distintos escenarios a 2050	87
Tabla 7. Proyectos considerados con obligación de energía en firme OEF [MW]	91
Tabla 8. Generación por fuentes para los diferentes escenarios.	97
Tabla 9. Países más representativos en energía eléctrica en América Latina	145
Tabla 10. Precio por tecnología [USD/kWh]	146
Tabla 11. Dependencia e influencia de variables MicMac	147

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Guía de mano del LEAP	125
Anexo B. América Latina	143
Anexo C. Precios de generación por tecnología	146
Anexo D. Tabla MicMac	147
Anexo E. <i>Smart Grid</i>	150

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTUDIO DE LA PROSPECTIVA Y VIABILIDAD DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EÓLICA Y SOLAR EN COLOMBIA A 2050 POR MEDIO DEL SOFTWARE LEAP\*

**AUTORES:** ANDRÉS FERNANDO SERRANO REYES, ERIKA NATHALIA ZÁRATE TORRES\*\*

**PALABRAS CLAVES:** offshore, monzón, PIB, GIE, Energías renovables, Demanda, Software.

### DESCRIPCIÓN:

La creciente necesidad de la sociedad por cubrir la demanda eléctrica y por brindarles a las personas una vida más confort, ha provocado un cambio climático irreversible debido a los gases de efecto invernadero, razón por la cual aparecen las energías renovables como alternativa para frenar el cambio climático y cubrir las necesidades energéticas.

El presente trabajo de grado tiene como fin realizar un estudio prospectivo de la matriz energética colombiana a 2050 y la inclusión de las energías renovables según el escenario. Siguiendo a los países referentes en cada una de las ramas importantes para el estudio que para este caso en particular son las energías eólica y solar, se tomaron los 5 países más relevantes como punto de partida para un análisis más detallado de nuestro país.

En Colombia las energías renovables aún no desempeñan un papel importante, no obstante se analizaron los diferentes factores que podrían afectar la inclusión de éstas y se estudió el potencial para realizar por medio del método MicMac la escogencia de variables claves que permitirán realizar una hipótesis para crear los escenarios y por medio de éstos desarrollar la prospectiva.

El software LEAP es la herramienta que se utilizó para realizar la prospectiva, en el cual se introdujeron datos necesarios que permitirán tener información de la demanda, consumo, generación y la capacidad instalada de los tres escenarios propuestos (tendencial, verde, seguridad), donde se puede ver el comportamiento de manera gráfica y numérica a través de los años para desarrollar la prospectiva al año 2050.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Universidad Industrial de Santander, Escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Director Jaime Guillermo Barrero

## ABSTRACT

**TITLE:** PROSPECTIVE AND VIABILITY STUDY OF RENEWABLE ENERGIES: WIND AND SOLAR IN COLOMBIA TO 2050 THROUGH THE LEAP SOFTWARE \*

**AUTHORS:** ANDRÉS FERNANDO SERRANO REYES, ERIKA NATHALIA ZÁRATE TORRES\*\*

**KEYWORDS:** offshore, monsoon, GDP, GEI, Renewable Energy, Demand, Software.

### DESCRIPTION:

The growing need of society to cover electricity demand and give people a more comfortable life, has caused irreversible climate change due to greenhouse gases, showing renewable energy as an alternative to slow climate change, cover the energy demand and make the most autonomous countries. This thesis aims a prospective study of Colombian energy matrix to 2050 and the inclusion of renewable energy according to the scenario.

Following reference countries in each of the important branches of the study, in this particular case are wind and solar energy, five were taken as the most important starting point for a more detailed analysis of our country Colombia.

In Colombia renewable energies doesn't play an important role yet, despite the different factors that could affect their inclusion it is studied through the method MicMac the potential of making the choice of variable keys that will make a hypothesis to create scenarios and through them the prospective.

LEAP software is the tool used to perform prospective, in which data necessary was introduced to allow us obtain information on demand, consumption, generation and installed capacity of the three proposed scenarios (trend, green, security), where you can see the behavior in a graphical and numerical way through the years for the prospective year 2050.

---

\* Degree project

\*\* Industrial University Of Santander, school of electrical, electronic engineering and telecommunications, Director Jaime Guillermo Barrero

## INTRODUCCIÓN

Debido al constante crecimiento de la demanda de energía eléctrica y la necesidad de satisfacerla, ésta ha atraído la atención de los países en desarrollo y de sus gobernantes, lo que ha llevado a que las fuentes de energía renovables desarrollen un papel cada vez más importante a la luz de los riesgos del suministro de energía y del cambio climático. Recibiendo un impulso principalmente de los países de la Unión Europea que tienen como propósito suplir la demanda, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la diversificación de la canasta energética.[1]

Colombia es un país que cuenta con suficientes recursos energéticos, tanto renovables como no renovables. Es un país exportador neto de energía y un emisor modesto (75 millones de toneladas métricas frente a 5270 de EE.UU en 2014[2]) de gases de efecto invernadero. Su matriz energética tiene como base la generación hidroeléctrica con 70.41% (XM, 2015) y combustibles fósiles principalmente el carbón y el gas. En cuanto a las energías renovables en nuestro país se emplean para la generación de energía eléctrica: las hidroeléctricas, las centrales de menor capacidad (hidroeléctricas), el uso de biocombustible, los residuos agroindustriales y se cuenta con la central eólica del parque Jepírachi. Sin embargo, el sistema interconectado nacional se ve afectado por la variación del clima que presenta el país, causando que las centrales hidroeléctricas disminuyan su generación de energía, dándole paso a la generación con combustibles fósiles.[1]

El presente proyecto tiene como propósito analizar las energías eólica y solar en Colombia y desarrollar una prospectiva al año 2050 de la evolución de éstas en el país. Para lograrlo se eligió un modelo prospectivo que permitió obtener los principales parámetros que afectan el consumo, la generación, la demanda y la capacidad instalada, que luego fueron implementadas en el software LEAP, lo que

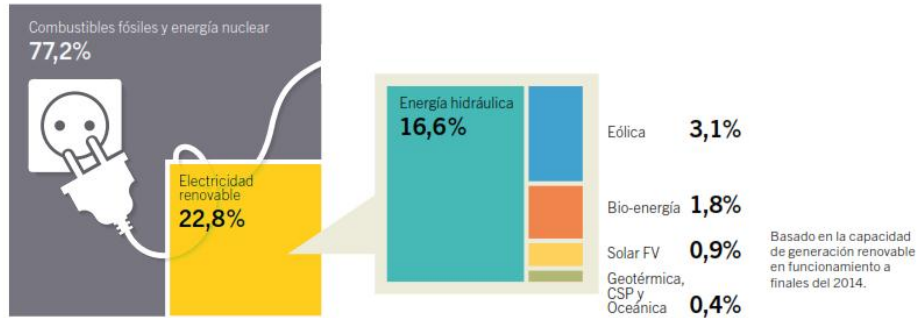
posibilitó obtener las respectivas prospectivas y escenarios para suplir la demanda.

## 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ENERGÍAS RENOVABLES

El panorama mundial de las energías renovables es bastante alentador y constantemente creciente, la preocupación por el cambio climático o por el acceso a la electricidad al total de la población han disparado su crecimiento. A pesar de la reciente caída en los precios del petróleo el desarrollo de las energías renovables ha seguido manteniéndose, proporcionando un estimado de 19,1% del consumo mundial de energía en 2013 donde el crecimiento más acelerado aconteció en el sector eléctrico encabezado por la energía hidráulica, eólica y solar fotovoltaica. Por otro lado el desarrollo de la calefacción, el enfriamiento y el transporte basado en tecnologías renovables se encuentra aún en fase embrionaria. En 2014 las inversiones en energías renovables en el sector energético superaron a las de plantas fósiles, hacia final de año la capacidad total estimada en renovables era del 27,7% del total de la capacidad instalada mundial, lo cual podría abastecer sin problema cerca del 22,8% de la demanda eléctrica del planeta[3].

La energía renovable ha podido desarrollarse gracias a políticas gubernamentales, el número de países con objetivos y políticas en energías renovables volvió a aumentar en 2014, para inicios de 2015 al menos 164 países ya contaban con metas de energía renovable mientras alrededor de 145 ya tenían políticas en vigor. Dentro de la energía renovable, la energía hidráulica es la que domina el panorama seguida de la eólica y solar fotovoltaica [3].

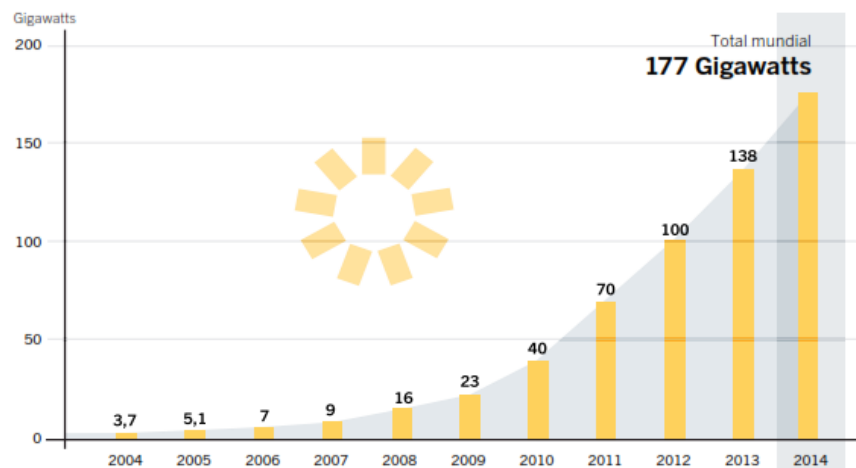
Figura 1. Participación estimada de la energía renovable en la producción mundial de electricidad [3]



### 1.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

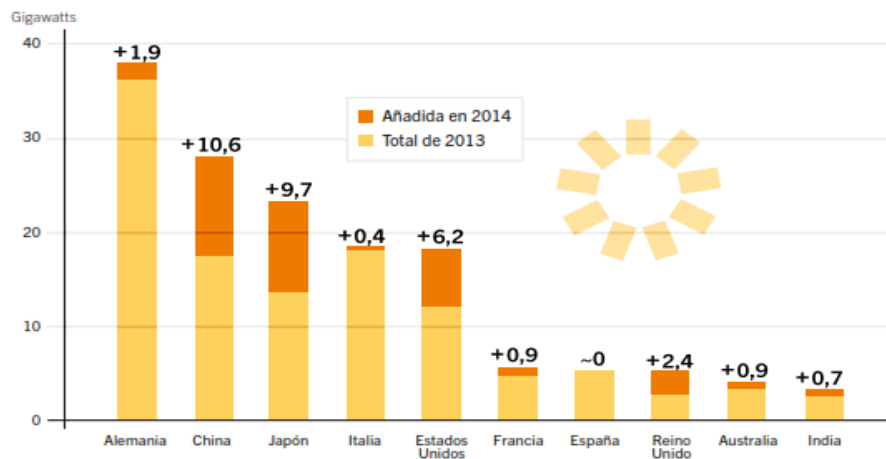
La disminución de los costos ha hecho que la energía solar fotovoltaica tenga un papel cada vez más importante en la generación de electricidad a partir de renovables, con ayuda de subsidios puede incluso competir con costos de generación de electricidad a partir de fuentes fósiles. En 2014 presentó 40 [GW] de capacidad instalada para un total mundial aproximado de 117 [GW][3].

Figura 2. Capacidad mundial solar de energía FV[3]



China, Japón y Estados Unidos fueron los países que más aportaron capacidad instalada solar fotovoltaica en 2014, América Latina (ver anexo B) experimentó un crecimiento acelerado y algunos países africanos también sumaron nueva capacidad a su lista, mientras en Europa por tercer año consecutivo la mayoría de sus mercados sufrió un declive aun cuando Alemania lideró al mundo en términos de capacidad solar fotovoltaica[3].

Figura 3. Los 10 países líderes en capacidad instalada en solar FV[3]



### 1.1.1 Alemania

Figura 4. Parque solar fotovoltaico en Bruhrain, Alemania[4].



Alemania es uno de los líderes mundiales en generación de energía solar fotovoltaica con una capacidad instalada superior a los 35 [GW] a principios de 2014. Sólo en 2011, Alemania instaló cerca de 7,5 [GW] y la energía fotovoltaica produjo 18 [TWh][5].

Gracias a la creación de una tarifa regulada para la producción de energía renovable introducida por la *German Renewable Energy Act*, se redujo el costo de las instalaciones fotovoltaicas en cinco años desde 2006. Alemania tiene como objetivo de producir el 35% de la electricidad mediante energías renovables en 2020 y alcanzar el 80% en 2050[6].

Debido a la ley de energías renovables que busca fomentar la reducción de costos basado en la eficiencia energética cuya entrada en vigor fue en el año 2000 se logró que al primer semestre de 2014 el 28,5% de la energía producida fuera a partir de fuentes renovables. Sin embargo, esta transición no ha sido barata, con €16 billones de subsidios en 2013, creando una demanda que ha hecho necesaria una manufacturación en masa y siendo determinante en el abaratamiento de costos de los paneles solares en un 80% en sólo 5 años[7].

### 1.1.2 China

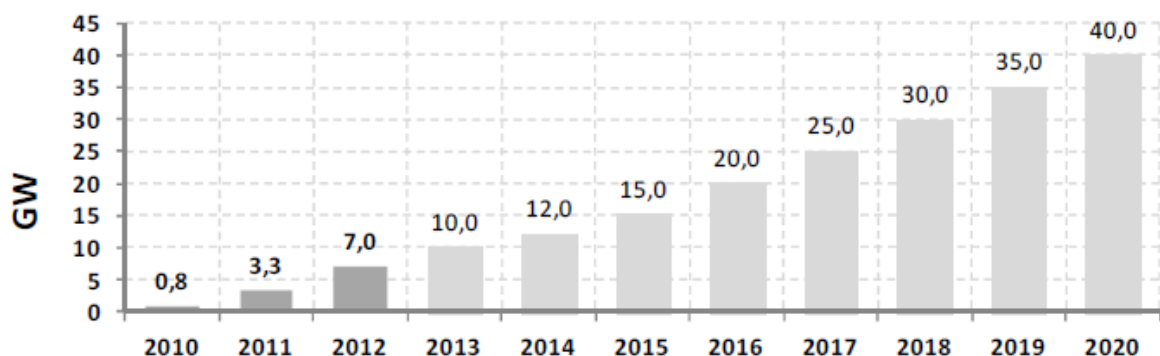
Figura 5. Panorama del Edificio Riyuetan-Weipa, China[8].



El potencial solar en China es enorme, el país recibe una radiación solar de hasta 16.000 [GW] lo que lo ha convertido en el país que más aprovecha la energía solar, sin embargo los sitios de mayor radiación se encuentran en zonas pocas pobladas por lo que gran parte de los módulos fotovoltaicos son exportados a Europa y Estados Unidos principalmente.

La producción solar fotovoltaica en China ha tenido un crecimiento acelerado, el gobierno Chino por medio del plan del estímulo llamado *Golden Sun* anunciado en 2009, se propuso desarrollar la tecnología solar en ese país con proyectos como centrales solares en el desierto. Todas las previsiones han sido superadas en capacidad instalada, en mayo de 2011, la Asamblea Popular Nacional de China estableció 5 [GW] como el objetivo mínimo oficial para 2015 y de 20 a 30 [GW] para 2020. A finales de 2011 China alcanzó los 2,9[GW], al año siguiente añadió 5 [GW] de energía fotovoltaica y a comienzos de 2014 contaba ya con cerca de 20 [GW] más los cerca de 10 [GW] instalados en ese año[9].

Figura 6. Capacidad solar instalada en China y prospectiva[10].



Han sido superadas todas las expectativas en cuanto a capacidad instalada en PV (Paneles Fotovoltaicos), para el año 2014 se tenía proyectada 12 [GW] de capacidad mientras la ANE (Administración Nacional de Energía )anunció que la capacidad instalada para energía fotovoltaica alcanzó los 28,05 [GW] para ese

mismo año con un incremento del 60% interanual. El sector de la energía solar precisa de políticas públicas en forma de estímulos para crecer, en 2008 China se convirtió en el mayor fabricante mundial de módulos fotovoltaicos, cinco de los diez principales productores de PV en 2012 fueron chinos[11].

**1.1.3 Japón.** Japón fue uno de los países pioneros en la utilización de módulos fotovoltaicos, desde la década de los 90 empezó su auge y es uno de los líderes en la fabricación de estos paneles, tras el incidente ocurrido en Fukushima en Marzo de 2011 el gobierno nipón introdujo incentivos para la generación fotovoltaica, esto hizo que la venta de paneles fotovoltaicos creciera significativamente en ese año, sólo durante el primer semestre de 2012 se vendieron módulos por un equivalente de 1,07 [GW][12].

La irradiación en Japón es adecuada, situándose entre 4,3 y 4,8 [ $kWh.m^2.día$ ] y en 2014 la potencia fotovoltaica instalada alcanzó su record histórico con 10 [GW], comparados con los 7 [GW] en el 2013 para un total de 23 [GW] a finales de 2014 contribuyendo con un 2,5% del total de la demanda eléctrica del país. Japón se ha marcado como objetivo aumentar su producción de energías renovables entre el 22 y el 24 por ciento en la generación total para el año 2030 prácticamente el doble del nivel actual. Un proyecto anunciado por la Agencia Aeroespacial japonesa JAXA pretende poner en órbita una estación con placas solares en el año 2030 la cual producirá energía a partir del sol y la enviará a la tierra, esta estación podría captar hasta 8 veces más energía que una central solar convencional, su principal ventaja es que estaría en funcionamiento las 24 horas del día. Actualmente se estudian las maneras más efectivas para enviar la energía que la planta vaya a producir hasta la tierra sin perderla y en el menor tiempo posible[13].

Figura 7. Megaplanta de energía solar en Kagoshima, al sur de Japón 70 [MW][14].



**1.1.4 Estados Unidos.** El panorama energético en Estados Unidos está cambiando rápidamente, el crecimiento de la energía fotovoltaica se ha disparado y la potencia instalada crece a un ritmo nunca antes visto en un país donde el crudo es muy barato. En 2014 fueron añadidos 6,2 [GW] de potencia solar, un 30% más que los instalados el año anterior. Esta repentina explosión se explica no sólo por el creciente interés de las empresas generadoras de energía sino además por el de los hogares en general, nada menos que 200.000 hogares instalaron paneles en 2014, para un total de 600.000 que se convirtieron en autogeneradores[15].

Actualmente la capacidad total instalada en Estados Unidos está cerca a los 20 [GW], cantidad suficiente para alimentar hasta 4 millones de hogares, pero aún lejos de las potencias en este sentido como China o Alemania[15].

Figura 8. Central Solar Star, California. La más grande central fotovoltaica del mundo, 579 [MW][16].



*Solar Star*, es actualmente la planta solar más grande del mundo en términos de capacidad instalada, posee 1,7 millones de paneles solares fabricados por *Sun Power* y repartidos en una superficie de alrededor de 13 kilómetros cuadrados. Además posee mayor eficiencia en comparación con otras plantas fotovoltaicas de tamaño similar como la *Desert Sunlight* que necesita de aproximadamente 9 millones de paneles para producir 500 [MW][16].

**1.1.5 Italia.** Italia fue hasta el 2013 el segundo mayor productor mundial de energía solar fotovoltaica, para caer hasta el quinto lugar a finales de 2014. De igual manera esta fuente -que hace 20 años era casi inexistente en ese país- llegó a producir 3,8% de la energía eléctrica. En conjunto con la eólica producen 30,8% de la producción nacional de energía eléctrica, superando los objetivos planteados en 2004 por la Comisión Europea (cobrimiento con renovables del 20% del consumo total de energía antes de 2020)[17]. En 2014 la tasa de crecimiento de instalaciones solares fue mucho menor a años anteriores debido principalmente a dos razones. La primera fue la falta de procedimientos claros para la aprobación de nuevos proyectos y la segunda se refiere a la esfera económica de este sector,

que a consecuencia de la intervención normativa, ha sufrido recortes a incentivos y sobrecarga de impuestos que impide ver claro el futuro de esta tecnología[18].

**1.1.6 España.** En España el mercado energético ha venido cambiando constantemente, inicialmente presentó un crecimiento acelerado debido a una legislación favorable que permitió que se convirtiera en el país con más potencia fotovoltaica para el año 2008 con 3.116 [MW] [19]. La legislación favorecía por medio del Real Decreto 436/2004 y el RD<sup>1</sup> 661/2007 a las centrales fotovoltaicas que estuvieran conectas a la red debido a que tenían un beneficio de 0,44 €/kWh inyectado a la red. Sin embargo el valor de la prima para finales de 2008 cambió según el lugar de ubicación del panel: en el suelo 0,32€/kWh o en el techo 0,34 €/kWh según RD 1578/288. En 2010 se aprobaron dos nuevas regulaciones que ralentizaron la penetración de la energía eólica, la primera limitaba la recepción de primas hasta el 2025 y la segunda limitaba el número de horas en las que se inyectaba energía a la red con beneficios económicos [20].

Por otro lado el gobierno español quiere regular el autoconsumo por medio de un “peaje de respaldo” o más conocido como “el impuesto al sol” que según el ministro, José Manuel Soria, "de lo que se trata es de decir al consumidor que está muy bien el autoconsumo, pero cuando va a utilizar la red que pagamos entre todos también tiene que contribuir porque, si no, los demás estaríamos pagando una parte del autoconsumo". Para el caso de los consumidores residenciales, se cobrará 9 € más IVA al año por kW de cada panel que tenga en el hogar[21].

## 1.2 ENERGÍA EÓLICA

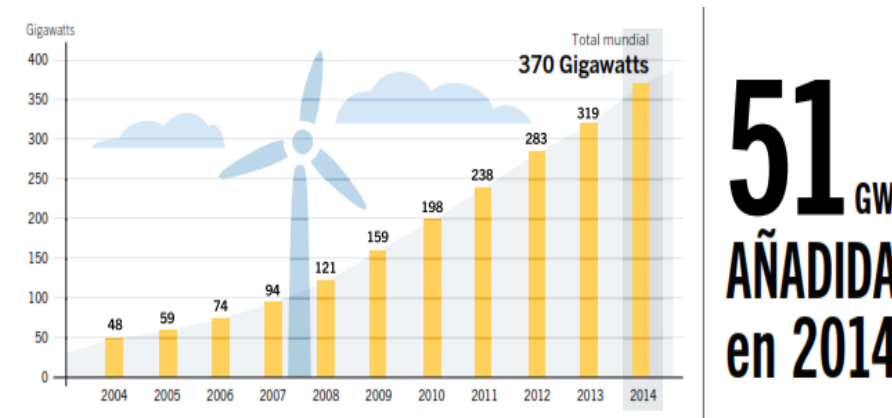
La energía eólica alcanzó 51 [GW] de capacidad instalada en 2014 obteniendo un récord y convirtiéndose en la que más capacidad instalada creó en ese año. Esta energía es la segunda en capacidad con un total de 370[GW] después de la

---

<sup>1</sup> RD: Real Decreto, norma jurídica con rango de Ley

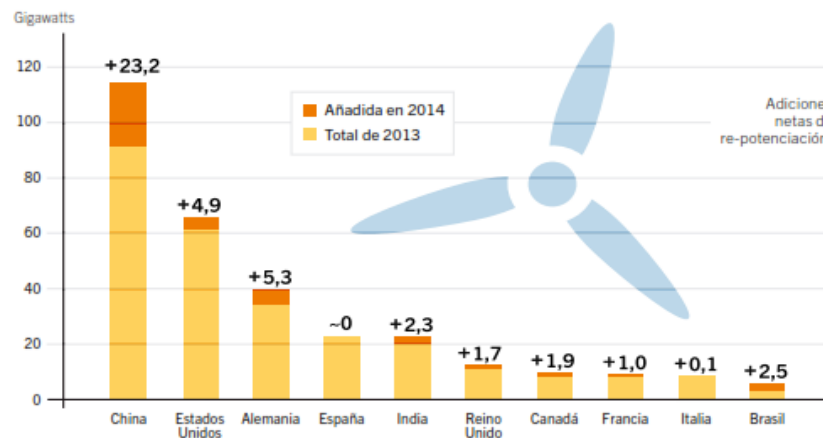
hidroeléctrica y es considerada la mejor opción para nuevos sistemas de generación, ya que es menos costosa que las demás energías renovables.

Figura 9. Capacidad mundial de energía eólica 2004-2014[3]



Asia se mantiene como el mercado más grande encabezado por China y Estados Unidos se estableció como el líder en generación eólica en América, en otros países ésta llegó a abarcar más del 20% del total de su generación como en Dinamarca, Portugal y España. La mayoría de los fabricantes de turbinas tuvieron un buen año y reportaron cifras récord de instalación[3].

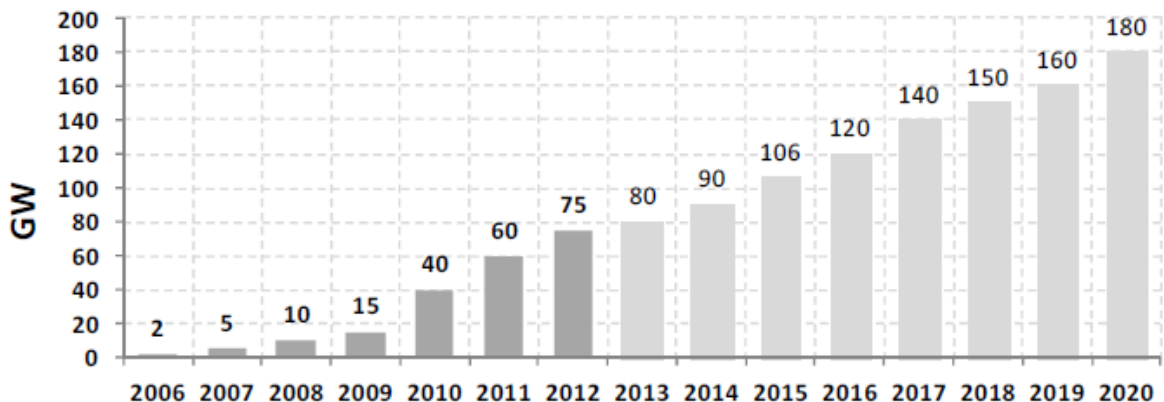
Figura 10. Los 10 países líderes en capacidad de energía eólica[3]



**1.2.1 China.** China es un país con abundantes recursos naturales que presenta un crecimiento constante en la expansión de energías renovables, en especial en el sector eólico, ocupando por capacidad instalada el primer lugar en tecnología *onshore* y el tercer en *offshoren* 2014[10].

En el año 2010, China se convirtió en el país con la mayor potencia de energía eólica instalada en el mundo, presentando un rápido desarrollo en su capacidad instalada con un aumento en más del 100%. A finales del 2005 contaban con menos de 1[GW], sin embargo para 2012 tenían 53.766 turbinas y 1.445 parques eólicos correspondientes a 75[GW], además para este año se instalaron 7.872 turbinas que permitieron un incremento de 13 [GW][10].

Figura 11. Capacidad eólica instalada en China y prospectiva[10]



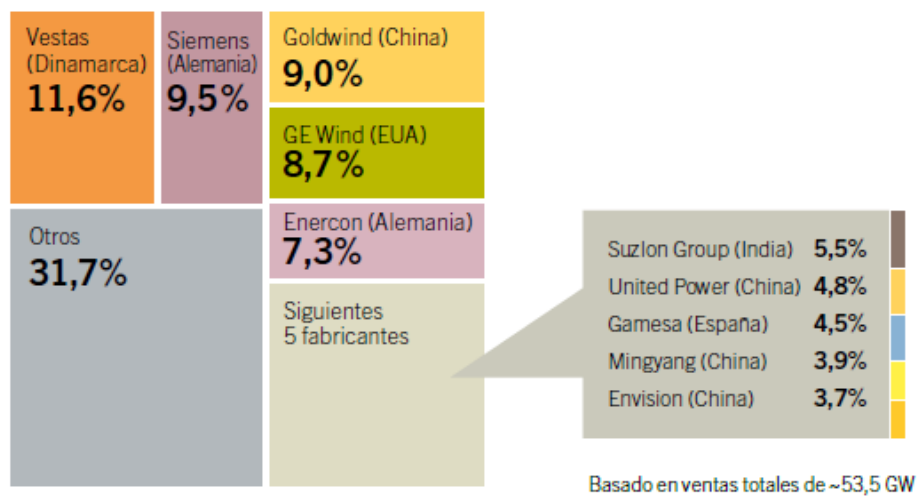
Para el año 2014 se batió un récord de instalaciones de energía eólica, encabezada por China, EE.UU y Alemania con una capacidad mundial total de 370 [GW]. China añadió el 45,1% (115,4[GW]) de las nuevas infraestructuras adicionando a la capacidad mundial instalada el 31%[22]. China ha iniciado la construcción del proyecto de energía eólica más grande del país en la isla Nanri, de la ciudad de Putian, está diseñado con capacidad instalada de 400 [MW] y se espera que esté listo para el año 2018, los aerogeneradores serían capaces de

producir 1.400 [GWh] al año, lo que equivale a quemar 450.000 toneladas de carbón y al mismo tiempo ahorrar 4,4 millones de toneladas de agua que se necesitarían para la generación de energía térmica[23]. Como meta tienen para el año 2020 contar con una capacidad instalada de 200[GW] y para el 2030 esperan contar con un 20% de electricidad proveniente de fuentes renovables[24].

En ninguna otra parte se construyen tantas turbinas eólicas como en China, en donde cada año se instalan 6.000. De todas las turbinas instaladas en la superficie de la tierra, la mitad se encuentran en China. Según un estudio de la universidad de Harvard, el país posee el viento suficiente para cubrir el consumo completo de electricidad para el año 2030, es decir dos veces el consumo actual[25].

Entre las mejores empresas de aerogeneradores en 2014, cuatro son de procedencia China: Goldwind en el tercer puesto con el 9%, en el séptimo puesto United Power con 4,8%, en el noveno puesto Mingyang con 3,9% y en el décimo puesto Envision con 3,7%.

Figura 12. Participación en el mercado de los 10 mejores aerogeneradores[3]



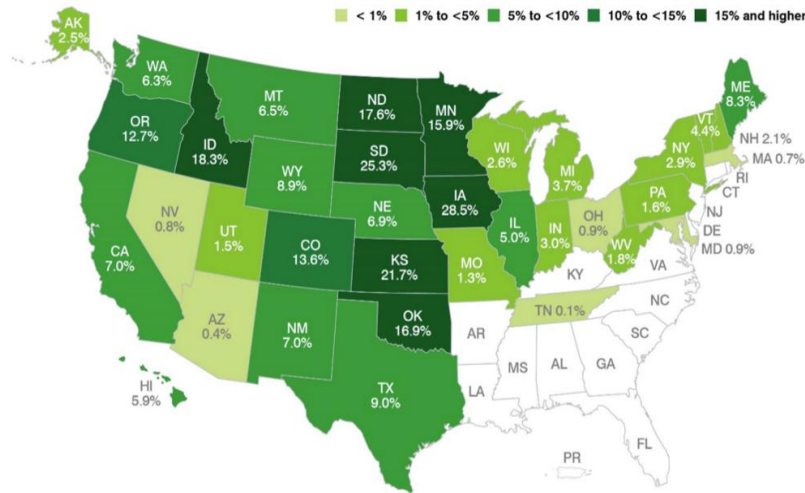
**1.2.2 Estados Unidos.** Estados Unidos es un país que se enfrenta al reto de avanzar y expandir la capacidad instalada de la energía eólica, con 1,7 [GW] de aerogeneradores recién instalados y más 13,6 [GW] en construcción le apostaron a la contribución de esta energía a la red de energía eléctrica para el 2015[26].

Contaban con una capacidad instalada de 64,8 [GW] en el 2014, sin embargo el gobierno de los Estados Unidos espera pasar la meta actual del 4,5% de su producción de energía eléctrica a través de fuentes eólicas, al 10% al año 2020, al 20% para el año 2030 y para el año 2050 obtener el 35%. Con el fin de cumplir con estos objetivos se realizarán inversiones en tecnología, innovación, junto con sistemas de transmisión que provean acceso a zonas de alto potencial e integración a la red eléctrica. Entre los años 2008 y 2009 el país realizó una inversión media de 13.000 millones de dólares y esperan que su inversión alcance los 70.000 millones de dólares anuales para el 2050, todo esto para lograr adicionar entre 8 y 11 [GW] en generación eólica. El gobierno de este país espera ahorrar 280.000 millones de dólares y reducir las emisiones de dióxido de carbono equivalente a 20 millones de vehículos a largo plazo por medio de la energía eólica. Actualmente, importan el 30% de los materiales necesarios para los parques eólicos[27].

El departamento de energía estima un crecimiento que va desde los 64,8[GW] que tienen en la actualidad a los 113[GW] para 2020, 224[GW] al 2030 y 404[GW] al 2050[27], además se encontró que el crecimiento en la industria de la energía eólica está impulsando la economía del país con 73.000 trabajos[28].

En el 2013, las plantas de energía eólica lograron reducir las emisiones de dióxido de carbono equivalentes a 115 millones de toneladas métricas correspondientes a 24 millones de automóviles[29].

Figura 13. Generación de energía eólica por estados en EE.UU[29]



**1.2.3 Alemania.** La energía eólica se utiliza desde hace siglos en muchas partes del mundo. Alemania es pionera en el perfeccionamiento de esta tecnología y en el incremento de la capacidad empleada en todo la tierra[30].El 2014 fue el mejor año en lo que se refiere a energía eólica para el país teutón con 1.700 aerogeneradores y un aumento en su capacidad de 4,8[GW] llegando a un total de 38 [GW]. Se espera que esta tendencia se mantenga para el año 2015, brindando el impulso necesario al cambio energético. Debido a la catástrofe nuclear de Fukushima en el 2011 decidieron impulsar la construcción de aerogeneradores y retirar la producción de energía nuclear, desconectaron ocho centrales nucleares y esperan que las últimas nueve sean apagadas antes de 2022. Aquí es destacable el desarrollo de la tecnología offshore, para el 2015 esperaban terminar con 3[GW] y llegar al 2020 con 6,5[GW] para cubrir el 5% del consumo del país[31].

Alemania se ha embarcado en una revolución energética llamada *energie wende*<sup>2</sup> de la cual esperan obtener el 80% de su energía de fuentes renovables a 2050. La

<sup>2</sup> Transición estructural en los sistemas energéticos por parte de algunos países, en especial de Alemania. Consiste en la eficiencia energética y el desarrollo sostenible con el fin de abolir el

clave de esta revolución son los enormes molinos con aspas de fibra de vidrio que miden 75 m y pesan más de 25 toneladas, confían que cada aerogenerador suministre electricidad a 6.000 viviendas sin ninguna emisión de dióxido de carbono. En aguas Alemanas se pueden encontrar 19 parques eólicos en funcionamiento o en construcción. Las energías renovables generan el 27% de la electricidad pero más del 44% se obtiene del carbón, Alemania es primer productor mundial de lignito, el carbón más sucio y en el 2014 extrajeron más de 200 millones de toneladas de éste[32].

De hecho los ciudadanos alemanes apoyan la transición de energética y prefieren pagar 19 euros extras, tanto es así que en una torre de refrigeración nuclear que jamás funcionó tienen un parque de diversiones[32].

Figura 14. Torre de refrigeración nuclear en el parque Wunderland Kalkar[33]



Alemania es la cuarta economía del mundo, y se ha propuesto disminuir las emisiones de carbono un 40% a 2020 y por lo menos un 80% para el 2050.

**1.2.4 España.** Es considerado como uno de los países pioneros al producir el 20% de la electricidad eólica mundial en el 2007. En el 2009 la energía eólica en

---

carbón y las demás fuentes de energías no renovables para lograr un sistema energético basado totalmente en fuentes renovables.

España ocupó la tercera posición en generación de energía eléctrica al superar el carbón y en marzo del 2011 alcanzó el primer lugar con 21% de la demanda[34]. En el 2013 la energía eólica batió un record en la producción de electricidad, situándose en el primer lugar en cobertura de la demanda de todo el año con 20,9% frente al 20,8% que obtuvo la nuclear, seguidas de la hidráulica. En total las renovables cubrieron el 42,4% de la demanda, 10,5 puntos más arriba que en el 2012. La producción de energía eléctrica del 2013 por medio de la energía eólica fue de 54,5 [GWh] la más alta de la historia, presentando un aumento del 13,2% con respecto al 2012, lo suficiente para abastecer 15,5 millones de hogares españoles, es decir el 90% del total. La energía nuclear produjo 2,3 [GWh] más que la eólica pero contribuyó en menor cantidad a la demanda debido a que consume más electricidad para que sus instalaciones puedan funcionar[35].

En el año 2014 la capacidad eólica instalada en España (23[GW]) no creció, no se creó ningún parque eólico debido a que las normativas del país cambian constantemente, no se incentiva la creación de nuevos proyectos y no se brinda seguridad jurídica. La energía eólica aportó en 2014 el 20,4% de la cobertura mientras los reactores nucleares el 21,9%[36]. El gobierno Español espera pasar de 23[GW] a 44,5[GW] en el 2030, en donde consideran dos escenarios: uno malo y otro bueno con capacidades de 35 [GW] y 52,5[GW] respectivamente en energía eólica[37].

Más de 20 mil personas trabajan en el sector eólico, exportan tecnología por 2 mil millones de euros y aportan directa e indirectamente 2.623 millones de euros al producto interno bruto[38].

**1.2.5 India.** India es el segundo país más poblado del mundo con una población de 1.200 millones de habitantes. En el 2011 fue el cuarto emisor de gases de efecto invernadero, emitiendo menos del 6% de gases, detrás de China, EE.UU y la Unión Europea[39]. En la India esperan que al final del 2015 la capacidad

instalada llegue a 25 [GW], de esta manera desplazarían a España al quinto lugar y se harán cargo de la cuarta posición en capacidad eólica. La energía eólica contribuía con alrededor del 67% de la capacidad de energías renovables en 2014, con un ritmo de crecimiento de 2,5 a 3 [GW] por año y esperan llegar a los 10 [GW] anuales[40].

El gobierno de la India quiere que en zonas de bajo potencial eólico se creen proyectos mediante la estimulación a los inversionistas, todo esto apunta a que la capacidad eólica del país aumente significativamente y lograr al 2030 los 83 [GW] bajo el escenario de la política actual donde puede llegar a superar 150 [GW] mediante políticas más ambiciosas. Una de las empresas que desempeña un papel importante con la tecnología eólica en India es la española Gamesa, ésta suministró a lo largo del 2014 cerca de 0,5 [GW], donde ya había instalado más de 1,440 [GW], representando el 30% de las ventas totales de la compañía[40]. Gamesa Instalará 50 turbinas eólicas (G97-2.0MW clase S), especialmente diseñadas para la India en donde además se encargan de los servicios de operación y mantenimiento para más de 2 [GW] también como promotor de parques la compañía ha desarrollado 1,435 [GW].[41] Se espera que la capacidad instalada se duplique al 2020 con más de 22,4[GW][42].

El Gobierno de India firmó un acuerdo para construir el primer parque eólico *offshore* del país frente a la costa de Gujarat. El proyecto de 100 [MW] sirve como modelo de una demostración para una posible expansión de la capacidad energía eólica marina[43].

Los vientos en la India están influenciados por el fuerte monzón<sup>3</sup> de verano al sur oeste que comienza en mayo-junio y un débil monzón nororiental, que comienza en octubre. En los últimos años ha aumentado el interés de muchas empresas

---

<sup>3</sup> Viento que sopla en el sureste de Asia. En invierno sopla de la tierra al mar y es seco y frío, mientras en verano del océano a la tierra, es cálido y húmedo además trae abundantes lluvias.

multinacionales que se han establecido en India para fabricar aerogeneradores y componentes a través de las empresas conjuntas bajo licencia, además del mercado local, los aerogeneradores y palas producidas son exportadas a EE.UU, Europa, Australia, China y Brasil, aprovechando la ventaja competitiva del menor costo de producción que supone India[44].

Figura 15. Aerogenerador G97-2.0MW clase S producido por Gamesa[45]



### 1.3 NORMATIVA AMBIENTAL INTERNACIONAL

Al hablar de energías renovables se hace indispensable hablar de dos pilares ambientales que contribuye con la disminución de las GEI<sup>4</sup> y que por acuerdo de los gobernantes de los países más desarrollados se emplean medidas con éste fin.

---

<sup>4</sup> GEI (gases de efecto invernadero): gases que se encuentran en la atmosfera, que con mayor concentración afectan las capas de ozono provocando un aumento en la temperatura.

**1.3.1 Protocolo de Kioto.** Debido al cambio climático que se viene presentando desde hace algunos años y a la preocupación mundial por éste mismo, en 1997 los principales países industrializados tomaron lugar en Kioto, Japón para reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que contribuyen con el calentamiento global: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre. La convención dio origen al protocolo de Kioto, que es un acuerdo internacional para 37 países responsables de los elevados niveles de emisiones de gas de efecto invernadero y que son el resultado de quemar combustibles fósiles durante más de 150 años y donde los gobernantes establecen políticas y leyes para cumplir con el compromiso del 5% de reducción de los gases a escala global entre 2008 y 2012[46].

El protocolo entró en vigor hasta el 2005 debido al retraso por parte de Rusia en su ratificación, sin embargo para ese mismo año Estados Unidos criticó la irresponsabilidad de China e India y decidió sustraerse de firmar por considerar el protocolo como ineficiente. Por otro lado China para 1997 y 2005 se consideraba como una nación en desarrollo, beneficiándose en su cuota de gases pues resultaba mucho menor. Hoy el gigante asiático se encuentra en la cima de la economía mundial produciendo toneladas de gases de efecto invernadero[47].

El acuerdo se dividió en dos periodos comprendidos de 2008 a 2012 y desde el final del primer periodo hasta el 2020. Desde la puesta en marcha del protocolo los gases han presentado una reducción del 22,6% con respecto a los de 1990[48]

**1.3.2 COP21.** Se celebró en París del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2015. Fue la 21ª conferencia sobre el cambio climático de las Naciones Unidas conformada por más de 190 países, con el objetivo de mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C y de vincular después de 20 años a todas las naciones del mundo[49].

Los dos países que más emiten emisiones de gases son China y EE.UU, éstos decidieron dar un nuevo rumbo a las cosas en el 2014 al tomar la decisión de limitar los gases de efecto invernadero. Por otro lado está Francia uno de los países desarrollados que genera el 90% de su electricidad a partir de fuentes hídricas, nucleares y eólicas. Dos semana antes de realizar la conferencia en París ocurrieron ataque terroristas que provocaron reforzar la seguridad con 30.000 agentes de policías y 285 controles de seguridad en todo el país hasta que la conferencia llegó a su fin[50][49].

El objetivo general es limitar el calentamiento global por debajo de los 2°C que viene pactado desde la COP17, sin embargo el compromiso actual no es lo suficientemente fuerte para garantizar el cumplimiento del mismo debido a que cada vez hay una brecha más grande entre los países y la ciencia. El 12 de Diciembre de 2015 los países participantes en la conferencia acordaron reducir las emisiones de GEI y hacer todo lo posible para lograr un calentamiento global por debajo de lo pactado, según el ministro francés Laurent Fabius es un acuerdo ambicioso y equilibrado[51].

## 2. COLOMBIA

Teniendo como punto de referencia los cinco países más relevantes a nivel mundial de la energía eólica y solar, se realiza la revisión detallada de los factores que determinan la penetración de las energías renovables en Colombia.

### 2.1 FACTORES POLÍTICOS

Colombia se ha caracterizado en materia de política energética por mantener una constante revisión de las estrategias para asegurar y mantener las condiciones de abastecimiento y disponibilidad energética. El Sector eléctrico Colombiano se reestructuró en expedición de las Leyes 142 y 143 de 1994. En esta reestructuración se establecieron límites a la integración vertical con la determinación de las cuatro actividades que determinan el sector eléctrico en Colombia: generación, transmisión, distribución y comercialización, se creó el Mercado Mayorista de Electricidad y se reorganizó el esquema institucional del sector[52].

**2.1.1 Entes reguladores.** El **Ministerio de Minas y Energía (MME)** es una oficina estatal que se encarga de dirigir la política nacional en cuanto a minería, hidrocarburos e infraestructura energética, la responsabilidad de ministerio es la de administrar los recursos naturales no renovables del país asegurando su mejor y mayor utilización; la orientación en el uso y regulación de los mismos, garantizando su abastecimiento y velando por la protección de los recursos naturales del medio ambiente con el fin de garantizar su conservación, restauración y el desarrollo sostenible[53].

La **Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)** está adscrita al MME, tiene como función realizar la planeación integral del sector minero energético mediante evaluaciones, diagnósticos de la oferta – demanda de los recursos y

elaboración de planes indicativos así como gestionar y administrar de forma integral la información de los sectores minero energético para apoyar la toma de decisiones de los agentes públicos y privados[54].

La **Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)** es una unidad administrativa adscrita al MME. Regula el suministro de los servicios públicos de energía eléctrica y gas. Además, debe promover la libre competencia y evitar el ejercicio del poder dominante en el suministro del servicio público de energía eléctrica y de gas natural[55].

### **2.1.2 Principales regulaciones en renovables no convencionales**

**Ley 697 de 2001** Pieza fundamental del marco legal y regulatorio del Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE), mediante la cual se promueve la utilización de energías alternativas, en el artículo 5 se decretó la creación del programa del uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE)[56].

**Ley 788 de 2002** Ley que exime durante quince años del impuesto a la renta a las ventas de energía eléctrica a partir de biomasa, viento y residuos agrícolas, si se obtienen los certificados de reducción de emisiones de carbono previstos en el Protocolo de Kioto[56].

**Ley 1715 de 2014**, además de incentivar el uso de las energías renovables no convencionales y de reducir impactos ambientales, generará también incentivos arancelarios, contables y tributarios que abrirán la importación de nuevas tecnologías al país. Asimismo, se espera crear un cambio en cómo se genera, transporta y distribuye la energía eléctrica en Colombia a través de la generación distribuida.

Esta ley lleva dos años esperando ser sancionada y busca cambiar la forma casi exclusiva en que se genera electricidad en Colombia (hidroeléctricas) con el fin de diversificar la generación eléctrica para tener un sistema más seguro. La abundancia del recurso hídrico ha hecho que Colombia explote principalmente este recurso trayendo consecuencias negativas principalmente a los pueblos aledaños a estas represas, como por ejemplo en el Embalse de la Muña que afectó a la población de Sibaté impidiéndoles volver a los ríos Aguas Claras y Muña. En un caso más reciente se presentaron inconvenientes con la comunidad en el llenado del embalse de la represa del Quimbo debido al impacto que podría causar ésta sobre la piscicultura de la región.

Pero estas no son las únicas desventajas de las fuentes de energía convencionales, las sequías pueden disminuir el tamaño de los embalses (como ha ocurrido en el pasado y actualmente) y afectar el suministro de energía, provocar el desplazamiento de la fauna y la sedimentación excesiva puede afectar la calidad del agua, la disminución de los caudales, el deterioro del paisaje, etc. A esto se suma el cambio climático cuyos impactos cada día se hacen más notables, el mayor desafío de esta Ley a corto y mediano plazo es el impulso y desarrollo de las fuentes no convencionales de energía con metas definidas en las políticas del Ministerio de Minas y en los Planes Energéticos Nacionales.

Algo importante de esta ley es que quién desee puede generar su propia energía eléctrica. La forma más común sería a través de paneles solares y si además genera más energía de la que consume podría inyectar energía a la red lo que es conocido como generación distribuida. Sin embargo, hoy en día las inversiones que se han hecho para desarrollar o importar este tipo de tecnologías son mínimas.

Como proyecto piloto el gobierno planea hacer una inversión inicial en las Islas de San Andrés y Providencia donde se piensa implementar un pequeño sistema de generación eléctrica a partir de No Convencionales de bajo costo[57].

Otro aspecto importante de la ley 1715 es la creación del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (Fenoge) cuyo fin es financiar y gestionar de manera eficiente proyectos de generación de energía eléctrica no convencionales con fondos públicos, privados y de carácter internacional.

Sin embargo, adoptar este tipo de nuevas medidas puede llevar a un fracaso. Un ejemplo de esto ocurrió en España donde irónicamente el éxito que tuvo la medida de autogeneración en los hogares españoles hizo que el gobierno tomara medidas para frenar la autogeneración pues las empresas públicas prestadoras del servicio estaban empezando a tener pérdidas.

Estos son algunos de los incentivos presentes en la ley 1715:

### **Impuesto sobre la renta**

Deducción en el impuesto sobre la renta como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y la utilización a través de FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía) y la gestión eficiente de la energía.

El beneficio consiste en el “derecho a reducir anualmente 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”, condicionado a:

- Que el valor a deducir no supere el 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión.

- Que el beneficio ambiental de la inversión haya sido certificado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Esta deducción podría aplicarse a partir de 2014 o 2015[58].

### **Exclusión de IVA**

“Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA”

Este beneficio está condicionado a dos circunstancias:

- Que la UPME expida una lista de qué equipos y servicios se utiliza para el propósito mencionado.
- Que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible certifique los equipos y servicios excluidos del IVA[58].

Si la UPME o el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible no cumplen con la función que les impuso la ley se puede exigir judicialmente su cumplimiento pues no puede desconocerse la ley por su falta de reglamentación.

### **Exención de aranceles**

Aplica para titulares de nuevas inversiones en proyectos de inversión de FNCE respecto a[58]:

- Maquinaria
- Equipo

- Materiales
- Insumos

Se exige que su uso sea exclusivamente para FNCE y que no exista producción nacional al respecto de estas tecnologías.

Estos incentivos tienen como finalidad atraer inversión nacional y extranjera y hacer que el país se atreva a incursionar en nuevas tecnologías. La ley sancionada busca también fomentar el aprovechamiento energético de la biomasa agrícola y forestal, los residuos sólidos que no sean susceptibles de reutilización y reciclaje, el recurso eólico en proyectos de generación en Zonas no Interconectadas (ZNI), y el potencial de la energía geotérmica y la energía solar.

Al respecto, el Ministerio de Minas y Energía propondrá soluciones híbridas que combinen fuentes locales de generación con generadores *diésel* que minimicen el tiempo de funcionamiento de estos últimos en las ZNI, asimismo se esperan campañas de información al consumidor donde se explique la importancia de la eficiencia energética, como de concientización de la importancia de las FNCE pues es finalmente éste quien decidirá si desea o no implementar este tipo de tecnologías en su hogar[59].

El BID Banco Interamericano de Desarrollo ha venido apoyando al país con el desarrollo de iniciativas para alcanzar la sostenibilidad energética, en los últimos tres años ha venido apoyando a Isagen y a la UPME en el desarrollo de la energía geotérmica y las FNCE, para el BID es importante que el país identifique claramente los costos y beneficios de esta implementación con el fin de evitar un impacto fiscal para el Estado[60].

Ahora, se requieren esfuerzos del gobierno nacional encabezado por el Ministerio de Minas y Energía en conjunto con la Unidad de Planeación Minero Energética y la Comisión de Regulación de Energía y Gas para reglamentar esta ley y

convertirla en una realidad auto sostenible y no en un problema más para la nación.

La ley concedió doce (12) meses al Gobierno nacional para expedir la reglamentación correspondiente, la entrega de excedentes de los autogeneradores, la respuesta de la demanda, la generación distribuida y los incentivos fiscales implican los grandes retos que pretende afrontar esta nueva Ley con el fin de poder diversificar la matriz energética del país[61].

### **2.1.3 Fondos especiales del Gobierno**

- **FAZNI** (Fondo de Apoyo Financiero para la energización de Zonas no Interconectadas), creado por la Ley 633 de 2000 cuyo objeto es financiar proyectos de generación de energía eléctrica no convencional, distribución eléctrica local e interconexión rural. El FAZNI financia hasta el 100% del costo total del proyecto, dependiendo de la disponibilidad de recursos del fondo. Esta financiación no incluye los planes de manejo ambiental, servidumbres ni predios[62].
- **FAER** (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de Zonas Rurales Interconectadas), creado por la Ley 788 de 2002. Su objetivo es aportar recursos para el desarrollo de proyectos que permitan la electrificación de Zonas rurales del Sistema Interconectado Nacional. Del costo total del proyecto a ser cofinanciado con recursos de este programa, mínimo el 10% deberá ser aportado por el municipio y/o la Empresa de Servicios Públicos[62].
- **FENOGE** (Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía), creado por el artículo 10 de la Ley 1715 de 2014 cuyo objetivo es financiar iniciativas de fuentes no convencionales de energía y su gestión eficiente, con recursos tanto públicos, como privados y de carácter internacional[57].

## 2.2 FACTORES ECONÓMICOS

La economía colombiana ha venido evolucionando en los últimos años presentando mejoras sustanciales, superando la fragilidad que se presentó en 1998 y 1999[63], además fue la única economía de Latinoamérica que superó su crecimiento promedio de 4,8% en 2010-2014 con relación a la década anterior con un promedio de 4,0% [64]. El producto interno bruto continúa en la senda de crecimiento que se inició desde el 2001 posesionando al país como la cuarta economía más grande de América Latina después de Brasil, México y Argentina y ubicándolo dentro de las 31 mayores economías del mundo[65]. Colombia aumentó entre 2010 y 2014, 1,6 veces su tasa de crecimiento promedio en relación a la de 1990-1999 que fue de 2,9%, presentando una economía fuerte y atractiva para las inversiones de las economías emergentes[64].

En la siguiente tabla se presenta el comportamiento de los principales indicadores de la economía en el periodo comprendido entre 2010 y el 2014.

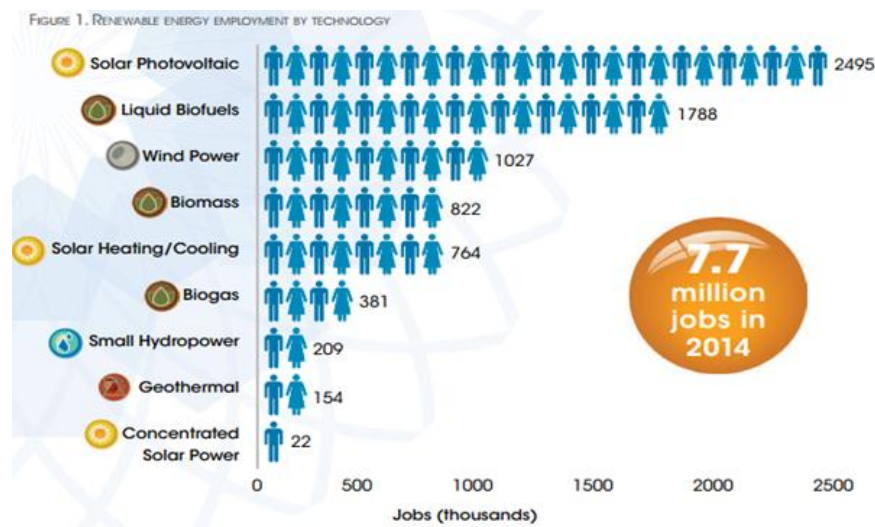
Tabla 1. Indicadores Económicos 2010-2014

<b>Indicadores</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
PIB(Miles de Millones COP\$)	424.599	452.578	470.880	494.124	516.619
Crecimiento PIB (%)	4,0	6,6	4,0	4,9	4,6
Tasa de desempleo (%)	11,8	10,8	10,4	9,6	9,1
Crecimiento de exportaciones (%)	1,3	11,8	6,0	5,3	-1,7
Crecimiento de las importaciones (%)	10,8	21,5	9,1	6,4	9,2
TRM promedio	1.913,98	1.942,70	1.768,23	1.926,83	2.392,46
Devaluación promedio (%)	-6,37	1,50	-8,98	8,97	24,71

De la tabla anterior se puede afirmar que el país ha presentado un buen crecimiento del PIB con decaimiento en la tasa de desempleo, permitiendo que los colombianos tengan más oportunidades de adquisición, sin embargo esta tasa de desempleo tiene en cuenta a las personas con trabajos informales que no reciben un salario constante ocasionando que los datos no sean tan reales.

Gracias al continuo crecimiento de la inversión en energías renovables se ha venido presentando un despliegue sin precedentes en los puestos de trabajos en el sector, provocando que los gobiernos de los diferentes países le apuesten a las energías renovables en lugar de los combustibles fósiles. El crecimiento en el sector ha desbordado todos los pronósticos y para 2015 alrededor de 7,7 millones de personas trabajaban en fuentes renovables en todo el mundo, un 18% más que el establecido para el 2014 con 6,5 millones de trabajadores[66].

Figura 16. Puestos de trabajo a nivel mundial por fuentes [66]



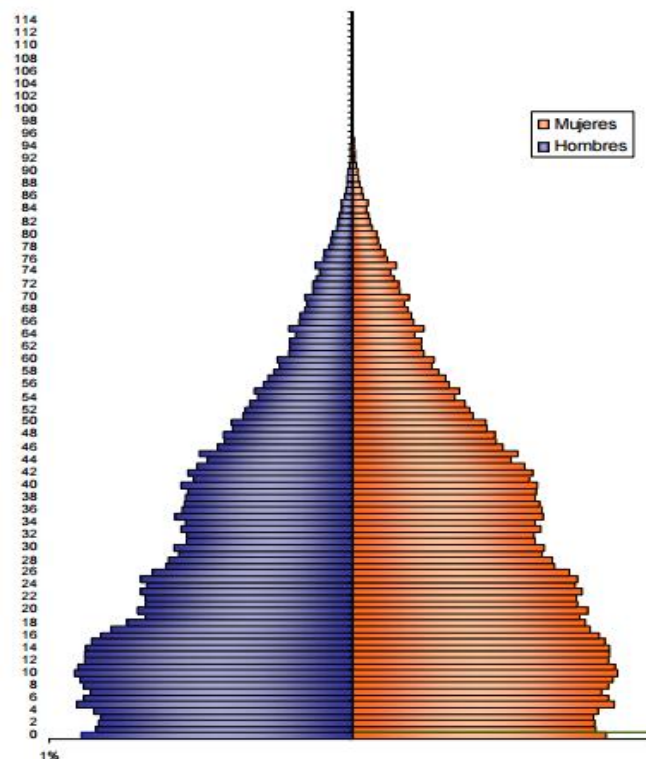
Como se puede verificar la fuente que más aporta empleos es la energía solar con alrededor de 2,5 millones. Colombia es uno de los 10 países líderes con respecto

al empleo de energías renovables, lo que contribuye a la economía del país[67][66].

### 2.3 FACTORES SOCIO-DEMOGRÁFICOS

La población en 2014 ascendió a 47'661.787 de los cuales el 50,62% son mujeres y el restante 49,38% hombres. La densidad poblacional es de 41 [hab./Km<sup>2</sup>]. El porcentaje de alfabetismo asciende al 91,6% y el Gobierno Nacional tiene como meta el 100% para 2018. La cobertura en educación básica es del 87,10%, educación secundaria 71,48% y el acceso a la educación superior es del 46,1% aunque cabe aclarar que el nivel de deserción en esta última es bastante alto[68]–[70].

Figura 17. Pirámide de población, por edades y sexo, Censo 2005[71]



El último censo realizado por el DANE confirma cierta tendencia acelerada de envejecimiento como ocurre generalmente en Europa. Entre 2005 y 2011 según cifras entregadas por el DANE la proporción de personas adultas, entre 15 y 59 años, pasó de 60,09% a 67,8%. La población adulta mayor pasó de un 8,9% a 10,05% para el mismo periodo[72].

## **2.4 ENTORNO TECNOLÓGICO**

China es el mayor productor mundial de paneles solares, ya que siete de los diez principales fabricantes son de origen chino y en la Unión Europea controlan cerca del 80% del mercado. La lista de los mayores fabricantes es encabezada por la china Yingli Green Energy con una producción equivalente a 1950 [MW] seguida de la estadounidense First Solar (1900[MW]). En total, la producción de módulos fotovoltaicos chinos suma aproximadamente el 64% a nivel mundial mientras en España en los dos últimos años se presentó el cierre del 90% de los fabricantes de módulos fotovoltaicos debido al “cerrojazo” legislativo de 2010[73].

Por otra parte la producción de aerogeneradores con una cuota del 11,6% del mercado es liderado por la empresa danesa Vestas, seguida de Siemens con el 9,5%. Destacan los fabricantes chinos que ubicaron a cuatro empresas en el Top 10. En cuanto a tendencias del mercado eólico el tamaño medio de la turbina eólica aumentó a 1958 [kW]. La cantidad de instalaciones a nivel mundial sigue creciendo con 13.740 [MW] en 2014, frente a 10.560 [MW] en 2013, un aumento del 30%[74].

## **2.5 FACTORES AMBIENTALES**

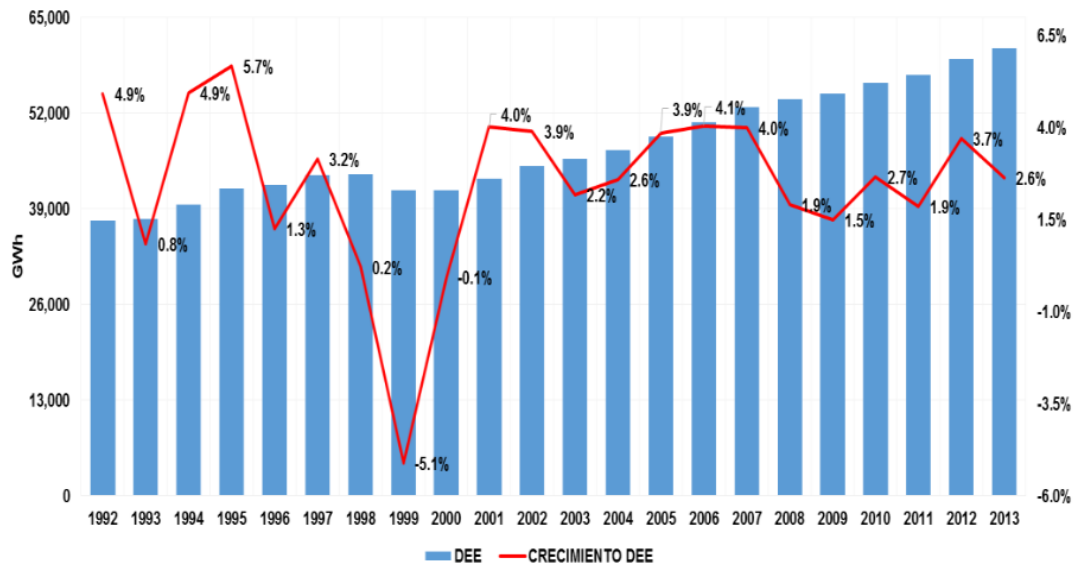
Cada vez toma mayor importancia la variable ambiental para los diferentes gobiernos debido a la creciente y general preocupación por el cambio climático en todo el mundo, la firma de tratados como el protocolo de Kioto y la COP21 buscan

frenar el impacto ambiental que ha tenido el hombre al explotar indiscriminadamente los recursos. Existe una mayor preocupación por los gases de efecto invernadero y las posibles consecuencias que pueda tener en todo el planeta. De esta forma, los impactos ambientales causados por el uso de fuentes fósiles y la creciente toma de conciencia hacia la industria de la energía han pautado el camino para que las energías renovables puedan desarrollarse y competir con otras formas de producir energía eléctrica.

## **2.6 SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO**

**2.6.1 Demanda.** En Colombia en el año 2014 la demanda de energía fue de 63.571 [GWh], con un crecimiento del 4,4% frente a 2013, que se constituye en el mayor crecimiento de demanda en los últimos 10 años[75]. El mercado de energía se inició el 20 de julio de 1995 con la puesta en funcionamiento de la Bolsa de Energía. Históricamente la demanda del sistema ha evolucionado en consonancia con el crecimiento económico del país como lo demuestra el crecimiento del PIB, su crecimiento ha sido constante a través de los últimos 20 o 30 años y sólo ha sido interrumpido por el fenómeno de El Niño. Este llevó en 1992 a un fuerte racionamiento en toda la nación debido a las fuertes sequías que causó la drástica disminución del nivel de los embalses que abastecían a las hidroeléctricas, donde se genera la mayor parte de la electricidad en el país. Sin embargo, el comportamiento reciente de la demanda de energía eléctrica y del PIB sugieren un desacople de dichas variables como consecuencia de un crecimiento económico soportado en sectores con un bajo consumo de energía eléctrica. El crecimiento anual ha presentado una tasa promedio de 2,5% para la demanda de potencia máxima en los últimos 10 años[76].

Figura 18. Demanda energía eléctrica y su evolución[76]



En la figura 18 se observa el crecimiento año a año de la demanda de energía eléctrica en Colombia junto a su tasa de crecimiento anual en rojo, se observan picos negativos en años donde el fenómeno de El Niño tuvo una incidencia negativa en el crecimiento anual.

La demanda puede dividirse entre usuario regulado y no regulado. Usuario no regulado es una persona natural o jurídica con una demanda máxima superior a 55[MWh/mes][77], sus compras de electricidad se realizan a precios acordados libremente entre el comprador y el vendedor, en 2014 el porcentaje de participación de los usuarios no regulados fue de 67%. Dividiendo la demanda por sectores, la industria manufacturera posee la mayor participación con un 45,5% como se observa en la tabla 2, sin embargo su porcentaje de crecimiento anual fue negativo (-0,7%) dado que la industria se ha enfocado en sectores donde no prima el uso de la electricidad, como la construcción; la explotación de minas y canteras le siguen a la industria con un 21% y se destaca por tener una tasa de crecimiento alta (14,6%). Otros sectores como servicios sociales, comunales y

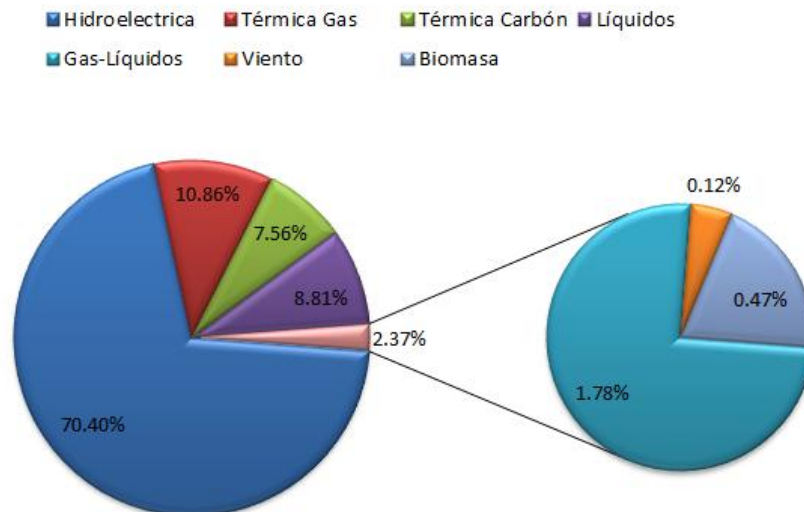
personales, comercio, reparación, restaurantes y hoteles, transporte, etc., tienen una menor participación[78].

Tabla 2. Demanda de energía tipos de mercados y actividades económicas[78]

	Demanda 2013 GWh	Demanda 2014 GWh	Crec.	Participación
Regulado	40.282	42.323	5,0%	67,0%
No Regulado	20.237	20.867	3,0%	33,0%
Industrias manufactureras	9.546	9.493	-0,7%	45,5%
Explotación de minas y canteras	3.828	4.386	14,6%	21,0%
Servicios sociales, comunales y personales	2.363	2.423	2,5%	11,6%
Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	1.704	1.733	1,6%	8,3%
Electricidad, gas de ciudad y agua	1.051	1.031	-1,9%	4,9%
Transporte, almacenamiento y comunicación	609	656	7,7%	3,1%
Agropecuario, silvicultura, caza y paca	532	546	2,6%	2,6%
Establecimientos financieros, seguros, inmuebles y servicios a las empresas	560	541	-3,5%	2,6%
Construcción	45	58	30,4%	0,3%

**2.6.2 Capacidad Instalada.** La capacidad efectiva neta -CEN- instalada en el SIN al finalizar 2014 fue 15.489 [MW]. Al comparar la capacidad con la registrada en 2014 se observa un crecimiento en 930 [MW], equivalentes al 6,4%. En la evolución histórica de participación de tecnología en la capacidad instalada prevalecen las plantas hidroeléctricas, la cuales han venido aumentando su participación con la entrada del proyecto Hidrosogamoso en diciembre de 2014, por otro lado la participación de las centrales térmicas a gas y carbón ha permanecido casi constante en los últimos 10 años y se espera un moderado aumento con la entrada de los proyectos Gecelca 3, Gecelca 3,2 y Termotasajero II[79].

Figura 19. Participación de capacidad instalada por tecnologías a Diciembre de 2014[80]

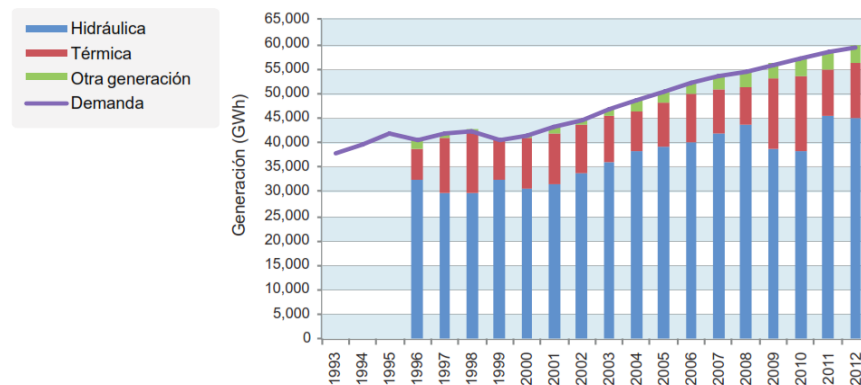


Los datos muestran que las centrales hidroeléctricas tienen una participación de 70,41% del total, y en segundo lugar se ubican las centrales térmicas (gas y carbón), las cuales alcanzan de manera agregada el 18,42%. Además a futuro tanto las fuentes hídricas como las térmicas presentan nuevas centrales, sin embargo la matriz de capacidad no presenta una disminución considerable en energía hídrica. Por departamentos, es Antioquía la que posee mayor concentración con 4738,7 [MW] equivalente al 30,5% de la capacidad total, seguida de la región Nordeste con 18.52%, en tercer lugar aparece la región Suroccidental con 18.29%, en cuarto lugar aparece la zona Caribe con 17.58% y por ultimo aparece la región Oriental con 14.94% de la capacidad instalada[80].

**2.6.3 Generación.** A diciembre 31 de 2014, la generación anual de energía eléctrica en Colombia fue de 64.327,9 GWh, 3,4% por encima de la registrada en 2013 para este mismo período (62.196,6 GWh). Este crecimiento está asociado principalmente con el aumento en la demanda del SIN. Históricamente, el país ha usado hidroeléctricas para producir energía eléctrica aprovechando la cantidad y

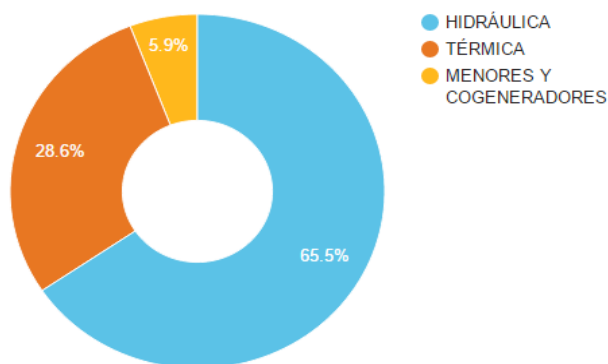
el caudal de nuestros ríos nacionales, en la figura 20 se observa el dominio de esta forma de generar electricidad con porcentajes mayores al 60% año a año, lo cual causó que en 1999 el fenómeno de El Niño alterara significativamente también la generación por parte de hidroeléctricas. En 2009 se repitió este fenómeno y esta vez el país sustituyó parte de la hidroelectricidad por termoeléctricas listas para operar en épocas de sequías[81].

Figura 20. Histórico de generación de EE [81]



La composición a diciembre de 2014 de la generación del SIN por fuentes fue la siguiente:

Figura 21. Generación de EE por tecnología [82]



La generación hidroeléctrica pasó de tener el 67,3% en 2013 al 65.5% en 2014 mientras la térmica aumentó del 27,1% al 28,6% en el mismo periodo. Poco a poco se ha venido utilizando más el carbón que el gas para producir energía eléctrica, es más, los proyectos de nuevas centrales termoeléctricas que entraran a operar en el país serán en su mayoría de carbón. El país posee el suficiente carbón para suplir esta demanda, el carbón que existe en el interior del país es ideal para uso en termoeléctricas mientras las reservas de gas en el país son pocas y se prevee que disminuyan drásticamente en los próximos años[83].

**2.6.4 Energías Renovables en Colombia.** La energía renovable es la que proviene de una fuente natural, son recursos limpios y casi inagotables como la luz del sol, el viento, la vegetación, el calor de la tierra y el agua[84][52].

Conforme la Agencia Internacional de Energía, las energías renovables se clasifican en seis grupos[52]:

- ✓ Energía solar(Térmica y fotovoltaica )
- ✓ Energía Hidráulica
- ✓ Energía Eólica
- ✓ Energía de los Océanos
- ✓ Energía de la Biomasa
- ✓ Energía Geotérmica

Las tecnologías hoy en día han evolucionado significativamente permitiendo obtener por medio de transformaciones al final del proceso energía en forma de electricidad, calor y combustibles a partir de las fuentes no convencionales de energía. Colombia debido a su industria y a su economía no desarrolla estas tecnologías, sin embargo en los últimos 30 años ha logrado obtener experiencia en la tecnología solar y en el aprovechamiento energético de la biomasa[52].

El presente proyecto sólo contempla las energías solar y eólica, a continuación explicaremos ambas en detalle:

## **Energía Eólica**

La energía eólica es la fuente con mayor difusión y crecimiento a nivel mundial en la última década, con una tasa de crecimiento del 21% en los últimos 5 años. Colombia cuenta con 19,5 [MW] conectados al SIN (capacidad que no ha aumentado desde el 2003). El recurso está disponible en ciertas regiones del país como: la Guajira, gran parte de la región Caribe, Santander y Norte de Santander, zonas específicas de Tolima, Risaralda, Valle del Cauca, Huila y Boyacá que cuentan con recursos aprovechables[85].

En el departamento de La Guajira los vientos presentan un buen potencial, ya que se concentran los mayores regímenes de vientos alisios durante todo el año, considerándola como de las mejores ubicaciones de sur América con velocidades del viento promedio de 9 [m/s] a 80 [m] de altura y con dirección prevalente este-oeste de los cuales se puede conseguir 18 [GW] de capacidad instalada. Si se suma el resto de la Costa Caribe que presenta velocidades un poco menores pero igualmente atractivas, la capacidad esta región alcanzaría los 20[GW]. Las demás zonas del país presentan los potenciales que se observan en la siguiente tabla[85].

Tabla 2. Potencial de energía eólica por regiones en Colombia

<b>Área</b>	<b>Potencial eólico [GW]</b>
Costa Norte	20
Santanderes	5
Boyacá	1
Risaralda-Tolima	1
Huila	2
Valle del Cauca	0,5

Debido al potencial que presenta Colombia, empresas nacionales y extranjeras cuentan con estaciones y proyectos de medición concentrados en la Costa Norte con miras a desarrollar la energía eólica. Sin embargo actualmente no existen proyectos debido a la falta de infraestructura para transportar la energía desde la Costa Norte al interior del país, a las comunidades que habitan la región y a la carencia de un marco normativo y regulatorio que haga viables este tipo de energía[85][52].

Uno de los beneficios que trae el uso de estas fuentes de energía es la reducción de los costos, además complementa la fuente hídrica de nuestro país ante los cambios del fenómeno de El Niño y beneficiaría a la región Caribe debido que presenta inestabilidad en el servicio eléctrico que depende en gran parte de la energía originada en el centro del país. Si a esto le sumamos la diversificación de la canasta eléctrica nacional y la disminución de los riesgos de racionamiento debido a la escasez del recurso hídrico que representa un 65,5%(2014) de la generación eléctrica del país, se puede considerar la generación eólica como una oportunidad clave en la que el gobierno debería centrar sus esfuerzos para obtener tanto beneficios ambientales como beneficios económicos y sociales[85].

### **Parque Eólico Jepírachi**

Jepírachi, que en “Wayuunaiki” significa vientos que vienen del nordeste, es el primer parque para la generación de energía eólica construido en Colombia [86]. Se encuentra ubicado en la costa Caribe en el nor-orienté de Colombia, departamento de la Guajira. En la década de los 80, el Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica (PESENCA) desarrolló actividades para evaluar el potencial de energías renovables en la Costa Caribe, se hicieron mediciones en el cabo de la vela, ubicado a 18 [km] al occidente del lugar actual de parque eólico y se consideró que este lugar ofrecía un régimen de velocidades de viento favorable para el desarrollo de un parque eólico[56].

En Julio de 1999 las Empresas Públicas de Medellín (EE.PP.M) decidieron emprender los estudios de viabilidad técnicos, económicos y ambientales del parque eólico en la Guajira para desarrollar nuevas tecnologías de generación en el país.

Figura 22. Ubicación del parque Jepírachi[56]



La construcción del parque eólico fue realizada entre los años 2002 y 2003, inaugurado oficialmente el 21 de diciembre de 2003 e iniciando operación plena en abril de 2004, se localiza en una zona semidesértica de clima cálido y seco con precipitaciones escasas y mal distribuidas cuyas temperaturas oscilan máximo entre 26 y 30 grados centígrados y mínimo entre 18 y 20 grados. Está influenciado por fuerte vientos alisios y velocidades de 9,5 [m/s], a 50 metros de altura que resultan más fuertes y frecuentes en el verano (enero a abril y junio a agosto). La construcción del parque no implicó desplazamiento de población y requirió una inversión aproximada de 27, 8 millones de dólares (2004) que EE.PP.M financio con recursos propios y endeudamiento con la banca colombiana[86].

Figura 23. Ubicación de aerogeneradores del parque Jepírachi[56]



Los aerogeneradores están distribuidos en dos filas de 8 y 7 respectivamente para un total de 15, separadas aproximadamente 1.000 metros. La distancia promedio entre los aerogeneradores es de 180 metros, pero por situaciones propias del lugar, se requirió variar la separación entre aerogeneradores y la dirección de la línea[86].

En la siguiente tabla se encuentran algunas características técnicas y económicas del parque.

Tabla 3. Características del parque eólico Jepírachi.

Potencia Nominal	19,5 [GW]
Numero de aerogeneradores	15
Potencia de cada aerogenerador	1,3 [MW]
Diámetro de aspas	60 [m]
Altura de la torre	60 [m]
Velocidad promedio del viento	9,5 [m/s] a 50 [m] de altura
Costo total inversión	27,8 millones de USD

El proyecto consideró los impactos sociales y culturales beneficiando a la comunidad Wayúu. Además el parque se ha convertido en un ícono para el país por su referencia con las nuevas tecnologías y los beneficios ambientales que han contribuido con las emisiones de gases que esperan evitar 1,17 [MtCO<sub>2</sub>] en un periodo de operación de 20 años[56].

## **Energía Solar**

Representa la segunda energía renovable de mayor penetración en el mundo, después de la eólica. En el 2013 esta energía superó por primera vez en crecimiento a la eólica con un crecimiento de 39 [GW] (frente a 35 [GW]). En el caso de Colombia el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 [kWh/m<sup>2</sup>/d], la cual está por encima del promedio mundial de 3,9[kWh/m<sup>2</sup>/d], y es superior a la de Alemania que tiene 3,0 [kWh/m<sup>2</sup>/d] siendo uno de los referentes a nivel mundial en energía solar, Colombia debido a que es un país que se encuentra ubicado en la zona ecuatorial presenta buenos recursos en todo el año[85].

Colombia tiene recursos que se comparan con los mejores del mundo como el desierto de Atacama en Chile, los estados de Arizona y Nuevo México en Estados Unidos en algunas zonas específicas de La Guajira, gran parte de la Costa Atlántica y en zonas específicas de Arauca, Casanare, Vichada y meta con irradiaciones que pueden alcanzar en promedio 6,0 [kWh/m<sup>2</sup>/d]. Asimismo la zona de la Costa pacífica tiene recursos por debajo del promedio pero por encima de los niveles anuales que percibe Alemania. En la siguiente tabla se observan las irradiaciones promedio de las diferentes zonas del país.

Tabla 4. Valores de irradiación promedio para las diferentes zonas del país[85]

<b>Región</b>	<b>Promedio de irradiación [kWh/m<sup>2</sup>/d]</b>
Guajira	6,0
Costa Atlántica	5,0
Orinoquía	4,5
Amazonía	4,2
Región Andina	4,5
Costa Pacífica	3,5

Para el año 2010 debían existir 9 [MWp] de capacidad instalada en mayor parte en sistemas de baja capacidad (< 10 [kWp]) y en los últimos años se han instalado sistemas con capacidades mayores a los 10 [kWp] en zonas industriales y comerciales. Una de las ventajas de adquirir esta tecnología son los precios decrecientes en sus módulos que han hecho a la tecnología más competitiva[85]. Desde la década de los 80 en Colombia se encuentran colectores solares para el calentamiento de agua en viviendas, hoteles y hospitales. Sin embargo resultan costosos debido a la instalación, al sistema de almacenamiento que requieren y al sistema de respaldo, brindándole la oportunidad al gas natural como sistema alternativo ya que resulta ser una solución más económica[85].

### **Proyectos de Energía solar**

La energía solar tuvo su primera aparición en el siglo pasado para aplicaciones térmicas, cuando en Santa Marta fueron instalados calentadores solares en las casa de los empleados de las bananeras, después hacia los sesenta en la Universidad Industrial de Santander se instalaron calentadores domésticos de origen Israelí para estudiar su comportamiento. Para 1973 instituciones universitarias y fundaciones como el centro de las Gaviotas sentaron las bases para instalar calentadores solares domésticos y grandes sistemas de

calentamiento de agua para uso en centro de servicios comunitarios como hospitales y cafeterías.

Hacia finales de los 80 en la Costa Atlántica se introdujeron los calentadores Solares y en Turipaná, Córdoba se realizaron pruebas y ensayos para determinar la eficiencia de estos sistemas, a partir de este momento se originan las normas sobre los calentadores solares.

Los calentadores tenían un precio de \$1000 dólares debido a su sistema, para ese entonces a pesar de ser una inversión inicialmente alta resultaba más económico emplear calentadores solares que eléctricos. Fue la introducción del gas natural (energético más económico) la que desplazo del mercado los calentadores solares hasta la actualidad.

Figura 24. Urbanización Ciudad Salitre 1065 (calentadores) instalados por el centro Las Gaviotas[56].



Figura 25. Urbanización Ciudad Tunal (4540 calentadores) instalados por el centro Las Gaviotas[56]



El centro Las Gaviotas ha instalado los sistemas solares con mayor capacidad en diversas aplicaciones. Diseñó para la empresa de Energía de Bogotá los calentadores solares para la cafetería de su sede en Bogotá y de los campamentos de la central Hidroeléctrica del Guavio. Se instalaron 31.000 colectores solares hasta el año 2009, en proyectos realizados entre 1979 y 1994, y 21.492 colectores en varios proyectos. La siguiente tabla muestra la eficiencia de los calentadores solares y eléctricos para 1985 y 2005 además de las emisiones de dióxido de carbono del sector energía eléctrica.

Figura 26. Eficiencia de calentadores y emisiones[56]

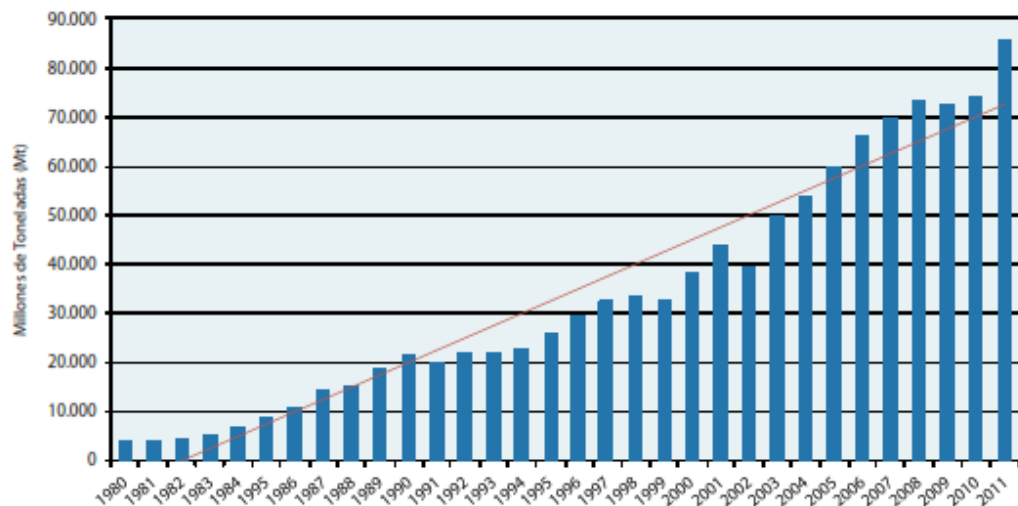
Item	Magnitud
Eficiencia del Calentador Solar	40%
Eficiencia del Calentador Eléctrico	80%
Pérdidas de transmisión	15%
Coefficiente de emisiones	0,375 [t CO <sub>2</sub> /MWh] ]

## 2.7 RESERVAS DE LOS PRINCIPALES ENERGÉTICOS PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

**2.7.1 Carbón.** Actualmente Colombia lidera la producción y las reservas probadas de carbón en Latinoamérica y es el 4° mayor exportador de este mineral a nivel mundial[87]. Colombia cuenta con recursos de carbón de excelente calidad, las reservas medidas son de 6.508 [Mt] donde la mayor parte se encuentra en la Guajira, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Boyacá y Norte de Santander. En todo el territorio nacional se encuentran distintos tipos de carbón, en la cordillera oriental y central, carbón bituminoso para uso térmico. Se espera que las reservas duren al menos 79 años más[87].

Como se muestra en la figura 27 la producción nacional de carbón ha tenido un crecimiento constante en los últimos 30 años.

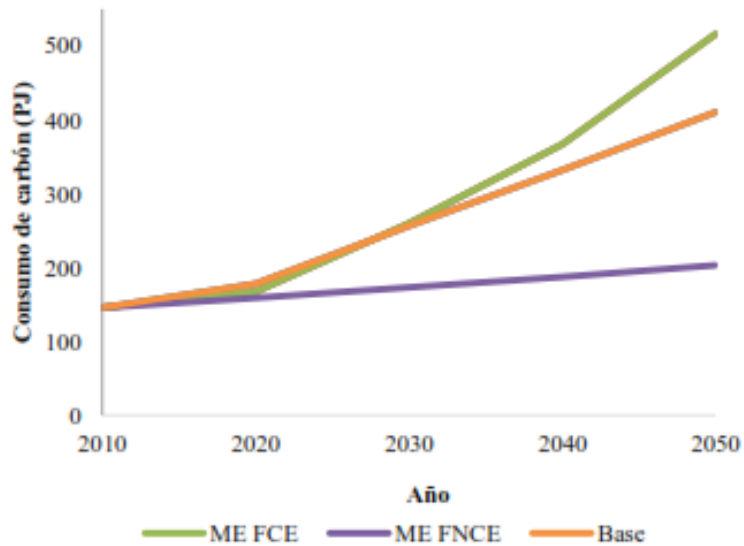
Figura 27. Producción nacional de carbón entre 1980 y 2011[88]



## Perspectivas de la minería del carbón

La UPME en su ideario energético 2050 plantea 3 tipos de escenarios: alto (ME FCE)<sup>5</sup>, medio (base) y bajo (ME FNCE)<sup>6</sup>, en la figura 28 se presenta cada escenario planteado:

Figura 28. Prospectiva del consumo de carbón en Colombia a 2050[89]



El escenario base parte del supuesto que la demanda energética será satisfecha por fuentes convencionales y por fuentes renovables de energía. Para el mundo eléctrico se tienen dos escenarios, uso de fuentes convencionales de energía (ME FCE) donde se fomenta el uso de carbón y gas para producir energía eléctrica y el uso de fuentes no convencionales (ME FNCE) donde se usarán cada vez menos.

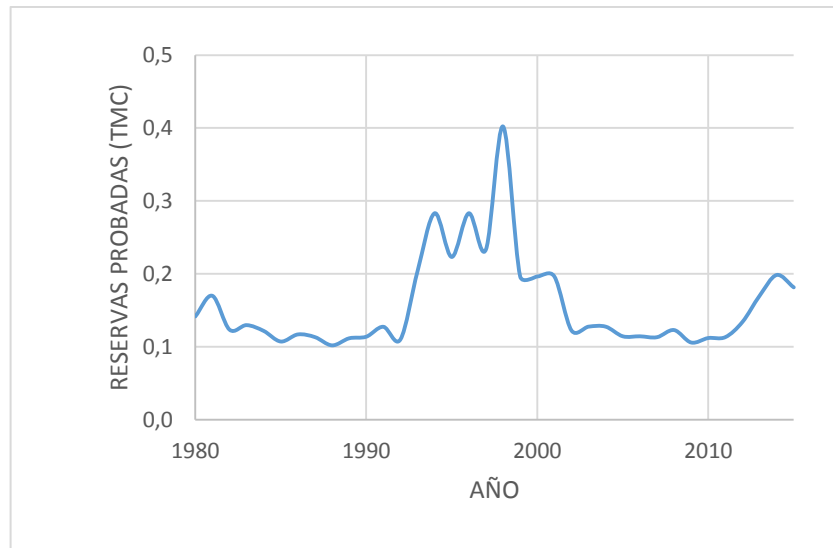
**2.7.2 Gas Natural.** En los últimos 20 años el crecimiento de la demanda del sector de gas natural en Colombia ha sido alto. Se ha logrado llevar el gas a lugares muy

<sup>5</sup> ME FCE: Mundo Eléctrico uso de Fuentes Convencionales de Energía.

<sup>6</sup> ME FNCE: Mundo Eléctrico uso de Fuentes No Convencionales de Energía.

alejados de los campos de producción como el Valle del Cauca y Norte de Santander; incrementando así la participación de este recurso en la matriz energética nacional. Actualmente en Colombia el gas natural es la tercera fuente de energía más importante después del petróleo y la electricidad; representa el 20,5% del consumo neto de energía primaria y secundaria del país. La producción de gas natural en el país se encuentra altamente concentrada, el 85% de la oferta nacional proviene de los campos de Ballenas y Chuchupa en la Guajira y Cusiana y Cupiagua en el Casanare [83].

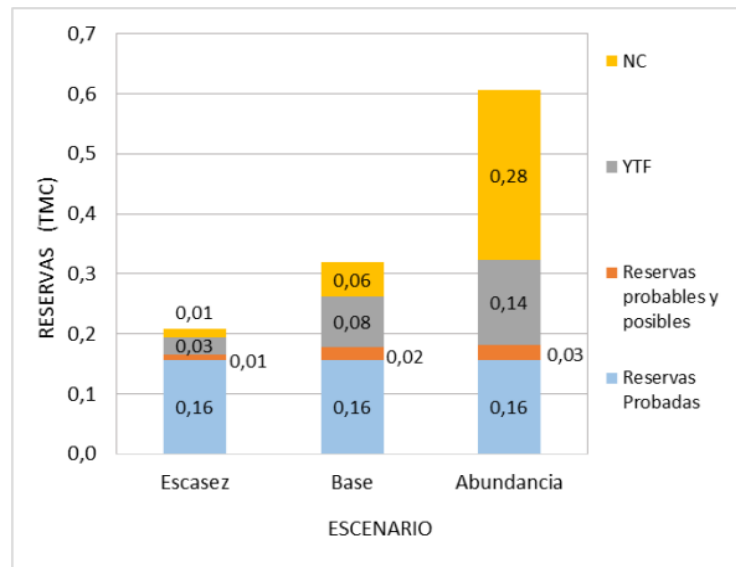
Figura 29. Comportamiento histórico de las reservas probadas de gas natural[90]



Colombia cuenta con un índice de relación reservas producción de 12,8 años; lo cual posiciona al país como el cuarto en Latinoamérica con mayor nivel R/P; después de Venezuela, Perú y Brasil. Sin embargo, este valor de R/P es muy pequeño y conlleva a que el país deba implementar nuevos proyectos de exploración con el fin de incrementar sus reservas probadas y así asegurar un autoabastecimiento de gas natural por muchos años más[91].

En el Plan Energético Nacional de Colombia la UPME se contemplan 3 escenarios principales de incorporación de reservas, los cuales se representan en la figura 30:

Figura 30. Escenarios de incorporación de reservas de gas natural (2012-2030)[89]

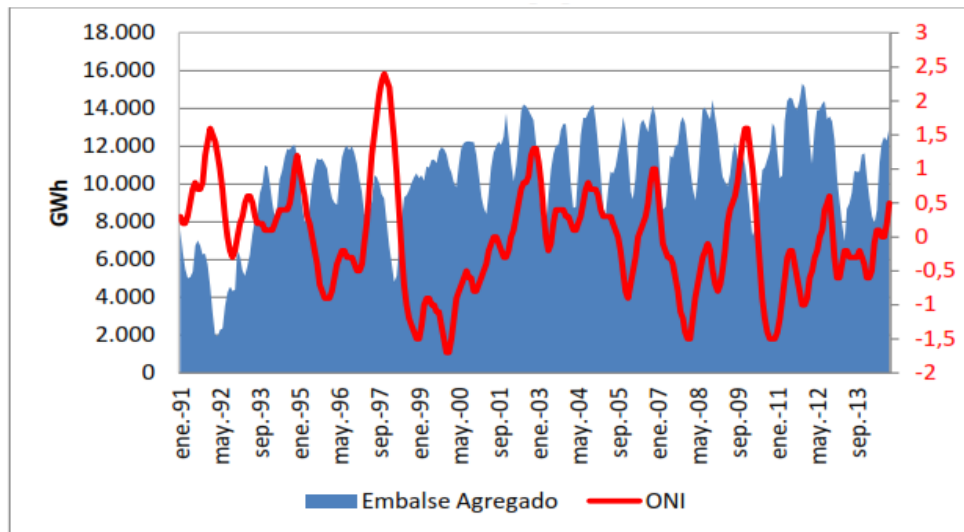


**2.7.3 Recurso hídrico.** Los aspectos que determinan la disponibilidad del recurso hídrico en el país son: su ubicación geográfica, orografía e interacción con la zona de confluencia intertropical (ZCIT) que determinan los regímenes anuales de lluvias en cada región, lo cual, en condiciones normales, garantiza el continuo abastecimiento del recurso para la generación hidroeléctrica.

Sin embargo esta posición geográfica también hace que el país esté expuesto a fenómenos climáticos como El Niño, en la figura 31 se presenta la variación en los últimos 20 años del embalse agregado junto a la variación del índice ONI<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> El Índice Oceánico de El Niño (ONI) es calculado como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías en la temperatura de la superficie del mar.

Figura 31. Embalse agregado en relación al ONI[89]



Se infiere que ante un aumento del ONI, el embalse agregado disminuye, y para valores negativos del ONI (La Niña), el embalse agregado se incrementa. Estos fenómenos alteran de manera significativa el nivel de los embalses y el caudal de los ríos asociados a estos así como su volumen y no es posible predecir su ocurrencia con base en históricos. Las perspectivas de este recurso parecen no ser muy alentadoras. Según el Banco Mundial, el 97% de latinoamericanos que viven en las ciudades cuentan con una fuente confiable de agua pero se estima que en 2030 habrá un déficit del 40% y aunque en la región Colombia es de los que más posee este recurso puede llegar a verse afectada a futuro pues lluvias cada vez más fuertes y sequías más prolongadas amenazan la capacidad de ecosistema para almacenar suficientes recursos hídricos[92].

## 2.8 CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

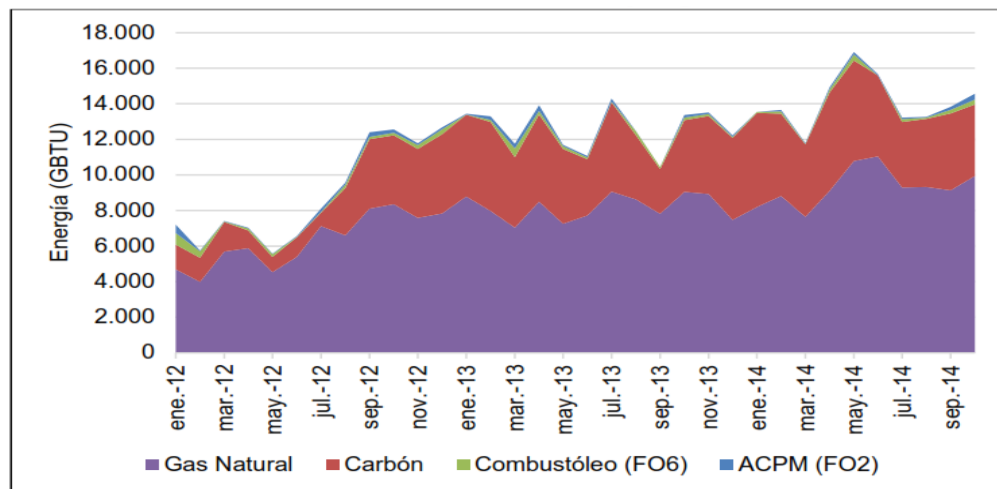
El consumo de energía equivalente en GBTU para la generación térmica se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Consumo de combustibles en el SIN[93].

Combustible	2011 (GBTU)	2012 (GBTU)	2013 (GBTU)	2014* (GBTU)	Participación en 2013	Participación en 2014
Gas	71,359.40	75,576.40	98,224.60	93,286.74	64.81%	65.97%
Carbón	16,748.90	26,894.90	50,017.30	45,593.74	33.00%	32.24%
Diesel	38.3	1,635.80	1,547.90	1,099.79	1.02%	0.78%
Combustóleo	1,589.00	2,326.00	1,757.80	1,433.94	1.16%	1.01%
<b>TOTAL</b>	<b>89,735.60</b>	<b>104,797.30</b>	<b>151,547.60</b>	<b>141,414.21</b>	<b>100.00%</b>	<b>0.00%</b>

Donde el consumo de gas presentó un aumento del 30% por un 86% del carbón. Este hecho es consecuente con los bajos aportes hídricos ocurridos en esos años llevando a una mayor participación térmica en la generación.

Figura 32. Consumo histórico de combustibles para generación eléctrica[93].



### 3. PROSPECTIVA ENERGÉTICA

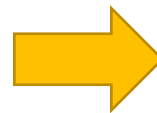
Para realizar la prospectiva energética de las energías renovables en Colombia se siguió el método de escenarios que consta de tres pasos principales:

1. **Análisis estructural:** Donde se analiza la situación actual del sistema y su entorno. Incluye su delimitación, análisis de motricidad y dependencia de las variables clave.
2. **Análisis del juego de actores:** Actores principales que determinan cada una de las variables clave del sistema.
3. **Elaboración de escenarios:** Identificación de los diferentes futuros posibles y jerarquización de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia.

#### 3.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Lo primero que se hace es elaborar una lista completa de las variables que influyen sobre el sistema que para este caso es la **generación de energía eléctrica con renovables**, para poder obtener una visión global del mismo, en la realización de la prospectiva las variables fueron las siguientes:

- Estocasticidad de la hidrología (E hidro)
- Estocasticidad del viento (E viento)
- Estocasticidad de la radiación (E rad)
- Precios internacionales del petróleo (\$petróleo): fluctuación en los precios del petróleo.
- Ley 1715 de 2014 (Ley 1715): estímulos para la inclusión de las energías renovables.
- Evolución eficiencia energética (E efic ene): Mejoras en las tecnologías o inclusión de nuevas centrales energéticas.
- Firma del tratado de paz (Trat paz)



Se refiere a cómo varía el clima de manera impredecible.

- Reservas nacionales de carbón (Res carbón): cambios en las reservas.
- Emisiones de CO2 (ECO2)
- Temperatura (Temperatur): alteración a la que está sometida el planeta en °C.
- Población (Pobl): cantidad de población que hay en el presente y en el futuro.
- Producto Interno Bruto (PIB): variación de éste indicador económico.
- Costo paneles fotovoltaicos (\$ PV)
- Costo aerogeneradores (\$ aerogen)
- Precio del dólar (\$ dólar)
- Normatividad internacional ambiental (Norm I Amb): cómo puede influir en el país las decisiones que se tomen a nivel mundial.
- Legislación energética colombiana (Leg energ): legislación que permita una fuerte inclusión en las energías renovables para diversificar la matriz energética y la disminución de las emisiones de GEI.
- Nivel socio- cultural (Niv soc cu): concientización de la población en el cuidado del medio ambiente.
- Geografía nacional (Geog nal): alteraciones que se presentarían debido a la instalación de las energías renovables.



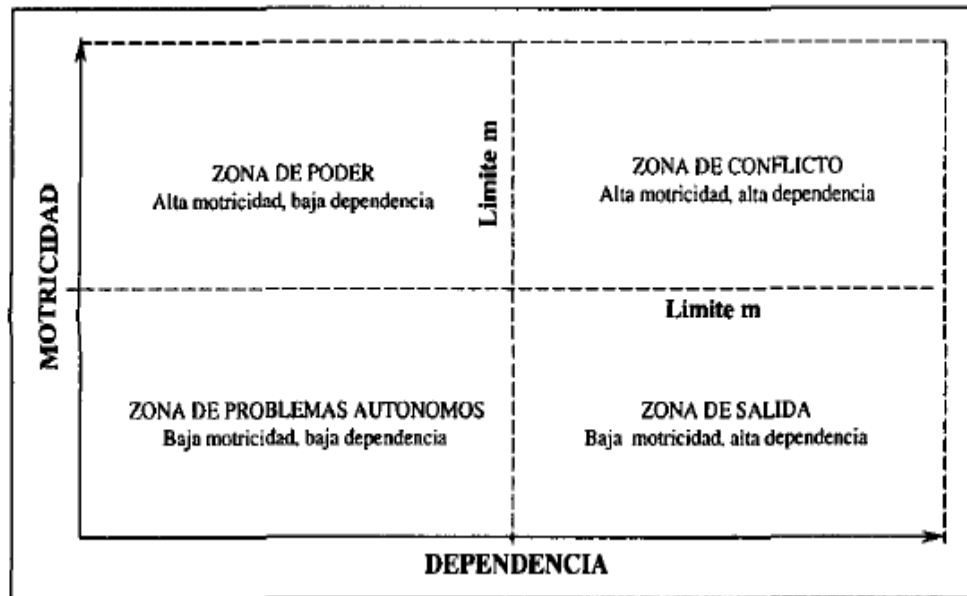
Costo de instalación de las tecnologías eólica y solar.

Posteriormente se realizó un análisis de motricidad y dependencia para analizar los efectos directos e indirectos entre las variables y conocer las variables de mayor impacto sobre el sistema, para realizar este análisis se usó el método MICMAC.

**3.1.1 MicMac.** MICMAC es un método que permite analizar de manera cualitativa las relaciones entre las variables que componen un sistema dentro de una empresa, organización, sociedad, país, etc. Su acrónimo viene de las palabras: Matriz de Impactos Cruzados-Multiplicación Aplicada a una Clasificación[94]. El propósito es identificar las variables claves, que son las más influyentes y más dependientes mediante las relaciones directas, indirectas y potenciales. Luego, en

un plano cartesiano en donde el eje Y corresponde a la motricidad (influencia) y el eje X corresponde a la dependencia se ubicaran cada una de las variables según sus porcentajes en cada uno de los ejes. El plano se divide en 4 zonas como se puede ver en la figura 33[95].

Figura 33. Plano de motricidad y dependencia[95]



**Zona de poder:** las variables en esta zona son las más importantes porque influyen sobre la mayoría y dependen poco de ellas, razón por la cual son fuertes y poco vulnerables. Si se modifican, se modifica el sistema[95].

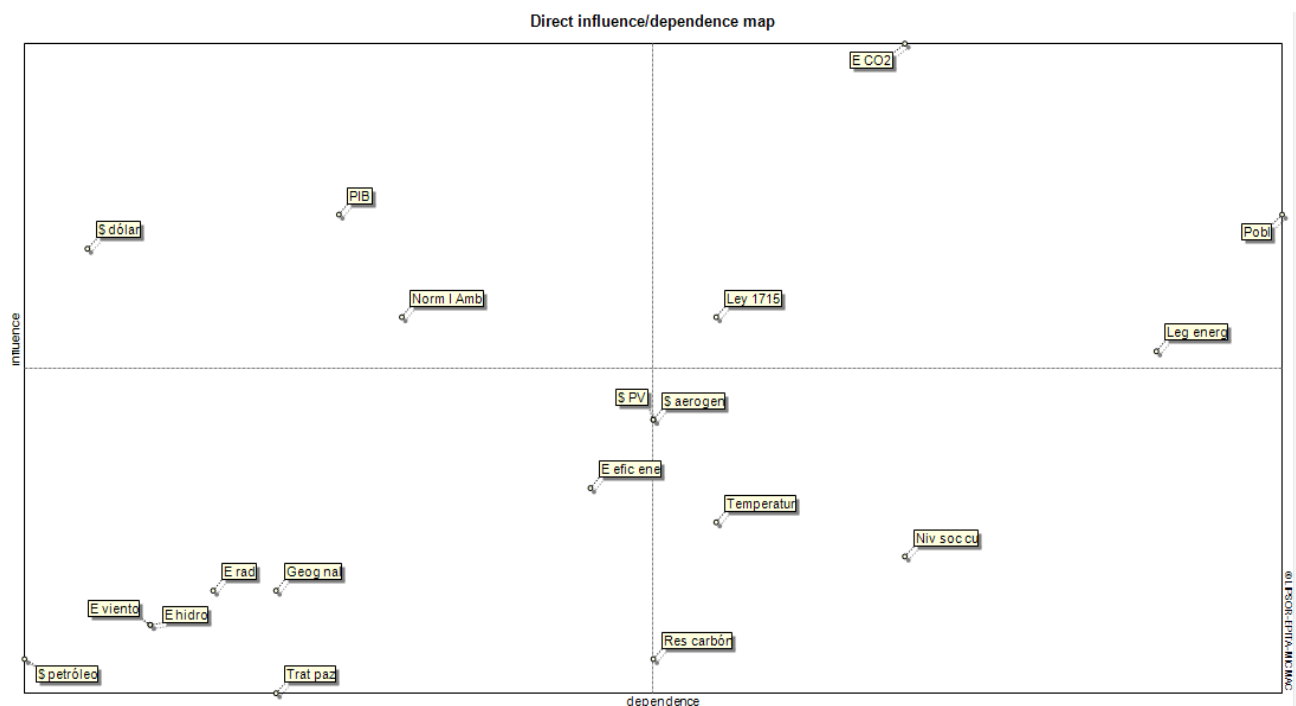
**Zona de conflicto:** estas variables influyen sobre las demás pero también son influidas por ellas. Si se modifican, se altera esta zona y la zona de salida[95].

**Zona de problemas autónomos:** estas variables no influyen significativamente sobre el sistema[95].

**Zona de salida:** agrupa a las variables de baja motricidad pero alta dependencia[95].

Para aplicar MICMAC a las variables de estudio se utilizó un software que lleva el mismo nombre, la matriz de influencias directa fue la siguiente (ver anexo D):

Figura 34. Matriz de influencias directas



Así, las variables más importantes que se obtuvieron en el software para la incorporación de las energías renovables en el país fueron:

- En la zona de poder quedaron ubicadas el precio del dólar, el PIB y la Normativa Internacional Ambiental.
- En la zona de conflicto quedaron las emisiones de CO<sub>2</sub>, la población, la legislación energética y la Ley 1715.

Estas variables se constituyen como las de mayor impacto para nuestro sistema y servirán de base para crear las hipótesis que nos lleven a la creación de escenarios. Las variables consideradas por la UPME son: temperatura, población y PIB que difieren del sistema de generación de energía eléctrica mencionado anteriormente.

### **3.2 ANÁLISIS DEL JUEGO DE ACTORES**

En este apartado se destacan los actores que determinan cada una de las variables principales del sistema. El precio del dólar es determinado por el mercado de valores; el PIB está determinado por todos los productos y servicios consumidos por un país en un determinado periodo y la normativa internacional ambiental la definen los países líderes a nivel mundial con el compromiso de mitigar los efectos del cambio climático como sucedió hace poco con la Conferencia del Cambio Climático en París (COP21). El sector transporte es el actor principal causante de las emisiones de CO<sub>2</sub>, seguido del sector residencial, industrial y comercial; la legislación energética colombiana y la Ley 1715 están determinadas por el poder legislativo en Colombia, sin embargo en estas dos últimas hay varios actores importantes que intervienen tales como El Ministerio de Minas y Energía a través de la UPME y la CREG.

### **3.3 ELABORACIÓN DE ESCENARIOS**

La evaluación de sistemas energéticos de largo plazo suele realizarse mediante la construcción de escenarios, al diseñar escenarios se crean imágenes del futuro, es decir futuros alternativos. **Los escenarios no son predicciones ni proyecciones.** En vez, cada escenario refleja una imagen alternativa de cómo puede desenvolverse el futuro. Cada uno de estos escenarios se basa en un conjunto de supuestos acerca de las relaciones claves. Estos no son predicciones

y no deberían tomarse como tal, más bien indican qué podría lograrse al seguir estrategias técnicas particulares.

A partir de las variables escogidas por el método anterior se crearon dos escenarios alternativos al escenario Tendencial de la UPME donde se encuentran plasmadas las hipótesis que los conforman, estos son:

- Escenario Tendencial (UPME)
- Escenario Verde
- Escenario Seguridad Energética

**3.3.1 Escenario Tendencial (UPME).** Escenario base de la UPME que supone demanda de energéticos con tasas de crecimiento similares a las de los últimos años, de acuerdo a esto se esperaría que la canasta energética a 2050 mantenga una estructura de participación similar a la actual.

### **Supuestos**

- a. Crecimiento anual de la economía del 4,6% constante desde 2014 hasta 2030, y de 3,5% de 2031 a 2050 de acuerdo a las perspectivas del Ministerio de Hacienda y Crédito Público.
- b. Proyección de la población del DANE hasta 2020, con tasa de crecimiento constante hasta 2050 del último año.
- c. Crecimiento de la demanda de energía eléctrica a una tasa del 2% promedio anual, con base en los informes publicados por la Unidad.
- d. Crecimiento del gas natural a una tasa de 2.98% promedio anual para los sectores de consumo final y 2,6% para los procesos de transformación, con base en los informes publicados por la Unidad.

- e. Crecimiento del consumo de energéticos por sector de acuerdo a las tendencias de los años recientes (datos BEN) y de acuerdo a las perspectivas de crecimiento económico.
- f. Estructura de los usos de energía y eficiencias en la industria y en el transporte, de acuerdo a estudios de la Unidad.
- g. Disminución del uso de leña, especialmente en el sector residencial rural, en beneficio del uso del gas natural, GLP y la electricidad.
- h. Ampliación de la cobertura de los servicios de gas natural y electricidad.
- i. Crecimiento de la demanda de energía en el transporte en función del crecimiento del parque automotor y de los viajes realizados en los principales centros urbanos del país.
- j. Penetración del gas natural como energético para el segmento de transporte de carga, de acuerdo con las perspectivas del gremio de distribuidores de gas natural.

**3.3.2 Escenario Verde.** Escenario que parte del aprovechamiento del potencial de las energías renovables eólica y solar presentes en el país, principalmente en el departamento de la Guajira (potencial estimado de 20 [GW] en eólica) aunado a políticas energéticas que promuevan y estimulen su uso. Se plantea que la UPME ha sido muy conservadora al estimar la incorporación de las energías eólica y solar en sus escenarios, esto se puede afirmar con base en otros países a nivel mundial en dónde políticas nacionales de apoyo a las renovables generaron grandes cambios en la matriz energética en cortos periodos de tiempo sumado a la necesidad del país de diversificar su canasta de generación eléctrica totalmente dependiente de la hídrica para poder tener un sistema de generación más robusto.

### **Supuestos**

- a. Incremento en las eficiencias de los motores eléctricos.

- b. Mayor participación de la electricidad en los diferentes sectores energéticos tales como en la cocción de alimentos, refrigeración, agua caliente, transporte, etc.
- c. Supuestos económicos iguales al escenario tendencial.
- d. Supuestos poblacionales iguales al tendencial.
- e. Aumento de la cobertura eléctrica en los sectores residenciales urbanos y rurales.
- f. Políticas de apoyo a las FNCE.
- g. Aumento de la temperatura que obligará a buscar nuevas formas de generación de energía eléctrica.
- h. Uso moderado del carbón para la generación eléctrica aprovechando el recurso propio en detrimento de la hidroelectricidad debido a cambios climáticos fuertes.
- i. Mayor expansión del parque automotor eléctrico.
- j. Cambios climáticos fuertes.
- k. Bajos precios de los paneles fotovoltaicos.

**3.3.3 Escenario Seguridad Energética.** Escenario que se basa en el uso de los recursos propios para garantizar autoabastecimiento, la idea es diversificar la canasta energética utilizando recursos que abundan en el país como el carbón a través de termoeléctricas que en el futuro puedan utilizar tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS por sus siglas en inglés)<sup>8</sup>, actualmente hay algunos proyectos en centrales térmicas alrededor del mundo que están probando esta tecnología. Las eficiencias en los diferentes sectores van a presentar moderadas alzas y debido al mayor uso del carbón en el país, el sector minero continuará creciendo hasta 2050.

---

<sup>8</sup> La captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC) es una de las técnicas que podrían utilizarse para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> provocadas por las actividades humanas. Esta técnica podría aplicarse para aquellas emisiones que provengan de grandes centrales eléctricas o plantas industriales.

## Supuestos

- a. Supuestos económicos iguales al escenario tendencial.
- b. Supuestos poblacionales iguales al escenario tendencial.
- c. Mayor uso del carbón en centrales termoeléctricas.
- d. Uso de tecnologías de captura CCS que disminuyan el impacto causado por el uso del carbón.
- e. Participación eléctrica en sectores como cocción de alimentos, agua caliente y refrigeración con valores cercanos al escenario tendencial.
- f. Menor apoyo a las FNCE como consecuencia del uso del carbón en la generación eléctrica
- g. Crecimiento del sector minero en el país.
- h. Aumento de la temperatura que requiera diversificar la canasta energética.
- i. Disminución del recurso hídrico así como de su caudal.

### 3.4 LEAP (RESULTADOS)

El Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo LEAP (*Long Energy Planning System*), es una herramienta que permite modelar escenarios energéticos y ambientales. A diferencia de otros modelos macro-económicos LEAP no intenta calcular el impacto de políticas energéticas sobre el desempleo o el PIB aunque esos modelos se pueden correr en forma conjunta con este programa. Sus usos son muy variados: como base de datos, para almacenar una completa información energética; como herramienta de proyección energética, permite realizar proyecciones de oferta y demanda a lo largo de un periodo determinado; como herramienta de proyección de políticas, son simulados los efectos de programas, inversiones y acciones en materia energética[96].

Su sistema basado en la construcción de escenarios facilita la realización de cálculos de oferta y demanda energética donde se definen variables clave que son el punto de partida para la realización del modelo energético deseado.

A nivel mundial, el software LEAP ha sido usado en la conformación de la energía y políticas ambientales:

- En China ha sido utilizado para saber cómo podría alcanzar sus objetivos de desarrollo a la vez que reducir la intensidad en emisiones de carbono.
- En los EE.UU se utiliza para analizar las normas de economía de combustibles y el impacto de políticas que fomenten el uso de vehículos y combustibles limpios.
- En Colombia fue utilizado por la Unidad de Planeación Minero Energética para ayudar a desarrollar sus planes nacionales de energía.

Se usó el *software* LEAP para simular cada uno de los escenarios, se utilizó como base una data proporcionada al semillero a través de la UPME. Se procedió a validar y actualizar esta información para posteriormente crear cada uno de los escenarios con base en todos los supuestos y las consideraciones tomadas a lo largo del periodo de recolección de la información. Todo lo concerniente a participación energética y eléctrica fue proyectado de acuerdo a la información recopilada durante el proyecto y a los supuestos basados en las investigaciones realizadas en cada área.

**3.4.1 Demanda de Energéticos.** La proyección de demanda de energía total se realiza por sectores de consumo final: residencial, comercial, industrial, transporte, minero, construcción, agrícola y consumo propio.

Figura 35. Evolución de la demanda de energética por sectores. Escenario tendencial [TJ]

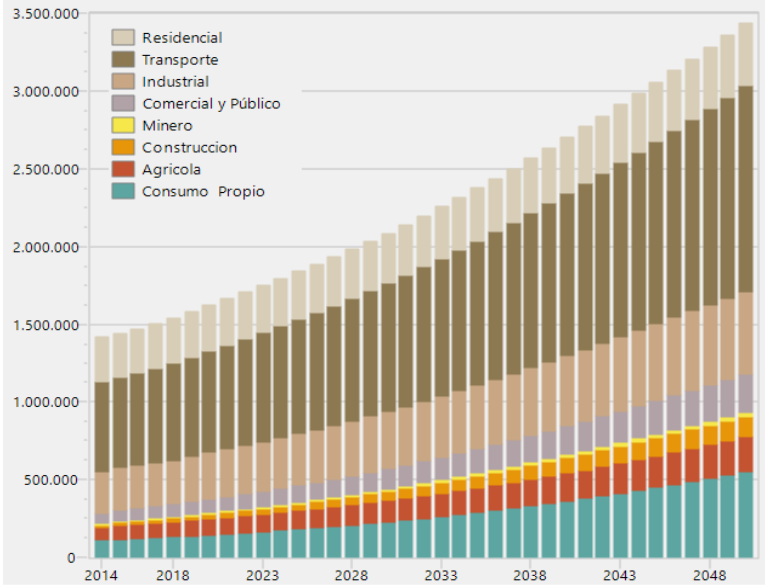


Figura 36. Evolución de la demanda de energética por sectores. Escenario seguridad [TJ]

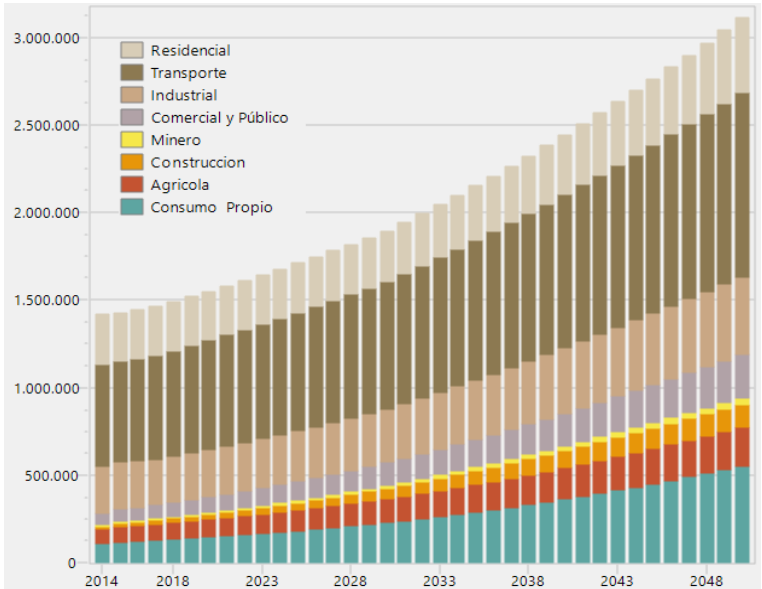


Figura 37. Evolución de la demanda de energética por sectores. Escenario verde [TJ]

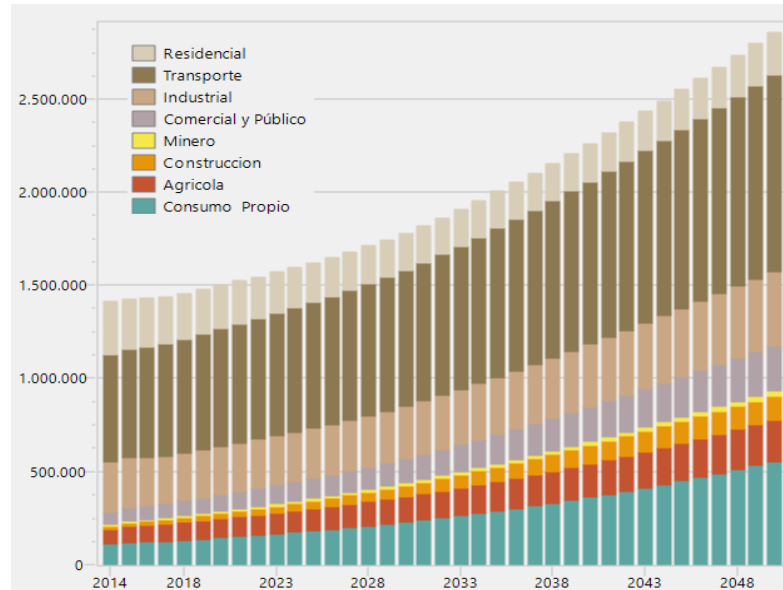
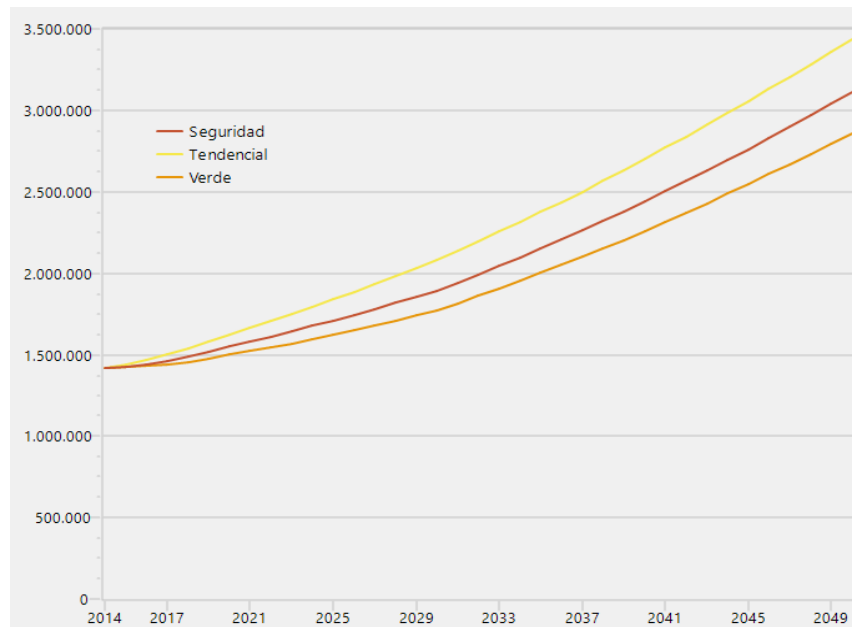


Figura 38. Demanda total – Comparación escenarios [TJ]



Con el planteamiento de la mejora en las eficiencias en los escenarios seguridad y verde, la demanda de energéticos en el escenario tendencial es mayor a éstos. Por sectores, el sector de mayor demanda actualmente es el sector transporte con un 40,9%, en el escenario tendencial alcanzaría un 38%, verde 36,9% y seguridad 33,8%. Los sectores que siguen son el sector industrial y residencial que presentan valores iniciales de 18,7% y 20,3% respectivamente y en todos los escenarios crecen de manera constante.

Figura 39. Evolución de la demanda por energéticos – Escenario tendencial [TJ]

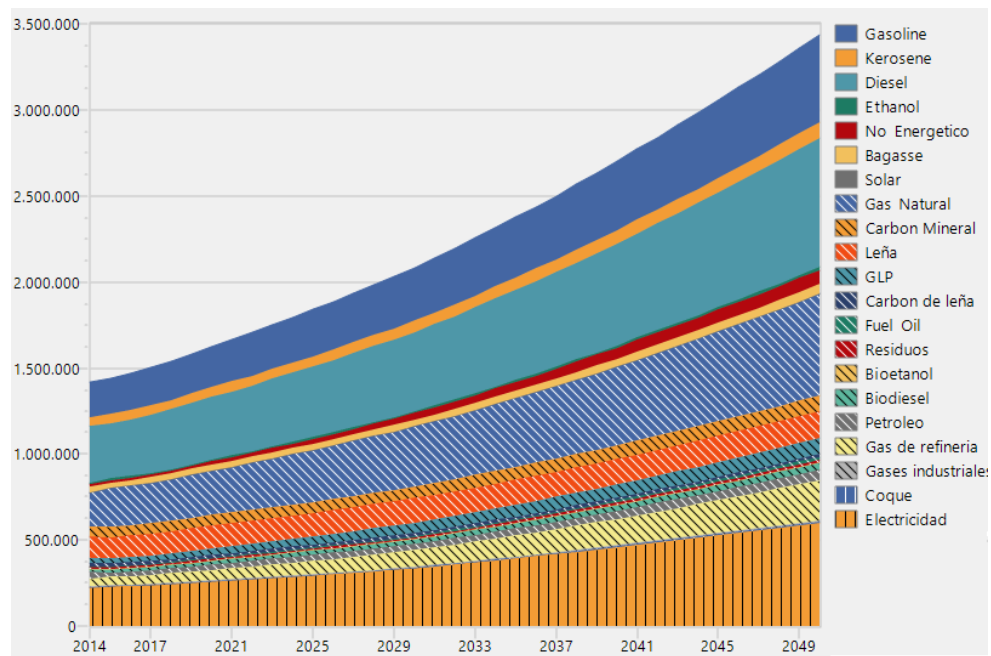


Figura 40. Evolución de la demanda por energéticos – Escenario seguridad [TJ]

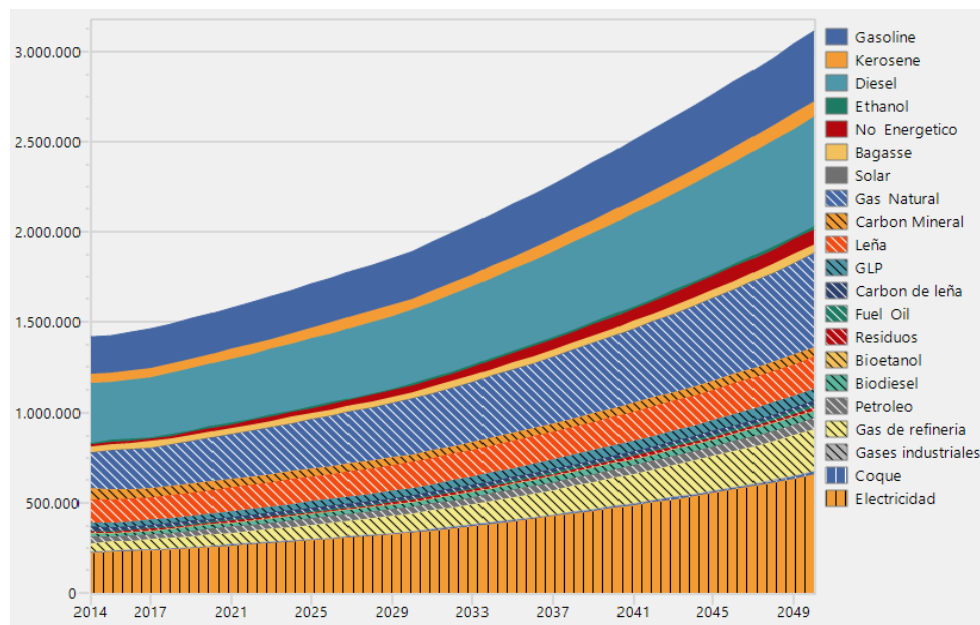
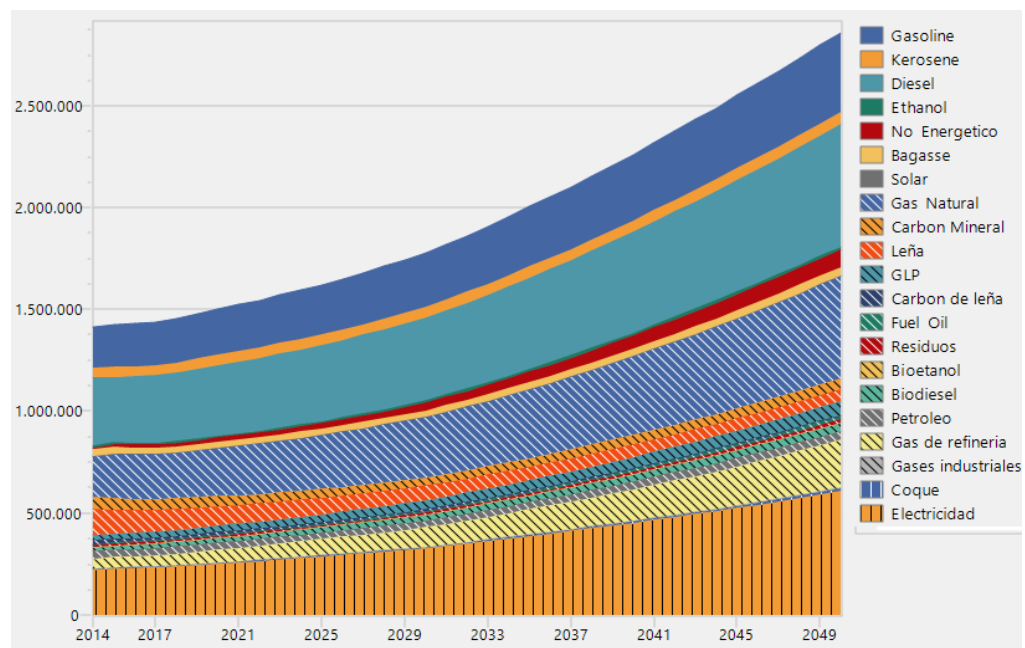


Figura 41. Evolución de la demanda por energéticos – Escenario verde [TJ]



Observando la demanda por energéticos el diésel es el energético con mayor demanda en el país a 2014, con un 23,6% seguido de la electricidad con 15,9%, gasolina 14,3% y gas natural 14,2%. En el escenario tendencial el diésel continua dominando mientras la demanda total de electricidad aumenta a un 17,5%. En el escenario seguridad los energéticos crecen proporcionalmente mientras en el verde la electricidad es la que más crece debido a que es un escenario en donde muchos energéticos son reemplazados por la electricidad, se observa una gran reducción del uso de la leña en beneficio de este energético.

**3.4.2 Demanda en el Sector Eléctrico.** Esta demanda es calculada por sectores en LEAP, cada sector posee un nivel de actividad y una intensidad energética final. LEAP calcula la demanda por sectores multiplicando estas dos variables, a continuación se presenta la tabla de porcentajes de participación y eficiencia eléctricos en el sector residencial para las distintas sub-ramas.

Tabla 6. Eficiencias y participación eléctrica para los distintos escenarios a 2050

Uso	Escenario tendencial (UPME)[%]		Escenario verde [%]		Escenario seguridad[%]	
	Participación	Eficiencia	Participación	Eficiencia	Participación	Eficiencia
Cocción	25,5	80	35	80	30	80
Agua Caliente	24,61	80	24,81	95	24,81	85
Refrigeración	100	69	100	80	100	75
Aire acondicionado	100	69	100	85	100	75
Otros usos	100	69	100	90	100	69

Figura 42. Proyección demanda de electricidad por sectores– Escenario tendencial [TWh]

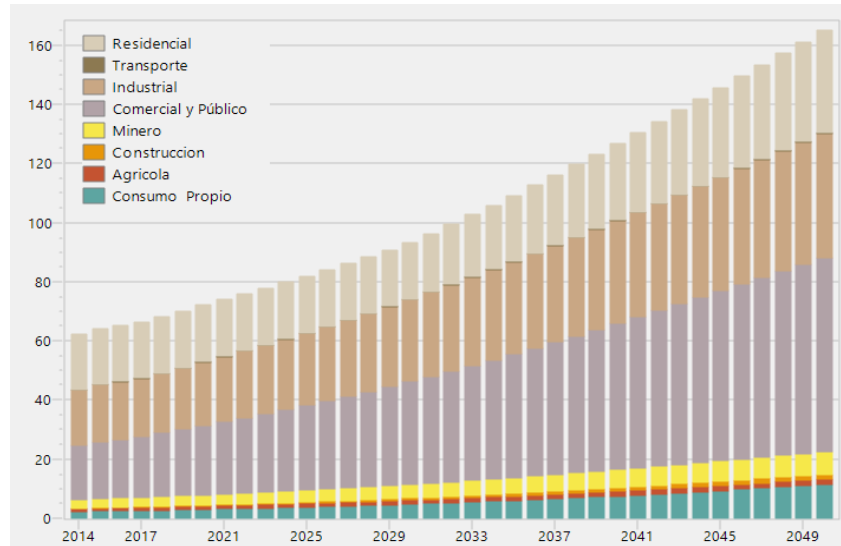


Figura 43. Proyección demanda de electricidad por sectores– Escenario seguridad [TWh]

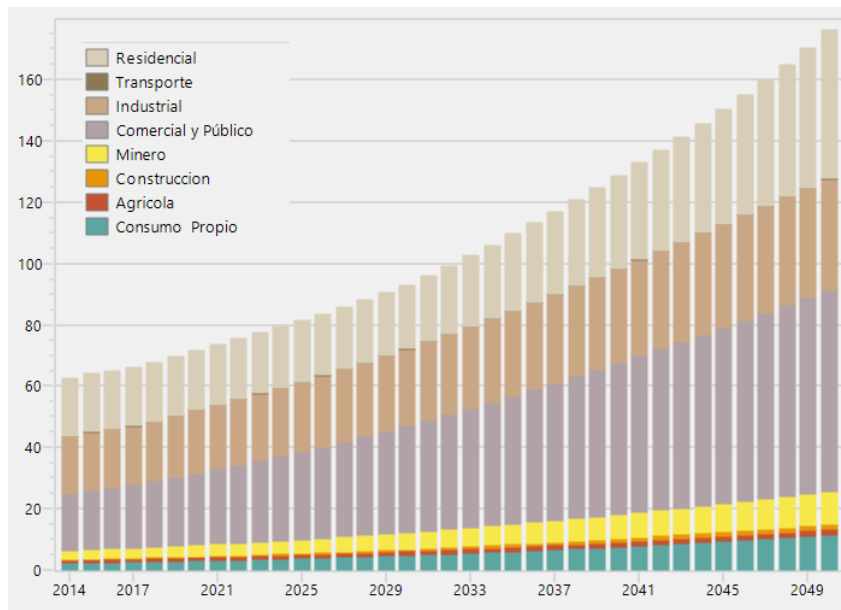


Figura 44. Proyección demanda de electricidad por sectores– Escenario verde [TWh]

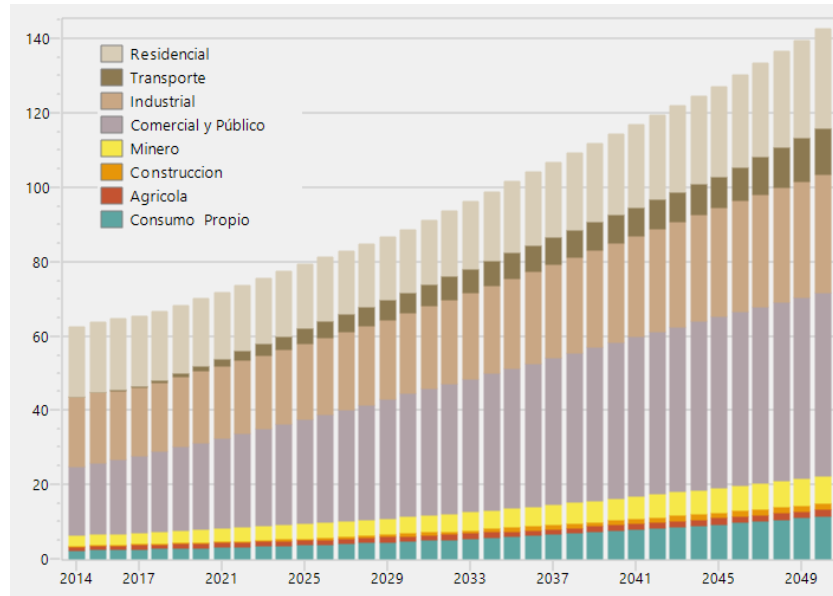
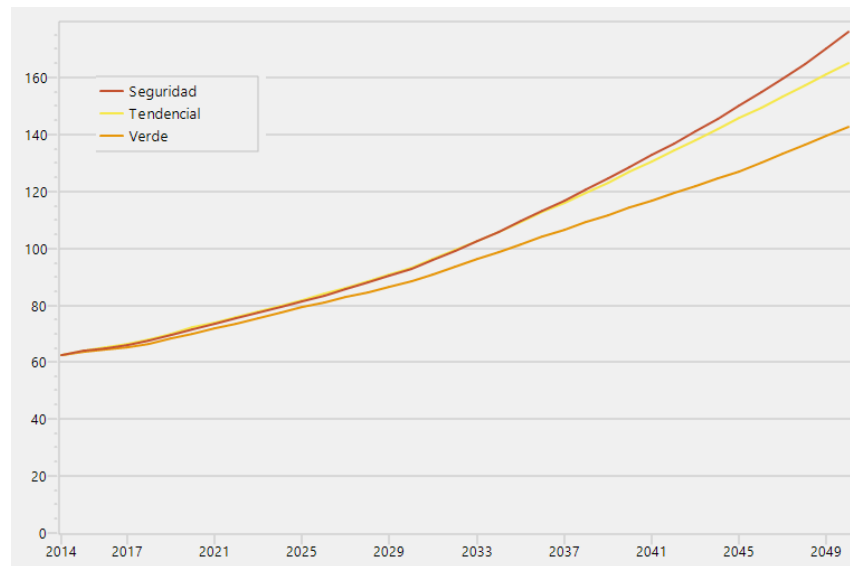
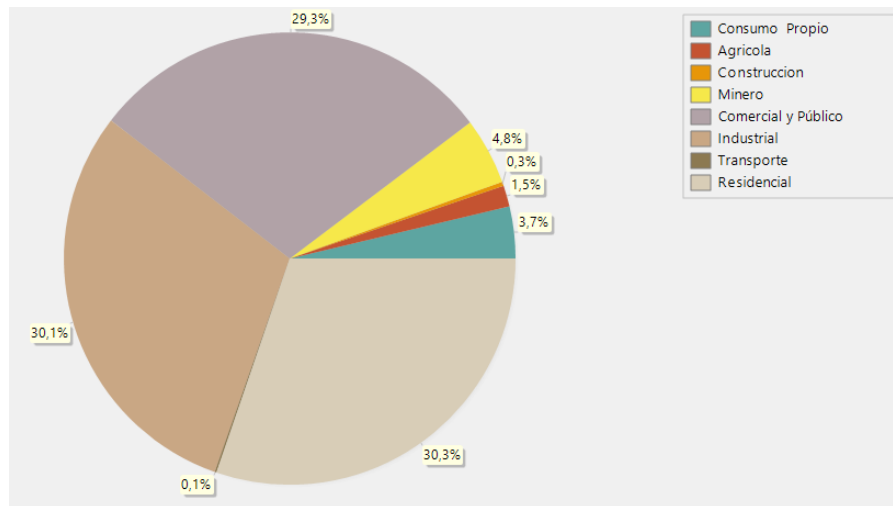


Figura 45. Demanda electricidad, escenarios [TWh]



A 2014, la participación en la demanda de electricidad discriminada por sectores era la siguiente:

Figura 46. Demanda electricidad 2014 por sectores [%]



El escenario tendencial presenta una disminución a 2050 del sector residencial (30,3% a 21,8%) en aras de crecimiento del sector comercial y público (29,3% a 39,4%) mientras la industria mantiene su participación. En el escenario de seguridad el sector minero crece bastante con respecto a los demás escenarios pues es en este en donde se promueve el uso del carbón, el sector residencial mantiene su porcentaje de participación mientras el comercial experimenta un gran crecimiento. En el escenario verde se destaca la entrada de demanda del sector transporte a 2050 con una mayor utilización de transporte eléctrico, este sector demanda en 2050 12530 [GWh].

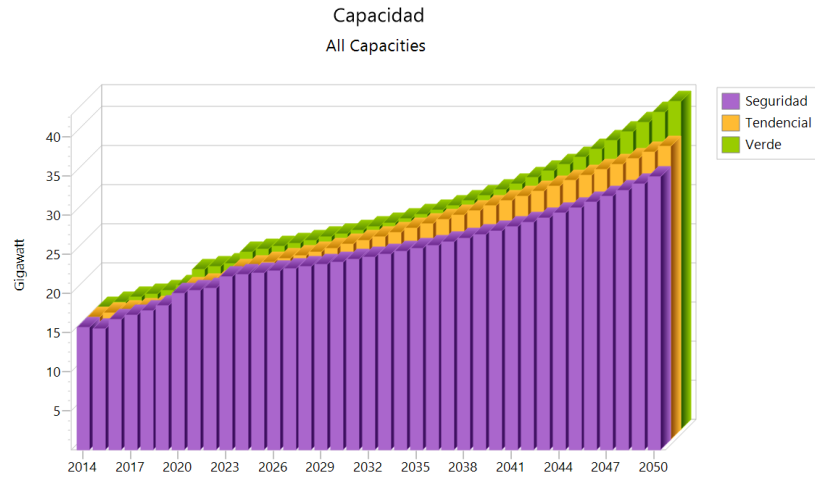
En la figura 45 se observa la comparación de demanda de energía eléctrica por escenarios, la demanda total a 2050 en los tres escenarios es prácticamente triplicada con respecto a su valor en 2014.

**3.4.3 Capacidad Instalada.** Para proyectar la capacidad instalada se utilizaron primero los proyectos en generación que actualmente poseen Obligación de Energía en Firme, de ahí en adelante se proyectó la capacidad de tal modo que se mantuviese un margen de reserva cercano al 30% tal como acontece en la actualidad según las características de cada escenario.

Tabla 7. Proyectos considerados con obligación de energía en firme OEF [MW][76].

<b>Central</b>	<b>Fecha de entrada</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Recurso</b>
Sogamoso	sep-14	266.7	Hidráulico
	nov-14	800.0	
Gecelca 3	oct-14	164.0	Carbón
Cucuana	dic-14	55.0	Hidráulico
Quimbo	abr-15	198.0	Hidráulico
	jun-15	396.0	
Tasajero II	nov-15	160.0	Carbón
Carlos Ileras Restrepo	dic-15	78.1	Hidráulico
San Miguel	dic-15	42.0	Hidráulico
Gecelca 3.2	dic-15	250.0	Carbón
Termonorte	dic-17	88.0	Líquidos
Porvenir II	nov-18	352.0	Hidráulico
Ituango Primera Etapa	nov-18	300.0	Hidráulico
	feb-19	600.0	
	may-19	900.0	
	ago-19	1,200.0	

Figura 47. Capacidad proyectada para cada escenario a 2050



**3.4.4 Generación y consumo eléctrico.** Los resultados por escenarios para satisfacer la demanda de energía eléctrica por fuente se muestran a continuación:

Figura 48. Generación electricidad por fuentes [TWh] – Escenario Tendencial [UPME]

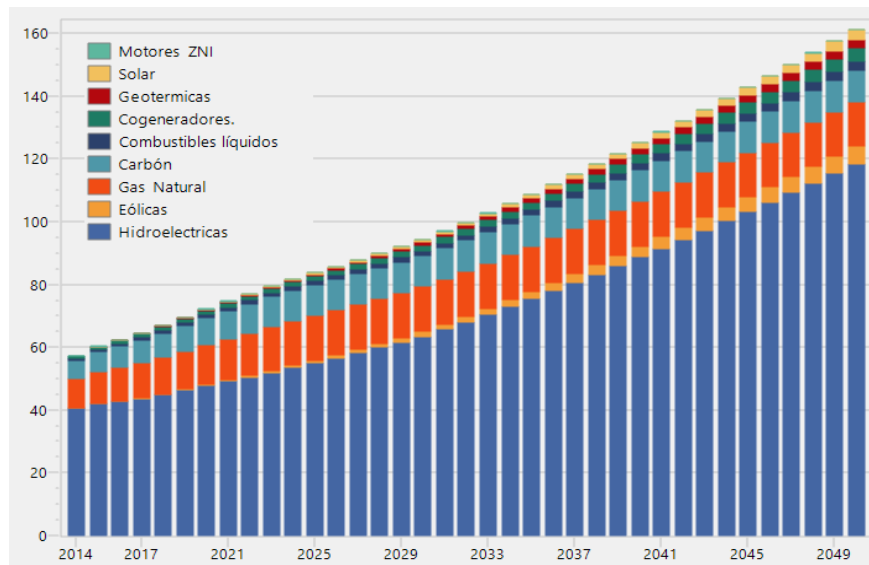
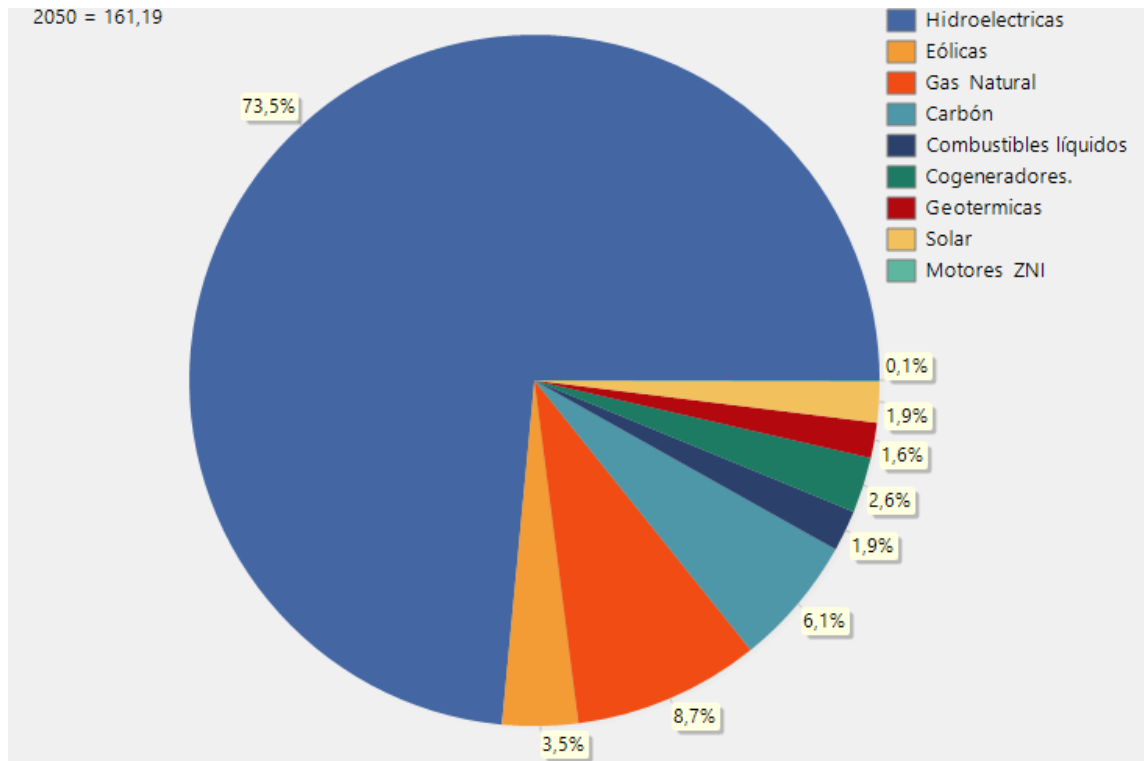


Figura 49. Generación de electricidad % participación en 2050 - Escenario Tendencial [UPME]



Bajo los supuestos del escenario tendencial, la matriz eléctrica a 2050 presenta un dominio de la hidroelectricidad, con poca diversificación de la matriz de generación. Es un escenario de alta vulnerabilidad y bajas emisiones de CO<sub>2</sub> debido a las pocas emisiones producidas por esta fuente dominante, la generación hidroeléctrica a 2030, 2040 y 2050 será de 63.472[GWh], 88.726[GWh] y 118.464[GWh] respectivamente. Bajo este escenario la energía eólica alcanzaría un potencial de generación del 3,5% (5,712 [GWh]) y la solar 1,9% (3.059 [GWh]), con un **potencial de energías renovables no convencionales del 5,4%**.

Figura 50. Generación electricidad por fuentes [TWh] – Escenario Seguridad [UPME]

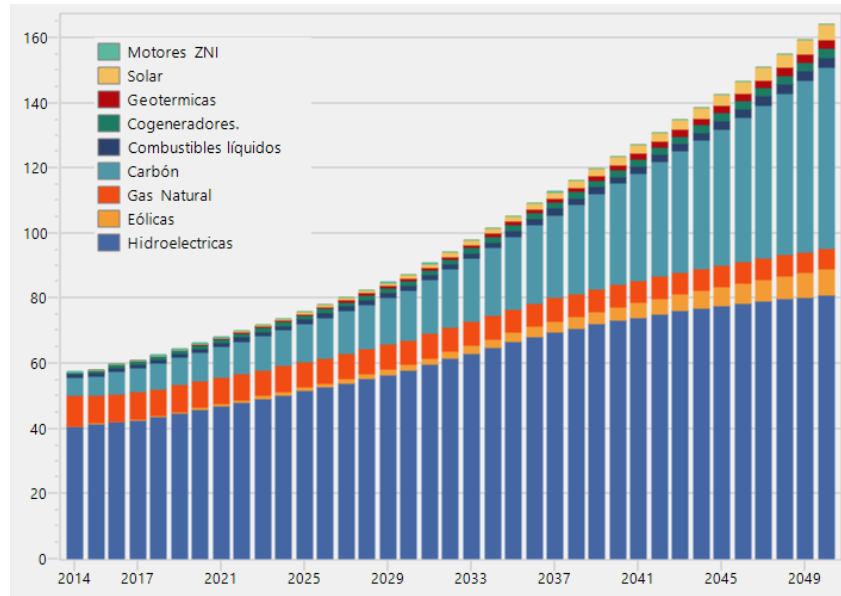
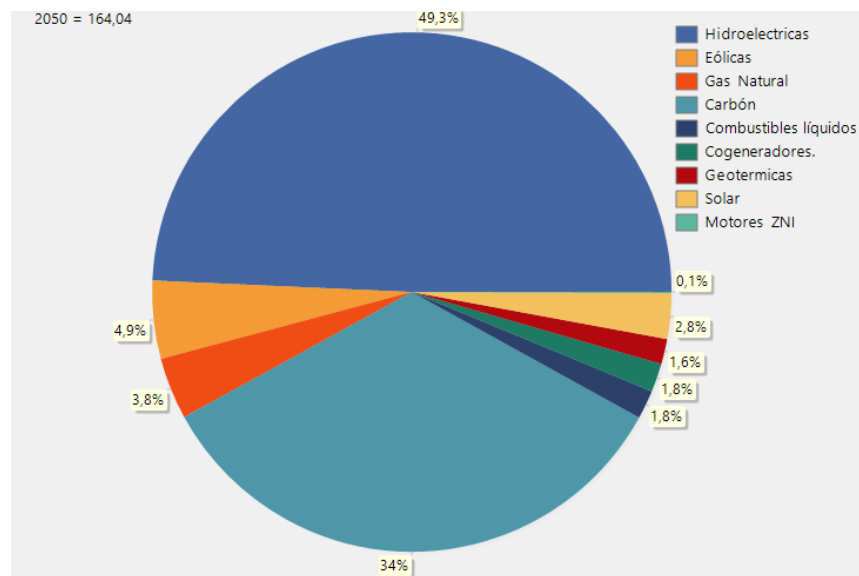


Figura 51. Generación de electricidad % participación en 2050 - Escenario Seguridad [UPME]



En el escenario Seguridad la generación proyectada para 2050 es de 164.038 [GWh], la generación por carbón crece hasta obtener un porcentaje de 34% (55.741 [GWh]) y una incursión de energías renovables eólica del 4,9% (7.973[GWh]) y solar 2,8% (4.668[GWh]) para un total de **energías renovables no convencionales de 7,7%**. La mayor participación del carbón es debida a la creación de más plantas termoeléctricas a carbón con tecnología de captura y almacenamiento de carbono.

Figura 52. Generación electricidad por fuentes [TWh] – Escenario Verde [UPME]

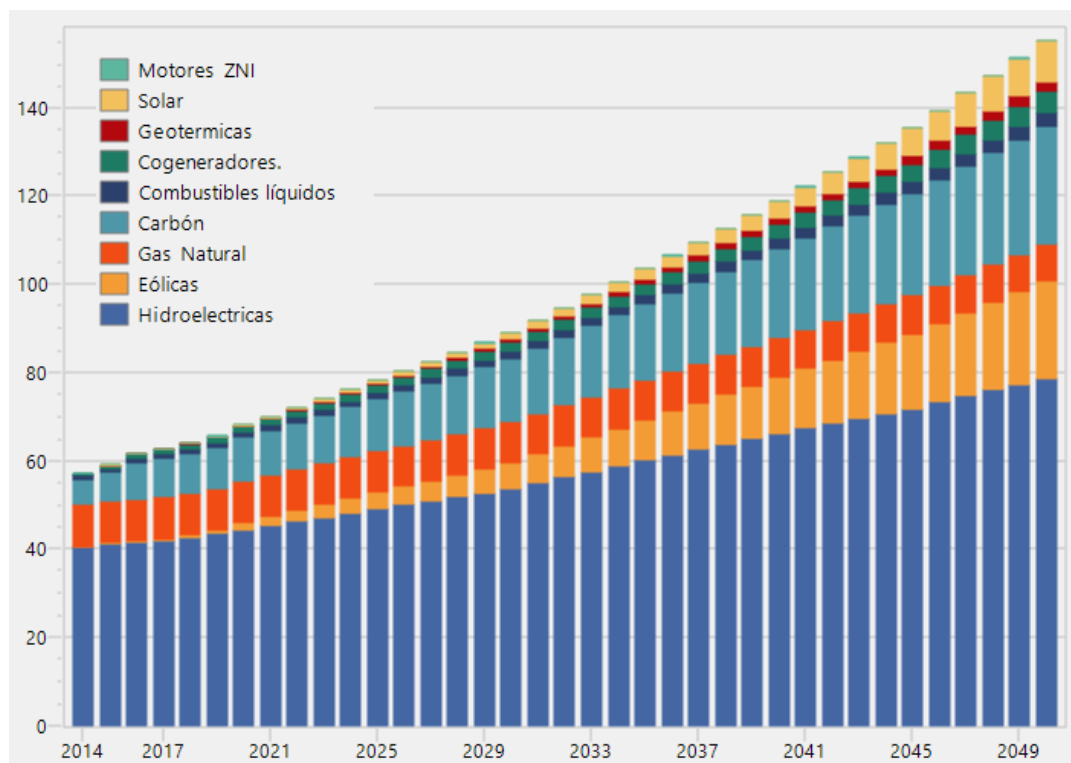
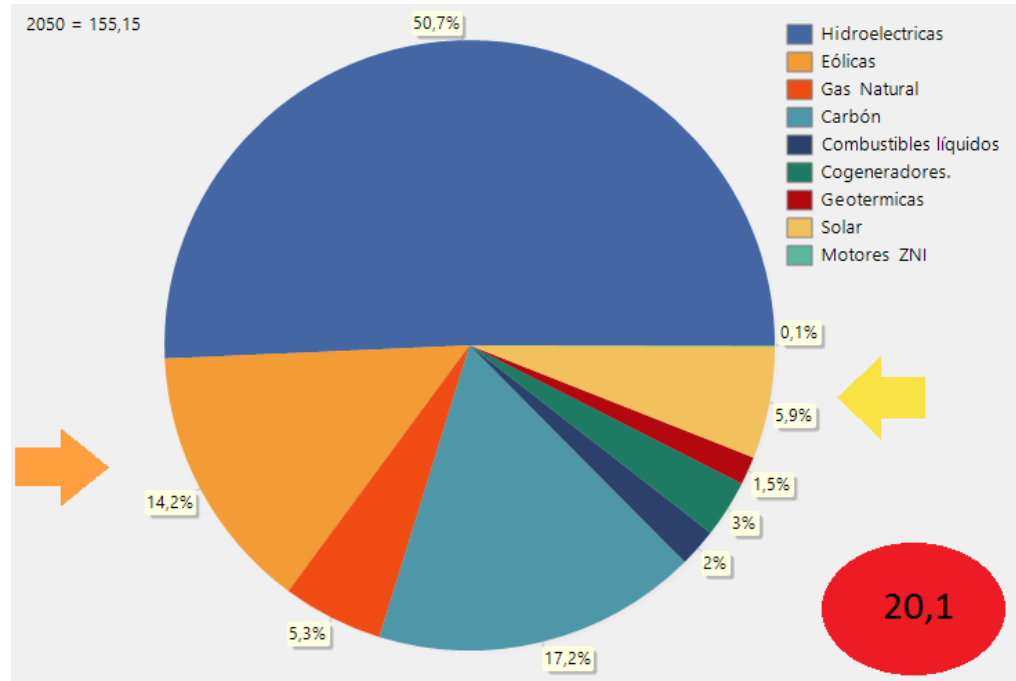


Figura 53. Generación de electricidad % participación en 2050 - Escenario Verde [UPME]



El escenario Verde es de los tres el de mayor diversificación energética, bajo este escenario se tendría una matriz energética robusta, sin dependencia absoluta de alguna fuente en particular y si bien la hidroelectricidad posee algo más del 50% del total de generación bajo un escenario de fuerte fenómeno de El Niño o cambio climático podría suministrarse la demanda faltante con plantas térmicas o a través de renovables no convencionales. A 2050 la energía eólica representa el 14,2% (22.021 [GWh]) del total de generación mientras la solar contribuye con 5,9% (9.199 [GWh]) para un total de **participación de las renovables no convencionales de 20,1%**.

Tabla 8. Generación por fuentes para los diferentes escenarios.

Generación [TWh]	2020			2030			2040			2050		
	T	S	V	T	S	V	T	S	V	T	S	V
Motores ZNI	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
Solar	0,14	0,16	0,16	0,76	1,08	1,42	1,71	2,45	3,87	3,06	4,67	9,20
Geotermicas	0,24	0,20	0,19	0,82	0,68	0,65	1,81	1,53	1,36	2,65	2,57	2,32
Cogeneradores	1,22	1,10	1,27	1,84	1,46	2,04	2,86	2,08	3,21	4,19	2,92	4,72
Combustibles líquidos	1,15	1,12	1,15	1,58	1,47	1,62	2,26	2,09	2,31	3,10	2,92	3,15
Carbón	8,54	8,98	9,75	9,83	15,26	14,35	9,83	31,04	20,21	9,83	55,74	26,74
Gas Natural	12,62	8,11	9,34	14,32	7,51	9,12	14,44	6,91	8,90	14,08	6,31	8,27
Eólicas	0,45	0,54	1,79	1,55	1,85	6,04	3,41	4,19	12,70	5,71	7,97	22,02
Hidroelectricas	47,77	45,87	44,40	63,47	57,81	53,69	88,73	73,10	66,23	118,46	80,85	78,65
<b>Total</b>	<b>72,19</b>	<b>66,14</b>	<b>68,13</b>	<b>94,24</b>	<b>87,20</b>	<b>89,01</b>	<b>125,15</b>	<b>123,48</b>	<b>118,87</b>	<b>161,19</b>	<b>164,04</b>	<b>155,15</b>

## 4. CONCLUSIONES

El software LEAP es la herramienta que permitió crear el modelo energético (Eléctrico) de los escenarios con los que se trabajó para obtener resultados a largo plazo y realizar un análisis más detallado del consumo, generación, demanda y capacidad instalada de nuestro país. Cada uno de los escenarios presenta datos únicos que pueden ser visualizados en diferentes escalas de tiempo, además el software muestra resultados gráficos en los cuales se pueden observar los diferentes sectores (residencial, comercial, industrial, etc.) y las necesidades de cada una de éstos.

Tras analizar los resultados en LEAP el sector de la demanda eléctrica se triplicará al 2050, muchos sectores en la demanda de energéticos requerirán cada vez más de la electricidad. El estudio prospectivo indicó que el sector comercial y público será el de mayor crecimiento (bajo los tres escenarios considerados). El sector industrial presentó en los últimos años un menor uso de la electricidad y las proyecciones indican que este comportamiento seguirá la misma tendencia al considerar procesos más eficientes en los sectores de transformación.

Históricamente y gracias a la energía hídrica Colombia es un país que genera electricidad limpiamente con porcentajes de participación por encima del 60% desde hace muchos años. El recurso hídrico nacional es abundante pero a causa del derroche que ha sufrido y a factores externos como El Niño es indispensable proponer nuevas directrices que aseguren el cubrimiento total de la demanda.

Hace una década o más era impensable generar electricidad a gran escala en Colombia a partir de FNCE debido principalmente a los altos costos de instalación; hoy día los precios de paneles solares y aerogeneradores los hacen competitivos ante otras formas de generación. El recurso no convencional es abundante no obstante el factor clave que decidirá la incorporación o no de estas fuentes lo

constituyen las políticas energéticas que tome el gobierno en este sentido. En el escenario verde se plantea una participación de generación eléctrica final eólica y solar del 20,1%, las proyecciones de la UPME son un poco conservadores en este aspecto dado que proyectan una participación no mayor al 5% en la mayoría de sus escenarios al 2050 mas no consideran el efecto que políticas energéticas adecuadas puedan causar en un corto periodo de tiempo.

Colombia depende en gran parte de la generación de energía de sus fuentes hídricas pues de allí proviene el 65,5% de la electricidad. Es un país autónomo eléctricamente pero muy vulnerable frente a fenómenos naturales como El Niño, por lo cual requiere una diversificación de su matriz energética. Para esto se necesita un fuerte apoyo del gobierno por medio de las diferentes legislaciones que aporten beneficios económicos e incentiven tanto a grandes como a pequeños contribuyentes en la inversión de fuentes no convencionales de energías renovables permitiendo una fuerte penetraciones de éstas energías.

En la actualidad Colombia no es un país con grandes aportes eléctricos por parte de las energías renovables no convencionales debido a que sólo posee un parque eólico e instalaciones solares a pequeña escala. Eso no significa que no posea el potencial necesario para obtener energía eléctrica a partir de éstas energías: en cuanto a la energía eólica posee un buen potencial que hoy en día no es aprovechado y que podría sustituir energéticos más escasos como el gas natural; por otro lado está la energía solar fotovoltaica en la que el país posee una irradiación por encima del promedio mundial considerándola como una buena oportunidad en generación eléctrica además de que los precios en la instalación de la tecnología han disminuido significativamente.

Una prospectiva energética no debe verse como una predicción del futuro, es más una imagen, una ventana de cómo puede llegar a desenvolverse éste. Queda como trabajo futuro instaurar las acciones que llevan a desarrollar los escenarios

planteados (ningún escenario es mejor que otro cada uno posee sus pros y contras), además establecer la planeación de cada uno de ellos para enfocar al país hacia determinados propósitos en materia energética y de esta manera plantearse metas en el corto (2020), mediano (2035) y largo plazo (2050) para ir verificando el cumplimiento o no de cada uno de los objetivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. R. Olade, «Energías Renovables», p. 96, 2011.
- [2] «International Energy Statistics - EIA.» [En línea]. Disponible en: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=90&pid=44&aid=8&cid=US,&syid=2008&eyid=2012&unit=MMTCD>. [Accedido: 31-ene-2016].
- [3] REN21, «Renewables 2015 Global Status Report - Key Findings», p. 32, 2015.
- [4] «Energía solar descripción general detallada.» [En línea]. Disponible en: <http://solarproargentina.com/energia-solar-descripcion-general-detallada/>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [5] «PHOTON Info.» [En línea]. Disponible en: [http://www.photon.info/photon\\_news\\_detail\\_en.photon?id=83914](http://www.photon.info/photon_news_detail_en.photon?id=83914). [Accedido: 05-ene-2016].
- [6] B. Wirtschaftsthemen y D. Wedepohl, «Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche ( Photovoltaik )», pp. 5-8, 2011.
- [7] «Alemania produce la mitad de su energía a través de energía solar | Acción Preferente.» [En línea]. Disponible en: <http://www.accionpreferente.com/mundo/alemania-produce-la-mitad-de-su-energia-a-traves-de-energia-solar/>. [Accedido: 29-ene-2016].
- [8] «Aparece en provincia china de Shandong mayor edificio de oficinas con energía solar en mundo.» [En línea]. Disponible en: <http://spanish.peopledaily.com.cn/31614/6827650.html>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [9] «Chinese PV installations to reach 12 GW in 2014: pv-magazine.» [En línea]. Disponible en: [http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/chinese-pv-installations-to-reach-12-gw-in-2014\\_100013486/#axzz3wL9JkNPX](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/chinese-pv-installations-to-reach-12-gw-in-2014_100013486/#axzz3wL9JkNPX). [Accedido: 05-ene-2016].

- [10] P. Y. C. D. E. Energía, M. I. X. Energético, y M. Regulatorio, «El mercado de las energías renovables en China», 2013.
- [11] «China aumenta en un 60% su capacidad de energía solar.» [En línea]. Disponible en: <http://newsroom.unfccc.int/es/energ%C3%ADa-limpia/china-aumenta-en-un-60-su-capacidad-de-energ%C3%ADa-solar/>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [12] «Shipment of PV cells and modules in Japan», p. 2012, 2012.
- [13] «La carrera japonesa por traer a la Tierra energía solar desde el espacio | Innovadores | EL MUNDO.» [En línea]. Disponible en: <http://www.elmundo.es/economia/2015/03/23/550c54b3268e3e2e378b456b.html>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [14] «Cómo es la planta solar más grande de Japón», 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.infobae.com/2013/11/11/1522922-como-es-la-planta-solar-mas-grande-japon>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [15] «Estados Unidos se vuelve loco con la fotovoltaica, que crece al 30% anual - elEconomista.es.» [En línea]. Disponible en: <http://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/6549906/03/15/Estados-Unidos-se-vuelve-loco-con-la-fotovoltaica-que-crece-al-30-anual.html>. [Accedido: 09-ene-2016].
- [16] «Las 10 mayores plantas fotovoltaicas del mundoEl Periodico de la Energía | El Periodico de la Energía.» [En línea]. Disponible en: <http://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>. [Accedido: 09-ene-2016].
- [17] «Energías renovables en Italia: segunda en energía solar fotovoltaica y séptima en eólica | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico.» [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2014/05/24/italia-en-los-primeros-lugares-de-produccion-de-energias-renovables/>. [Accedido: 09-ene-2016].

- [18] «ENERGÍA SOLAR, ITALIA PRIMERA EN EL MUNDO.» [En línea]. Disponible en: <http://www.interris.it/es/2015/05/14/58538/senza-categoria-es/energia-solar-italia-primera-en-el-mundo.html>. [Accedido: 09-ene-2016].
- [19] «Google Image Result for <http://i2.wp.com/fotoplat.org/wp-content/uploads/2015/03/Energ%C3%ADa-solar-fotovoltaica.-Presente-y-futuro.jpg?resize=1240%2C1624>.» [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://i2.wp.com/fotoplat.org/wp-content/uploads/2015/03/Energ%2525C3%2525ADa-solar-fotovoltaica.-Presente-y-futuro.jpg%253Fresize%253D1240%25252C1624&imgrefurl=http://fotoplat.org/2015/03/la-energia-solar-fotovoltaica-en-espana-presente-y-futuro/&h=1624&w=1240&tbnid=nLCXAobw4zVvdM:&docid=-VD0CkBebHYgcM&ei=j7iuVuH7BYrXmwHnxLLAAg&tbm=isch>. [Accedido: 01-feb-2016].
- [20] E. El País, «Bruselas reprocha al Gobierno los recortes retroactivos en las primas a las fotovoltaicas», ene. 2011.
- [21] «Qué es el “impuesto al sol” y cómo van a cobrar por el autoconsumo energético». [En línea]. Disponible en: [http://www.huffingtonpost.es/2015/10/09/impuesto-al-sol-autoconsumo-energetico\\_n\\_8267900.html](http://www.huffingtonpost.es/2015/10/09/impuesto-al-sol-autoconsumo-energetico_n_8267900.html). [Accedido: 01-feb-2016].
- [22] «La energía eólica crece en el mundo.» [En línea]. Disponible en: <http://newsroom.unfccc.int/es/energ%C3%ADa-limpia/la-energia-eolica-crece-en-el-mundo/>. [Accedido: 17-dic-2015].
- [23] «China comienza construcción de su mayor proyecto de energía eólica | Spanish.xinhuanet.com.» [En línea]. Disponible en: [http://spanish.xinhuanet.com/2015-12/04/c\\_134885016.htm](http://spanish.xinhuanet.com/2015-12/04/c_134885016.htm). [Accedido: 17-dic-2015].

- [24] «China: Capacidad de energía eólica alcanza récord - La Prensa.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.laprensa.com.ni/2015/02/12/ciencia/1781770-china-capacidad-de-energia-eolica-alcanza-record>. [Accedido: 17-dic-2015].
- [25] «Manos Fuera de China: China, líder mundial en energía eólica: el ejemplo de Jiuqian.» [En línea]. Disponible en:  
<http://manosfueradechina.blogspot.com.co/2013/11/china-lider-mundial-de-energia-eolica.html>. [Accedido: 17-dic-2015].
- [26] «REVE-Estados Unidos ya cuenta con 67.870 MW de energía eólica | Asociación Empresarial Eólica.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.aeeolica.org/es/new/reve-estados-unidos-ya-cuenta-con-67870-mw-de-energia-eolica/>. [Accedido: 19-dic-2015].
- [27] «Estados Unidos quiere doblar la generación de energía eólica en cinco años - Expansion.com.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.expansion.com/agencia/efe/2015/03/12/20509213.html>. [Accedido: 19-dic-2015].
- [28] «Estados Unidos es el número dos en generación de energía eólica | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.evwind.com/2015/08/12/estados-unidos-es-el-numero-dos-en-generacion-de-energia-eolica/>. [Accedido: 19-dic-2015].
- [29] «La energía eólica puede llegar a ser una de las principales fuentes de electricidad de Estados Unidos | REVE.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.evwind.es/2015/03/12/wind-energy-can-become-one-of-americas-top-electricity-sources/50956>. [Accedido: 19-dic-2015].
- [30] «ENERGIA EOLICA.» [En línea]. Disponible en:  
[http://www.refrigeracio.com/index\\_archivos/page0004.htm](http://www.refrigeracio.com/index_archivos/page0004.htm). [Accedido: 19-dic-2015].

- [31] «Energías renovables y eólica: Alemania instaló 4,8 GW en 2014 | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico.» [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/02/02/eolica-en-alemania-instalan-otros-1-700-aerogeneradores-en-2014/>. [Accedido: 19-dic-2015].
- [32] «El futuro de Alemania pasa por la energía eólica · National Geographic en español. · Actualidad.» [En línea]. Disponible en: [http://www.nationalgeographic.com.es/articulo/ng\\_magazine/actualidad/10960/futuro\\_alemania\\_pasa\\_por\\_energia\\_eolica.html](http://www.nationalgeographic.com.es/articulo/ng_magazine/actualidad/10960/futuro_alemania_pasa_por_energia_eolica.html). [Accedido: 19-dic-2015].
- [33] «Wunderland Kalkar: Nuclear Power Plant Turned Amusement Park | Amusing Planet.» [En línea]. Disponible en: <http://www.amusingplanet.com/2011/06/wunderland-kalkar-nuclear-power-plant.html>. [Accedido: 20-dic-2015].
- [34] «Documento Energía eólica PDF.» [En línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/OscarLopez115/documento-energa-elica-pdf>. [Accedido: 20-dic-2015].
- [35] E. El País, «España es el primer país donde la eólica se convierte en la mayor fuente de energía», ene. 2014.
- [36] «España no creó ningún parque eólico en el 2014.» [En línea]. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/natural/20150119/54423770220/espana-parque-eolico-2014.html>. [Accedido: 21-dic-2015].
- [37] «España recupera su trono y será el tercer mayor productor de energía eólica de Europa en 2030.» [En línea]. Disponible en: <http://www.expansion.com/empresas/energia/2015/09/16/55f921e6268e3ee6718b4580.html>. [Accedido: 21-dic-2015].
- [38] «LA RICA ESPAÑA - Viento: el sector eólico español cuenta con empresas líderes a nivel mundial.» [En línea]. Disponible en: <http://www.abc.es/espana/la-rica-espana/20150526/abci-energia-eolica-201505201117.html>. [Accedido: 21-dic-2015].

- [39] «La fotovoltaica superará a la eólica en la India en 2015 | EnergyNews.es.» [En línea]. Disponible en: <http://www.energynews.es/la-fotovoltaica-supera-a-la-eolica-en-la-india-con-mas-de-2-500-mw-instalados-en-2015/>. [Accedido: 26-dic-2015].
- [40] «India desplaza a España del cuarto puesto mundial por capacidad eólica con la ayuda de GamesaEl Periodico de la Energía | El Periodico de la Energía.» [En línea]. Disponible en: <http://elperiodicodelaenergia.com/india-desplaza-a-espana-del-cuarto-puesto-mundial-por-capacidad-eolica/>. [Accedido: 26-dic-2015].
- [41] «Gamesa eólica construye parque para Tata Power | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico.» [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/12/17/gamesa-eolica-construye-parque-para-tata-power/>. [Accedido: 26-dic-2015].
- [42] «India's wind power capacity expected to double by 2020, survey suggests - SocialStory - SocialStory.» [En línea]. Disponible en: <http://social.yourstory.com/2015/07/india-wind-power/>. [Accedido: 26-dic-2015].
- [43] «En primer proyecto de energía eólica en el mar para llegar en Gujarat - The Hindu.» [En línea]. Disponible en: <http://www.thehindu.com/news/national/first-offshore-wind-power-project-to-come-up-in-gujarat/article6466014.ece>. [Accedido: 26-dic-2015].
- [44] O. Econ, «Notas Sectoriales El mercado de Notas Sectoriales El mercado de», pp. 1-45, 2010.
- [45] «Eólica en India: Gamesa suministra aerogeneradores a seis parques eólicos | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico.» [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/04/28/eolica-en-india-gamesa-suministra-aerogeneradores-a-seis-parques-eolicos/>. [Accedido: 26-dic-2015].

- [46] «Protocolo de Kioto | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.» [En línea]. Disponible en:  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=458:plantilla-cambio-climatico-14>. [Accedido: 04-ene-2016].
- [47] «Protocolo de Kioto: paradojas, derrotas y victorias.» [En línea]. Disponible en: <http://www.razonpublica.com/index.php/internacional-temas-32/3513-protocolo-de-kyoto-paradojas-derrotas-y-victorias.html>. [Accedido: 04-ene-2016].
- [48] «Protocolo de Kioto.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.ecointeligencia.com/2015/06/protocolo-kioto/>. [Accedido: 04-ene-2016].
- [49] «UNFCCC COP 21 Paris France - 2015 Paris Climate Conference.» [En línea]. Disponible en: <http://www.cop21paris.org/about/cop21/>. [Accedido: 22-ene-2016].
- [50] «Paris Climate Conference to Proceed with Heightened Security After Attacks | TIME.» [En línea]. Disponible en: <http://time.com/4113215/paris-attacks-climate-conference/>. [Accedido: 22-ene-2016].
- [51] «With landmark climate accord, world marks turn from fossil fuels | Reuters.» [En línea]. Disponible en: <http://www.reuters.com/article/us-climatechange-summit-idUSKBN0TV04L20151212#gVKudBATCD0EGdxL.97>. [Accedido: 24-ene-2016].
- [52] R. E. A. Ortiz, A. A. G. Deibe, y C. A. V. Aldana, «“ E N E R G I A R E N O V A B L E E N C O L O M B I A ”», 2008.
- [53] «Sistema General de Regalías SGR » Ministerio de Minas y Energía.» [En línea]. Disponible en:  
<https://www.sgr.gov.co/Qui%C3%A9nesSomos/%C3%93rganosdelSGR/MinisteriodeMinasyEnerg%C3%ADa.aspx>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [54] «Quiénes Somos | UPME.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www1.upme.gov.co/quienes-somos>. [Accedido: 05-ene-2016].

- [55] «CREG.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.creg.gov.co/index.php/creg/error>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [56] C. Internacional, «Energías renovables», *Energias Renov.*, pp. 6-9, 2011.
- [57] «Llegó la hora de las energías renovables no convencionales en Colombia | SGIC - FNCER.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www1.upme.gov.co/sgic/?q=content/lleg%C3%B3-la-hora-de-las-energ%C3%ADas-renovables-no-convencionales-en-colombia>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [58] M. International, «Agenda», 2014.
- [59] «Energías renovables en Colombia - Dinero.com.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.dinero.com/pais/articulo/energias-renovables-colombia/196062>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [60] «Noticias de Economía, Finanzas y Negocio de Colombia y el Mundo. - larepublica.co.» [En línea]. Disponible en: [http://www.larepublica.co/nueva-ley-de-energ%C3%ADas-renovables\\_127591](http://www.larepublica.co/nueva-ley-de-energ%C3%ADas-renovables_127591). [Accedido: 05-ene-2016].
- [61] «Líder en medidas energéticas innovadoras | Portafolio.co.» [En línea]. Disponible en: <http://www.portafolio.co/columnistas/lider-medidas-energeticas-innovadoras>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [62] «Folleto\_Luciernaga.Pdf.» .
- [63] B. De República, «Información recopilada y calculada por el Departamento Técnico y de Información Económica del Cuadro Resumen - Principales indicadores económicos», pp. 1-23, 2012.
- [64] European Commission, *EU Energy, Transport and GHG Emissions: Trends to 2050 - Reference Scenario 2013*. 2013.
- [65] «Economía - Información General - Colombia Info - Colombia.com.» [En línea]. Disponible en: <http://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/economia/>. [Accedido: 05-ene-2016].

- [66] «Empleo en las energías renovables | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.evwind.com/2015/05/25/cuanto-empleo-genera-las-energias-renovables/>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [67] R. Ferroukhi, A. Khalid, A. Lopez-Peña, y M. Renner, «Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2015», p. 16, 2015.
- [68] «Ministerio de Educación Nacional- Estadísticas del sector educativo.» [En línea]. Disponible en:  
[http://menweb.mineduacion.gov.co/seguimiento/estadisticas/principal\\_ind.php?consulta=ind\\_tsa\\_cobn&nivel=23](http://menweb.mineduacion.gov.co/seguimiento/estadisticas/principal_ind.php?consulta=ind_tsa_cobn&nivel=23). [Accedido: 05-ene-2016].
- [69] «:::Revista ib virtual»: [En línea]. Disponible en:  
[http://www.dane.gov.co/revista\\_ib/html\\_r8/articulo3.html](http://www.dane.gov.co/revista_ib/html_r8/articulo3.html). [Accedido: 05-ene-2016].
- [70] «Resumen de indicadores de Educación Superior - Sistemas información.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-article-212350.html>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [71] G. Mixto y E. B. Waldron, «Departamento Administrativo Nacional de Estadística las principales variables demográficas y socioeconómicas del Censo 2005 Informe final», 2008.
- [72] «Dane confirma que la pirámide poblacional en Colombia está envejeciendo | LA F.m. - RCN Radio.» [En línea]. Disponible en:  
<http://www.lafm.com.co/noticias/nacional/27-05-11/dane-confirma-que-la-piramide-poblacional-en-colombia-est-envejeciendo>. [Accedido: 05-ene-2016].
- [73] «Siete de los diez mayores productores de paneles solares son chinos - Empresas - Noticias, última hora, vídeos y fotos de Empresas en lainformacion.com.» [En línea]. Disponible en:  
[http://noticias.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/empresas/siete-de-los-diez-mayores-productores-de-paneles-solares-son-chinos\\_XCksvj28upjj0dkrDASSr2/](http://noticias.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/empresas/siete-de-los-diez-mayores-productores-de-paneles-solares-son-chinos_XCksvj28upjj0dkrDASSr2/). [Accedido: 06-ene-2016].

- [74] «Vestas y Siemens encabezan el ranking mundial de la eólica en 2014El Periodico de la Energía | El Periodico de la Energía.» [En línea]. Disponible en: <http://elperiodicodelaenergia.com/vestas-y-siemens-encabezan-el-ranking-mundial-de-la-eolica-en-2014/>. [Accedido: 06-ene-2016].
- [75] «XM filial ISA.» [En línea]. Disponible en: <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>. [Accedido: 09-ene-2016].
- [76] J. E. F. Aguirre, «Plan De Expansion De Referencia Generacion - Transmisión», 2014.
- [77] «Mercado Regulado y No Regulado.» [En línea]. Disponible en: <http://www.enertolima.com/portal/index.php/venta-de-energia/mercado-regulado-y-no-regulado.html>. [Accedido: 31-ene-2016].
- [78] «XM filial ISA.» [En línea]. Disponible en: <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>. [Accedido: 09-ene-2016].
- [79] «XM filial ISA.» [En línea]. Disponible en: <http://www.xm.com.co/Pages/DescripcionDelSistemaElectricoColombiano.aspx>. [Accedido: 09-ene-2016].
- [80] Upme, «Informe Mensual De Variables De Generación Y Del Mercado Eléctrico Colombiano – Marzo de 2015», n.º 69, p. 1, 2015.
- [81] UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), *Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2009-2023*. 2009.
- [82] «XM filial ISA.» [En línea]. Disponible en: <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/2-4-Generaci%C3%B3n-del-SIN.aspx>.
- [83] Subdirección Planeación y Minas, «El Carbón Colombiano Fuente de Energía para el mundo», *Unidad Planeación Min. Energética*, pp. 27-31, 2005.

- [84] «Tipos de Energías Renovables, Resumen - erenovable.com.» [En línea]. Disponible en: <http://erenovable.com/tipos-de-energias-renovables-resumen/>. [Accedido: 06-ene-2016].
- [85] UPME, *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia*. 2014.
- [86] EPM, «Jepírachi: una experiencia con la comunidad indígena Wayuu de la Alta Guajira colombiana», p. 71, 2005.
- [87] «Colombia, cuarto exportador de carbón a nivel mundial - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com.» [En línea]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-5310568>. [Accedido: 22-ene-2016].
- [88] N. A. N. Candil, J. R. Moreno, J. F. F. Castañeda, R. A. Villazón, y J. J. M. Galvis, *La Cadena del Carbón*. 2012.
- [89] M. Antonio y C. Camargo, «PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA : IDEARIO ENERGÉTICO 2050», 2015.
- [90] «International Energy Statistics - EIA.» [En línea]. Disponible en: <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=1&pid=7&aid=1&cid=CO,&syid=2008&eyid=2012&unit=TST>. [Accedido: 22-ene-2016].
- [91] UPME, «La Cadena del Gas Natural en Colombia», p. 111, 2006.
- [92] «Recursos hídricos en Colombia - Dinero.com.» [En línea]. Disponible en: <http://www.dinero.com/economia/articulo/recursos-hidricos-colombia/213224>. [Accedido: 26-ene-2016].
- [93] Upme, «Plan De Expansion De Referencia Generacion - Transmisión», pp. 1- 475, 2013.
- [94] J. Baldemar, G. Villegas, D. Vladimir, y C. Alejandro, «El uso del método MICMAC y MACTOR análisis prospectivo en un área operativa para la búsqueda de la excelencia operativa a través del Lean Manufacturing (Use of the MICMAC and MACTOR method prospective analysis in an operational area for the pursuit of op», vol. 8, n.º 16, pp. 335-356, 2011.

- [95] B. Cely, «Metodología de los Escenarios para Estudios Prospectivos», *Metod. Los Escenarios para Estud. Prospect.*, n.º 44, p. 10, 1999.
- [96] R. O’Ryan, «Diseño de un Modelo de Proyección de Demanda Energética Global Nacional de Largo Plazo», *Environ. Manag. Econ. Progr.*, 2008.
- [97] «Long-range Energy Alternatives Planning System.» [En línea]. Disponible en: <http://www.energycommunity.org/default.asp?action=47>. [Accedido: 22-ago-2015].
- [98] «Semillero en Prospectiva Energética de Colombia | Semillero en Prospectiva Energética de Colombia.» [En línea]. Disponible en: <http://energia.upbbga.edu.co/>. [Accedido: 26-ene-2016].
- [99] I. Nicolás y D. Sbroiavacca, «Presentación del Modelo LEAP», pp. 1-57, 2013.
- [100] «Energía renovable de América Latina y el Caribe.» [En línea]. Disponible en: <http://www.iadb.org/es/noticias/articulos/2013-06-18/energia-renovable-de-america-latina-y-el-caribe,10486.html>. [Accedido: 21-ene-2016].
- [101] «Energías Renovables en América Latina 2015 : Sumario de Políticas», 2015.
- [102] «América Latina, el nuevo mercado de las energías renovables | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico.» [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/08/18/america-latina-el-nuevo-mercado-de-las-energias-renovables/>. [Accedido: 21-ene-2016].
- [103] Fedit y E. Tecnologías de la información y telecomunicaciones, «Smart Grids Y La Evolución De La Red», *Fedit*, pp. 1-82, 2011.

## BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Alemania produce la mitad de su energía a través de energía solar | Acción Preferente. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.accionpreferente.com/mundo/alemania-produce-la-mitad-de-su-energia-a-traves-de-energia-solar/>. [Accedido: 29-ene-2016].
- ❖ América Latina, el nuevo mercado de las energías renovables | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.evwind.com/2015/08/18/america-latina-el-nuevo-mercado-de-las-energias-renovables/>. [Accedido: 21-ene-2016].
- ❖ Aparece en provincia china de Shandong mayor edificio de oficinas con energía solar en mundo. [En línea]. Disponible en:  
<http://spanish.peopledaily.com.cn/31614/6827650.html>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ B. Cely, «Metodología de los Escenarios para Estudios Prospectivos», Metod. los Escenarios para Estud. Prospect., n.o 44, p. 10, 1999.
- ❖ B. De República, «Información recopilada y calculada por el Departamento Técnico y de Información Económica del Cuadro Resumen - Principales indicadores económicos», pp. 1-23, 2012.
- ❖ B. Wirtschaftsthemen y D. Wedepohl, «Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche ( Photovoltaik )», pp. 5-8, 2011.
- ❖ C. Internacional, «Energías renovables», Energias Renov., pp. 6-9, 2011.
- ❖ China aumenta en un 60% su capacidad de energía solar. [En línea]. Disponible en: <http://newsroom.unfccc.int/es/energ%C3%ADa-limpia/china-aumenta-en-un-60-su-capacidad-de-energ%C3%ADa-solar/>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ China comienza construcción de su mayor proyecto de energía eólica | Spanish.xinhuanet.com. [En línea]. Disponible en:  
[http://spanish.xinhuanet.com/2015-12/04/c\\_134885016.htm](http://spanish.xinhuanet.com/2015-12/04/c_134885016.htm). [Accedido: 17-dic-2015].

- ❖ China: Capacidad de energía eólica alcanza récord - La Prensa. [En línea]. Disponible en: <http://www.laprensa.com.ni/2015/02/12/ciencia/1781770-china-capacidad-de-energia-eolica-alcanza-record>. [Accedido: 17-dic-2015].
- ❖ Chinese PV installations to reach 12 GW in 2014: pv-magazine. [En línea]. Disponible en: [http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/chinese-pv-installations-to-reach-12-gw-in-2014\\_100013486/#axzz3wL9JkNPX](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/chinese-pv-installations-to-reach-12-gw-in-2014_100013486/#axzz3wL9JkNPX). [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ Colombia, cuarto exportador de carbón a nivel mundial - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com. [En línea]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-5310568>. [Accedido: 22-ene-2016].
- ❖ Cómo es la planta solar más grande de Japón, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.infobae.com/2013/11/11/1522922-como-es-la-planta-solar-mas-grande-japon>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ CREG. [En línea]. Disponible en: <http://www.creg.gov.co/index.php/creg/error>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ Dane confirma que la pirámide poblacional en Colombia está envejeciendo | LA F.m. - RCN Radio. [En línea]. Disponible en: <http://www.lafm.com.co/noticias/nacional/27-05-11/dane-confirma-que-la-piramide-poblacional-en-colombia-est-envejeciendo>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ Documento Energía eólica PDF. [En línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/OscarLopez115/documento-energa-elica-pdf>. [Accedido: 20-dic-2015].
- ❖ E. El País, «Bruselas reprocha al Gobierno los recortes retroactivos en las primas a las fotovoltaicas», ene. 2011.
- ❖ E. El País, «España es el primer país donde la eólica se convierte en la mayor fuente de energía», ene. 2014.
- ❖ Economía - Información General - Colombia Info - Colombia.com. [En línea]. Disponible en: <http://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/economia/>. [Accedido: 05-ene-2016].

- ❖ El futuro de Alemania pasa por la energía eólica · National Geographic en español. · Actualidad. [En línea]. Disponible en: [http://www.nationalgeographic.com.es/articulo/ng\\_magazine/actualidad/10960/futuro\\_alemania\\_pasa\\_por\\_energia\\_eolica.html](http://www.nationalgeographic.com.es/articulo/ng_magazine/actualidad/10960/futuro_alemania_pasa_por_energia_eolica.html). [Accedido: 19-dic-2015].
- ❖ Empleo en las energías renovables | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/05/25/cuanto-empleo-genera-las-energias-renovables/>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ En primer proyecto de energía eólica en el mar para llegar en Gujarat - The Hindu. [En línea]. Disponible en: <http://www.thehindu.com/news/national/first-offshore-wind-power-project-to-come-up-in-gujarat/article6466014.ece>. [Accedido: 26-dic-2015].
- ❖ ENERGIA EOLICA. [En línea]. Disponible en: [http://www.refrigeracio.com/index\\_archivos/page0004.htm](http://www.refrigeracio.com/index_archivos/page0004.htm). [Accedido: 19-dic-2015].
- ❖ Energía renovable de América Latina y el Caribe. [En línea]. Disponible en: <http://www.iadb.org/es/noticias/articulos/2013-06-18/energia-renovable-de-america-latina-y-el-caribe,10486.html>. [Accedido: 21-ene-2016].
- ❖ Energía solar descripción general detallada. [En línea]. Disponible en: <http://solarproargentina.com/energia-solar-descripcion-general-detallada/>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ ENERGÍA SOLAR, ITALIA PRIMERA EN EL MUNDO. [En línea]. Disponible en: <http://www.interris.it/es/2015/05/14/58538/senza-categoria-es/energia-solar-italia-primera-en-el-mundo.html>. [Accedido: 09-ene-2016].
- ❖ Energías Renovables en América Latina 2015?: Sumario de Políticas», 2015.
- ❖ Energías renovables en Colombia - Dinero.com. [En línea]. Disponible en: <http://www.dinero.com/pais/articulo/energias-renovables-colombia/196062>. [Accedido: 05-ene-2016].

- ❖ Energías renovables en Italia: segunda en energía solar fotovoltaica y séptima en eólica | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2014/05/24/italia-en-los-primeros-lugares-de-produccion-de-energias-renovables/>. [Accedido: 09-ene-2016].
- ❖ Energías renovables y eólica: Alemania instaló 4,8 GW en 2014 | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/02/02/eolica-en-alemania-instalan-otros-1-700-aerogeneradores-en-2014/>. [Accedido: 19-dic-2015].
- ❖ Eólica en India: Gamesa suministra aerogeneradores a seis parques eólicos | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/04/28/eolica-en-india-gamesa-suministra-aerogeneradores-a-seis-parques-eolicos/>. [Accedido: 26-dic-2015].
- ❖ EPM, «Jepírachi: una experiencia con la comunidad indígena Wayuu de la Alta Guajira colombiana», p. 71, 2005.
- ❖ España no creó ningún parque eólico en el 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/natural/20150119/54423770220/espana-parque-eolico-2014.html>. [Accedido: 21-dic-2015].
- ❖ España recupera su trono y será el tercer mayor productor de energía eólica de Europa en 2030. [En línea]. Disponible en: <http://www.expansion.com/empresas/energia/2015/09/16/55f921e6268e3ee6718b4580.html>. [Accedido: 21-dic-2015].
- ❖ Estados Unidos es el número dos en generación de energía eólica | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/08/12/estados-unidos-es-el-numero-dos-en-generacion-de-energia-eolica/>. [Accedido: 19-dic-2015].
- ❖ Estados Unidos quiere doblar la generación de energía eólica en cinco años - Expansion.com. [En línea]. Disponible en: <http://www.expansion.com/agencia/efe/2015/03/12/20509213.html>. [Accedido: 19-dic-2015].

- ❖ Estados Unidos se vuelve loco con la fotovoltaica, que crece al 30% anual – elEconomista.es. [En línea]. Disponible en: <http://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/6549906/03/15/Estados-Unidos-se-vuelve-loco-con-la-fotovoltaica-que-crece-al-30-anual.html>. [Accedido: 09-ene-2016].
- ❖ European Commission, EU Energy, Transport and GHG Emissions: Trends to 2050 - Reference Scenario 2013. 2013.
- ❖ Fedit y E. Tecnologías de la información y telecomunicaciones, «Smart Grids Y La Evolución De La Red», Fedit, pp. 1-82, 2011.
- ❖ Folleto\_Luciernaga.Pdf.
- ❖ G. Mixto y E. B. Waldron, «Departamento Administrativo Nacional de Estadística las principales variables demográficas y socioeconómicas del Censo 2005 Informe final», 2008.
- ❖ Gamesa eólica construye parque para Tata Power | REVE – Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2015/12/17/gamesa-eolica-construye-parque-para-tata-power/>. [Accedido: 26-dic-2015].
- ❖ Google Image Result for <http://i2.wp.com/fotoplat.org/wp-content/uploads/2015/03/Energ%C3%ADa-solar-fotovoltaica.-Presente-y-futuro.jpg?resize=1240%2C1624>. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://i2.wp.com/fotoplat.org/wp-content/uploads/2015/03/Energ%2525C3%2525ADa-solar-fotovoltaica.-Presente-y-futuro.jpg%253Fresize%253D1240%25252C1624&imgrefurl=http://fotoplat.org/2015/03/la-energia-solar-fotovoltaica-en-espana-presente-y-futuro/&h=1624&w=1240&tbnid=nLCXAobw4zVvdM:&docid=-VD0CkBehHYgcM&ei=j7iuVuH7BYrXmwHnxLLAAg&tbn=isch>. [Accedido: 01-feb-2016].
- ❖ H. R. Olade, «Energías Renovables», p. 96, 2011. <http://social.yourstory.com/2015/07/india-wind-power/>. [Accedido: 26-dic-2015].

- ❖ India desplaza a España del cuarto puesto mundial por capacidad eólica con la ayuda de Gamesa El Periódico de la Energía | El Periódico de la Energía. [En línea]. Disponible en: <http://elperiodicodelaenergia.com/india-desplaza-a-espana-del-cuarto-puesto-mundial-por-capacidad-eolica/>. [Accedido: 26-dic-2015].
- ❖ India's wind power capacity expected to double by 2020, survey suggests - SocialStory - SocialStory. [En línea]. Disponible en:
- ❖ International Energy Statistics - EIA. [En línea]. Disponible en: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=90&pid=44&aid=8&cid=US,&syid=2008&eyid=2012&unit=MMTCD>. [Accedido: 31-ene-2016].
- ❖ International Energy Statistics - EIA. [En línea]. Disponible en: <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=1&pid=7&aid=1&cid=CO,&syid=2008&eyid=2012&unit=TST>. [Accedido: 22-ene-2016].
- ❖ J. Baldemar, G. Villegas, D. Vladimir, y C. Alejandro, «El uso del método MICMAC y MACTOR análisis prospectivo en un área operativa para la búsqueda de la excelencia operativa a través del Lean Manufacturing ( Use of the MICMAC and MACTOR method prospective analysis in an operational area for the pursuit of op», vol. 8, n.o 16, pp. 335-356, 2011.
- ❖ J. E. F. Aguirre, «Plan De Expansion De Referencia Generacion - Transmisión», 2014.
- ❖ La carrera japonesa por traer a la Tierra energía solar desde el espacio | Innovadores | EL MUNDO. [En línea]. Disponible en: <http://www.elmundo.es/economia/2015/03/23/550c54b3268e3e2e378b456b.html>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ La energía eólica crece en el mundo. [En línea]. Disponible en: <http://newsroom.unfccc.int/es/energ%C3%ADa-limpia/la-energia-eolica-crece-en-el-mundo/>. [Accedido: 17-dic-2015].

- ❖ La energía eólica puede llegar a ser una de las principales fuentes de electricidad de Estados Unidos | REVE. [En línea]. Disponible en: <http://www.evwind.es/2015/03/12/wind-energy-can-become-one-of-americas-top-electricity-sources/50956>. [Accedido: 19-dic-2015].
- ❖ La fotovoltaica superará a la eólica en la India en 2015 | EnergyNews.es. [En línea]. Disponible en: <http://www.energynews.es/la-fotovoltaica-supera-a-la-eolica-en-la-india-con-mas-de-2-500-mw-instalados-en-2015/>. [Accedido: 26-dic-2015].
- ❖ LA RICA ESPAÑA - Viento: el sector eólico español cuenta con empresas líderes a nivel mundial. [En línea]. Disponible en: <http://www.abc.es/espana/la-rica-espana/20150526/abci-energia-eolica-201505201117.html>. [Accedido: 21-dic-2015].
- ❖ Las 10 mayores plantas fotovoltaicas del mundo El Periódico de la Energía | El Periódico de la Energía. [En línea]. Disponible en: <http://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>. [Accedido: 09-ene-2016].
- ❖ Líder en medidas energéticas innovadoras | Portafolio.co. [En línea]. Disponible en: <http://www.portafolio.co/columnistas/lider-medidas-energeticas-innovadoras>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ Llegó la hora de las energías renovables no convencionales en Colombia | SGIC - FNCER. [En línea]. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/sgic/?q=content/lleg%C3%B3-la-hora-de-las-energ%C3%ADas-renovables-no-convencionales-en-colombia>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ Long-range Energy Alternatives Planning System. [En línea]. Disponible en: <http://www.energycommunity.org/default.asp?action=47>. [Accedido: 22-ago-2015].
- ❖ M. Antonio y C. Camargo, «PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA?: IDEARIO ENERGÉTICO 2050», 2015.
- ❖ M. International, «Agenda», 2014.

- ❖ Manos Fuera de China: China, líder mundial en energía eólica: el ejemplo de Jiuqian. [En línea]. Disponible en:  
<http://manosfueradechina.blogspot.com.co/2013/11/china-lider-mundial-de-energia-eolica.html>. [Accedido: 17-dic-2015].
- ❖ Mercado Regulado y No Regulado. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.enertolima.com/portal/index.php/venta-de-energia/mercado-regulado-y-no-regulado.html>. [Accedido: 31-ene-2016].
- ❖ Ministerio de Educación Nacional- Estadísticas del sector educativo. [En línea]. Disponible en:  
[http://menweb.mineduacion.gov.co/seguimiento/estadisticas/principal\\_ind.php?consulta=ind\\_tsa\\_cobn&nivel=23](http://menweb.mineduacion.gov.co/seguimiento/estadisticas/principal_ind.php?consulta=ind_tsa_cobn&nivel=23). [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ N. A. N. Candil, J. R. Moreno, J. F. F. Castañeda, R. A. Villazón, y J. J. M. Galvis, La Cadena del Carbón. 2012.
- ❖ Nicolás y D. Sbroiavacca, «Presentación del Modelo LEAP», pp. 1-57, 2013.
- ❖ Noticias de Economía, Finanzas y Negocio de Colombia y el Mundo. - larepublica.co. [En línea]. Disponible en: [http://www.larepublica.co/nueva-ley-de-energ%C3%ADas-renovables\\_127591](http://www.larepublica.co/nueva-ley-de-energ%C3%ADas-renovables_127591). [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ O. Econ, «Notas Sectoriales El mercado de Notas Sectoriales El mercado de», pp. 1-45, 2010.
- ❖ P. Y. C. D. E. Energía, M. I. X. Energético, y M. Regulatorio, «El mercado de las energías renovables en China», 2013.
- ❖ Paris Climate Conference to Proceed with Heightened Security After Attacks | TIME. [En línea]. Disponible en: <http://time.com/4113215/paris-attacks-climate-conference/>. [Accedido: 22-ene-2016].
- ❖ PHOTON Info. [En línea]. Disponible en:  
[http://www.photon.info/photon\\_news\\_detail\\_en.photon?id=83914](http://www.photon.info/photon_news_detail_en.photon?id=83914). [Accedido: 05-ene-2016].

- ❖ Protocolo de Kioto | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=458:planta-cambio-climatico-14>. [Accedido: 04-ene-2016].
- ❖ Protocolo de Kioto. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.ecointeligencia.com/2015/06/protocolo-kioto/>. [Accedido: 04-ene-2016].
- ❖ Protocolo de Kyoto: paradojas, derrotas y victorias. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.razonpublica.com/index.php/internacional-temas-32/3513-protocolo-de-kyoto-paradojas-derrotas-y-victorias.html>. [Accedido: 04-ene-2016].
- ❖ Qué es el “impuesto al sol” y cómo van a cobrar por el autoconsumo energético. [En línea]. Disponible en:  
[http://www.huffingtonpost.es/2015/10/09/impuesto-al-sol-autoconsumo-energetico\\_n\\_8267900.html](http://www.huffingtonpost.es/2015/10/09/impuesto-al-sol-autoconsumo-energetico_n_8267900.html). [Accedido: 01-feb-2016].
- ❖ Quiénes Somos | UPME. [En línea]. Disponible en:  
<http://www1.upme.gov.co/quienes-somos>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ R. E. A. Ortiz, A. A. G. Deibe, y C. A. V. Aldana, « E N E R G I A R E N O V A B L E E N C O L O M B I A »», 2008.
- ❖ R. Ferroukhi, A. Khalid, A. Lopez-Peña, y M. Renner, «Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2015», p. 16, 2015.
- ❖ R. O’Ryan, «Diseño de un Modelo de Proyección de Demanda \rEnergética Global Nacional de Largo Plazo», Environ. Manag. Econ. Progr., 2008.
- ❖ Recursos hídricos en Colombia - Dinero.com. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.dinero.com/economia/articulo/recursos-hidricos-colombia/213224>. [Accedido: 26-ene-2016].
- ❖ REN21, «Renewables 2015 Global Status Report - Key Findings», p. 32, 2015.
- ❖ Resumen de indicadores de Educación Superior - Sistemas información. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-article-212350.html>. [Accedido: 05-ene-2016].

- ❖ REVE-Estados Unidos ya cuenta con 67.870 MW de energía eólica | Asociación Empresarial Eólica. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.aeeolica.org/es/new/reve-estados-unidos-ya-cuenta-con-67870-mw-de-energia-eolica/>. [Accedido: 19-dic-2015].
- ❖ Revista ib virtual: [En línea]. Disponible en:  
[http://www.dane.gov.co/revista\\_ib/html\\_r8/articulo3.html](http://www.dane.gov.co/revista_ib/html_r8/articulo3.html). [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ Semillero en Prospectiva Energética de Colombia | Semillero en Prospectiva Energética de Colombia. [En línea]. Disponible en:  
<http://energia.upbbga.edu.co/>. [Accedido: 26-ene-2016].
- ❖ Shipment of PV cells and modules in Japan, p. 2012, 2012.
- ❖ Siete de los diez mayores productores de paneles solares son chinos - Empresas - Noticias, última hora, vídeos y fotos de Empresas en lainformacion.com. [En línea]. Disponible en:  
[http://noticias.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/empresas/siete-de-los-diez-mayores-productores-de-paneles-solares-son-chinos\\_XCksvj28upjj0dkrDASSr2/](http://noticias.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/empresas/siete-de-los-diez-mayores-productores-de-paneles-solares-son-chinos_XCksvj28upjj0dkrDASSr2/). [Accedido: 06-ene-2016].
- ❖ Sistema General de Regalías SGR? Ministerio de Minas y Energía.» [En línea]. Disponible en:  
<https://www.sgr.gov.co/Qui%C3%A9nesSomos/%C3%93rganosdelSGR/MinisteriodeMinasyEnerg%C3%ADa.aspx>. [Accedido: 05-ene-2016].
- ❖ Subdirección Planeación y Minas, «El Carbón Colombiano Fuente de Energía para el mundo», Unidad Planeación Min. Energética, pp. 27-31, 2005.
- ❖ Tipos de Energías Renovables, Resumen - erenovable.com. [En línea]. Disponible en: <http://erenovable.com/tipos-de-energias-renovables-resumen/>. [Accedido: 06-ene-2016].
- ❖ UNFCCC COP 21 Paris France - 2015 Paris Climate Conference. [En línea]. Disponible en: <http://www.cop21paris.org/about/cop21/>. [Accedido: 22-ene-2016].

- ❖ UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2009-2023. 2009.
- ❖ Upme, «Informe Mensual De Variables De Generación Y Del Mercado Eléctrico Colombiano – Marzo de 2015», n.o 69, p. 1, 2015.
- ❖ UPME, «La Cadena del Gas Natural en Colombia», p. 111, 2006.
- ❖ Upme, «Plan De Expansion De Referencia Generacion - Transmisión», pp. 1-475, 2013.
- ❖ UPME, Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia Integración de las energías en Colombia. 2014.
- ❖ Vestas y Siemens encabezan el ranking mundial de la eólica en 2014 El Periódico de la Energía | El Periódico de la Energía. [En línea]. Disponible en: <http://elperiodicodelaenergia.com/vestas-y-siemens-encabezan-el-ranking-mundial-de-la-eolica-en-2014/>. [Accedido: 06-ene-2016].
- ❖ With landmark climate accord, world marks turn from fossil fuels | Reuters. [En línea]. Disponible en: <http://www.reuters.com/article/us-climatechange-summit-idUSKBN0TV04L20151212#gVKudBATCD0EGdxL.97>. [Accedido: 24-ene-2016].
- ❖ Wunderland Kalkar: Nuclear Power Plant Turned Amusement Park | Amusing Planet. [En línea]. Disponible en: <http://www.amusingplanet.com/2011/06/wunderland-kalkar-nuclear-power-plant.html>. [Accedido: 20-dic-2015].
- ❖ XM filial ISA. [En línea]. Disponible en: <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>. [Accedido: 09-ene-2016].
- ❖ XM filial ISA. [En línea]. Disponible en: <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>. [Accedido: 09-ene-2016].
- ❖ XM filial ISA. [En línea]. Disponible en: <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/2-4-Generaci%C3%B3n-del-SIN.aspx>.

- ❖ XM filial ISA. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>.  
[Accedido: 09-ene-2016].

## ANEXOS

### Anexo A. Guía de mano del LEAP

El LEAP brinda soporte confiable e integrado para el estudio de planeamiento energético integral y la disminución de gases de efectos invernadero. El software asigna los flujos energéticos entre las distintas tecnologías de generación energética, localiza las necesidades de ampliación de los procesos de producción de energía, calcula los recursos, los costos y los impactos ambientales según el escenario de demanda final de energía[99].

En el LEAP se deben crear escenarios bajo ciertas hipótesis del comportamiento de variables como: la población, el desarrollo económico, tecnológico y precios (variables que especifican el escenario), que brinden información detallada sobre el consumo, generación y transformación de la energía. EL programa permite estudiar las políticas energéticas, políticas ambientales, el planeamiento energético y los estudios de mitigación de gases[99].

### **Sistema energético total**

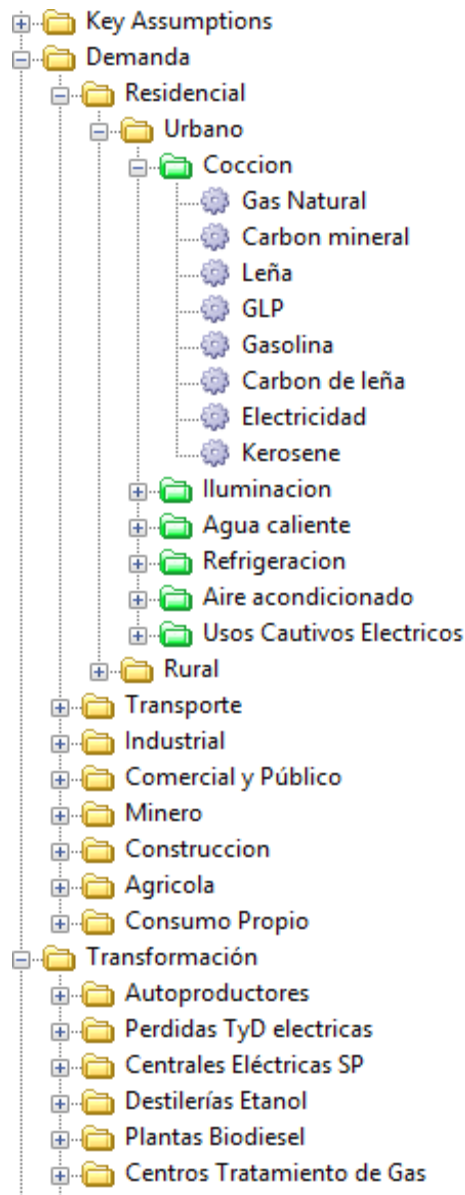
Se compone de[99] :

- **Demanda:** en esta parte se detalla el crecimiento de la misma por medio de los combustibles, las intensidades energéticas, equipamientos de transformación y cambios estructurales. Se analiza desde un punto de vista jerárquico.
- **Transformación:** permite configurar las entradas y salidas del sistema así como la oferta actual y la futura. Simula los sectores de transformación tales como: la generación, transmisión, distribución, las refinerías, producción de carbón, etc.

- **Recursos:** proporciona el acceso a las reservas de los recursos renovables y no renovables.
- **Medio ambiente:** representación de las emisiones de gases.
- **Balance oferta/demanda:** balance energético proyectado.
- **Costos:** costos de un escenario en particular.

Además de lo anterior posee un árbol como la principal estructura de datos en el que se organiza la información para poder visualizar los resultados. Los iconos indican el tipo de datos como se puede ver en la siguiente imagen en donde cada símbolo tiene un uso[99]:

Figura 54. Árbol del LEAP



**Categoría:** Se utilizan para organizar las ramas dentro de una estructura jerárquica.

**Uso final:** las intensidades energéticas están especificadas para un uso final agregado debido a que no se cuenta con datos de consumo ni de intensidades por tecnologías. Se usa cuando se efectúan análisis en términos de energía útil.

**Tecnología:** se utiliza para reemplazar el consumo final de energía de los dispositivos, también se debe seleccionar el combustible utilizado. El LEAP analiza la demanda por estas tres imágenes:

**Nivel de actividad:** En donde el consumo se calcula como el nivel de actividad por la intensidad energética de cada dispositivo.

**Stock:** en el cual el consumo se calcula con el stock actual y proyectado de los dispositivos que usan energía, y la intensidad energética anual de cada artefacto.

**Transporte:** Calcula el consumo como la cantidad de vehículos por la distancia anual recorrida por el consumo específico.

**Key Assumptions (Variables principales):** indican las variables independientes.

**Rama de combustible:** indican el insumo energético, el insumo auxiliar y los output de cada módulo de transformación. En los recursos indican los recursos primarios y secundarios que son producidos, importados y exportados.

**Efectos:** indican donde hay cargas ambientales que el LEAP calcula.

En la parte izquierda del programa se puede ver la barra de vista general, en donde aparecen las diferentes vistas y se explican con más detalle a continuación:

Figura 55. Barra de vista general



**Vista de análisis:** Es donde se crean las estructuras, los datos, el modelo y los escenarios.

**Vista de resultados:** Aquí es donde se obtiene los resultados de los escenarios en forma de gráficos

**Vista de diagramas:** genera el “Referency Energy System” mostrando el flujo de energía del área de estudio

**Balances Energéticos:** muestra el balance energético del sistema para un año en particular.

**Vistas Resúmenes:** muestra la comparación costos-beneficio de los escenarios.

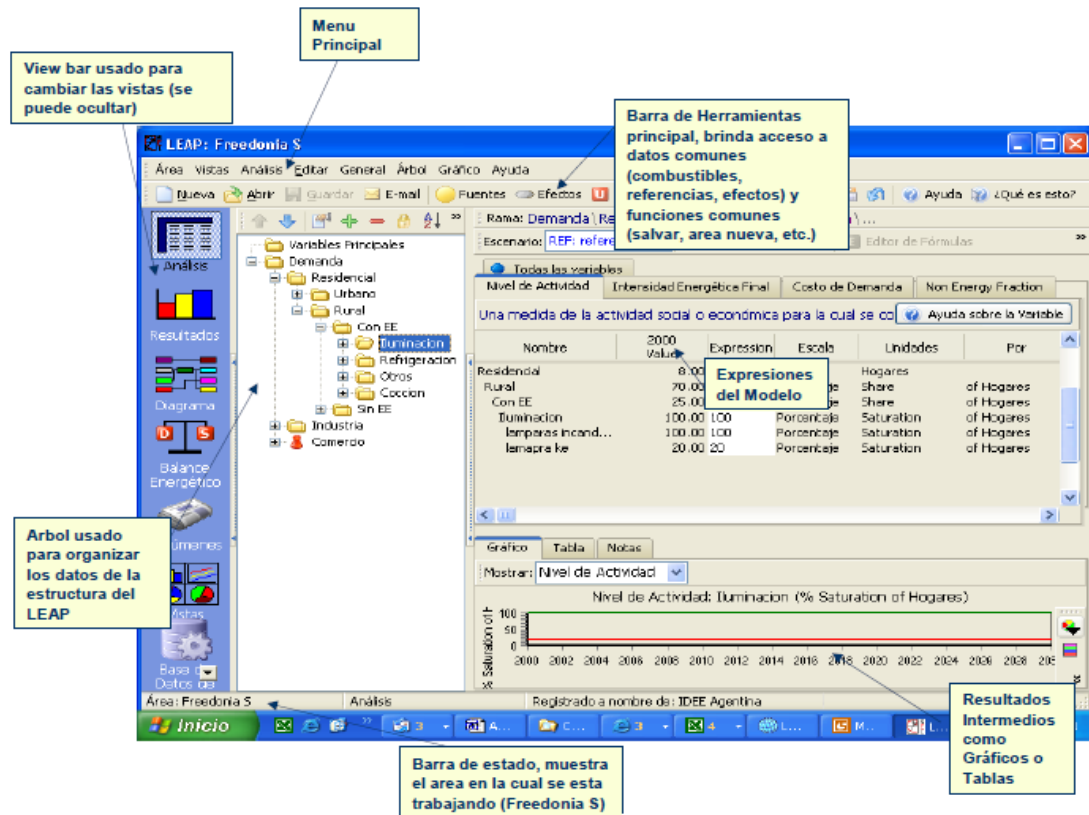
**Vistas Generales:** se agrupan múltiples gráficos con fines de crear una presentación.

**TED:** características tecnologías, costos e impactos ambientales de aproximadamente 1000 tecnologías energéticas

**Notas:** donde el usuario documenta sus datos y los modelos utilizados

En la siguiente imagen se puede ver el entorno general del espacio de trabajo

Figura 56. Vista principal de modelo[99]



Para hacer un análisis de la demanda se identifican las variables socio-económicas que controlan el consumo energético, luego se organiza la estructura del consumo energético en forma de árbol jerárquico por sectores, subsectores, usos finales, combustible o tecnología, por lo general se especifica el nivel de actividad y se desagrega el total de la actividad en los subsectores (25% corresponde a lo urbano y de éstos el 50% tiene aire acondicionado) y para finalizar se debe asignar el consumo y la intensidad energética anual[99].

El LEAP calcula la demanda de 4 maneras, el análisis en **energía final** de la siguiente ecuación  $e = a * i * t$  en donde e= demanda, i=intensidad energética y a= nivel de actividad. El análisis en **energía útil** lo calcula como  $e = a * \frac{u}{n}$  en donde

$u$ =intensidad energética de energía útil,  $n$ = eficiencia. El **análisis stock**:  $e = s * d$  en donde  $s$ =stock y  $d$ = intensidad del artefacto y por último el análisis del **sector transporte** en donde  $e = s * m / fe$  donde  $s$ =parque,  $m$ =kilómetros recorridos,  $fe$ =consumo específico y  $e$ =consumo energético[99].

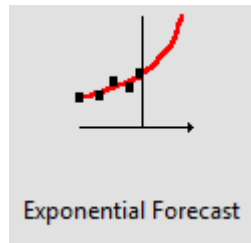
Hay tres tipos de abordajes para realizar la demanda:

- ❖ **Bottom-Up**: Contabilización detallada del consumo de energía por sectores, subsectores, usos finales y dispositivos. Se considera el mejor sistema para proyecciones de largo plazo porque aborda cómo la economía usa la energía. Es altamente dependiente de los expertos energéticos para la estimación de tendencias e hipótesis y es difícil para capturar los impactos de políticas fiscales.
- ❖ **Top down/econométrico**: se basa en históricos que son más confiables. Su prospectiva se usa en tendencias históricas o utilizando relaciones econométricas agregadas (PIB, Precios, etc), captura impactos de corto plazo de políticas de precios pero no es adecuada para escenarios de largo plazo por causa de las variables exógenas.
- ❖ **Modo desdoblado**: la prospectiva del escenario base se realiza con el *top-down*, los escenarios alternativos con políticas que reducen la demanda de energía en el tiempo, son ingresadas como cargas negativas del consumo.

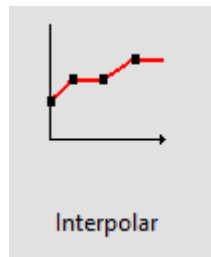
De forma similar a las planillas de cálculo de Excel, se pueden utilizar expresiones que permitan obtener valores numéricos, ya sea por medio de funciones o valores de otras variables. Las siguientes expresiones son las de uso más común[99]:

- ✓ Número simple: representa un valor constante en cada uno de los escenarios

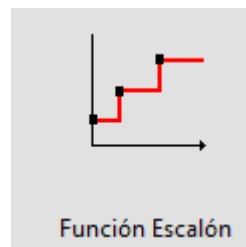
- ✓ Fórmula: permite calcular un valor por medio de una operación simple (Ej:  $5 * 0,3$ )
- ✓ Tasa de crecimiento: se calcula mediante la expresión Growth, la cual permite un crecimiento exponencial (Ej: Growth (3%)) como se ve en el siguiente gráfico.



- ✓ Interpolación: permite hacer variaciones graduales (Ej: `interp(2010;25; 2016;26)`)



- ✓ Escalón: realiza cambios discretos (`step(2010;500; 2016;1000; 2020;-300)`)



- ✓ Crecer como: con el año base y la tasa de crecimiento de una rama permite calcular años futuros de otra (`Growth As (House hold\Rural,0,8)`)

- ✓ Resto: completa para que el valor de la rama o del dispositivo alcance el 100 por ciento (trabaja en porcentaje). (Ej: remainder(100))


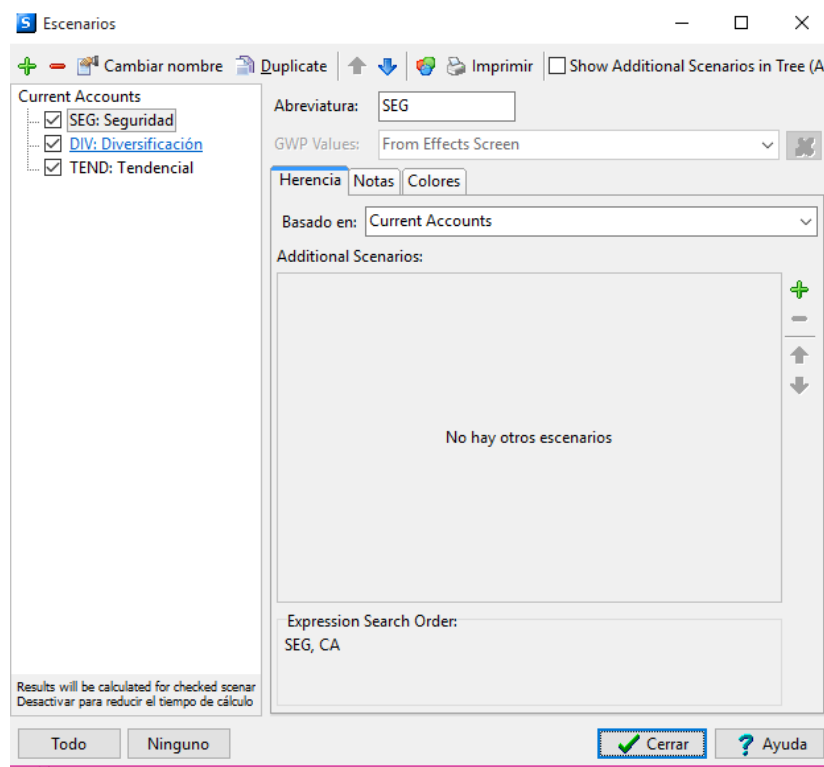
Para crear un escenario se da clic en el icono  Escenarios y se abrirá una ventana nueva como la que se muestra a continuación[99].

Figura 57. Creación de escenarios



Allí se pueden elegir los colores, además contiene la pestaña herencia que permite crear escenarios que heredan expresiones por defecto de escenarios relacionados. Todos los escenarios contienen la información del año base permitiendo mantener hipótesis comunes en los diferentes escenarios. En la vista análisis, las expresiones se pueden ver azules cuando han sido ingresadas explícitamente en el escenario, y las que aparecen en negro son las heredadas de otros escenarios[99].

En el caso del sector transformación permite convertir la energía, transmisión, distribución, pérdidas y extracción de los recursos, posibilita añadir capacidades de plantas futuras por medio de expansiones endógenas y exógenas[99].

**Capacidad exógena:** el usuario es quien especifica la capacidad y el año que se introduce actual, futura y los retiros.

**Capacidad endógena:** El programa es quien decide el momento para introducir la planta con el fin de mantener cierto margen de reserva aunque es el usuario quien especifica el tipo de planta.

El programa realiza el despacho (entrada de plantas) de dos maneras: la primera consiste en la generación histórica y la segunda en el porcentaje total de generación o por orden de mérito o costos de funcionamiento ascendentes.

En las siguientes imágenes se puede ver las diferentes vistas que tiene el software.

Figura 58. Vista de resultados[99].

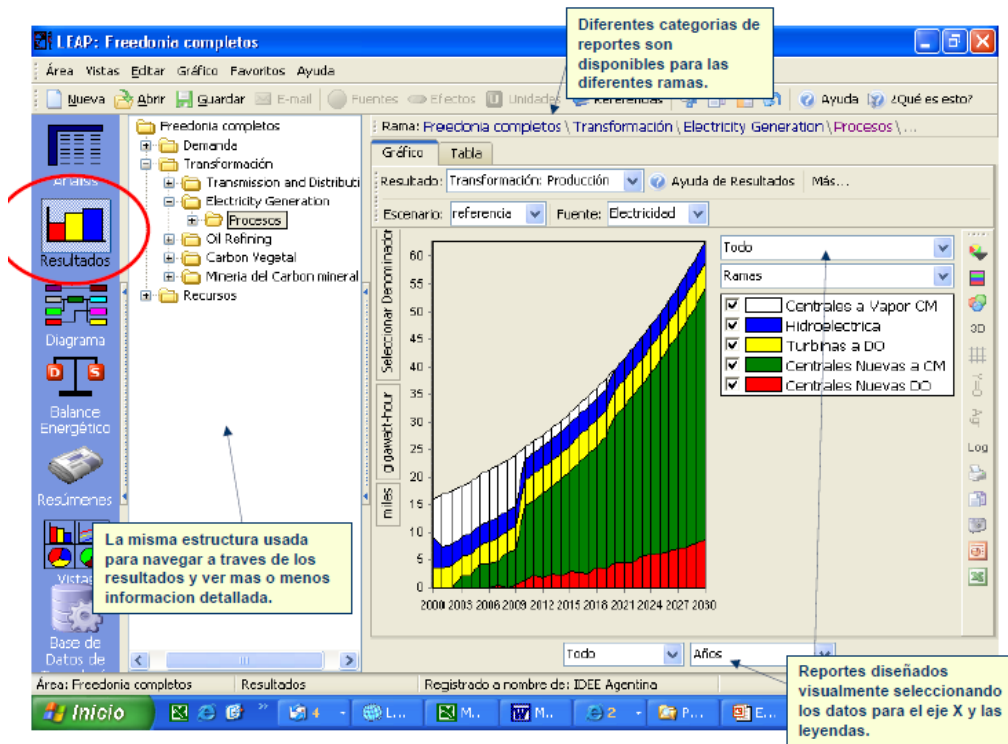


Figura 59. Vista de diagrama[99].

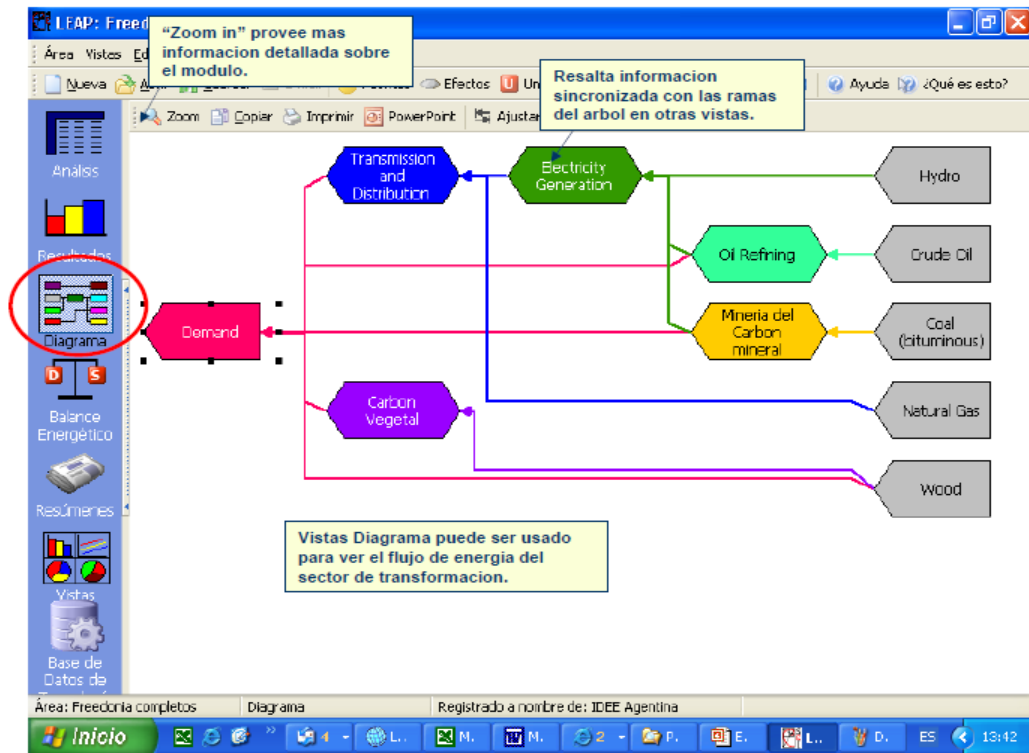


Figura 60. Balance energético[99].

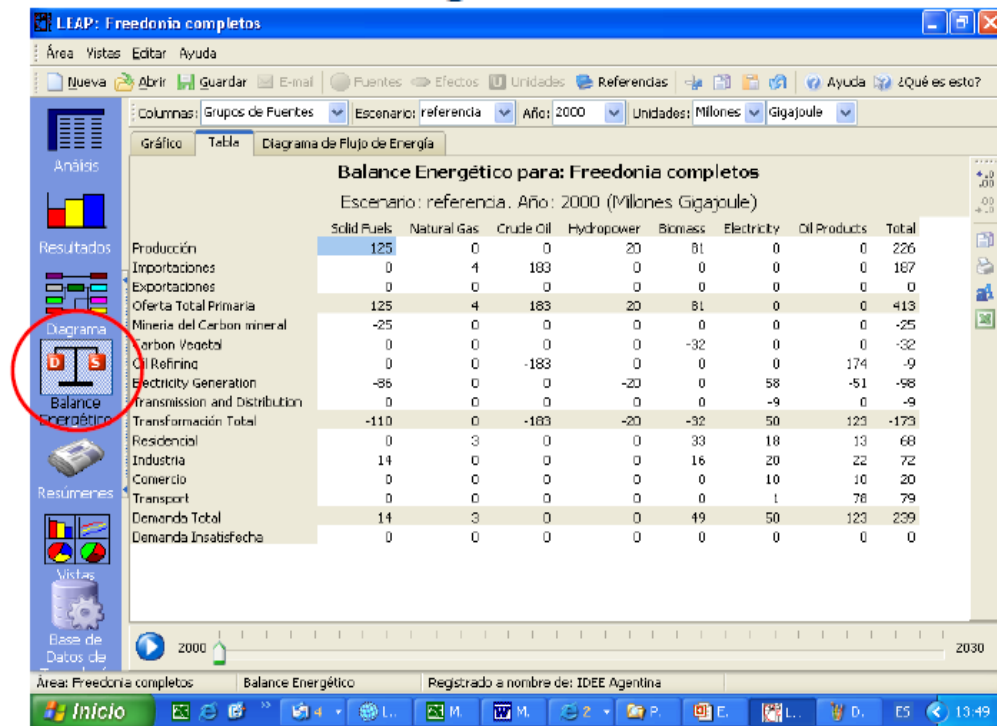
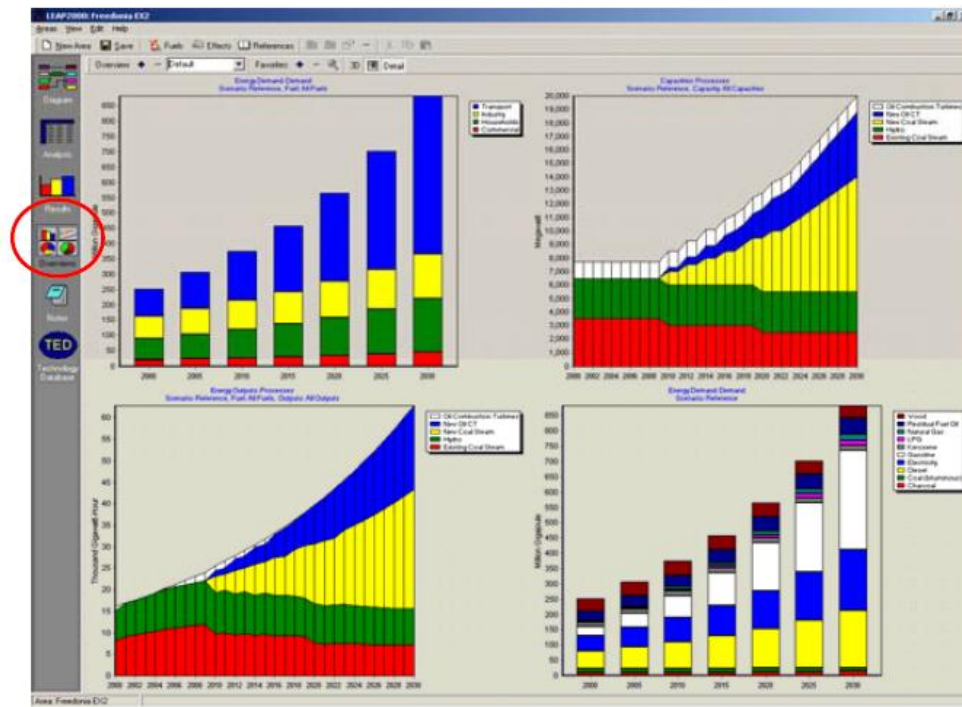


Figura 61. Vista general[99].



A la hora de correr la prospectiva en LEAP se utilizaron los siguientes *Key Assumptions* cuyas proyecciones para cada escenario fueron las mismas:

Figura 62. Key Assumptions generales utilizados en la prospectiva

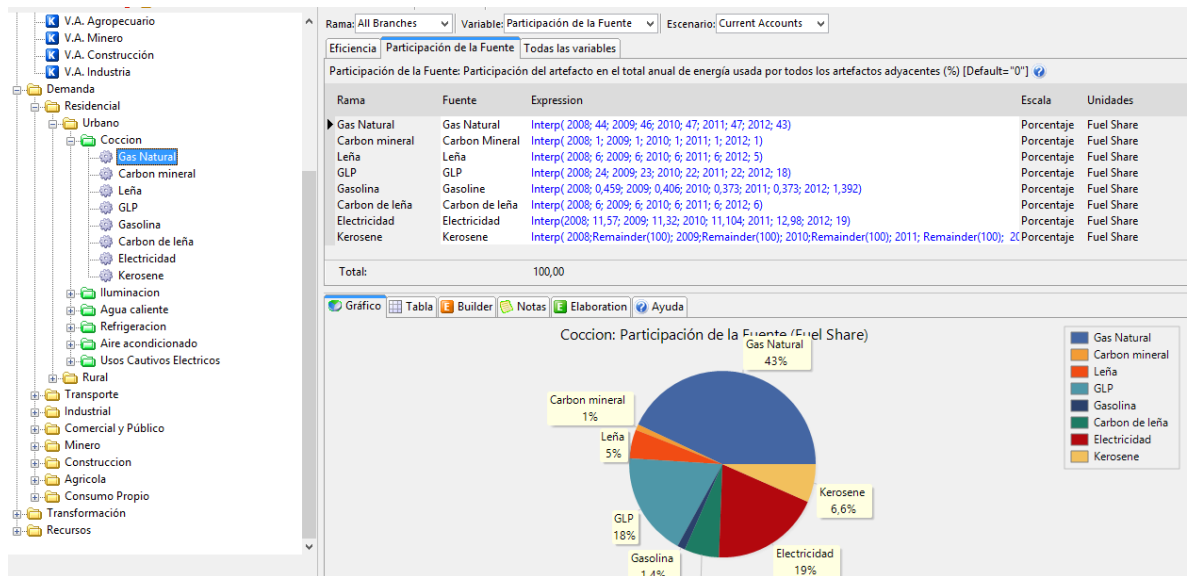
Key Assumptions: No se han ingresado variables macroeconómicas, demográficas o de otro tipo en ningún otro lado. []

Rama	Escenario	Expresion	Escala	Unidad
V.A. Resto Industrias	Verde	Interp(2013; 22214,07; 2014; 22430,96; 2015; 23314,34; 2016; 23467,64; 2017; 23599,16; 2018; 2412	Miles de mill \$	2008
	Tendencial	Interp(2013; 22214,07; 2014; 22430,96; 2015; 23314,34; 2016; 23467,64; 2017; 23599,16; 2018; 2412	Miles de mill \$	2008
V.A. Agropecuario	Current Accounts	Interp(2008; 27849; 2009; 27667; 2010; 27720; 2011; 28295; 2012; 28995)	Miles de mill \$	2008
	Seguridad	Interp(2013; 30581; 2014; 31627; 2015; 32267; 2016; 32860; 2017; 33863; 2018; 35052; 2019; 36132;	Miles de mill \$	2008
	Verde	Interp(2013; 30581; 2014; 31627; 2015; 32267; 2016; 32860; 2017; 33863; 2018; 35052; 2019; 36132;	Miles de mill \$	2008
	Tendencial	Interp(2013; 30581; 2014; 31627; 2015; 32267; 2016; 32860; 2017; 33863; 2018; 35052; 2019; 36132;	Miles de mill \$	2008
V.A. Minero	Current Accounts	Interp(2008; 24306; 2009; 26964; 2010; 29821; 2011; 34147; 2012; 36043)	Miles de mill \$	2008
	Seguridad	Interp(2013; 37827; 2014; 37453,2; 2015; 35796,1; 2016; 36090,3; 2017; 37016,96; 2018; 38111,8; 20	Miles de mill \$	2008
	Verde	Interp(2013; 37827; 2014; 37453,2; 2015; 35796,1; 2016; 36090,3; 2017; 37016,96; 2018; 38111,8; 20	Miles de mill \$	2008
	Tendencial	Interp(2013; 37827; 2014; 37453,2; 2015; 35796,1; 2016; 36090,3; 2017; 37016,96; 2018; 38111,8; 20	Miles de mill \$	2008
V.A. Construcción	Current Accounts	Interp(2008; 25009; 2009; 26329; 2010; 26302; 2011; 28469; 2012; 30163)	Miles de mill \$	2008
	Seguridad	Interp(2013; 33786; 2014; 38823,21; 2015; 42706,54; 2016; 45702,26; 2017; 50782,15; 2018; 55919,7	Miles de mill \$	2008
	Verde	Interp(2013; 33786; 2014; 38823,21; 2015; 42706,54; 2016; 45702,26; 2017; 50782,15; 2018; 55919,7	Miles de mill \$	2008
	Tendencial	Interp(2013; 33786; 2014; 38823,21; 2015; 42706,54; 2016; 45702,26; 2017; 50782,15; 2018; 55919,7	Miles de mill \$	2008
V.A. Industria	Current Accounts	V.A. Alimentos bebidas y tabaco[ \$ 2008]+V.A. Quimicos[ \$ 2008]+V.A. Papel e imprenta[ \$ 2008	Miles de mill \$	2008
	Seguridad	V.A. Alimentos bebidas y tabaco[ \$ 2008]+V.A. Quimicos[ \$ 2008]+V.A. Papel e imprenta[ \$ 2008	Miles de mill \$	2008
	Verde	V.A. Alimentos bebidas y tabaco[ \$ 2008]+V.A. Quimicos[ \$ 2008]+V.A. Papel e imprenta[ \$ 2008	Miles de mill \$	2008
	Tendencial	V.A. Alimentos bebidas y tabaco[ \$ 2008]+V.A. Quimicos[ \$ 2008]+V.A. Papel e imprenta[ \$ 2008	Miles de mill \$	2008

Key Assumptions: Nivel de Actividad (Biliones \$ 2008)

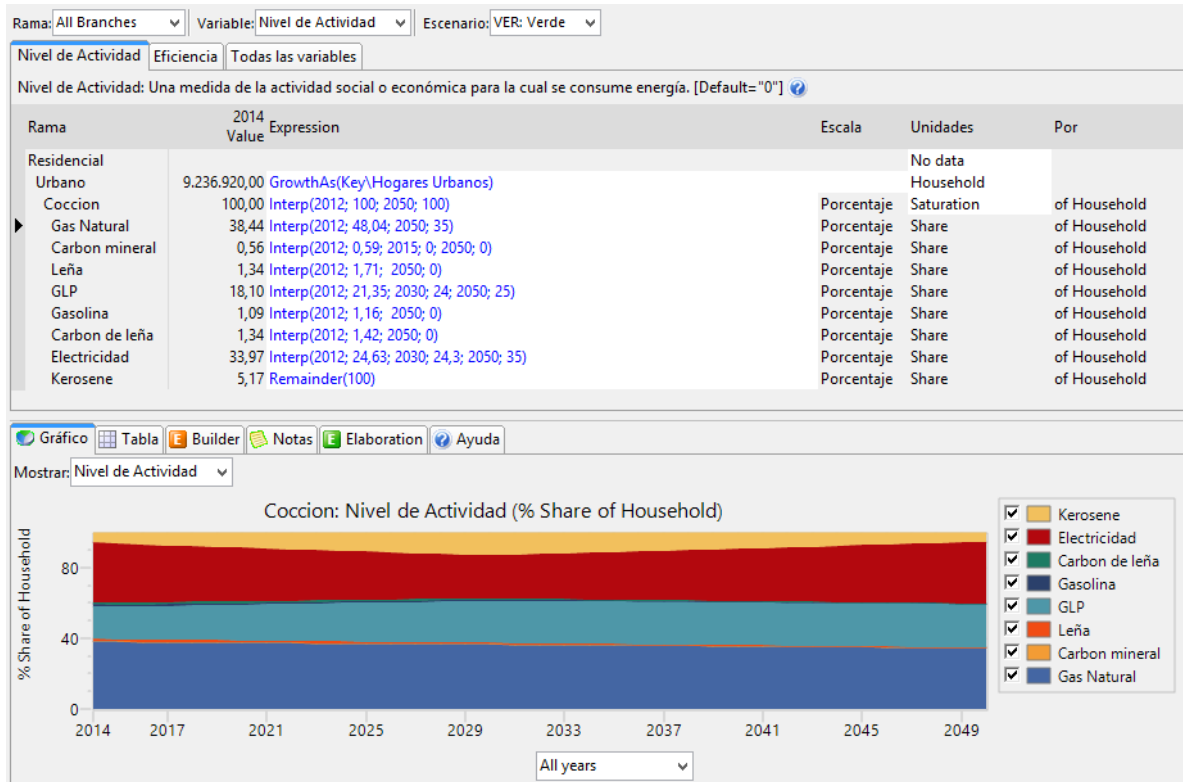
De la misma forma se configuraron los valores y porcentajes de Nivel de actividad, Eficiencias, Intensidad energética final y participación de la fuente para cada una de las ramas y subramas de la carpeta de demanda, para cada escenario. En la figura 64 se observan los valores de participación actuales para el sector Demanda/Residencial/Urbano/Cocción

Figura 63. Valores de Participación en la fuente de la sub-rama cocción.



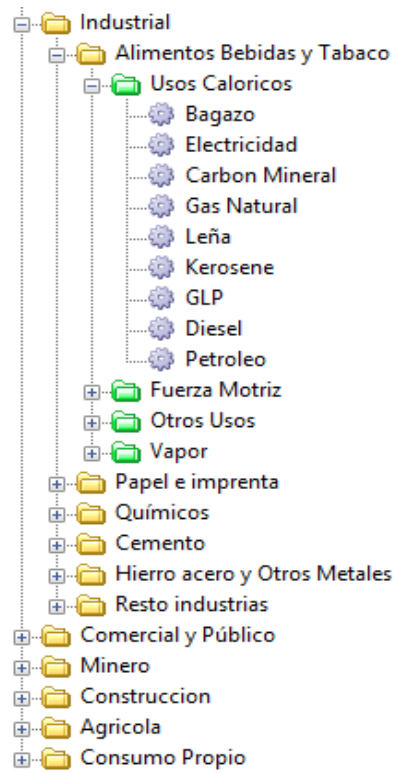
Y en la figura 64 la proyección para el Nivel de actividad en el escenario Verde:

Figura 64. Proyección del Nivel de actividad sub-rama cocción para el escenario verde.



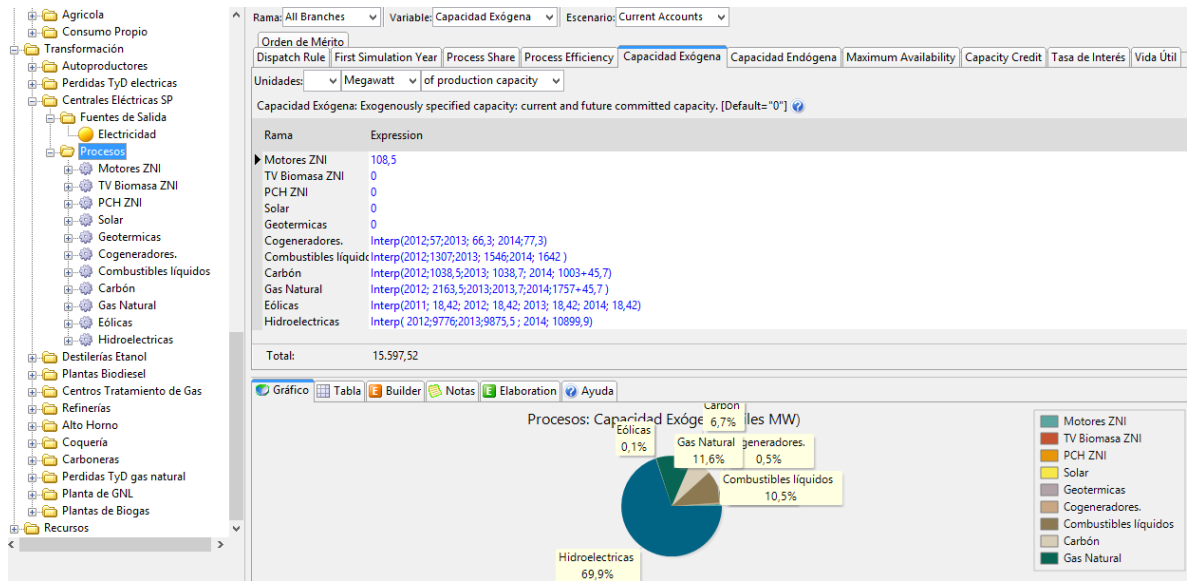
Lo mismo fue realizado para los otros dos escenarios en cada sector. El sector industrial por ejemplo posee los subsectores: alimentos bebidas y tabaco, papel e imprenta, químicos, cemento, hierro acero y otros metales y resto de industrias y dentro de cada una de estas carpetas se encuentran otras que a su vez derivan en la demanda de energéticos para cada sector, de esta forma se va estructurando la demanda total nacional:

Figura 65. Sub-ramas del sector Industrial en demanda



En el sector transformación, se agregaron los datos de capacidad instalada de generación eléctrica por fuentes en capacidad exógena, eficiencia de cada proceso, máxima disponibilidad porcentual horaria al día, vida útil, etc.

Figura 66. Capacidad exógena por fuentes del sector transformación

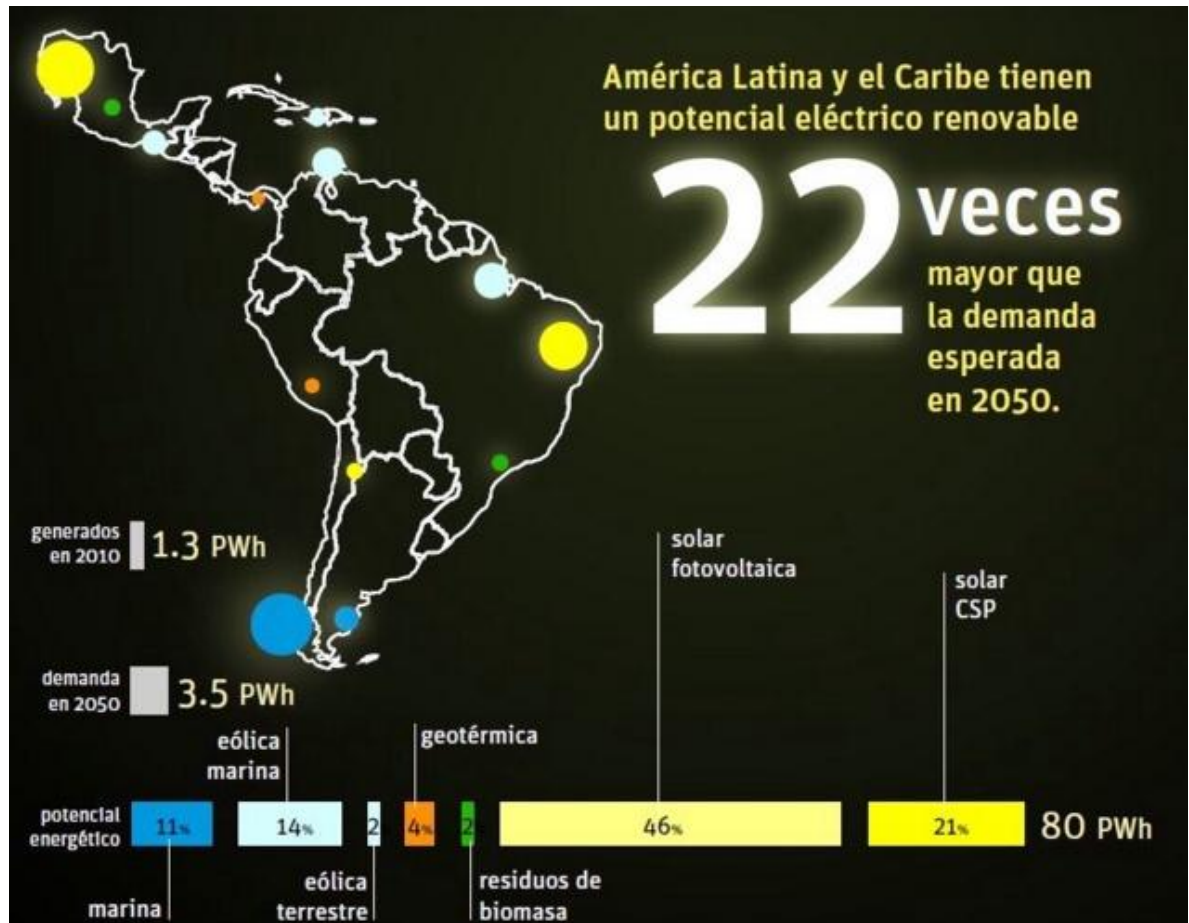


Y se proyectó esta capacidad para cada escenario inicialmente basados en los proyectos con Obligación de Energía en Firme y posteriormente con los supuestos de cada escenario que puedan cumplir los requerimientos de demanda eléctrica manteniendo un margen de reserva adecuado.

## Anexo B. América Latina

América Latina es una región con gran potencial en energías renovables en la que se viene presentando un crecimiento exponencial de capacidad instalada. Los altos costos de la electricidad y los bajos precios en las nuevas tecnologías renovables permiten que sean competitivas con los combustibles fósiles, el potencial que posee la región es suficiente para cubrir más de 22 veces la demanda eléctrica que se proyecta para el 2050[100][101].

Figura 67. Potencial de energías renovables en América Latina[100]



La región cuenta con un largo historial de energía hidroeléctrica. 19 de 20 países han establecido políticas energéticas renovables que promueven el desarrollo de las mismas con apoyo en la financiación en el coste inicial de las tecnologías. En el sector eléctrico, las subastas y los incentivos fiscales constituyen mecanismos de apoyos más generalizados[101].

Los países latinoamericanos representaron en el 2015 el 7% de la electricidad total, de las que el 65% proviene de fuentes de energías renovables. Existe gran cantidad de proyectos eólicos y fotovoltaicos en curso que pueden ser cruciales para cumplir con el objetivo del 2050 de obtener el 20% de energía a partir de renovables. América Latina tiene una capacidad instalada de 30,8 [GW] en renovables no convencionales ubicándolo en la cuarta posición por detrás de la hidroeléctrica con 149,7[GW], gas natural 71,4 [GW] y petróleo 48 [GW], de los cuales 13,4 [GW] corresponden a la biomasa, 10,9 [GW] a plantas menores hídricas, 4,9[GW] de eólica, 1,4[GW] de geotérmica y 0,2[GW] de solar. En la siguiente tabla se puede ver los 10 países más representativos en energías renovables encabezado por Brasil, México y Chile[102].

Tabla 9. Países más representativos en energía eléctrica en América Latina

País	Capacidad Instalada[MW]	Eólica[MW]	solar[MW]	Biomasa[MW]	Geotérmica[MW]
Brasil	18279,5	5938,5	x	12341	x
México	3882	2160	131	778	813
Chile	1642,7	836	368	438,7	x
Argentina	920,8	271	8,2	641,6	x
Uruguay	733,2	464	3	266,2	x
Perú	413,8	142,7	96	175,1	x
Colombia	203	18	x	185	x
Ecuador	184	21,2	26,4	136,4	x
Venezuela	53,4	50	3,4	x	x
Guayana	42,51	x	1,69	40,82	x

## Anexo C. Precios de generación por tecnología

Las energías renovables han alcanzado niveles históricos al lograr que el precio de generación de electricidad sea el mismo o incluso menor que el de los combustibles fósiles. Los costos de las energías como la biomasa, la eólica, la hídrica y la geotérmica en generación o en instalación son más baratos e incluso el costo de instalación de paneles fotovoltaicos se redujo a la mitad entre 2010 y 2014 lo que la hace más competitiva. Los dispositivos fotovoltaicos han presentado valores de 75% más bajos en el 2014 en comparación con el 2009. Gracias a la caída de los precios en energías renovables se ha presentado la oportunidad para construir sistemas energéticos diversos y más limpios que permiten frenar el fuerte cambio climático que se viene dando, aún con la caída del precio del petróleo. Los precios de las diferentes tecnologías se muestran a continuación.

Tabla 10. Precio por tecnología [USD/kWh]

<b>Tecnología</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>
CSP	0,17	x	0,31
Geotérmica	0,045	0,08	0,245
Hídrica	0,026	0,04	0,15
Eólica	0,032	0,09	0,138
Solar PV	0,084	0,11	0,216
Biomasa	0,03	0,06	0,131
Fósiles	0,045	x	0,14

Anexo D. Tabla MicMac

Tabla 11. Dependencia e influencia de variables MicMac

Columna 1	1 : E hidro	2 : E viento	3 : E rad	4 : \$ petróleo	5 : Ley 1715	6 : E efic ene	7 : Trat paz	8 : Res carbón	10 : E CO2	11 : Temperatur	12 : Pobl	13 : PIB	14 : \$ PV	15 : \$ aerogen	16 : \$ dólar	17 : Norm I Amb	18 : Leg energ	19 : Niv soc cu	20 : Geog nal
1 : E hidro	0	2	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2 : E viento	2	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 : E rad	3	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 : \$ petróleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	0	0
5 : Ley 1715	0	0	0	0	0	2	0	1	3	0	1	0	2	2	0	0	3	1	1
6 : E efic ene	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	2	2	0	1	1	1	0
7 : Trat paz	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0
8 : Res carbón	0	0	0	0	1	0	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
10 : E CO2	1	1	3	0	1	0	0	0	0	3	2	1	1	1	0	3	3	3	1
11 : Temperatur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2	2	2
12 : Pobl	0	0	0	0	1	1	3	1	2	2	0	2	0	0	0	0	2	2	3
13 : PIB	0	0	0	0	3	1	2	3	2	0	3	0	0	0	2	0	2	2	0
14 : \$ PV	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	2	0	0	2	0	2	2	0	0

Columna 1	1 : E hidro	2 : E viento	3 : E rad	4 : \$ petróleo	5 : Ley 1715	6 : E efic ene	7 : Trat paz	8 : Res carbón	10 : E CO2	11 : Temperatur	12 : Pobl	13 : PIB	14 : \$ PV	15 : \$ aerogen	16 : \$ dólar	17 : Norm I Amb	18 : Leg energ	19 : Niv soc cu	20 : Geog nal
15 : \$ aerogen	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	2	0	2	0	0	2	2	0	0
16 : \$ dólar	0	0	0	2	2	2	0	2	0	0	2	2	3	3	0	0	0	0	0
17 : Norm I Amb	0	0	0	2	1	1	0	0	2	2	1	0	1	1	0	0	3	2	0
18 : Leg energ	0	0	0	0	3	2	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0
19 : Niv soc cu	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1
20 : Geog nal	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	3	0

En la tabla 11 se llenaron los diferentes niveles de influencia al aplicar el método MicMac de acuerdo a los siguientes parámetros:

- ✓ 0 sin influencia.
- ✓ 1 influencia débil.
- ✓ 2 influencia moderada.
- ✓ 3 influencia fuerte.
- ✓ P influencia potencial (en Excel es reemplazada por el 4).

La tabla se llena por filas estimando el nivel de influencia de la variable horizontal con respecto a cada una de las variables verticales con los valores que se describieron anteriormente, cuando la variable se enfrenta con sí misma se ubica un cero, provocando que la diagonal principal este llena de ceros. Ésta fue completa por los autores del libro con recomendaciones de expertos en la materia.

## Anexo E. *Smart Grid*

La tecnología *Smart Grid* nace por la necesidad de controlar el consumo de electricidad, está mantiene comunicación en tiempo real y se utiliza para ahorrar energía en los hogares por medio de dispositivos como los calentadores, aires acondicionados, las heladeras, etc. Evitando que se activen en el momento que hay una pico en la utilización de energía para que no ocurra una sobrecarga[103].

*Smart Grid* o red inteligente en español se define como “una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella - generadores, consumidores y los que realizan ambas acciones- con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico” según la Plataforma Tecnológica Europea de *Smart Grids*.

*Smart Grid* Consiste en mejorar el suministro eléctrico por medio de sensores, sistemas de cómputo, comunicaciones y control. Un sistema es inteligente si adquiere datos, comunica, procesa la información, controla y realimenta para ajustar las variaciones que se presentan en el funcionamiento real.