

**ESTUDIO DE PROSPECTIVA ENERGÉTICA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
CONSUMO, DEMANDA, GENERACIÓN Y CAPACIDAD INSTALADA DE
COLOMBIA PARA EL AÑO 2050**

**NATALIA CORTÉS CONTRERAS
WILMER DONALDO CASAS SÁNCHEZ**

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

2016

**ESTUDIO DE PROSPECTIVA ENERGÉTICA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
CONSUMO, DEMANDA, GENERACIÓN Y CAPACIDAD INSTALADA DE
COLOMBIA PARA EL AÑO 2050**

**NATALIA CORTÉS CONTRERAS
WILMER DONALDO CASAS SÁNCHEZ**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director:

**JAIME GUILLERMO BARRERO
Ingeniero Electricista, M.I**

Co-director:

**DIEGO FERNANDO MOTTA
Ingeniero Electricista**

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

2016

AGRADECIMIENTOS

Durante la realización de este proyecto muchas personas dieron su colaboración de manera gentil y optima, entre estas personas se destacan nuestro director de proyecto Msc. Jaime Guillermo Barrero, quien nos orientó de acuerdo a sus conocimientos y apporto ideas que ayudaron a que este trabajo tuviera los resultados esperados.

Asimismo, el ingeniero Diego Motta como nuestro co-director, continuamente estuvo para nosotros en momentos de dudas y necesidad de pronta respuesta.

También se desea resaltar el aporte del Semillero en Prospectiva Energética de Colombia 2050, por abrirnos las puertas a este tipo de temas, prospectivas energéticas, el cual era desconocido para nosotros, pero que con la ayuda de la investigación de los diferentes grupos interdisciplinarios del semillero pudimos ver, entender, aprender y dimensionar los componentes que influyen en alguna medida esta rama de la ingeniería.

Por último, pero no menos importante, queremos dar crédito a nuestra valiosa Universidad Industrial de Santander, que nos adquirió conocimiento y nos ayudó a desarrollar destrezas que de alguna manera permitieron culminar este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. EL PROBLEMA	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5 LIMITACIONES	20
2. SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO	22
2.1 CARGA INSTALADA	23
2.2 GENERACIÓN	25
2.3 DEMANDA – CONSUMO	27
2.3.1 Importaciones y exportaciones	28
2.4 SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL	31
2.4.1 Zonas no interconectadas	32
2.5 FACTORES NACIONALES INCIDENTES	33
2.5.1 Políticos	33
2.5.1.1 Marco normativo y regulatorio	34

2.5.1.2 Marco Legal	36
2.5.2 Económicos	37
2.5.3 Producto Interno Bruto	38
2.5.3.1 Desempleo	40
2.5.3.2 Cargo por confiabilidad	41
2.5.4 Demográficos	42
2.5.5 Sociales	43
2.6 RECURSOS ENERGÉTICOS	44
2.6.1 Hídrico	44
2.6.1.1 Pequeñas centrales electricas (PCH)	46
2.6.1.2 Potencial Hídrico	46
2.6.1.3 Cambio Climático	47
2.6.2 Gas	48
2.6.3 Carbón	50
2.6.3.1 Tecnologia de captura de carbón	52
2.6.4 Otros	54
3. PROSPECTIVA ENERGÉTICA	59
3.1 SELECCIÓN DE VARIABLES	60
3.1.1 Descripción del método	61
3.1.2 Resultado	64
3.2 SUPUESTOS	66
3.3 LEAP	69
3.3.1 Generación	71

3.3.2 Capacidad instalada	81
3.3.3 Demanda – consumo	83
3.3.4 Comparación demanda y carga instalada	93
4. CONCLUSIONES	96
5. RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Participación por tecnología Diciembre 2014	24
Figura 2. Evolución de la capacidad instalada del SIN Fuente Datos: XM	25
Figura 3. Generación SIN 201 3- 2014	26
Figura 4. Generación real por tecnología	26
Figura 5. Consumo de EE	27
Figura 6. TIE Colombia – Ecuador	30
Figura 7. TIE Colombia – Ecuador Fuente: XM	31
Figura 8. Horas de servicio EE	32
Figura 9. Evolución de la demanda en ZNI	33
Figura 10. Esquema organizacional Sector Eléctrico	34
Figura 11. Producto Interno Bruto Histórico	38
Figura 12. Histórico tasa de desempleo	41
Figura 13. Histórico de la población colombiana	43
Figura 14. Embalse agregado e índice ONI en los últimos años	45
Figura 15. Participación del Potencial Hidroenergético a filo de agua	47
Figura 16. Participación en la Demanda de Gas Natural	49
Figura 17. Reservas de Gas Natural	50
Figura 18. Producción anual de Carbón en Colombia	51
Figura 19. Producción de Carbón Térmico	52
Figura 20. CO2 captado y emitido bajo métodos de captura de carbono con el estado actual de la tecnología	53
Figura 21. Metodología prospectiva energética del sector eléctrico	60
Figura 22. Plano de influencia y dependencia	63
Figura 23. Plano Mic-Mac obtenido	65
Figura 24. Generación escenario Gris	72

Figura 25. Comparativo generación escenario Gris	73
Figura 26. Generación Escenario Verde	76
Figura 27. Comparativo generación escenario Verde	76
Figura 28. Generación escenario Tendencial	79
Figura 29. Comparativo generación escenario Tendencial	79
Figura 30. Comparativo de generación entre los tres Escenarios	80
Figura 31. Capacidad instalada escenario Gris	81
Figura 32. Capacidad instalada escenario Verde	83
Figura 33. Demanda escenario Gris	85
Figura 34. Demanda residencial escenario Gris	86
Figura 35. Demanda escenario Verde	87
Figura 36. Demanda residencial escenario Verde	88
Figura 37. Demanda escenario Tendencial	89
Figura 38. Demanda residencial escenario Tendencial	90
Figura 39. Demanda exportaciones e importaciones	92
Figura 40. Comparativo de la demanda en los tres escenarios	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Capacidad instalada por tecnología Diciembre 2014	24
Tabla 2. Comparativo 2013-2014 del consumo de usuarios no regulados	28
Tabla 3. Transacciones Internacionales de Energía	29
Tabla 4. Líneas de transmisión del SIN	31
Tabla 5. PIB por Sectores Económicos 2013-2014	39
Tabla 6. Potencial hidroenergético kW	46
Tabla 7. Disponibilidad promedio multianual de energía solar	56
Tabla 8. Fuentes de Biomasa	56
Tabla 9. Potencial Energético del Sector Agrícola	57
Tabla 10. Potencial Energético del Sector Pecuario	57
Tabla 11. Potencial Energético del Sector Residuos Sólidos Orgánicos Residenciales	58
Tabla 12. Carga Instalada por CPC	67
Tabla 13. Escenarios Planteados	68
Tabla 14. Método LEAP	70
Tabla 15. Descripción escenario Gris	71
Tabla 16. Participación generación escenario Gris 2050	73
Tabla 17. Proyectos de generación escenario Gris	74
Tabla 18. Eficiencia de generación escenario Gris	75
Tabla 19. Descripción escenario verde	75
Tabla 20. Participación generación escenario Verde	77
Tabla 21. Proyectos de generación escenario Verde	77
Tabla 22. Eficiencias escenario Verde	78
Tabla 23. Descripción escenario Tendencial	78
Tabla 24. Comparativo generación escenario Verde	80

Tabla 25. Comparativo capacidad instalada escenario Gris 2014-2050	82
Tabla 26. Comparativo capacidad instalada escenario Verde 2014-2050	83
Tabla 27. Exportaciones a Panamá	90
Tabla 28. Exportaciones a Ecuador	91
Tabla 29. Exportaciones previstas	92
Tabla 30. Histórico de demanda y potencia año 2015 Fuente: XM	94
Tabla 31. Características representativas de los escenarios respecto a utilización y factor de planta	95

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. OBJETIVOS ENERGETICOS A LARGO PLAZO UPME	105
ANEXO B. POTENCIAL HIDROENÉRGICO	109
ANEXO C. CENTRALES HIDRICAS	110
ANEXO D. ATLAS EÓLICO PROMEDIO MULTIANUAL	115
ANEXO E. ALTAS SOLAR PROMEDIO MULTIANUAL	116
ANEXO F. LEAP: MANUAL DEL USUARIO	117

LISTA DE SIGLAS

ASIC:	Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales
CND:	Centro Nacional de Despacho.
CREG:	Comisión de Regulación de Energía y Gas.
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
FCE:	Fuentes Convencionales de Energía.
FNCE:	Fuentes No Convencionales de Energía.
GNL:	Gas Natural Licuado.
IPSE:	Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas
MVA:	Mega Volt-Ampere.
MW:	Mega Watt.
MVA_r:	Mega Volt-Ampere Reactivo.
OR:	Operador de Red.
PIB:	Producto Interno Bruto.
SIC:	Superintendencia de Industria y Comercio
SIN:	Sistema Interconectado Nacional.
SSPD:	Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios
STN:	Sistema de Transmisión Nacional.
STR:	Sistema de Transmisión Regional.
TPC:	Terapiés cúbicos.
XM:	Expertos en Mercado.
ZNI:	Zonas no interconectadas.

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE PROSPECTIVA ENERGÉTICA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CONSUMO, DEMANDA, GENERACIÓN Y CAPACIDAD INSTALADA DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2050^{*}

AUTOR: NATALIA CORTES CONTRERAS
WILMER DONALDO CASAS SANCHEZ^{**}

PALABRAS CLAVE: PROSPECTIVA, ENERGÍA, ELECTRICIDAD, LEAP, GENERACIÓN, DEMANDA, COLOMBIA.

DESCRIPCIÓN: Debido a la importancia del servicio de la electricidad en todos los sectores de la economía para impulsar el desarrollo de un país, se hace necesario la introducción al tema de planeación o específicamente al de prospectiva, dentro de la academia. Actualmente entidades gubernamentales como la UPME realizan este tipo de estudios con el propósito de direccionar estratégicamente a Colombia a corto, mediano y largo plazo en asuntos energéticos, desde la explotación de los recursos, sus usos, nuevas tecnologías, demanda a abastecer , entre otros.

A continuación se expone un estudio prospectivo de energía eléctrica para Colombia, a miras del año 2050, elaborado por estudiantes de la Universidad Industrial de Santander y con el apoyo del Semillero de prospectiva energética financiado por Ecopetrol; en el cual se proponen tres escenarios de ejecución, teniendo en cuenta factores sociales, económicos, políticos, tecnológicos y datos históricos adquiridos por entidades competentes.

Dentro de las conclusiones a destacar está la diversificación de generación eléctrica, la cual actualmente es muy dependiente del agua y esto hace que sea vulnerable a fenómenos climáticos, así mismo, la inclusión de fuentes alternativas que con el perfeccionamiento de eficiencias ayudaría a disminuir efectos contaminantes y a aprovechar recursos renovables; esto con el fin, en primera medida, de abastecer la demanda, evitar racionamiento y cuidar el medio ambiente.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y telecomunicaciones. Director: Jaime Guillermo Barrero, ing. Electricista, Msc

ABSTRACT

TITLE: PROSPECTIVE STUDY OF ENERGY IN ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION, DEMAND, GENERATION AND INSTALLED CAPACITY OF COLOMBIA FOR 2050^{*}

AUTHOR: NATALIA CORTÉS CONTRERAS
WILMER DONALDO CASAS SÁNCHEZ^{**}

KEYWORDS: PROSPECTIVE, ENERGY, ELECTRICITY, LEAP, DEMAND, COLOMBIA.

DESCRIPTION: Due the importance of electricity service in all sectors of the economy to foster the development and growth of a country, the introduction to the planning topic is necessary or specifically to the prospective, within the academy. Currently governmental entities such as the UPME perform such studies in order to strategically address Colombia in the short, medium and long term energy issues, from the exploitation of resources, their uses, new technologies, demand to supply, among others.

Then a prospective study of electricity is exposed for Colombia, in view of the year 2050, developed by students of the UIS (Universidad Industrial de Santander) and with the support of Prospective Energy Research Group funded by Ecopetrol; in which three execution scenarios are proposed, taking into account social, economic, political technological factors and historical data acquired by competent entities.

Among the conclusions to highlight is the diversification of power generation, which it is currently very dependent on water and this makes it vulnerable to climatic phenomena, likewise, the inclusion of alternative sources that with improving efficiencies could help to reduce polluting effects and to harness renewable resources; this as a first step, for meeting the demand, avoid rationing and care of the environment.

^{*} Degree work

^{**} Faculty of Physics-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronics and telecommunications engineering. Director: Jaime Guillermo Barrero, ing. Electrician, MSc

INTRODUCCIÓN

En las políticas colombianas y de muchos otros países se elaboran programas de planeación (a corto, mediano y largo plazo) que permiten proyectar el desarrollo y dar una visión estratégica a la nación, para llevarse a cabo estos planteamientos, se evalúan un conjunto de variables que tienen gran influencia en estos cambios futuros.

La prospectiva energética es un análisis de estas variables anteriormente mencionadas proyectadas a largo plazo, teniendo en cuenta unos escenarios creados, estos escenarios se elaboran mediante un estudio de las variables en el pasado, y de los posibles cambios que se puedan percibir de éstas a futuro.

Algunas de las variables más influyentes para una prospectiva energética son: la población, el producto interno bruto (PIB), la disposición de recursos generadores y el desarrollo de nuevas tecnologías que promuevan una generación limpia, entre otras.

Como la energía eléctrica es uno de los motores del desarrollo y columna de la economía colombiana, se hace necesario proyectar su proceso prematuramente dado que muchos de los proyectos de generación requieren tiempo entre su planificación y puesta en marcha, entre otros aspectos también se debe tener en cuenta el presupuesto nacional o privado.

En el presente proyecto se elabora una prospectiva de la energía eléctrica en consumo, demanda, generación y capacidad instalada de Colombia para el año 2050.

1. EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Conforme va pasando el tiempo va creciendo la población, y consigo la demanda en todos servicios, los cuales vienen de un proceso de extracción, transformación y transporte para llegar a su usuario final. Esto hace parte del movimiento en la economía de un país y es por esto que el Estado posee entidades como el Ministerio de Minas y Energía que tiene la responsabilidad de elaborar proyecciones en el sistema energético, el cual permite tener una visión de las futuras necesidades, y de esta forma dar un adecuado uso a los recursos del país. Para ello se debe identificar las variables más representativas del sector a nivel de generación, carga instalada, demanda y consumo, y así modelar su comportamiento.

Actualmente la matriz energética colombiana tiene una gran participación en la generación hidráulica y en eventos como el fenómeno del niño el sistema presenta problemas, tanto por la sequía como por problemas económicos con las termoeléctricas, esto representa un riesgo latente de racionamiento de energía, por lo cual se deben tomar medidas preventivas desde ya para abastecer la demanda futura.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la estructura de la matriz energética colombiana muestra algunas características, las cuales indican, de que el país pronto tendrá que modificar la manera de cómo obtiene energía, más precisamente energía eléctrica, este es un

proceso normal en cualquier país, para este caso se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuáles serán las variables que inciden en la energía eléctrica colombiana para el año 2050? Y ¿cuál será el comportamiento de la energía eléctrica en Colombia, en consumo, demanda, generación y capacidad instalada para el año 2050?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General Realizar el análisis prospectivo de consumo, demanda, generación y capacidad instalada de la energía eléctrica en Colombia para el año 2050.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir las variables pertinentes para realizar un estudio de prospectiva energética en consumo, demanda, generación y capacidad instalada; aplicados para el caso colombiano en el horizonte del año 2050.
- Implementar en el software LEAP las diferentes variables seleccionadas para generar los posibles escenarios que muestren el comportamiento del sector eléctrico colombiano en el horizonte del año 2050.
- Desarrollar una guía de usuario sobre el software seleccionado para la realización del estudio prospectivo energético para el caso colombiano en el horizonte del año 2050.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El principal propósito de esta investigación es saber cómo la economía, la población, las políticas energéticas y demás variables, afectarán la generación, la transmisión y distribución del sector eléctrico colombiano, mostrando mediante gráficos y tablas cómo varían de un año base (desde 2012 hasta 2015) a un año futuro (2050); asimismo manifestar en qué sectores se necesita más atención para llegar a cumplir la meta del país, de proveer el servicio de energía eléctrica a toda su población.

También es importante resaltar que esta investigación ayudaría a ver cómo el sector eléctrico colombiano crecerá y que acciones permitirían que este mejoré considerablemente, es decir, mostrar si habrá necesidad de ampliar las inversiones en nuevos proyectos o mejorar los actuales, si es necesario fomentar la diversificación del sector a través de nuevas políticas que incentiven la participación de las energías no convencionales, si es óptimo ampliar las líneas de transmisión si un futuro el desarrollo de la población ocupe sectores donde el SIN no esté presente, es decir, este proyecto se espera sea un aporte a los posibles cambios de mejorar el sector a partir de la actividad económica, las políticas emergentes y actuales y demás variables, que se desea tenga el país en la planeación y toma de decisiones de los próximos años, para que no exista el déficit de energía eléctrica.

1.5 LIMITACIONES

Para el desarrollo de este proyecto presentan situaciones como la restricción en el acceso de información, cambios abruptos en la política del país, aspectos internacionales, nuevas tecnologías, factores macroeconómicos e incertidumbre

en las mediciones de indicadores (población, eficiencias, demanda...) que pueden alterar en alguna medida los resultados obtenidos.

2. SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO

Se puede decir que la mayoría de esta nueva generación no sabe vivir sin electricidad, se ha convertido en un servicio tan indispensable que ya se considera un derecho. Solo basta con ver todo lo que depende de ella, hospitales, aeropuertos, industria, alumbrado público entre otros.

Todo esto empezó a mediados de 1889 cuando empresas privadas y mixtas empezaron a desarrollar los primeros sistemas eléctricos empezando por Bogotá, y posteriormente Bucaramanga (1891), Barranquilla (1892), Cartagena y Santa Marta (1893). Inicialmente llego para el alumbrado público y comercio, después a uso residencial en estratos altos, pero al ver que los privados no realizaron inversiones para ampliar el sector se presentaron debates y una presión política que culmino adueñando el Estado de dichas empresas.

El crecimiento del sector eléctrico fue muy lento en las tres primeras décadas del siglo XX. En 1930 el país tenía una potencia instalada para 7 millones de habitantes de 45 MW. En los años 50 se empezó a madurar la idea de una interconexión y esta se materializo hasta 1967 cuando se creó la Interconexión Eléctrica S.A (ISA), pero en la década de los 70 y 80 a causa de la recesión mundial de la economía, aumento de precios del petróleo y la crisis de la deuda internacional, se presentó una crisis financiera para el sector que estanco el fortalecimiento del sistema. [1]

En 1992 durante el gobierno del presidente Cesar Gaviria se produjo el racionamiento energía eléctrica más grande de la historia del país, que dejó sin el servicio al caer la noche a gran parte de la región. La rutina diaria cambio, hasta se adelantó una hora el reloj para aprovechar la iluminación del sol.

Las razones por las cuales se presentó este déficit incidió en la presencia del fenómeno del niño que azotó al país causando sequías, y la crisis de eficiencia administrativa, operativa y financiera que pasaba el sector que hacía incapaz atender la demanda. Además se le sumó los atentados terroristas a las torres de transmisión. [2]

2.1 CARGA INSTALADA

Según el informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano – Diciembre 2014, se tiene que el sistema interconectado nacional registró un aumento en su capacidad instalada de 999,1 MW, es decir, un 6,86% con respecto al mismo mes del anterior año, correspondientes a la llegada al sistema de las centrales hidroeléctricas Hidrosogamoso 819 MW, Darío Valencia Samper unidad 1 y 5 de 50 MW cada una, el Popal 19.9 MW, el Salto II 35 MW y Laguneta 18 MW, al aumento de la capacidad efectiva neta de Porce III en 40 MW y a la actualización en térmicas de los combustibles principales que respaldan las obligaciones de energía firme para la vigencia diciembre 1 de 2014 a noviembre 30 de 2015 para el cargo por confiabilidad. Se resaltan por su magnitud de potencia los cambios de combustible de las plantas Termosierra y Termovalle (gas por ACPM) y Flores IV (ACPM por gas). [3]

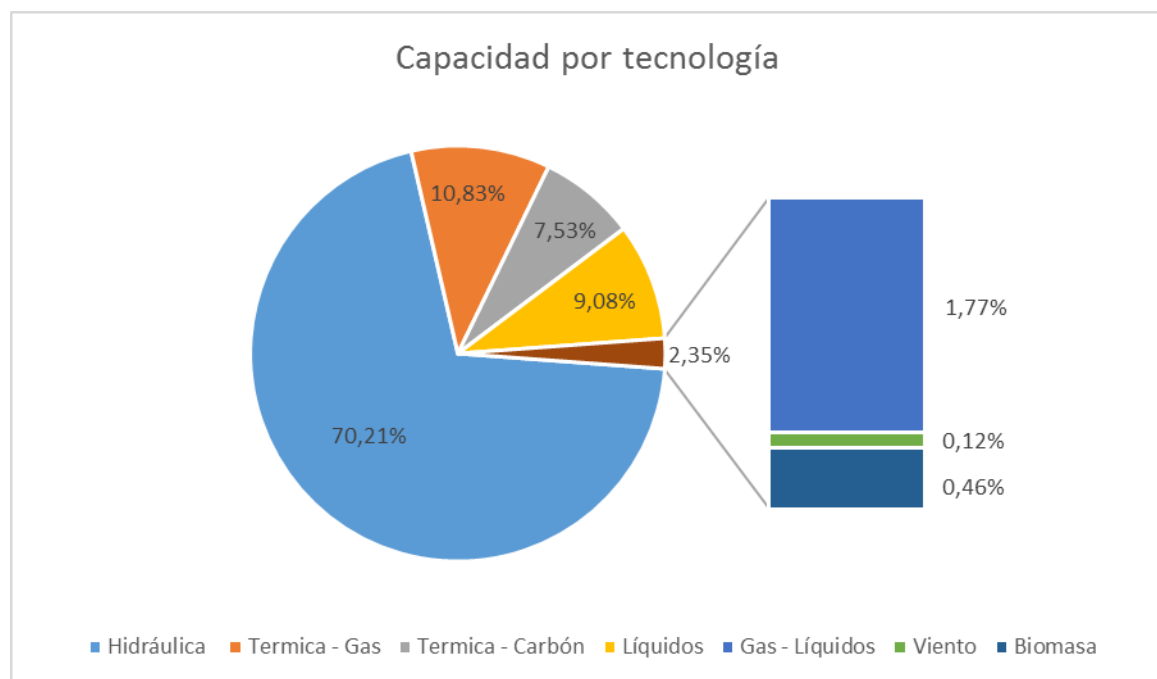
Esta información, diferenciada por tipo de tecnología/recurso, se presenta en la Tabla 1, así como la participación porcentual, la cual se ilustra en la figura.

Tabla 1. Capacidad instalada por tecnología Diciembre 2014

Tecnología	Potencia (MW)	Participación (%)
<i>Hidráulica</i>	10.919,8	70,20
<i>Térmica – gas</i>	1.684,4	10,83
<i>Térmica – carbón</i>	1.172,0	7,53
<i>Líquidos</i>	1.412,0	9,08
<i>Gas –líquidos</i>	276,0	1,77
<i>Viento</i>	18,4	0,12
<i>Biomasa</i>	72,3	0,46
Total	15.554,8	100

Fuente: XM

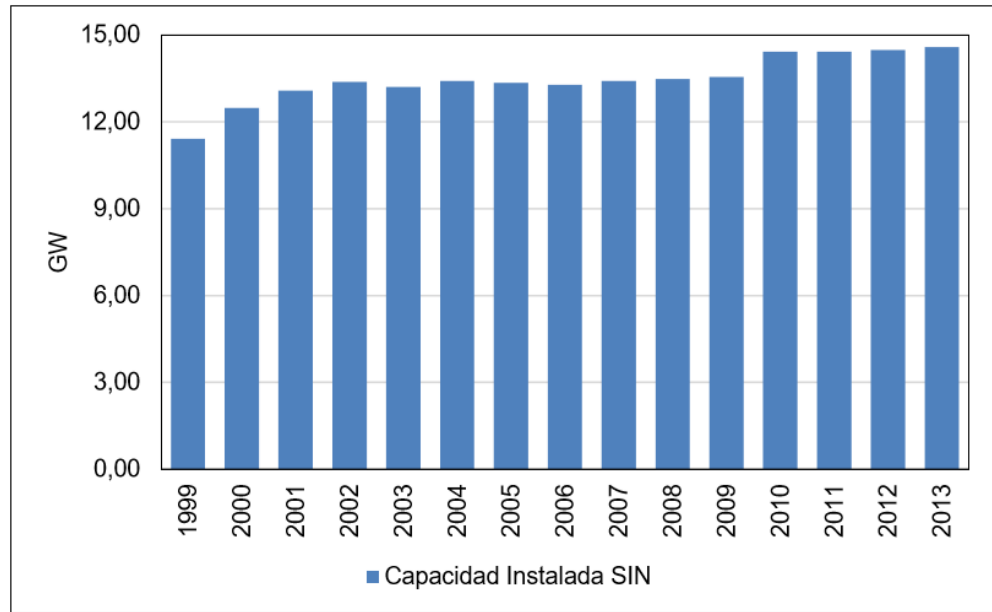
Figura 1. Participación por tecnología Diciembre 2014



Fuente: XM

En la figura 2 se muestra el crecimiento de la carga instalada del SIN, donde se puede evidenciar periodos sin grandes cambios, en especial el periodo comprendido de 2010 a 2013.

Figura 2. Evolución de la capacidad instalada del SIN Fuente Datos: XM



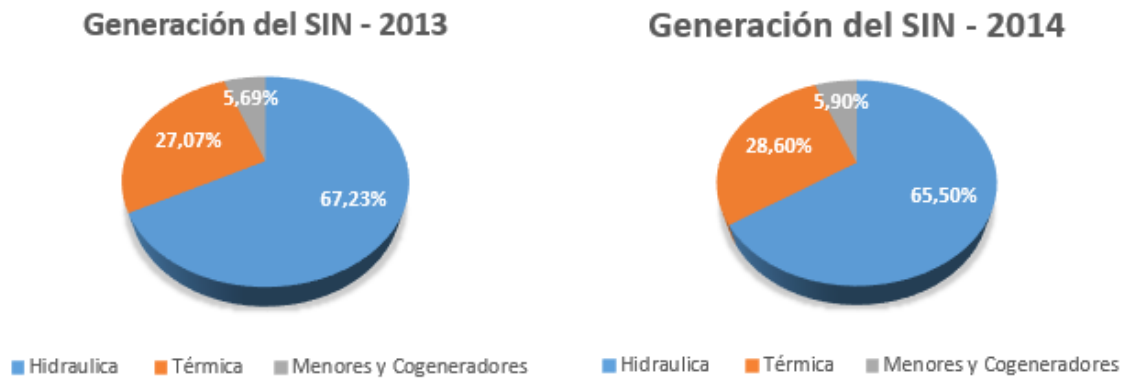
Fuente Grafica: UPME

2.2 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.

En 2014, la generación térmica se incrementó en un 9,3%, pasando de una participación del 27% en 2013, al 29% en 2014, mientras la generación hidráulica aumentó en un 0,8%. El crecimiento en la generación térmica, similar al año 2013, fue consecuencia del déficit en aportes hídricos frente a los históricos y a la incertidumbre sobre la ocurrencia y fortaleza de un fenómeno de El Niño en el verano 2014 – 2015. [4]

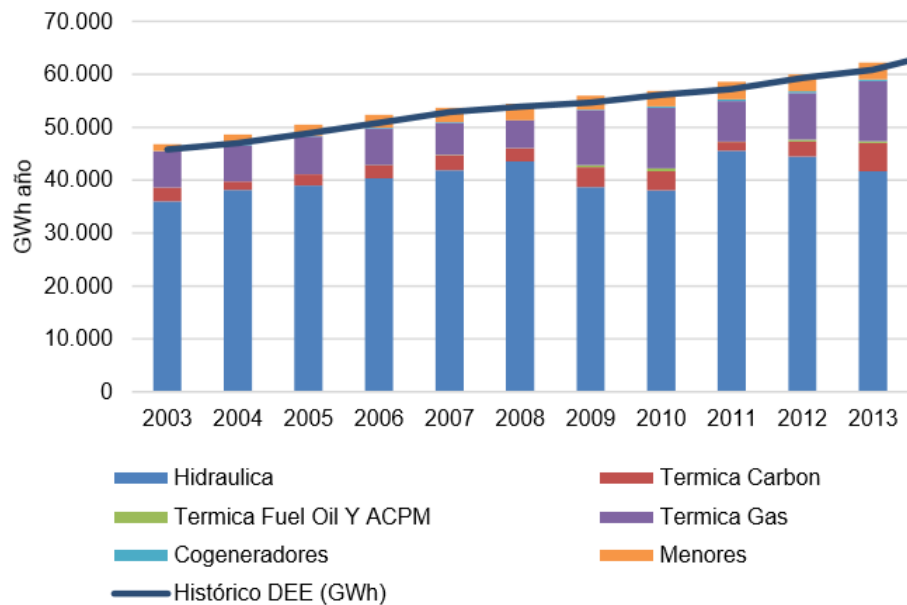
Figura 3. Generación SIN 2013- 2014



Fuente: XM

En la Figura 4 se puede ver la intervención por tipo de tecnología de la demanda histórica entre el periodo 2003-2013. Donde se puede ver la gran participación en el despacho de electricidad por parte de las hidroeléctricas seguido por las termoeléctricas a base de gas.

Figura 4. Generación real por tecnología

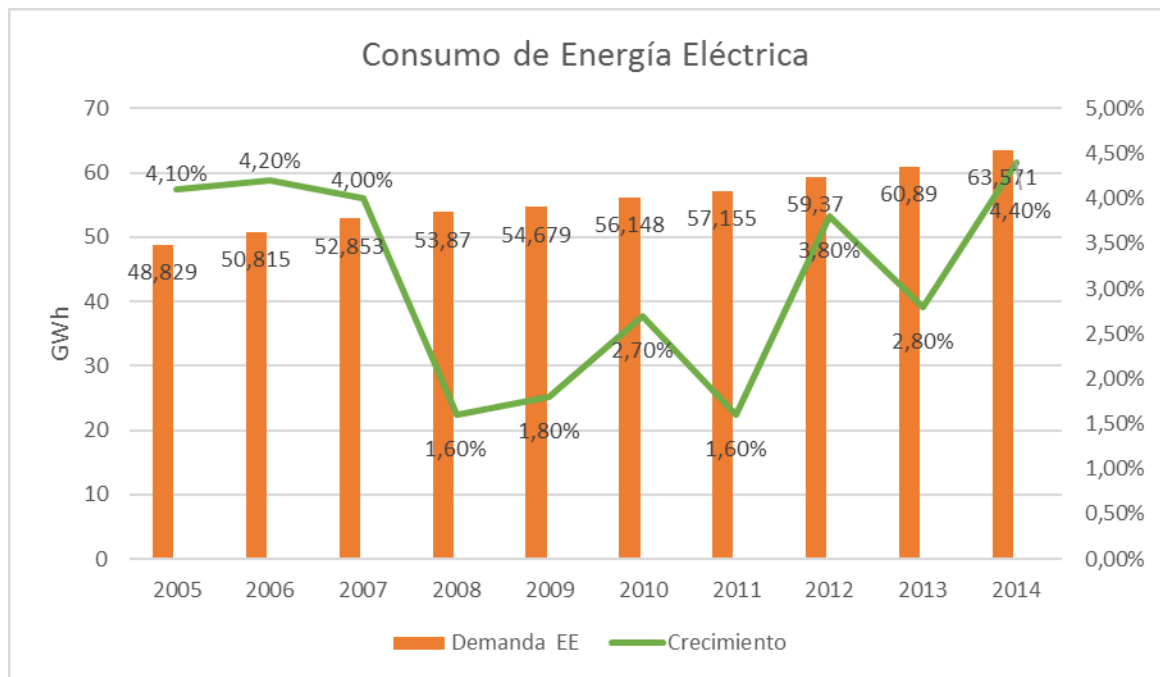


Fuente datos: XM Fuente gráfica: UPME

2.3 DEMANDA – CONSUMO

La cantidad de energía solicitada por los usuarios colombianos tuvo el mayor porcentaje de crecimiento en los últimos 10 años (4,4%) y un consumo anual de 63.571 GWh, del cual el mayor crecimiento de demanda estuvo por parte del sector residencial y pequeños negocios con un 5%. [5]

Figura 5. Consumo de EE



Fuente: XM

En este mismo año gracias a la entrada de la carga de Rubiales en el Meta y al incremento del consumo de energía de la planta Santa Rosa de Ecopetrol, hicieron que la participación de la actividad minera y de canteras aportara un 14,6%, ayudando en cierta medida que los grandes consumidores presentaran un crecimiento del 3%. Como se puede ver en la Tabla 3, hubo decrecimientos como en la industria manufacturera, la cual tiene la mayor participación de los usuarios no regulados. [5]

Tabla 2. Comparativo 2013-2014 del consumo de usuarios no regulados

	Consumo 2013 GWh	Consumo 2014 GWh	Crecimiento	Participación
<i>Regulado</i>	40.282	42.323	5%	67%
<i>No Regulado</i>	20.237	20.867	3%	33%
<i>Industrias manufactureras</i>	9.546	9.493	-0,70%	45,50%
<i>Explotación de minas y canteras</i>	3.828	4.386	14,60%	21%
<i>Servicios sociales, Comunales y personales</i>	2.363	2.423	2,50%	11,60%
<i>Comercio, Reparación, Restaurantes y Hoteles</i>	1.704	1.733	1,60%	8,30%
<i>Electricidad, Gas de ciudad y agua</i>	1.051	1.031	-1,90%	4,90%
<i>Transporte, almacenamiento y Comunicación</i>	609	656	7,70%	3,10%
<i>Agropecuario, silvicultura, caza y pesca</i>	532	546	2,60%	2,60%
<i>Establecimientos financieros, Seguros, Inmuebles y servicios de empresas</i>	560	541	-3,50%	2,60%
<i>Construcción</i>	45	58	30,40%	0,30%

Fuente: XM

2.3.1 Importaciones y exportaciones Actualmente el sistema interconectado cuenta con intercambios de energía eléctrica con los países vecinos de Ecuador y Venezuela. Esta alianza permite abastecer zonas no interconectadas y a mantener el suministro de la demanda, además de establecer relaciones económicas. En la Tabla 4 se aprecian las transacciones internacionales de energía (TIE) donde se puede ver a Colombia con una participación más activa como exportador.

Tabla 3. Transacciones Internacionales de Energía

Año	Exportaciones GWh	Importaciones GWh
2011	1294,6	8,2
2012	236	6,5
2013	662,3	28,5
2014	824	46,9

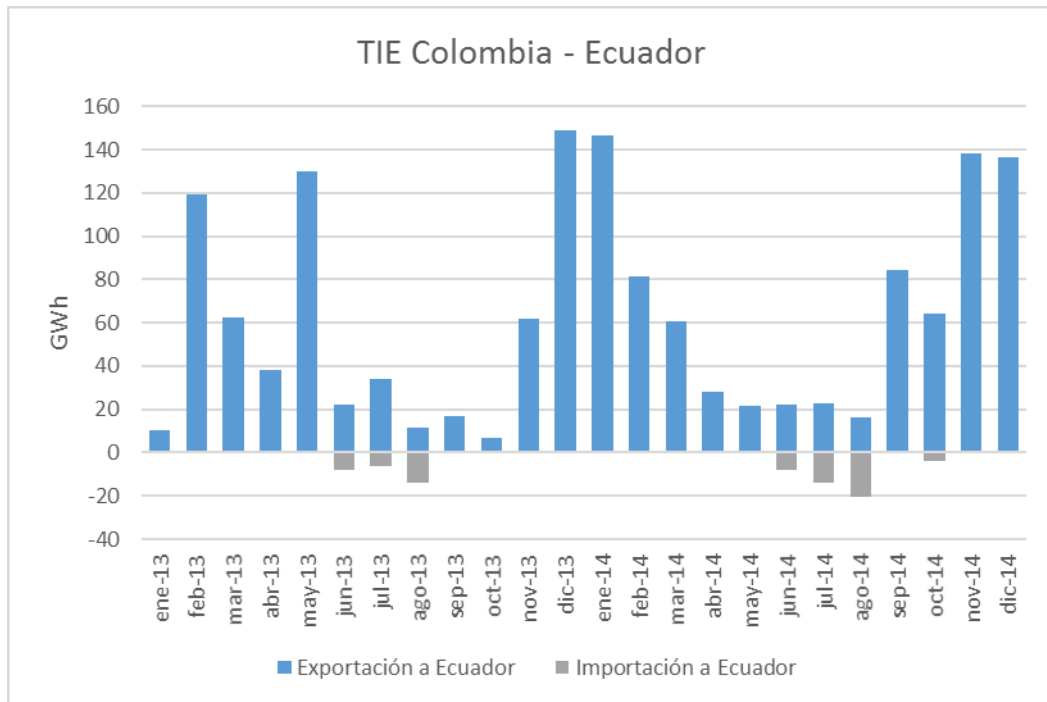
Fuente: XM

Ecuador:

Esta implementación de TIE empezó desde el 2003, desde la región suroccidental del sistema colombiano. Ha requerido unidades de seguridad para soportar las contingencias críticas de ambos países para mantener las condiciones de tensión, frecuencia y carga de los equipos dentro de los límites, sin poner en riesgo la estabilidad de los sistemas. La máxima entrega de potencia de exportación oscila entre 340 MW y 420 MW¹ que dependen de la generación de Betania. En la Figura 6 se evidencia el intercambio de energía entre los dos países.

¹ Estudio de interconexión Colombia –Ecuador 2014

Figura 6. TIE Colombia – Ecuador



Fuente: XM

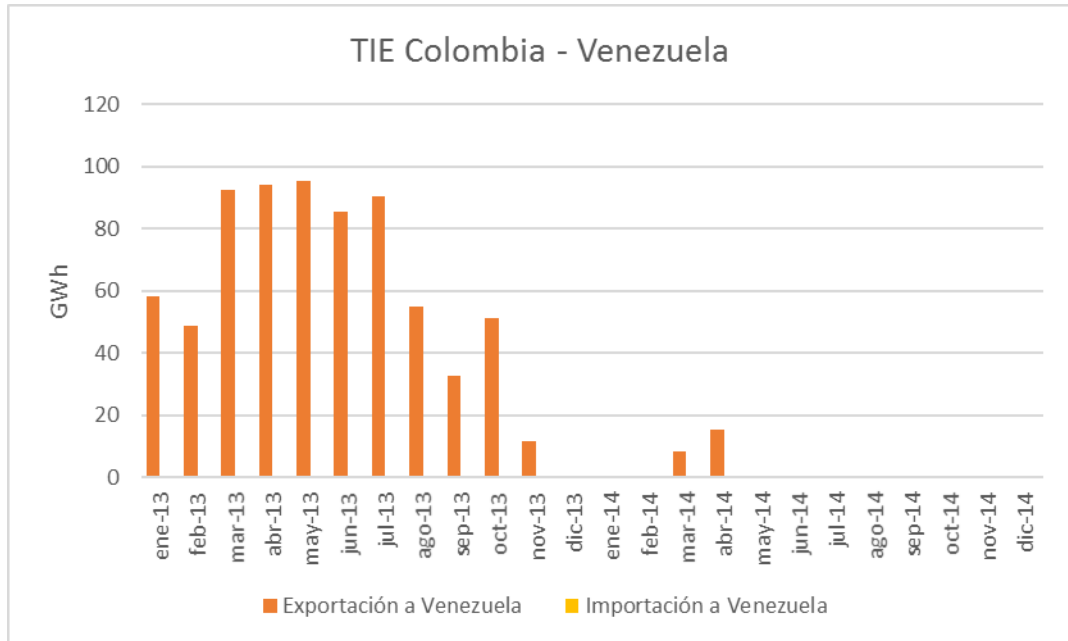
Venezuela:

A través del enlace Cuestecitas – Cuatricentenario 230 kV la exportación con el vecino país depende de la subárea operativa GCM (Guajira, Cesar, Magdalena) y las unidades disponibles en la planta térmica Guajira con una demanda de exportación mínima y media de 40 MW y 110 MW¹. En el vínculo San Mateo – Corozo 230 kV obedece a la demanda del área nordeste y a las unidades del área (Tasajero, Paipa 1-2-3-4, Yopal) con una demanda de exportación entre de 60 MW y 185 MW². Como se puede apreciar en la Figura 7 la importación de Venezuela es nula.

¹ Cuarto informe de planeamiento operativo eléctrico de mediano plazo de 2014

² Tercer informe de planeamiento operativo eléctrico de mediano plazo de 2014.

Figura 7. TIE Colombia – Ecuador Fuente: XM



2.4 SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL

El sistema está conformado por líneas de transmisión que transportan la energía eléctrica tanto a nivel nacional como internacional, actualmente abastece el 96% de la población.

Tabla 4. Líneas de transmisión del SIN

Nivel de Tensión	Longitud [Km]
110 kV	3.132,05
115 kV	7.209,03
138 kV	15,49
220 kV	2.539,05
230 kV	9.598,10
500 kV	2.489,5
Total	24.983,22

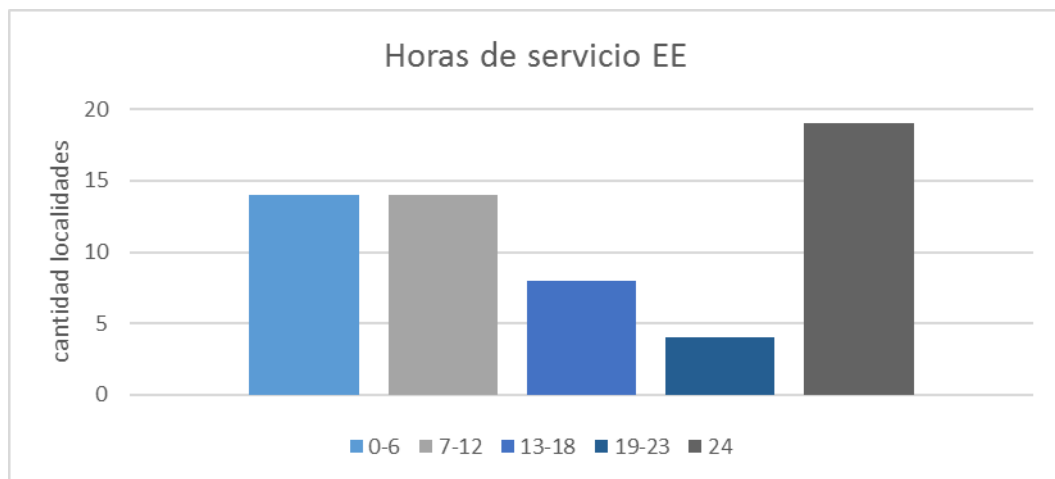
Fuente: XM

2.4.1 Zonas no interconectadas Los municipios, corregimientos, localidades y caseríos que no están conectados al SIN debido a la gran distancia de los centros urbanos y la poca densidad poblacional o por cuestiones geográficas como por ejemplo el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Leticia, Capurganá, Puerto Carreño y Mitú, la prestación del servicio se obtiene mediante generación diésel, paneles solares y pequeñas centrales hidroeléctricas.

La gran mayoría de estas zonas no cuentan con servicio continuo de electricidad y se presenta alta pobreza, estos proyectos requieren de subsidios del Estado bajo el esquema establecido en la Ley 1117 de 2006 y la Resolución 182138 de 2008.

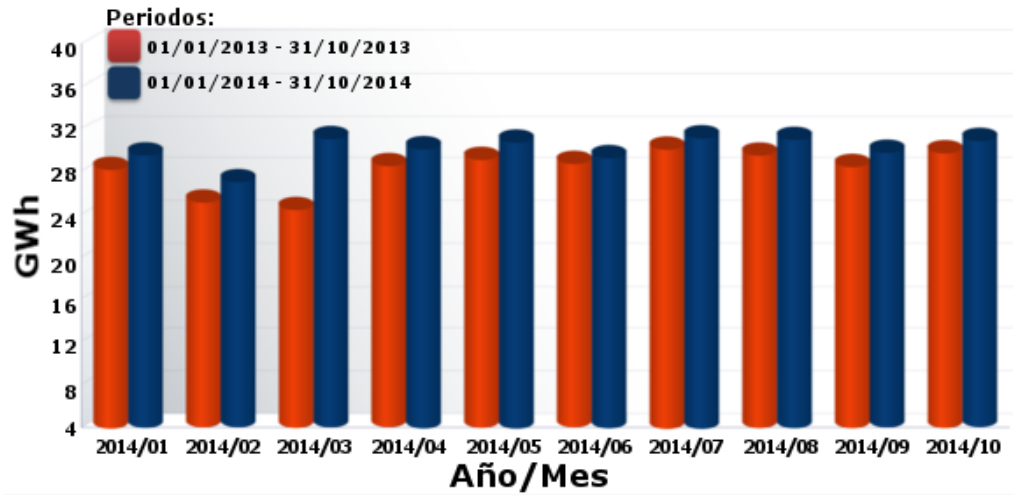
Mediante los puntos en los cuales el CNM-IPSE (Centro Nacional de Monitoreo - IPSE) tiene sistemas de telemetría instalados se obtienen los gráficos de las figuras 8 y 9 que muestran las horas aproximadas de prestación de servicio en las localidades y la demanda eléctrica 2013-2014.

Figura 8. Horas de servicio EE



Fuente: CNM- IPSE

Figura 9. Evolución de la demanda en ZNI



Fuente datos y gráfica: CNM- IPSE

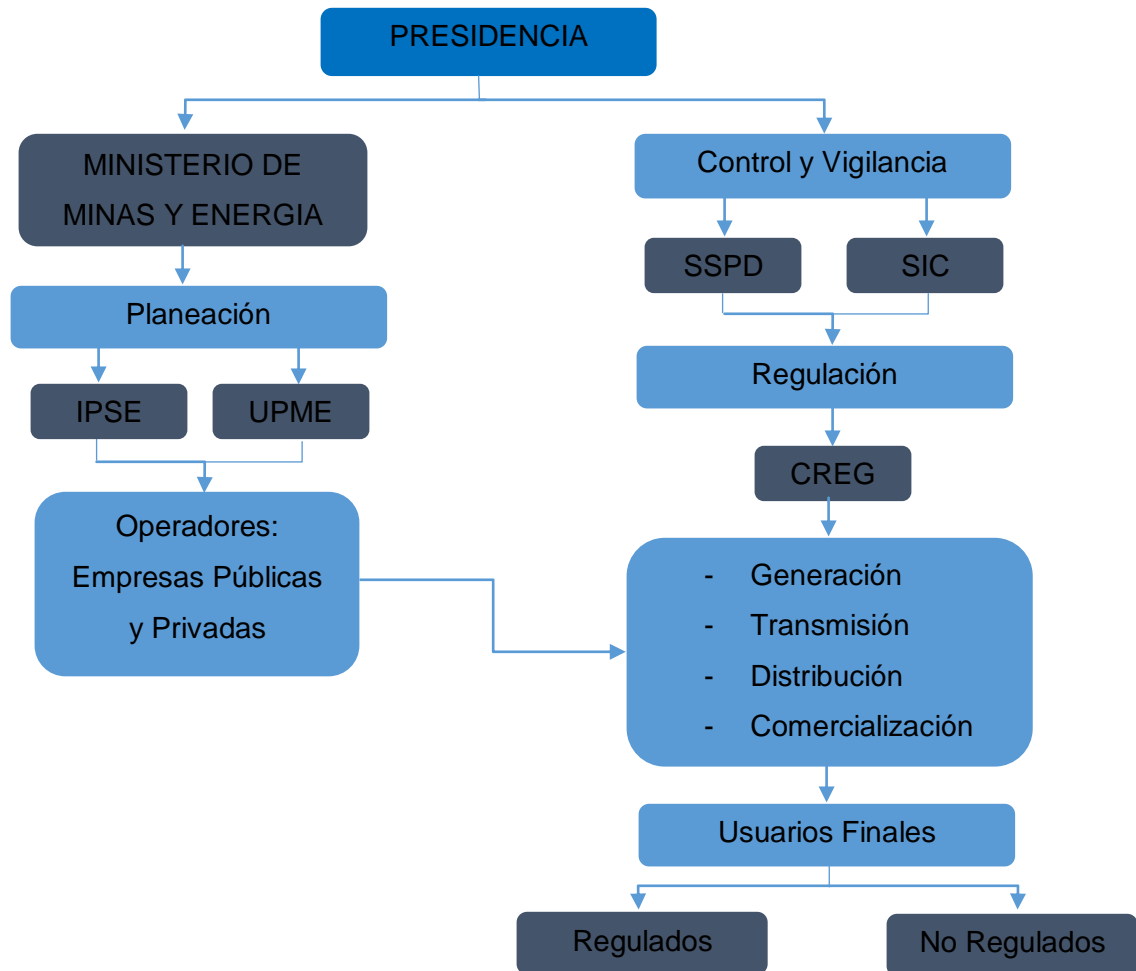
2.5 FACTORES NACIONALES INCIDENTES

Existen elementos que inciden en el desarrollo de un país, como lo es la demografía, que mediante estadísticas muestran como indicativo clave, por ejemplo, la cantidad de población, que está directamente relacionada con la demanda de recursos, los cuales son extraídos, transformados y transportados por los diferentes sectores. La producción de productos o servicios representa empleo, que económicamente mejora el poder adquisitivo de la población y en cierta medida su calidad de vida. Por otro lado, la normatividad y regulación permite dar orden y vigilancia de acuerdo con los criterios del Estado. Y por último se consideró la parte social, donde se encuentran la problemática como lo es conflicto armado, que ha sido por mucho tiempo el causante de violencia, inseguridad y pérdida de tierras.

2.5.1 Políticos El sector eléctrico está organizado por varias entidades que planean, regulan, controlan vigilan una adecuada prestación del servicio, además

de varios agentes que conforman la gestión de generación, trasmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. A continuación, se muestra en esquema organizacional.

Figura 10. Esquema organizacional Sector Eléctrico



Fuente: XM

2.5.1.1 Marco normativo y regulatorio Algunas de las funciones de las instituciones mencionadas en el anterior esquema son:

Ministerio de Minas y Energía (MME)

Es el departamento estatal encargado en dirigir la política nacional en cuanto a minería, hidrocarburos e infraestructura eléctrica. Entre algunas de sus funciones están: preparar proyectos de ley, normas, decretos y resoluciones que deban dictarse en ejercicio de las atribuciones que corresponden al Presidente de la Republica, también coordinar la ejecución de sus planes y programas con las entidades territoriales y preséntales asesoría, cooperación y asistencia técnica. [6]

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)

Unidad administrativa especial del orden nacional, de carácter técnico. La cual tiene como función realizar planeación integral del sector minero energético como apoyo al MME, además debe gestionar y administrar de manera integral la información del sector para apoyar la toma de decisiones de agentes públicos y privados. [7]

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE)

Se encarga de mejorar las condiciones de vida de las comunidades a través de la identificación, elaboración, promoción y viabilización de proyectos para llevar la energía eléctrica a las localidades que no la poseen o donde es deficiente la prestación del servicio. [8]

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)

Es un organismo de carácter técnico, creado por la constitución de 1991, que por delegación del Presidente de la República de Colombia, ejerce inspección,

vigilancia y control las entidades y empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios. [9]

Superintendencia de Industria y Comercio (SIC)

Es la entidad encargada en la protección al consumidor, ejercer control y verificación de los reglamentos técnicos y metrología legal, defender la competencia y vigilar las cámaras de comercio. [10]

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)

Es la que se encarga de emitir las resoluciones a las cuales deben ajustarse las empresas de servicios públicos de electricidad y gas. La regulación orienta a las empresas a prestar económica y eficientemente el servicio, y a los usuarios a pagar los costos reales y eficientes en los cuales deben incurrir las empresas. [11]

2.5.1.2 Marco Legal La expedición de las leyes 142 y 143 de 1994 permitió la conformación de un nuevo esquema para el sector eléctrico nacional. Esto ayudo a diseñar un sistema de regulación con la creación de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), y además identificó mecanismos para la defensa de la calidad y confiabilidad del servicio a través de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

Ahora con la ley 1715 de 2014, la más reciente, permite abrir nuevas oportunidades al uso de las FNCE.

LEY 142 DE 1994

Esta ley aplica a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas, combustible, telefonía fija publica

básica conmutada y local móvil en el sector rural; con el fin de garantizar calidad del servicio, ampliación permanente de la cobertura, prestación continua e interrumpida, libertad de competencia y establecer un régimen tarifario, entre otros. [12]

LEY 143 DE 19924

Establece el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de la electricidad, de acuerdo con las funciones constitucionales y legales que corresponden al Ministerio de Minas y Energía. [13]

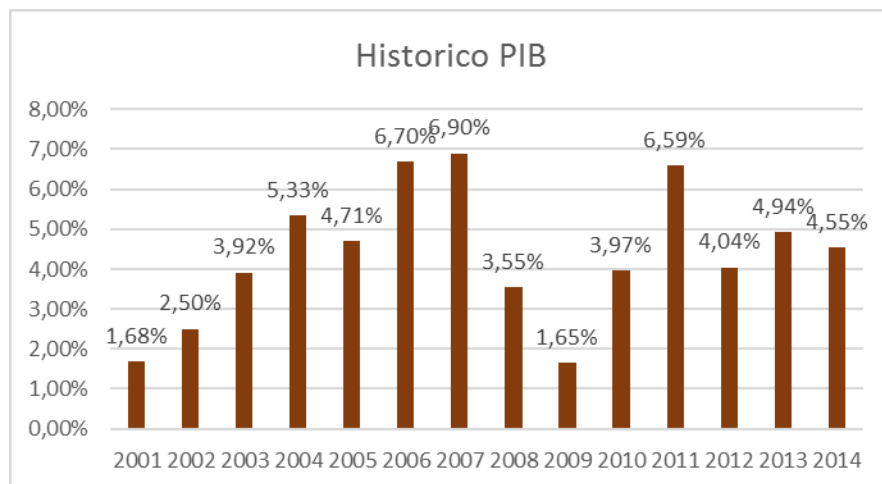
LEY 1715 DE 2014

Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, con el objeto de promover el desarrollo y uso de estas fuentes especialmente a las ZNI y también disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. Establece el marco legal e instrumentos de promoción de las FNCE especialmente las renovables, para fomentar la inversión, investigación y desarrollo de energías limpias. [14]

2.5.2 Económicos Por su riqueza en recursos naturales Colombia ha presentado un gran desarrollo, convirtiéndose en una economía destacada, tanto así que la inversión extranjera ha empezado a participar gradualmente, actualmente se cuenta con acuerdos comerciales con: Comunidad Andina, Asociación Latinoamericana de Integración, Asociación CAN-EU, Mercusor, TLC con Estados Unidos y Canadá, entre otros. Por otra parte, los esfuerzos del Gobierno por mejorar la seguridad territorial que ha sido afectada por grupos al margen de la ley, genera más seguridad a los futuros inversionistas.

2.5.3 Producto Interno Bruto En los últimos diez años la economía se ha expandido un poco más del doble, donde el sector que más lo ha hecho es la construcción, a este le siguen transporte, almacenamiento y comunicaciones, y explotación de minas y canteras, mientras que agricultura, industria y servicios públicos han crecido en menor proporción. Paralelamente no se ha visto un crecimiento representativo en la generación de empleo, pues hace 10 años habían 16,5 millones de personas trabajando en nueve sectores y en lo que vamos de estos 10 años se han generado 3,05 millones de empleos (18% más que hace 10 años) en donde la mitad de estos generados ha sido por el sector de comercio, reparación, restaurantes y hoteles. [15]

Figura 11. Producto Interno Bruto Histórico



Fuente: DANE

En el 2014 algunos aspectos que impactaron favorablemente el crecimiento fueron: la buena posición que ha venido adquiriendo el país en la región e internacionalmente, la solidez de la economía colombiana, el mayor avance en las obras civiles, el entorno macroeconómico, la buena dinámica de la demanda doméstica y la recuperación de la tasa de cambio, entre otros.

De otro lado, pesaron desfavorablemente la desaceleración mundial que se reflejó en mercados internacionales deprimidos y por consiguiente en una reducción en las exportaciones; la disminución en los precios de las materias primas, en particular el desplome del precio del petróleo que no solo incide sobre la balanza externa, sino que además impacta las finanzas públicas; la competencia de productos importados, en algunos casos en situaciones de competencia desleal; los limitantes en competitividad, y, los problemas de informalidad y contrabando. [16]

Tabla 5. PIB por Sectores Económicos 2013-2014

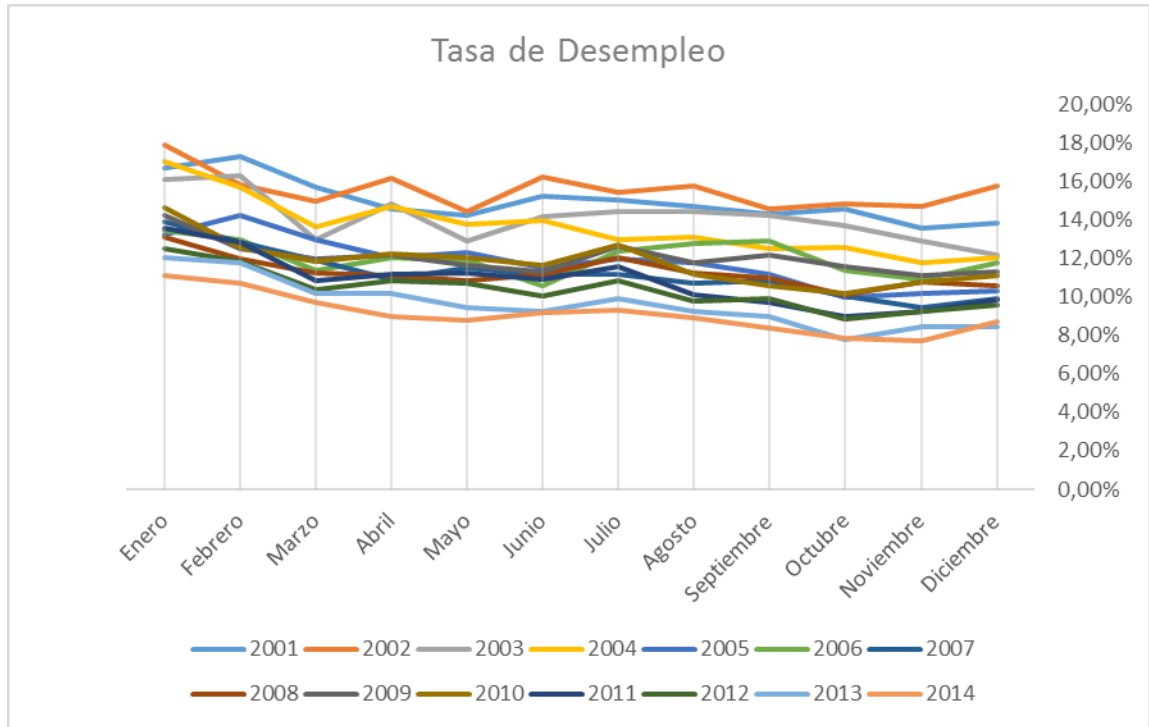
SECTOR	2013	I-2014	II-2014	III-2014	IV-2014	2014
AGROPECUARIO, SILVICULTURA, CAZA Y PESCA	6,68	6,19	0,33	1,89	0,78	2,26
EXPLOTACIÓN DE MINAS Y CANTERAS	5,46	5,37	-2,43	-0,87	-2,72	-0,23
INDUSTRIA MANUFACTURERA	0,64	4,60	-1,74	-1,19	-0,50	0,25
ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA	3,16	4,56	3,83	3,88	2,94	3,80
CONSTRUCCIÓN	11,58	14,00	8,62	11,08	5,96	9,86
COMERCIO, REPARACIÓN, RESTAURANTES Y HOTELES	4,52	5,37	4,21	4,35	4,41	4,58
TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y COMUNICACIÓN	3,58	4,84	4,39	4,19	3,21	4,15
ESTABLECIMIENTOS FINANCIEROS, SEGUROS, INMUEBLES Y SERVICIOS A LAS EMPRESAS	4,62	5,39	5,53	4,53	4,07	4,87
SERVICIOS	6,00	7,67	5,56	4,93	3,79	5,45

SECTOR	2013	I-2014	II-2014	III-2014	IV-2014	2014
SOCIALES, COMUNALES Y PERSONALES						
Subtotal Valor agregado	5,03	6,57	3,83	4,04	3,13	4,37
IVA no deducible	3,01	8,67	9,79	8,12	8,67	8,81
Derechos e impuestos sobre las importaciones	6,86	10,10	9,04	7,65	7,15	8,45
Impuestos excepto IVA	5,52	2,75	4,37	4,63	5,52	4,32
Subvenciones	5,94	2,92	1,71	2,30	2,84	2,44
Total impuestos	3,93	7,45	8,49	7,47	7,97	7,85
PRODUCTO INTERNO BRUTO	4,94	6,54	4,13	4,19	3,43	4,55

Fuente: DANE

2.5.3.1 Desempleo Desde el 2001 la relación porcentual entre el número de personas desocupadas y la población económicamente activa, en las trece principales ciudades del país: Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Bucaramanga, Manizales, Pasto, Pereira, Cúcuta, Villavicencio, Ibagué, Montería y Cartagena, se puede ver en la Figura 11.

Figura 12. Histórico tasa de desempleo



Fuente: DANE

Para el 2014 la tasa promedio de desempleo fue de 9,1%, siendo la más baja en los últimos años. Las actividades inmobiliarias, transporte, industria manufacturera y construcción fueron las ramas de la economía que más promovieron el empleo en el total nacional, comparado con el año anterior (2013). [17]

2.5.3.2 Cargo por confiabilidad Entre una de las políticas más recientes y más polémicas esta la del cargo por confiabilidad. Creado a partir de la problemática en la composición de la canasta energética, visto que la carga instalada mayormente proviene de generadoras hidroeléctricas y esto hace que represente cierta incertidumbre a causa de efectos climáticos. Esta problemática también puede

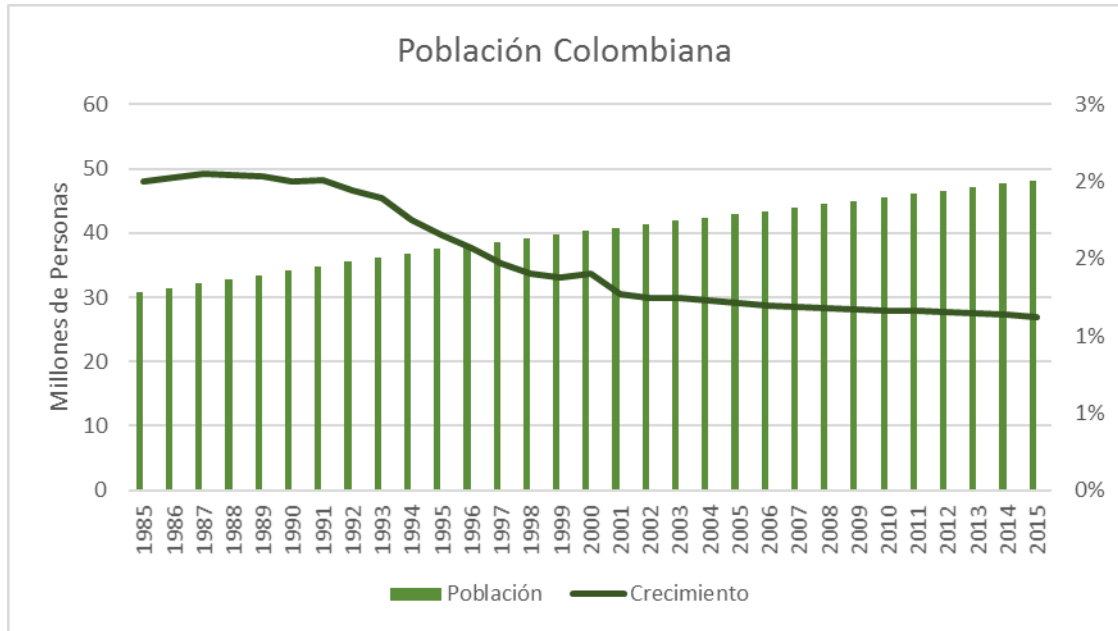
verse representada cuando el precio de bolsa supera al menos una hora del día, al precio de escasez¹.

Por este motivo, y para evitar un posible razonamiento de energía eléctrica, desde diciembre de 2006 se empezó a cobrar a los usuarios del SIN el cargo por confiabilidad que permite mediante una subasta, dar apoyo económico mediante transacciones centralizadas a través del ASIC, a agentes que tengan o planeen tener activos de generación a partir de una fecha determinada, con el fin de suplir esta demanda. A estos agentes se les dice que tienen una obligación de energía firme. [18]

2.5.4 Demográficos Tabla 6 PIB por Sectores Económicos 2013-2014 La cantidad de habitantes en el territorio tuvo su última actualización en 2005 a través del censo nacional con un total de 42'888.592, la determinación de la población referida a los años intermedios entre dos censos se obtiene mediante proyecciones, por el método de componentes, y según departamento, por sexo y edad. Para el año 2014 se tiene un valor aproximado de 47'661.787, es decir, un 1,13% con respecto al año anterior. En la Figura 12 se puede ver que el crecimiento en los últimos años ha mantenido un crecimiento más pausado a comparación con la década de los 80.

¹ Establecido por la Comisión y actualizado mensualmente con base en la variación del índice de precios de combustibles (New York Harbor Residual Fuel Oil 1% Sulfur LP Spot Price).

Figura 13. Histórico de la población colombiana



Fuente: DANE

2.5.5 Sociales En este aspecto Colombia tiene una gran problemática que lleva más de 50 años, el conflicto armado, que lleva consigo narcotráfico, violencia y desplazamiento, lo cual ha creado desigualdad e inseguridad. El propósito para el 2016 es firmar un acuerdo de paz entre el Estado y los grupos al margen de la ley, el cual permitiría acabar con la guerra civil.

Algunos de los aspectos positivos que puede traer el posconflicto está el mejoramiento de imagen internacional y la recuperación de tierras, que ayuda en gran medida a optimizar el crecimiento económico ya sea con mayores inversiones y/o con mayor capacidad de producción, que se espera beneficie al pueblo colombiano disminuyendo la pobreza, y aumentando la calidad de vida.

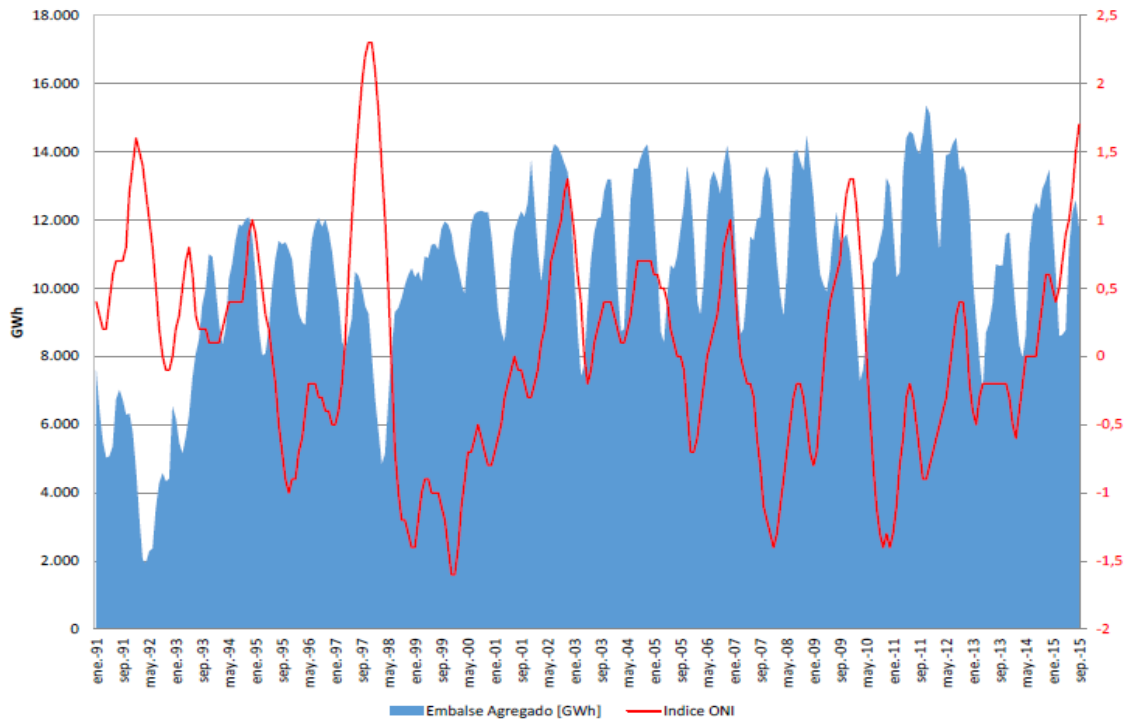
2.6 RECURSOS ENERGÉTICOS

Es importante hacer un recorrido por los recursos primarios más usados en la elaboración de la energía eléctrica, como primera medida para hacer un dimensionamiento de la cantidad consumida, dado que existen más sectores que demandan dichos recursos (industria, comercio, agropecuario...), por otro lado, está el potencial o las reservas que indican como a futuro se puede aprovechar dicho recurso o para crear planes de contingencia.

2.6.1 Hídrico Por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, por esto mismo el país está expuesto a alteraciones producidas por eventos macroclimáticos asociados con la oscilación de El Niño (ENSO). En la Figura 13 se presenta la evolución del embalse agregado en GWh para los últimos años, y la variación del índice ONI¹ en el mismo periodo.

¹ 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 en la Región Niño 3-4, para el monitoreo, evaluación y predicción del ENSO

Figura 14. Embalse agregado e índice ONI en los últimos años



Fuente: UPME

Se puede observar que tanto el fenómeno del Niño como el de la Niña no tienen una periodicidad ni una duración definida. Lo que hace recurrir a otras variables para explicar el comportamiento de la disponibilidad hídrica ante la variabilidad climática.

Debido a esta situación es necesario identificar los periodos de ocurrencia para las alteraciones que indican eventos El Niño¹ los cuales incidieron en las precipitaciones, alterando el caudal de los ríos asociados con embalses y por ende, también el volumen de los mismos.

¹ El Centro de Predicción Climática de la NOAA, declara un episodio de El Niño cuando la media móvil trimestral de la temperatura superficial del mar en el Pacífico (índice ONI), tiene un valor de 0,5 °C o superior, durante 5 periodos consecutivos

2.6.1.1 Pequeñas centrales eléctricas (PCH) Es una nueva alternativa de generación que busca dar suministro a zonas aisladas con poca demanda, donde el costo de llevar la interconexión es muy alto. Tienen una capacidad instalada entre 500 y 20.000 kW, operan a filo de agua y pueden participar en el despacho eléctrico si supera los 10.000 kW.

Colombia cuenta con una capacidad efectiva neta en pequeñas centrales hidroeléctricas de 698,42 MW. [19]

2.6.1.2 Potencial Hídrico Actualmente, la mayor participación tanto como en carga instalada como en generación está en las hidroeléctricas, esto debido a que este tipo de generación utiliza como materia prima un recurso renovable, el costo de la energía producida es bajo, además se tiene una alta confiabilidad en el funcionamiento y abastecimiento. Al estar conformadas por represas estas almacenan energía y suministran electricidad con rapidez y continuidad aportando estabilidad al sistema interconectado nacional.

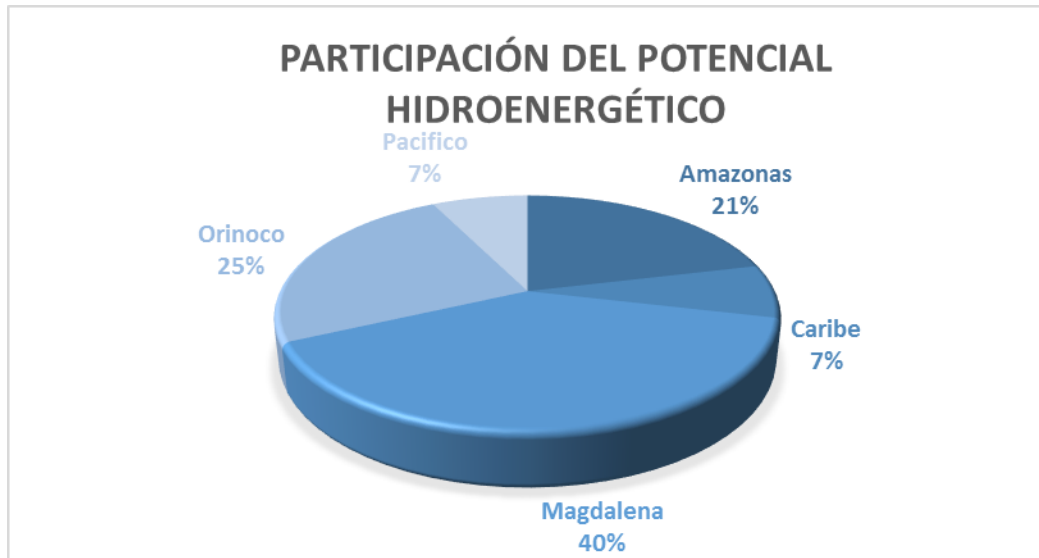
En la Tabla 6 se presenta el potencial hidroenergético de Colombia a filo de agua, de acuerdo a las regiones hidrográficas caracterizadas y dependiendo del tipo de central.

Tabla 6. Potencial hidroenergético kW

Región	Tipo de Central						% Participación
	Pico	Micro	Mini	Pequeña	Grandes		
					20-40 MW	> 40MW	
Amazonas	285	2.799	26.948	903.311	1.518.300	9.522.541	21,29
Caribe	210	1.935	16.843	436.476	749.309	2.922.066	7,34
Magdalena	514	5.229	47.567	1.646.204	2.808.652	17.713.622	39,51
Orinoco	360	3.599	35.789	1.230.958	2.205.013	10.277.236	24,46
Pacífico	165	1.647	15.984	568.657	831.949	2.743.598	7,40
Total	1.533	15.209	143.132	4.785.606	8.113.222	43.129.063	100%

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2015

Figura 15. Participación del Potencial Hidroenergético a filo de agua



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2015

Como se puede apreciar en la Figura 14 la región con mayor potencial hidroenergético es el Magdalena, también se puede ver la gran participación del Amazonas, pero esto no significa que se pueda explotar en su totalidad.

Dentro de los aspectos sociales, económicos y ambientales del potencial hidroenergético, se tienen variables importantes a considerar para la explotación del recurso y selección de los proyectos futuros. Algunos de esos aspectos a tener en cuenta son las áreas protegidas, ecosistemas (paramos, humedales y manglares), zonas concesionadas para la extracción de petróleo y mineras, resguardos indígenas, recursos pesqueros, conflicto armado, condiciones del suelo, entre otras. [20]

2.6.1.3 Cambio Climático Como consecuencia del desarrollo industrial no solo de Colombia, si no del mundo, se han liberado grandes cantidades de gases de efecto invernadero a la atmosfera aumentando la temperatura de la tierra y generando distorsión en el clima.

Estos efectos tienden a ser más fuertes en Colombia, de acuerdo con el primer comunicado nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, se prevé que los ecosistemas de la altiplanicie andina, especialmente los páramos, se verán gravemente afectados por el aumento de temperatura, en la que se han registrado unos incrementos netos de 0,2 a 0,3 grados Celsius por década durante el período comprendido entre 1961 y 1990, y se cree que esta tendencia continuará, según ha afirmado el Instituto de Investigaciones Meteorológicas de Japón. [21]

A nivel energético el efecto más nocivo está en las sequías que disminuyen el caudal de las hidroeléctricas, presentando un déficit en el abastecimiento de energía. Por otro lado, está la responsabilidad ambiental de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) causadas por las termoeléctricas. Las propuestas generales del estado colombiano para mitigar estos efectos en el sector son:

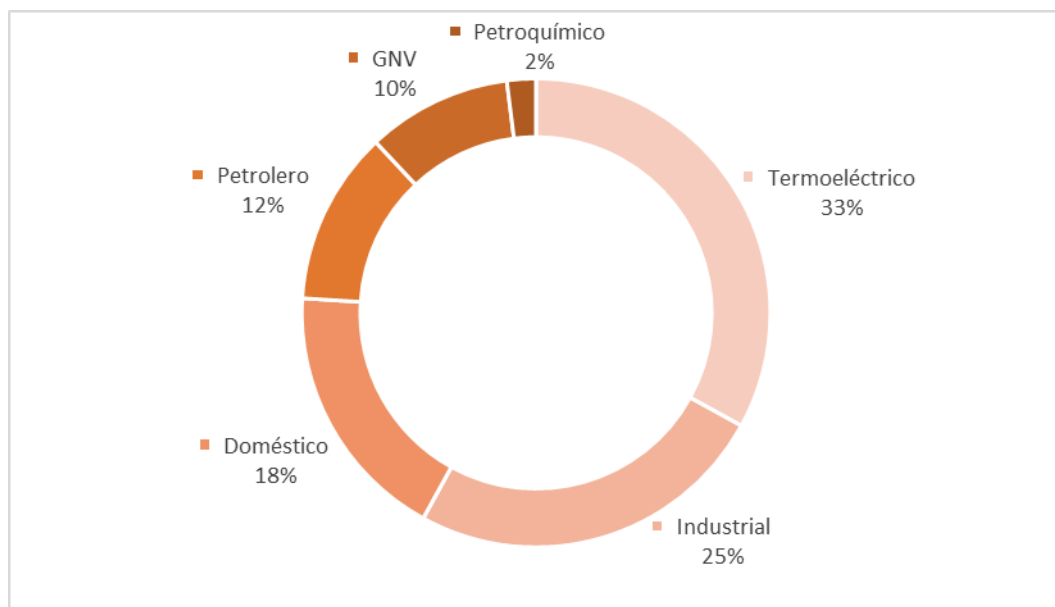
La diversificación de la canasta energética: dando una menor participación a la generación hídrica, y promoviendo el uso de las fuentes no convencionales de energía especialmente las renovables.

Uso racional de la energía (URE): Planes para concientizar al usuario en el uso adecuado del servicio tanto a nivel industrial, comercial como residencial.

2.6.2 Gas En Colombia hay dos regiones en las cuales se encuentra aproximadamente el 85% de las reservas de gas natural, la primera es el norte de la Costa Caribe en los campos de Ballena y Chuchupa, la segunda región es la que se encuentra en los Llanos Orientales y Piedemonte llanero en los campos de Apiay, Cusiana y Cupiagua.

La demanda de gas natural presenta un aumento del 7% promedio anual desde el año 2011. El sector termoeléctrico ha sido el mayor participante en el consumo este energético con un 33%, a pesar de que el resto de sectores suman más del 50% de la demanda, el crecimiento de su consumo sólo alcanza el 3,4% promedio anual para el período 2011 – 2014 (Figura 15).

Figura 16. Participación en la Demanda de Gas Natural



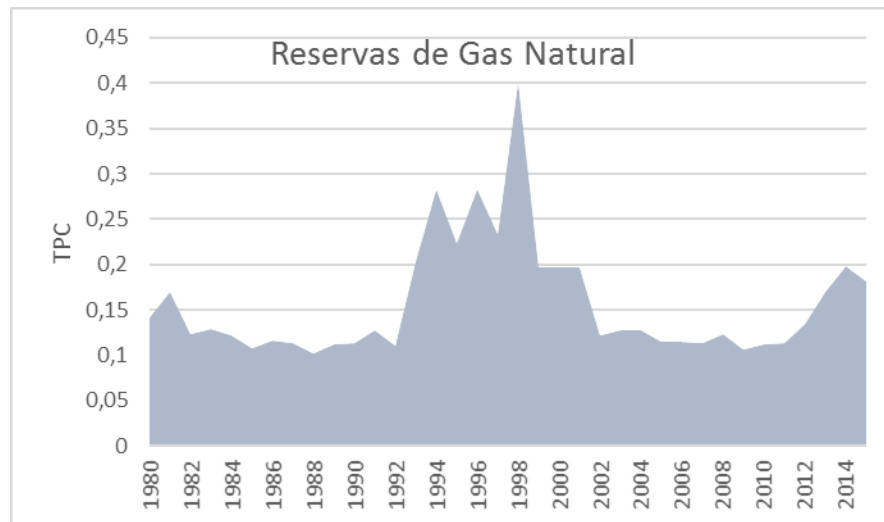
Fuente: UPME – Ecopetrol

El gas natural es un combustible que entró al mercado energético nacional como un combustible de respaldo y sustitución. Esto ha evidenciado la importancia de la existencia de diferentes opciones de combustible que puedan ser utilizadas en periodos de escasez. Actualmente se busca incentivar el uso de combustibles con menor contenido de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, o combustibles limpios. En este aspecto el gas natural representa una ventaja en su utilización ya que en sectores como el de transporte e industria, sustituye principalmente combustibles fósiles con un alto nivel de emisiones de metano.

Por otra parte, el gas se puede obtener de diferentes fuentes como la biomasa y desechos, lo que permite una mejor utilización de los recursos y la sostenibilidad en el largo plazo. En el sector eléctrico, algunas plantas de generación cuyo combustible principal es el gas natural, pueden operar con combustibles sustitutos, lo que permite una mayor confiabilidad en la operación, debido a la incertidumbre en las proyecciones de producción y el bajo nivel de reservas que se ha incorporado a las ya conocidas en el país.

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA) las reservas del país en los últimos 32 años han tenido el comportamiento mostrado en la Figura 16, donde se puede ver la disminución del recurso en el territorio colombiano, lo que puede traer como consecuencia la importación para abastecer los distintos sectores.

Figura 17. Reservas de Gas Natural



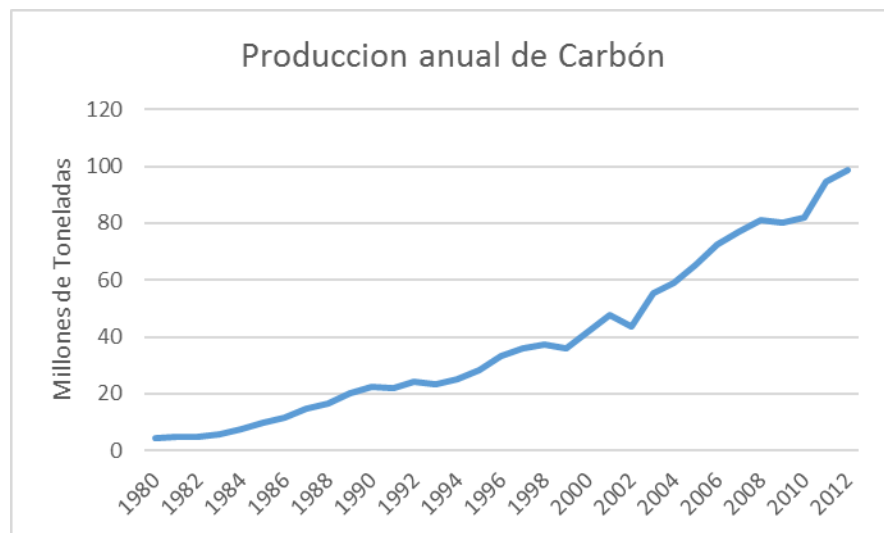
Fuente: IEA

2.6.3 Carbón Colombia cuenta con excelente calidad del mineral y con cantidad suficiente para participar en el mercado mundial por largo tiempo. Las reservas medidas son de 6.508 Mt ubicadas en los departamentos de La Guajira, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Valle del Cauca

y Cauca, la zona con mayor aporte es la costa atlántica, donde se encuentra el 89,80% del total del carbón nacional, que a su vez corresponde al 98% del carbón térmico. El 95% de las reservas se ubica en los departamentos de La Guajira, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca.

La producción de carbón en los últimos años ha tenido un crecimiento constante, en especial a partir del año 2000. Hasta cuando se iniciaron las exportaciones desde Cerrejón Zona Norte, el mayor porcentaje de la producción nacional provenía del interior del país. En la Figura 17 se puede ver una caída del 4% en la producción de 2003 ya que hubo problemas de seguridad y conflictos laborales.

Figura 18. Producción anual de Carbón en Colombia

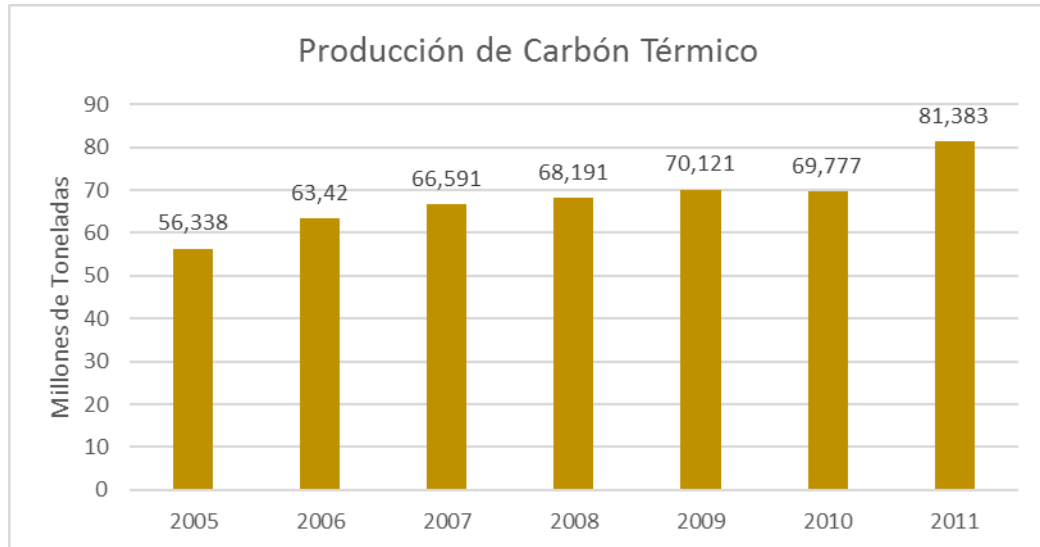


Fuente: IEA

El carbón térmico que se produce en el interior del país abastece el mercado doméstico, que lo destina a la generación eléctrica, como fuente de energía primaria y secundaria en la industria. La Figura 18 muestra que durante el año 2011 la producción del carbón térmico fue de 81,38 Mt, la cual tiene un crecimiento de 44,45% respecto al año 2005, cuando la producción fue de 56,34

Mt. En promedio la producción de carbón entre 2005 y 2011 estuvo en 67,97 Mt. [22]

Figura 19. Producción de Carbón Térmico



Fuente: UPME-SIMCO; INGEOMINAS

2.6.3.1 Tecnología de captura de carbón La situación actual de la tecnología de captura de carbón comprende el desarrollo progresivo de diferentes tipos de sistemas de captación de CO₂. En un esquema operativo general la primera fase sucede posterior a la combustión, previo a la combustión y combustión de oxígeno-gas. La etapa subsiguiente comprende la concentración de CO₂ en el flujo de gas, teniendo en cuenta la presión del flujo de gas y el tipo de combustible (sólido o gaseoso), los cuales son factores importantes para la selección del sistema de captación.

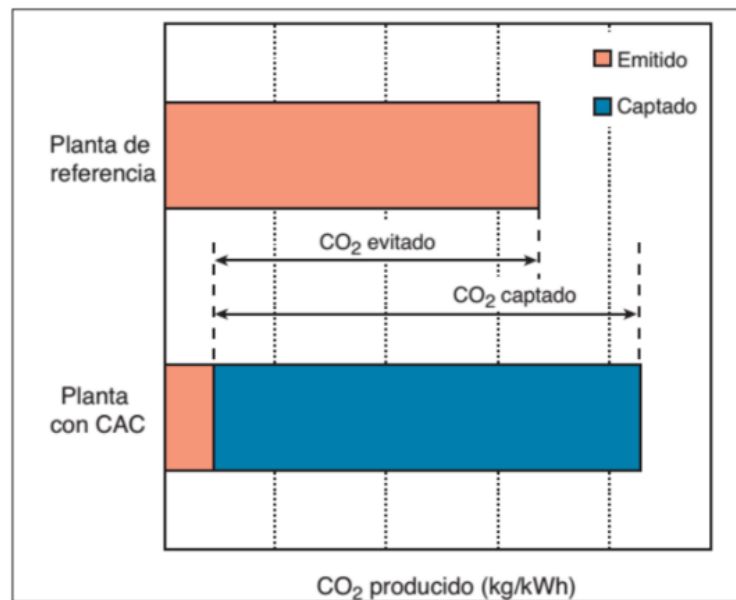
La captación posterior a la combustión de CO₂ en las centrales eléctricas es económicamente viable en condiciones específicas. Se utiliza para captar CO₂ de parte de los gases de combustión emitidos por diversas centrales eléctricas existentes. La separación de CO₂ en la industria del refinamiento de gas natural, que aplica una tecnología similar, funciona en un mercado maduro. Si bien las

fases iniciales de la conversión del combustible en el sistema previo a la combustión son más complejas y costosas, las concentraciones más altas de CO₂ en el flujo de gas y la presión más elevada facilitan la separación.

La combustión de oxígeno-gas está en la fase de demostración y utiliza oxígeno de un alto grado de pureza. Ello da lugar a altas concentraciones de CO₂ en el flujo de gas y, por tanto, a una separación más fácil del CO₂, así como a mayores necesidades energéticas para separar el oxígeno del aire.

El impacto ambiental de estas tecnologías hace que, bajo escenarios de desarrollo tecnológico actual, el mismo caiga a menos del 10% en toneladas de CO₂ emitidas por KW producido bajo esquemas de intervención y no intervención, como se aprecia en la Figura 19. [23]

Figura 20. CO₂ captado y emitido bajo métodos de captura de carbono con el estado actual de la tecnología



Fuente: Cadena de Carbón – UPME

2.6.4 Otros En cuanto al resto de la generación producida en el país, y con una menor participación se encuentran tecnologías muy poco desarrolladas e investigadas como lo son las energías eólica, solar y la producida por biomasa. Cabe resaltar que en el momento no se cuenta con ningún parque solar que participe en el SIN, solo a pequeña escala de generación in situ como es el caso del colegio Martinica en Montería.

De los principales motivos por los cuales no han tomado fuerza estas tendencias alternativas, son los costos de la tecnología, desarrollo investigativo, falta de regulación y normatividad.

VIENTO

El primer y único parque eólico en el país, está ubicado en la región nororiental de la costa atlántica colombiana entre las localidades del Cabo de la Vela y Puerto Bolívar, en inmediaciones de Bahía Portete, en el municipio de Uribia. Tiene una capacidad instalada de 19,5 MW compuesto por 15 aerogeneradores de 1,3MW c/u y los cuales están sometidos a vientos alisios de 9,8 metros por segundo en promedio. Entró al SIN a mediados de abril de 2014 y está registrado como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. [24]

En el Atlas de Viento y energía eólica se mostró que en algunos sectores de Colombia prevalecen vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s y persistentes a lo largo del año. Por lo tanto, existe un buen potencial de energía eólica a lo largo de la península de La Guajira, Isla de San Andrés, sectores de Boyacá y, centro del litoral Caribe en el departamento de Bolívar. No obstante, en otros sectores del país, aunque no se presenta la misma persistencia de vientos en el ciclo anual, sí la hay para una determinada época del año especialmente en zonas de Norte de Santander, límites entre Risaralda, Quindío y Tolima, límites

entre Cundinamarca y Boyacá, límites entre Cundinamarca, Tolima y Huila sobre la Región Andina, así como sobre el Piedemonte Llanero y Casanare para los Llanos Orientales. [25]

Empresas como Green Power, Isagén y el Grupo Celsia, están interesadas en participar en la ampliación de la capacidad instalada a casi un 20% del total de la demanda actual para el año 2018, convirtiendo el recurso eólico de la Guajira en 3.000 MW, que ayudaría como respaldo al sistema y ayudaría a reducir los precios del servicio eléctrico. Gracias a los trabajos realizados por la UPME se ha podido identificar el aprovechamiento de los recursos renovables que incentivan a las empresas a participar de dichos proyectos, la espera está en el decreto reglamentario de la Ley de FENC, según la presidenta de la Asociación Colombiana de Generadoras de Energía Eléctrica, Ángela Montoya Holguín. [26]

SOLAR

Los proyectos que hacen uso de este recurso para la generación se presentan principalmente en las ZNI, ya que es una buena alternativa para abastecer pequeñas poblaciones. Incluso también se implementa como iniciativa al uso de las FNCE en algunas instituciones como la Universidad Autónoma de Occidente, en Cali, que supe el 5% de su demanda.

La radiación solar en el terreno colombiano tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m² (destacándose la península de La Guajira, con un valor promedio de 6,0 kWh/m² y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento. [27]

Tabla 7. Disponibilidad promedio multianual de energía solar

Región	kWh/m²/año
Guajira	2,19
Costa Atlántica	1,825
Orinoquia	1,643
Amazonia	1,551
Andina	1,643
Costa Pacífica	1,278

Fuente: UPME - IDEAM

El aprovechamiento del recurso solar puede servir no solo para la instalación de paneles solares fotovoltaicos; también para cambiar el uso de algunos combustibles como puede ser el caso del calentamiento de agua, que actualmente utiliza electricidad o gas y que podría migrar a calentadores solares en un futuro.

BIOMASA

Su potencial energético contribuye a manejar mejor los residuos sólidos orgánicos, trayendo consigo beneficios ambientales como la disminución de GEI y contaminantes al suelo, aire y agua. Actualmente bajo el contenido agropecuario e industrial del país se cuenta con gran variedad de fuentes de biomasa residual.

Tabla 8. Fuentes de Biomasa

Sector Agrícola	Residuos Agrícolas de Cosecha
	Residuos Agroindustriales
Sector Pecuario	Estiércol Bobino
	Estiércol Porcino
	Estiércol Avícola
Sector Residuos Sólidos Orgánicos Residenciales	Residuos de Plazas de Mercado
	Residuos de Centros de Abasto
	Residuos de Podas

En las Tablas 9 y 10 se muestra una aproximación del potencial energético de los tres sectores; el agrícola (ocho cultivos), el pecuario (tres especies) y los residuos sólidos orgánicos urbanos de plazas de mercado y residuos de podas (doce ciudades). Esto se pudo evaluar mediante modelos matemáticos fundamentados en que la energía contenida en su materia es proporcional a su masa seca (la energía del residuo es equivalente al PCI) y con información de los años 2005, 2006, 207 y 2008.

Tabla 9. Potencial Energético del Sector Agrícola

Cultivo	Producción¹ [t/año]	Cantidad de Residuo [t/año]	Potencial Energético [TJ/año]
Arroz	2.463.589	6.282.407	27.835,94
Banano	1.878.194	11.550.891	6.595,93
Café	942.327	5.051.248	49.106,89
Caña de Azúcar	2.615.251	15.534.591	118.578,88
Caña de Panela	1.514.878	9.513.430	81.054,57
Maíz	1.368.996	1.936.479	20.795,80
Palma de Aceite	872.117	1.660.074	16.013,65
Plátano	3.319.357	20.414.043	11.657,07
Total	14.474.807	71.943.813	331.645,71

Fuente: UPME-IDEAM

Tabla 10. Potencial Energético del Sector Pecuario

Especie	Población² [Cabezas/año]	Cantidad de Estiércol [t/año]	Potencial Energético [TJ/año]
Avícola	114.866.673	3.446.348	29.183,1
Bovino	22.450.449	99.168.608	84.256,34
Porcino	3.749.480	2.803.111	4.308,46
Total	141.066.602	105.418.066	117.747,9

Fuente: UPME-IDEAM

¹ MINISTERIO DE AGRICULTURA Anuario Estadístico 2006

² INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO – ICA Inventario completo de Granjas 2008

Tabla 11. Potencial Energético del Sector Residuos Sólidos Orgánicos Residenciales

Actividad	Población¹ [t/año]	Cantidad de Residuo [t/año]	Potencial Energético [TJ/año]
Centros de abasto y plazas de mercado	20.179.354	120.210	91,72
Poda		44.811	318,13
Total		165.021	409,85

Fuente: UPME-IDEAM

¹ DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA – DANE; Censo 2005

3. PROSPECTIVA ENERGÉTICA

Como se pudo ver en el Capítulo 2, el sistema eléctrico Colombiano está conformado por subsectores, que a su vez dependen de factores políticos, sociales, económicos, tecnológicos y ambientales; para la elaboración de esta prospectiva se propuso una metodología la cual incluye como primera medida la selección de las variables más representativas del sector eléctrico de tal manera que se pueda modelar el sistema y ‘despreciar’ aquellas que no representan mayor influencia a largo, mediano y corto plazo.

Como segunda parte de la prospectiva, se establece los escenarios los cuales describen los posibles cambios a futuro a partir de hipótesis, deducciones de eventos presentes y planeaciones del Gobierno Nacional.

Por último, con la recolección de la información de las variables representativas y con los escenarios definidos cualitativa y cuantitativamente, se alimenta el software LEAP (herramienta para elaborar prospectivas) que mostrara los resultados que posteriormente serán estudiados.

Figura 21. Metodología prospectiva energética del sector eléctrico



3.1 SELECCIÓN DE VARIABLES

El sector eléctrico colombiano cuenta con una gran cantidad de variables que afectan en cierta medida su evolución y desempeño, desde las técnicas hasta las sociales representan cambios. Por efectos prácticos, al momento de modelar un sistema tan denso como el eléctrico, la mejor forma de analizarlo es por medio de las variables más representativas que se ajusten a propósito del estudio y de este modo obtener los resultados más aproximados a la realidad.

El software Mic-Mac (Matriz de impactos cruzados – Multiplicación aplicada a una clasificación), es una herramienta que permite a partir de un listado de variables elaborar de manera práctica la matriz de dependencia e influencia y crea el plano mediante el cual se permite la lectura y análisis de las diferentes variables.

3.1.1 Descripción del método A través del análisis estructural, se puede describir un sistema a través de una matriz que relaciona elementos constitutivos, elaborada mediante la reflexión colectiva y la cual pretende encontrar las principales variables influyentes y dependientes, en este caso, del sector eléctrico de Colombia, las cuales son fundamentales en la participación de la prospectiva energética.

El análisis estructural para estudios prospectivos comprende las siguientes fases:

Fase 1: identificación de las variables:

Se construye un listado¹ que incluya las posibles variables que caracterizan el sistema y su contexto, con una breve descripción que facilite el seguimiento del análisis y la localización de las relaciones entre estas variables.

- ✓ Costo gas
- ✓ Crecimiento poblacional rural en escenario de posconflicto
- ✓ Demanda EE
- ✓ Emisiones de CO2 por tecnología de generación de energía eléctrica.
- ✓ Incertidumbre de la hidrología
- ✓ Incertidumbre de la radiación solar
- ✓ Incertidumbre del viento
- ✓ Evolución de programas de eficiencia energética
- ✓ Importaciones y exportaciones de EE
- ✓ Permeabilidad del sistema eléctrico para la inclusión de nuevas tecnologías (políticas, costos de adquisición)
- ✓ PIB (Valores agregados de los sectores de la economía)
- ✓ Población

¹ Con ayuda de un grupo de personas conocedoras del tema, para este caso el profesor Jaime Barrero, Diego Motta, Erika Zarate, Andrés Serrano, Wilmer Casas y Natalia Cortés

- ✓ Precios internacionales del carbón
- ✓ Precios internacionales del petróleo
- ✓ Presupuesto de investigación asociado a nuevas tecnologías de generación de EE
- ✓ Rendimiento energético de la biomasa para generación de energía eléctrica
- ✓ Reservas nacionales de carbón
- ✓ Temperatura
- ✓ Tendencia aplicada de la reglamentación de la ley 1715 al corto plazo
- ✓ Tendencia internacional de la normativa ambiental

Fase 2: descripción de relación entre las variables:

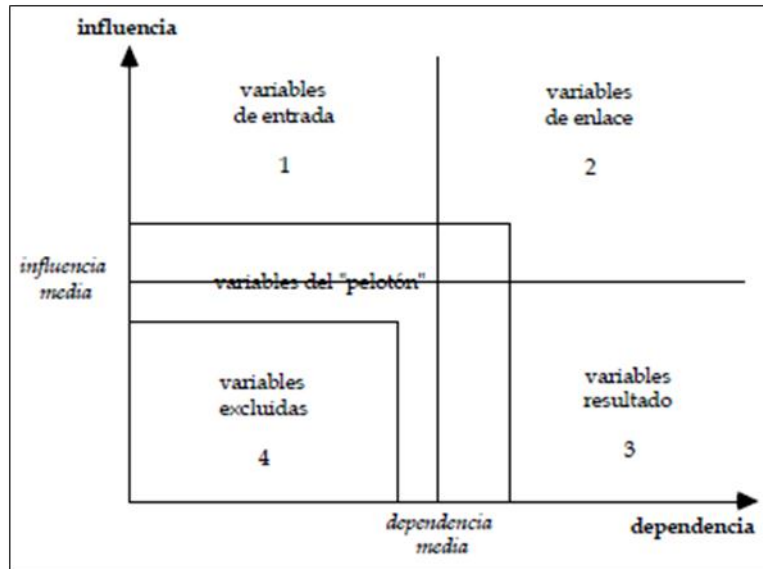
Para la segunda parte, se relacionan las variables en una matriz de relaciones directas. La descripción en cualitativa, por cada pareja de variables se plantea la pregunta: ¿existe una relación de influencia directa entre la variable i y la variable j ?, dando como puntuación:

No existe	0
Es débil	1
Es media	2
Es fuerte	3
Potencial	P

Fase 3: identificación de variables clave:

Para determinar las variables esenciales para la evolución del sistema, se analiza la ubicación de las variables mediante el plano cartesiano de dependencia e influencia creado por MIC-MAC, donde cada cuadrante representa su nivel de impacto e importancia.

Figura 22. Plano de influencia y dependencia



Variables de entrada: son las variables que explican y condicionan el resto del sistema. Indican en parte el funcionamiento del sistema. Son muy influyentes y poco dependientes.

Variables de enlace: se caracterizan por ser muy influyentes y muy dependientes. Perturban el funcionamiento normal del sistema, son por naturaleza inestables y se corresponden con los retos del sistema.

Variables resultado: Aquí se ubican las variables poco influyentes y muy dependientes. Se definen junto con las variables objetivo como indicadores descriptivos de la evolución del sistema. Se trata de variables que no se pueden abordar de frente sino a través de las que depende el sistema. Se traducen con frecuencia como objetivos.

Variables excluidas: Se encuentra en la zona próxima al origen. Son poco influyentes o motrices y poco dependientes. Se relacionan con tendencias pasadas o inercias del sistema o bien están desconectadas de él. No constituyen

parte determinante para el futuro del sistema. Se constata frecuentemente un gran número de acciones de comunicación alrededor de estas variables que no constituyen un reto. Pueden ser excluidas del análisis.

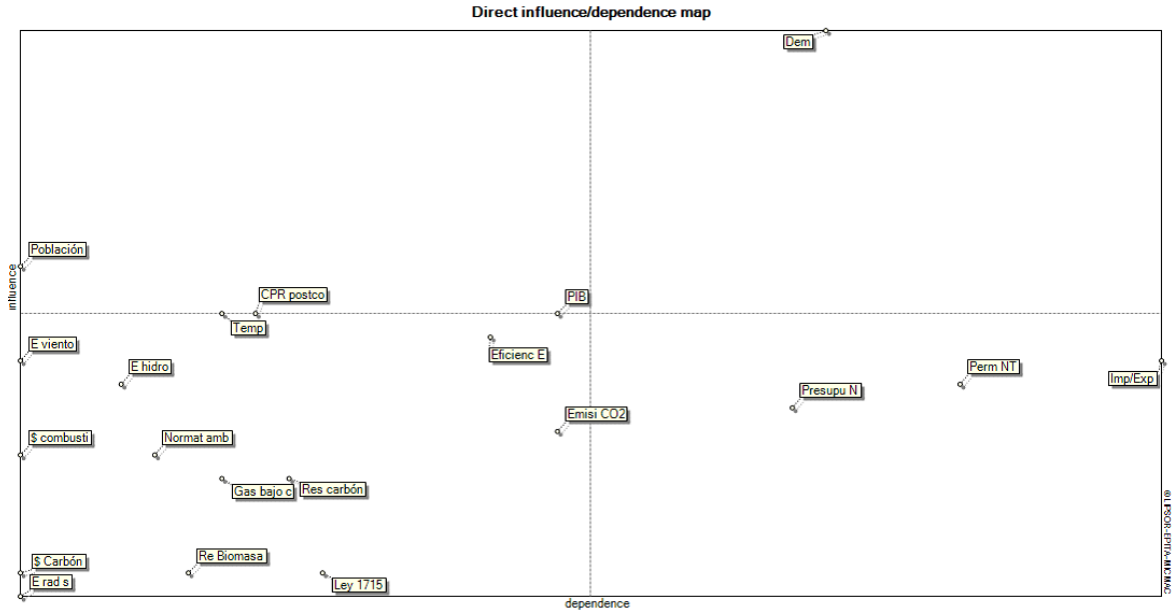
Variables del pelotón: Corresponde a las variables medianamente motrices y medianamente dependientes. Suelen situarse en la parte media del eje de influencia (Variables de entorno) o en la parte media del eje de dependencia (variables reguladoras).

Las variables de entorno, se sitúan en la parte izquierda del plano, lo que demuestra su escasa dependencia del sistema; hay que analizarlas como variables que reflejan un "adorno" del sistema a estudio.

Las variables reguladoras, son las situadas en la zona central del plano, se convierten en "llave de paso" para alcanzar el cumplimiento de las variables-clave y que éstas vayan evolucionando tal y como conviene para la consecución de los objetivos del sistema.

3.1.2 Resultado Para los fines de este estudio, al elaborar el método estructural mediante el software Mic-Mac para la elección de variables influyentes, se obtuvo el esquema mostrado en la figura 21:

Figura 23. Plano Mic-Mac obtenido



Analizando la posición se tiene como variable de enlace, la demanda de energía eléctrica, la cual es la de mayor importancia para el sector dado que es lo que se desea abastecer y que a su vez su crecimiento depende de otros factores.

En las variables de entrada, se encontró la población, lo cual indica por su posición la poca dependencia que tiene, pero su influencia en el sistema dado que tiene un comportamiento creciente con el tiempo y se relaciona con la demanda del servicio.

Dentro de las variables de pelotón, se encuentra temperatura, PIB, crecimiento de la población rural en posconflicto, pero como variables reguladoras solo el PIB que está ubicado aproximadamente en la mitad del plano cartesiano y la cual indica que es clave para la evolución del sistema y ayuda al progreso del mismo.

Las importaciones y exportaciones de energía eléctrica, se ubicó en el cuarto cuadrante donde se cataloga como variables resultado, y por su alta dependencia

y mediana influencia, se presenta como un objetivo. Se puede ver como una demanda o una generación extra del sistema.

En síntesis, las variables con las cuales se va a trabajar en este estudio prospectivo de energía eléctrica son:

- ❖ PIB
- ❖ Población
- ❖ Demanda
- ❖ Importaciones y exportaciones

3.2 SUPUESTOS

Parte de la metodología LEAP, o como cualquier metodología de prospectiva, se basa en escenarios tipo 'demand-driven', que describen procesos, eventos e hitos a lo largo del tiempo y que van direccionados de una forma realista pero futurista al objetivo principal de abastecer la demanda.

El estudio contempla el periodo 2015-2050, asimismo se consideró un sistema uninodal (no se tienen en cuenta las limitaciones de la red de transmisión del país). El análisis prospectivo de este proyecto tiene unos escenarios con sus supuestos energéticos, los cuales tienen en cuenta variables en común tales como crecimiento de la demanda, mejoramiento de las tecnologías, entrada de nuevos proyectos de generación e incorporación de fuentes no convencionales de energía; se debe entender que estos escenarios deben garantizar el cumplimiento de los indicadores de confiabilidad.

Las variables que tienen mayor incidencia sobre el sistema de generación colombiano son:

- i) Incertidumbre de la hidrología, viento, radiación solar y biomasa,
- ii) Desarrollo de proyectos de generación, su fecha de entrada en servicio y vida útil
- iii) Evolución de la demanda de energía
- iv) Nuevas tecnologías de generación.

Se debe entender que para este proyecto no se tienen en cuenta las limitaciones futuras y estocásticas de los recursos a utilizar.

Todos los escenarios contemplan la entrada de generadoras correspondientes al cargo por confiabilidad las cuales están representadas en la Tabla 10, estas aportan un total de 2433,4 MW instalados.

Tabla 12. Carga Instalada por CPC

<i>Cargo por confiabilidad</i>		
Recurso	Capacidad (MW)	Fecha de entrada
Hidráulico	571,1	2015
Carbón	324	2015
Carbón	250	2016
Líquidos	88,3	2017
Hidráulico	1200	2019

ESCENARIOS

Cada una de estas alternativas considera proyectos con diferentes tecnologías, convencionales como son las plantas térmicas a carbón y gas natural, centrales hidroeléctricas de mediana y gran escala, y no convencionales, como son las plantas eólicas, generación solar fotovoltaica y la generación a partir de la biomasa, asimismo todos los escenarios tienen su componente de demanda internacional, es decir la energía que se piensa exportar a nuestros países vecinos, para este caso Panamá y Ecuador.

Este estudio contemplo 3 escenarios los cuales fueron denominados como escenario Gris, Verde y Tendencial, a continuación, se mostrarán las características más destacables de estos, junto con los supuestos en la Tabla 13 se presentan los escenarios planteados

Tabla 13. Escenarios Planteados

Características	Este escenario tendrá diferentes tecnologías de generación desde las convencionales (hidráulicas y térmicas) hasta las no convencionales	Este escenario tendrá diferentes tecnologías de generación pero solo se incorporaran convencionales tipo hidráulicas además de una gran carga instalada en generación no convencional	Este escenario tendrá diferentes tecnologías de generación desde las convencionales (hidráulicas y térmicas) hasta las no convencionales
	Se resalta la generación de térmica de carbón, para asegurar la demanda en factores climáticos adversos	Tiene una gran entrada de generación a base de energía eólica	Su principal característica es que solo se notara la evolución a partir del año base si grandes cambios significativos
Supuestos	Participación de generación térmica a base de carbón sea un mayor para no depender demasiado de generación hidráulica y de gas	Disminución de generación térmica a partir de carbón	Crecimiento lineal en las generaciones convencionales actuales
	La incorporación de generación eólica aporte igual a la generación térmica a base de gas natural	Incorporación de generación eólica fuerte	Incorporación menor de generación eólica

	La incorporación de generación fotovoltaica y biomasa en un pequeño porcentaje para impulsar otras tecnologías en casos de variaciones climáticas	Incorporación de generación fotovoltaica significativa para el sistema	La incorporación de generación fotovoltaica y biomasa en un pequeño porcentaje para impulsar otras tecnologías en casos de variaciones climáticas
	Incorporación de exportaciones a Ecuador, Panamá y Centroamérica	Incorporación de generación a partir de biomasa	Incorporación de exportaciones a Ecuador, Panamá y Centroamérica
	Aumento de demanda de electricidad en sectores industrial, residencial y comercio	Incorporación de exportaciones a Ecuador, Panamá y Centroamérica	Aumento de demanda de electricidad en sectores industrial, residencial y comercio, por crecimiento ya determinado en el año base
		Incorporación de energía eléctrica al sectores residencial, más precisamente a la subcategoría de cocción y agua caliente	Falta de incorporación de nuevas tecnologías que utilicen electricidad para los casos de transporte y residencial
		Incorporación de energía eléctrica al sector transporte, por motos eléctricas	

3.3 LEAP

El software 'sistema de planeación estratégica a largo plazo' (Long Range Energy Alternatives Planning System), es una herramienta de cobertura nacional que se

puede acomodar a dos tipos de modelamiento energético (Tabla 14), en los que cada uno requiere sus propias estructuras de datos únicos.

Tabla 14. Método LEAP

Botton Up	Top Down
Usa datos detallados en combustibles	Usa datos econométricos agregados
Evalúa costos/Beneficios de tecnologías y políticas individuales	Evalúa costos/beneficios a través de impactos en producción, ingreso, PIB
No necesariamente asume eficiencia de mercados	Generalmente asume eficiencia de mercados
Captura interacciones entre proyectos y políticas	Captura retroalimentación e interacciones intersectoriales
Utilizado para evaluar costos y beneficios de programas	No es un enfoque adecuado para examinar políticas y tecnologías específicas

Además, se puede elaborar una planeación energética de forma integrada o para representar una cadena específica, para este caso el sector eléctrico, brindando un soporte confiable en su desarrollo. LEAP se basa en unos escenarios propuestos por el usuario que direccionan la evolución del sistema tanto para países industrializados como para países en desarrollo y regiones (varios países).

Dentro de su estructura se tienen las *key assumptions* (variables principales), donde se encuentran las variables independientes usadas para efectuar cálculos en los análisis posteriores (carga instalada, generación, consumo y demanda) que permiten referenciar los cálculos del modelado.

ASUNTOS CLAVES (key assumptions)

- Población: se ve representada a partir de los datos estadísticos del DANE con respecto al censo del 2005 y sus proyecciones, desagregándose por área

urbana (mayor porcentaje) o rural (menor porcentaje) en hogares de 4 personas.

- **Producto Interno Bruto:** la variación en pesos colombianos de los bienes y servicios producidos por Colombia durante los últimos años. Datos proporcionados por el DANE. También se tiene en cuenta los distintos valores agregados por sectores de la economía en pesos colombianos.

3.3.1 Generación El comportamiento de la generación de electricidad en Colombia es de suma importancia porque ayuda observar y plantear soluciones adecuadas para abastecer la demanda del país, por este motivo se menciona tres escenarios, Gris, Verde y Tendencial, los cuales tienen diferentes vistas acerca de la generación para el año 2050.

Escenario Gris

Tabla 15. Descripción escenario Gris

Descripción	tipos de tecnología
Este escenario se caracteriza por la fuerte participación de generación térmica a carbón con un total del 20% de la generación nacional para el año 2050, asimismo cabe resaltar que la generación hidráulica sigue mandando y que la generación eólica	Generación hidráulica
	Generación térmica a carbón
	Generación eólica
	Generación fotovoltaica
	Generación de biomasa a partir de caña
	Generación de biomasa a partir de palma

Este escenario prevé que para el 2050 la generación será de 153.700 GWh (Ver Figura 21) como se mencionaba anteriormente, el aporte más significativo es por las plantas hidráulicas, asimismo se resalta el gran incremento de generación por térmicas a base de carbón, un aumento del 133,98% con respecto al año base de estudio igualmente se resalta la disminución del generación térmica a partir de gas natural en un 21,71% menor que la presente en el año base, por último se ve la

participación de generación no convencional como eólica, solar fotovoltaica y biomasa, en la Tabla 16 y Figura 23, se observan la participación porcentual para el año 2050 para cada generadora. Se observa que la generación por biomasa (caña y palma) entrara para dar ayuda al nuevo sistema, esto se consideró para impulsar a Colombia al 2050 a una generación de electricidad más sustentable, en este escenario tienen una mayor participación que en los otros, debido a que este escenario es más integral en cuanto a la generación por garantizar la seguridad energética, asimismo este escenario es propuesto para momento de crisis climática como la presentada en el primer trimestre del año 2015, por estos motivos es esencial disponer de varias tecnologías, sean convencionales o no convencionales.

Figura 24. Generación escenario Gris

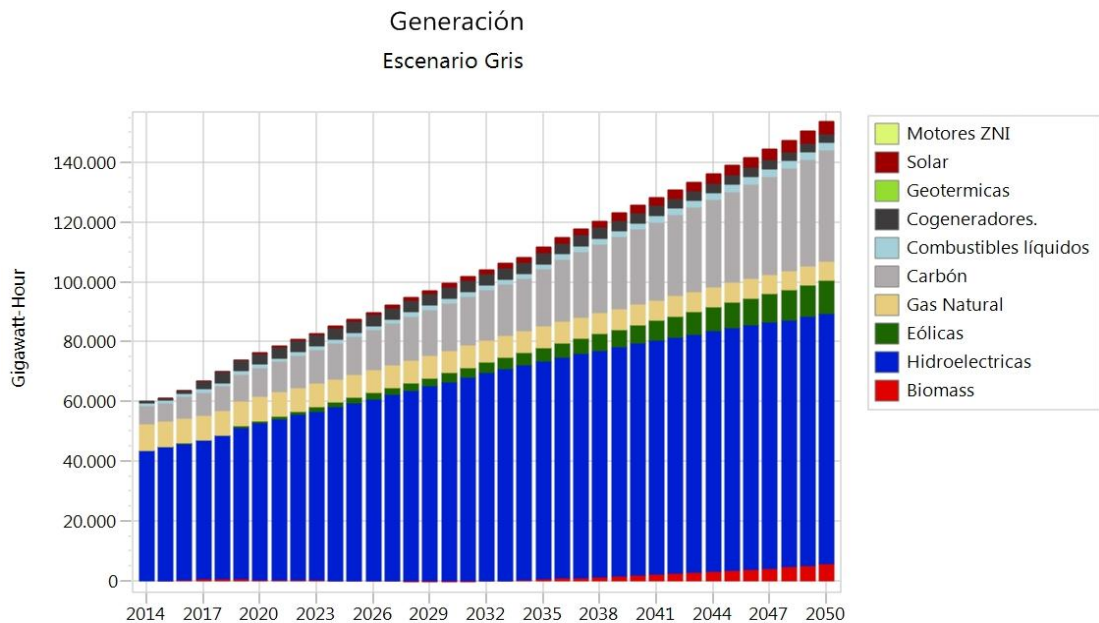


Figura 25. Comparativo generación escenario Gris

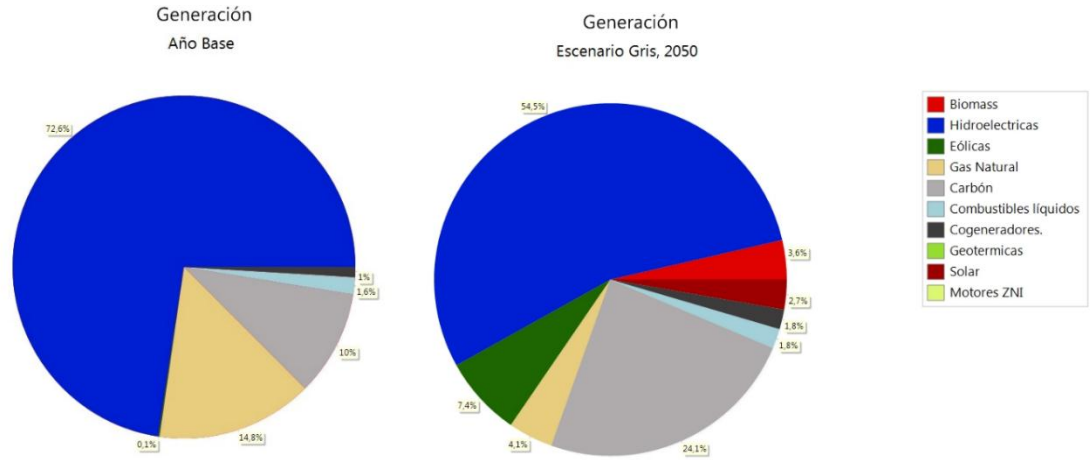


Tabla 16. Participación generación escenario Gris 2050

Participación	
Escenario gris 2050	
Combustibles líquidos	1,8%
Carbón	24,1%
Gas natural	4,1%
Eólica	7,4%
Hidroeléctricas	54,5%
Solar	2,7%
Biomasa	3,6%

Este escenario contempla la entrada de 1.624 MW en generación eólica, 1.356,8 MW en generación hidráulica, 1.020 MW en generación térmica a partir de carbón, 450,3 MW en generación solar fotovoltaica y 596,1 MW en generación por biomasa, éstas se muestran en la Tabla 17, por fecha de entrada al sistema nacional:

Tabla 17. Proyectos de generación escenario Gris

Escenario gris		
Recurso	Capacidad (MW)	Fecha de entrada
Biomasa	24,6	2015
Solar	5	2015
Biomasa	34,5	2016
Solar	9	2016
Biomasa	252	2017
Biomasa	107	2018
Eólico	674	2019
Carbón	90	2019
Biomasa	178	2019
Eólico	450	2020
Hidráulico	396,8	2020
Carbón	580	2020
Solar	53,6	2020
Eólico	500	2021
Hidráulico	960	2021
Carbón	350	2021
Solar	143,5	2024
Solar	239,2	2028

Las mejoras tecnológicas a tener en cuenta en este escenario se muestran en la Tabla 18, donde se resalta un crecimiento de la eficiencia en generación a partir de energía fotovoltaica solar la cual en el año base era de 20% y se espera que para el 2050 llegue a 25% (incremento del 5%), además gracias al avance tecnológico y económico en la captura de carbono se disminuye el impacto ambiental por este tipo de generadoras, que ayuda a estabilizar el sistema en épocas de sequía o de la variabilidad de los otros recursos renovables.

Tabla 18. Eficiencia de generación escenario Gris

Eficiencia	
Escenario gris	
Solar	25%
Gas natural	48,1 %
Eólicas	49,2 %
Biomasa	20 %
Hydroeléctricas	88,2 %

Escenario Verde

Tabla 19. Descripción escenario verde

Descripción	Tipos de tecnología
Este escenario se caracteriza por una fuerte inclusión de generación eólica, la disminución de generación térmica a base de carbón y un suave aumento en generación fotovoltaica solar	Generación hidráulica
	Generación eólica
	Generación Solar fotovoltaica
	Generación de biomasa a partir de caña
	Generación de biomasa a partir de palma

Este escenario prevé que para el 2050 la generación será de 165.100 GWh, Figura 24, como se mencionaba anteriormente, el aporte más significativo es por las plantas hidráulicas, asimismo se resalta el gran incremento de generación eólica con un total de 24.494,1 GWh, con respecto al año base de estudio igualmente se resalta el aumento de generación térmica a partir de carbón en tan solo un 1%, asimismo se ve la participación de otras importantes generaciones no convencionales como solar fotovoltaica (12.247 GWh) y biomasa, en la Tabla 20 y Figura 25, se observan la participación porcentual para el año 2050 para cada generadora. Se observa que la generación por biomasa (caña y palma) entrará para dar ayuda al nuevo sistema, esto se consideró para impulsar a Colombia al 2050 a una generación de electricidad más sustentable, pero se apuesta más por la entrada de generación de energías no convencionales ya mencionadas eólica y solar fotovoltaica.

Figura 26. Generación Escenario Verde

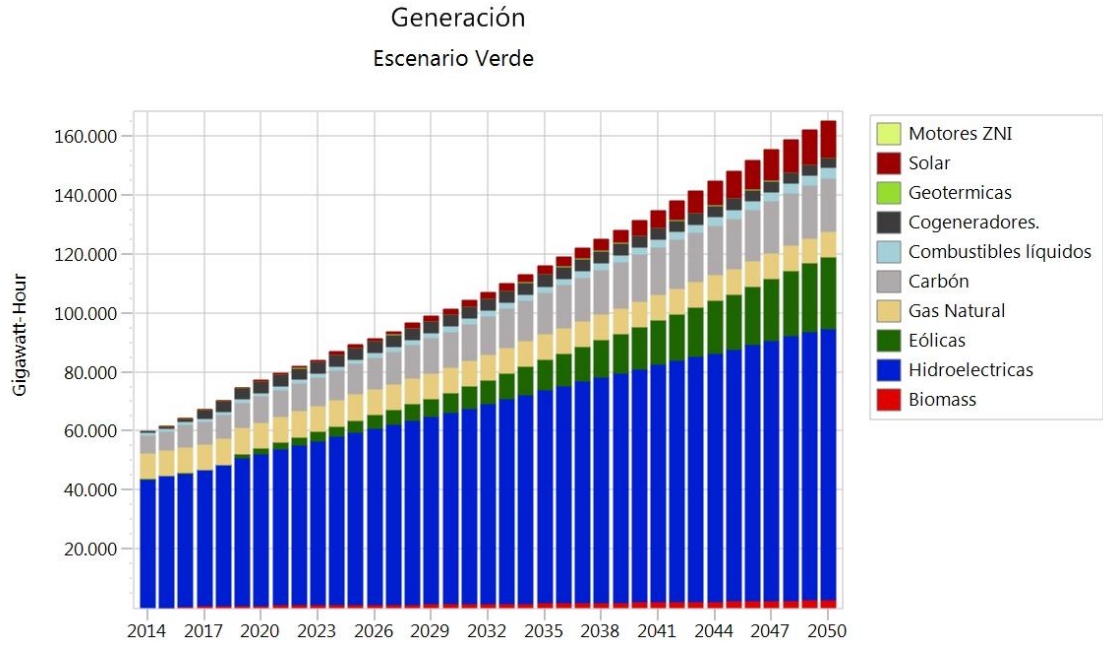


Figura 27. Comparativo generación escenario Verde

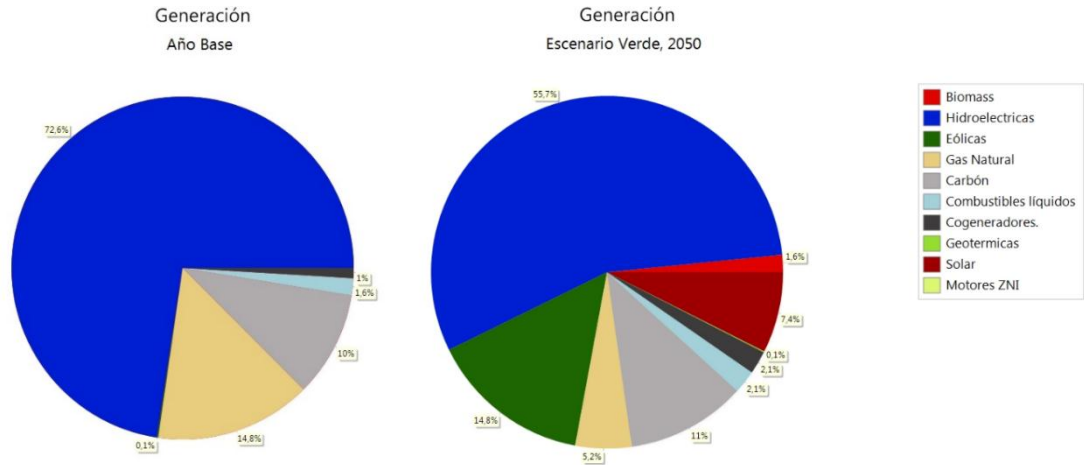


Tabla 20. Participación generación escenario Verde

Participación	
Escenario Verde 2050	
Combustibles líquidos	2,1 %
Carbón	11 %
Gas natural	5,2 %
Eólica	14,8 %
Hidroeléctricas	55,7 %
Solar	7,4 %
Biomasa	1,6 %

Este escenario contempla la entrada de 3.131 MW en generación eólica, 2.313,8 MW en generación hidráulica, 450,3 MW en generación solar fotovoltaica y 596,1 MW en generación por biomasa (Tabla 21), por fecha de entrada al sistema nacional.

Tabla 21. Proyectos de generación escenario Verde

Escenario Verde		
Recurso	Capacidad (MW)	Fecha de entrada
Biomasa	24,6	2015
Solar	5	2015
Biomasa	34,5	2016
Solar	9	2016
Biomasa	252	2017
Biomasa	107	2018
Biomasa	178	2019
Eólico	1381	2019
Hidráulico	396,8	2020
Solar	53,6	2020
Eólico	920	2020
Hidráulico	1917	2021
Eólico	830	2021
Solar	143,5	2024
Solar	239,2	2028

Las eficiencias a tener en cuenta en este escenario se muestran en la Tabla 22, donde se resalta un crecimiento de la eficiencia en generación a partir de energía solar fotovoltaica, la cual en el año base era de 20% y se espera que para el 2050 llegue a 32,5% (incremento del 12,5%), en este escenario se prevé que el desarrollo de las tecnologías para los demás tipos de generación no convencional sea mejoradas.

Tabla 22. Eficiencias escenario Verde

Eficiencia	
Escenario Verde	
Solar	32,5
Gas Natural	48,1
Eólicas	49,2
Biomasa	31,3
Hidroeléctricas	88,2

Escenario Tendencial

Tabla 23. Descripción escenario Tendencial

Descripción	Tipos de tecnología
Este escenario se caracteriza por que sigue los métodos actuales de generación, es decir solo implementa la tecnología ya conocida y usada, es fuerte en generación hidráulica, principalmente porque es la generación más usada en el año base	Generación hidráulica
	Generación eólica
	Generación solar fotovoltaica
	Generación de biomasa a partir de caña
	Generación de biomasa a partir de palma
	Generación térmica a base de carbón
	Generación térmica a base de gas natural

Este escenario prevé que para el 2050 la generación será de 165.500 GWh, Figura 26, como se mencionaba anteriormente, el aporte más significativo es por las plantas hidráulicas con un total de generación de 124.554,8 GWh, igualmente se resalta el poco incremento de generación eólica con un total de 5.935,6 GWh,

con respecto al año base de estudio se resalta la disminución de generación térmica a partir de carbón y gas natural en un 59% y 58,1 % respectivamente, asimismo se ve la poca participación de otras importantes generaciones no convencionales como solar fotovoltaica (3.189,5GWh) y biomasa. En la Tabla 24, se observan la participación porcentual para el año 2050 para cada generadora.

Figura 28. Generación escenario Tendencial

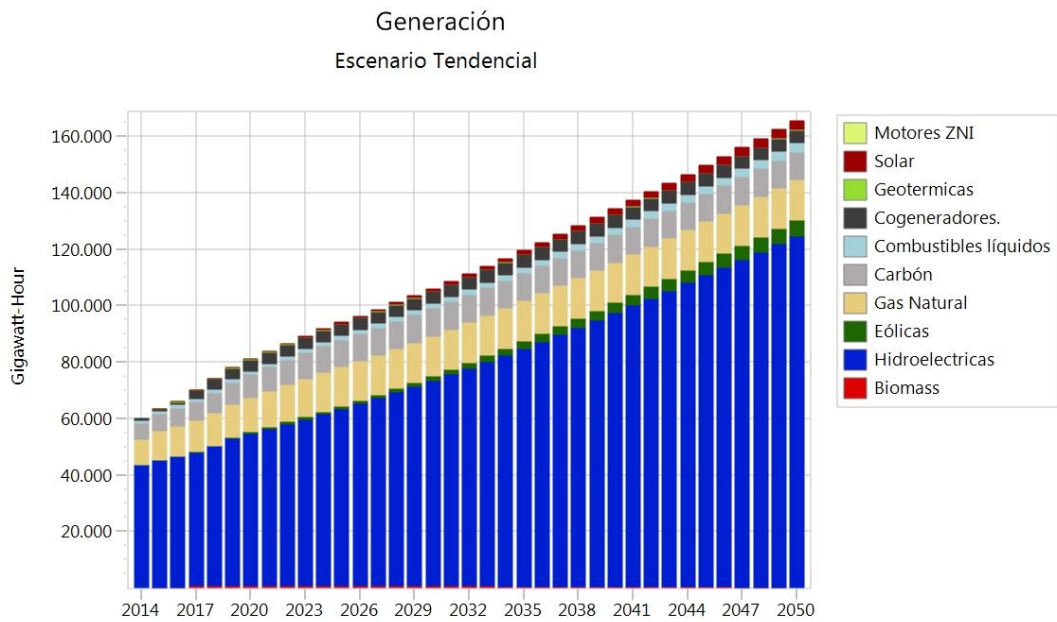


Figura 29. Comparativo generación escenario Tendencial

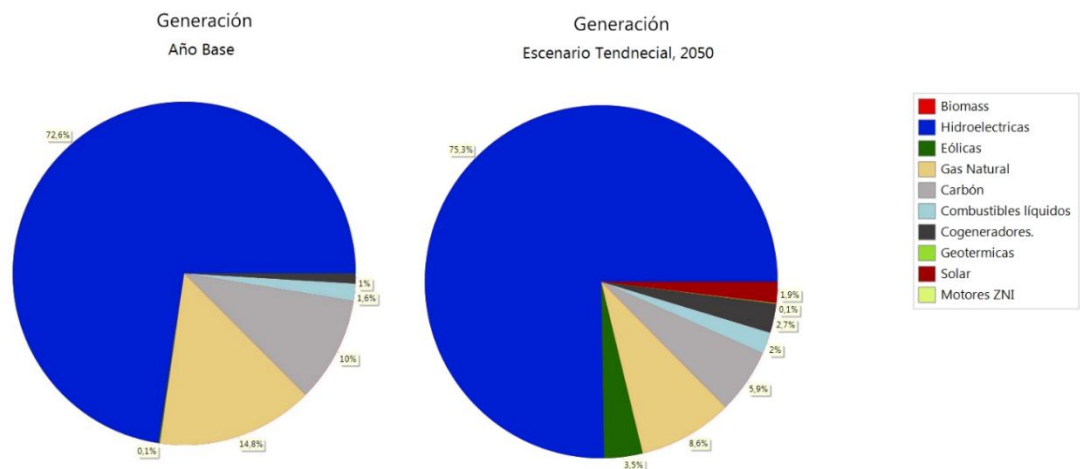
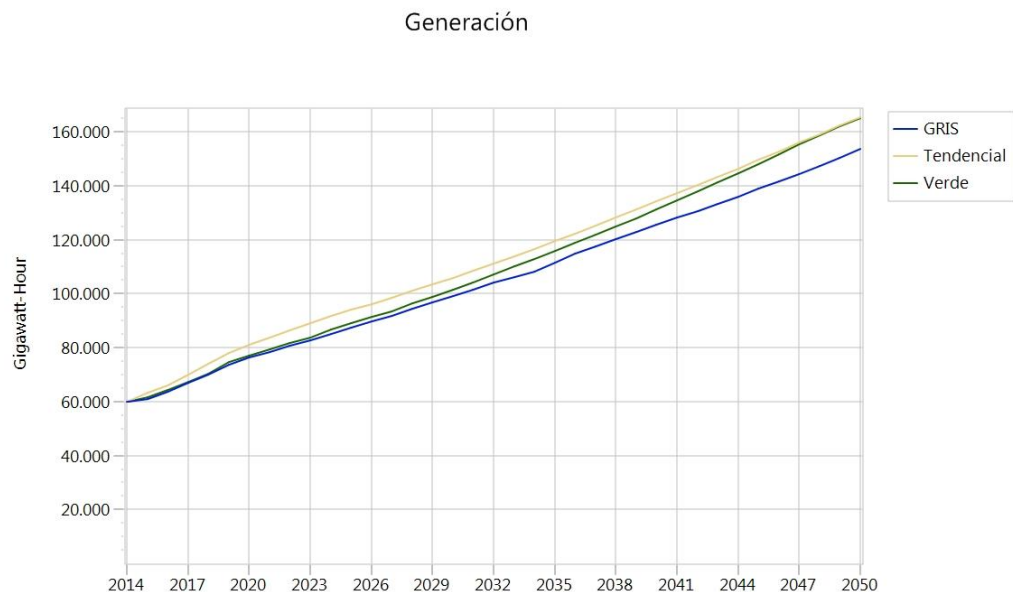


Tabla 24. Comparativo generación escenario Verde

Participación	
Escenario Verde 2050	
Combustibles líquidos	2 %
Carbón	5,9 %
Gas natural	8,6 %
Eólica	3,5 %
Hidroeléctricas	75,3 %
Solar	1,9 %
Biomasa	---%

El resultado de la figura 28, resalta la diferencia entre los escenarios Gris (1.53GWh) con los demás escenarios (1.65GWh), el porqué de este comportamiento es por la entrada de los diferentes proyectos, es decir para el escenario Verde la entrada de proyectos tiene una capacidad instalada total de 8.924,5 MW un 19,3% mayor que el del escenario Gris (7.480,5) aunque la diferencia entre los escenarios es del 7,8%, el escenario Gris en generación sigue siendo robusto para su propia demanda que se analizara más adelante.

Figura 30. Comparativo de generación entre los tres Escenarios



3.3.2 Capacidad instalada La capacidad instalada en el país en el año base es de 15,6 GW, la cual está repartida en plantas hidroeléctricas, térmicas de carbón, térmicas de gas natural y combustibles líquidos en los escenarios se mantendrán estas plantas pero al tiempo se ingresarán nuevas del tipo no convencional tales como eólicas, fotovoltaicas y biomasa; el objetivo para el año 2050 es crear un sistema el cual sea robusto y ante cualquier inconveniente que se presente en alguna planta, esta sea fácilmente suplida por las demás.

Escenario Gris

Este escenario resalta la gran entrada de proyectos de térmicos a carbón y una participación de eólicos y biomasa, además del poco crecimiento de hidroeléctricas para el año 2050 (Figura 29). En el año 2050 para este escenario se espera una capacidad instalada de 55,1 GW, como se mencionaba antes se espera robustez, para suplir la demanda nacional e internacional prevista y soportar cualquier imprevisto.

Figura 31. Capacidad instalada escenario Gris

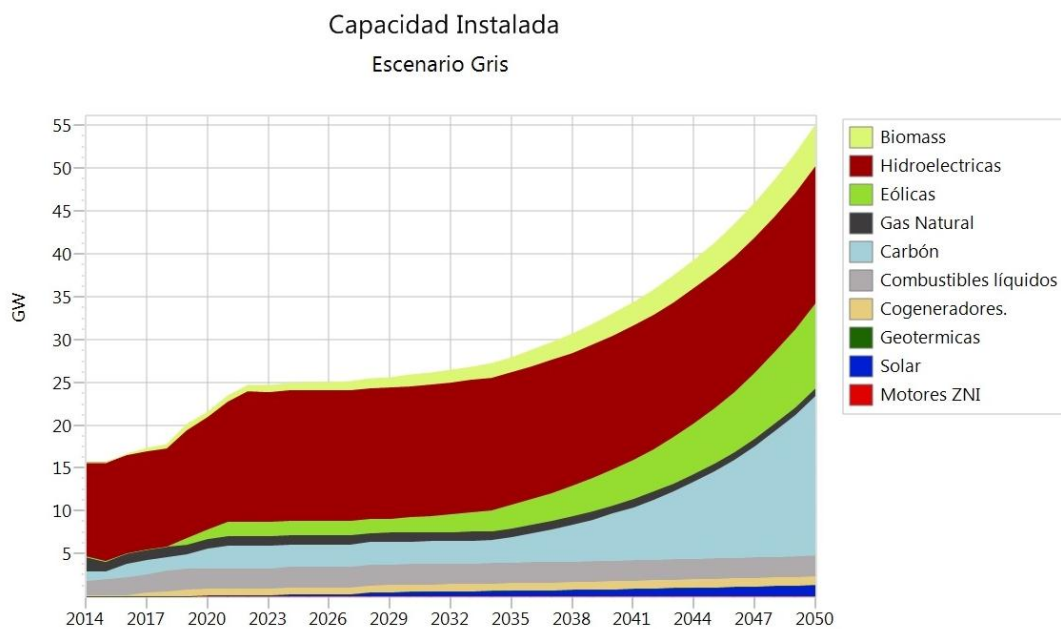


Tabla 25. Comparativo capacidad instalada escenario Gris 2014-2050

Capacidad Instalada GW		
Escenario Gris		
Tipo	2014	2050
Biomasa	-	4,9
Hidroeléctricas	10,9	16,0
Eólicas	0,0	9,9
Gas Natural	1,7	0,9
Carbón	1,2	18,7
Combustibles líquidos	1,7	2,4
Cogeneradores	0,1	1,0
Solar	-	1,3
Total	15,6	55,0

Escenario Verde

Este escenario resalta la gran entrada de proyectos de plantas eólicas, fotovoltaica y biomasa, además del poco crecimiento de hidroeléctricas para el año 2050 a la vez se resalta el poco crecimiento que se le da a la generación térmica (figura 30). En el año 2050 para este escenario se espera una capacidad instalada de 70,8 GW, como se mencionaba antes, se espera robustez, para suplir la demanda nacional e internacional prevista y soportar cualquier imprevisto.

Figura 32. Capacidad instalada escenario Verde

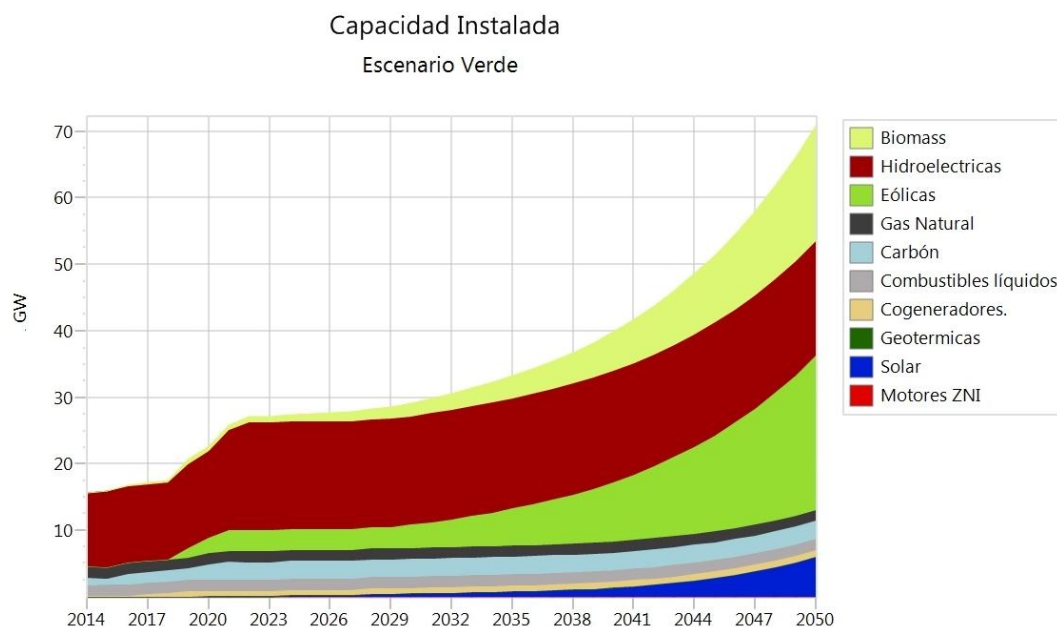


Tabla 26. Comparativo capacidad instalada escenario Verde 2014-2050

Capacidad Instalada GW		
Escenario Verde		
Ramas	2014	2050
Biomasa	-	17,4
Hidroeléctricas	10,9	17,2
Eólicas	0,0	23,2
Gas Natural	1,7	1,7
Carbón	1,2	2,7
Combustibles líquidos	1,7	1,7
Cogeneradores	0,1	1,0
Solar	-	6,0
Total	15,6	70,8

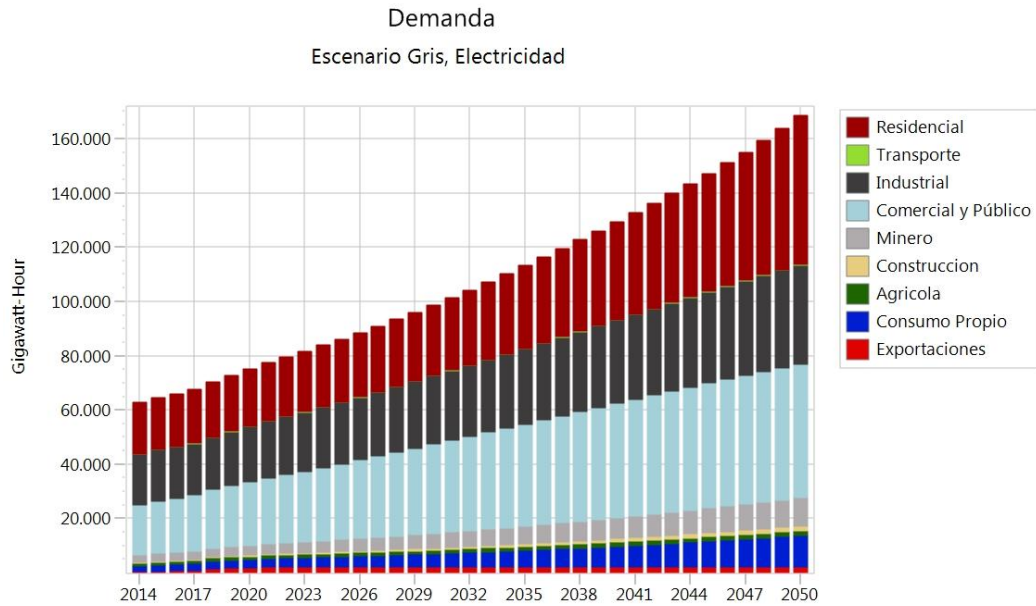
3.3.3 Demanda – consumo La demanda de energía eléctrica colombiana depende de varios sectores, los cuales han sido clasificados en 9 para este estudio, como cabe mencionar la demanda también es afectada por nuevas tecnologías por ejemplo para el caso de la demanda residencial en el sector

urbano se destaca la nueva tecnología en estufas eléctricas de inducción la cual hoy en día no es tan usada pero se plantea que en un futuro si tenga una gran porcentaje de implementación , por lo tanto nuevas tecnologías afectan la demanda de energía eléctrica y por eso el objetivo de este estudio. En este análisis la energía eléctrica producida por hogares, casos de paneles fotovoltaicos instalados en los techos de las casas se tuvo en cuenta, pero este tipo de generación se registró como generación negativa, cabe resaltar que el software no toma demanda negativas y esto fue un imprevisto, pero se desarrolló un algoritmo dentro del mismo donde este tipo de generación no entrara en los datos mostrados a continuación.

Escenario Gris

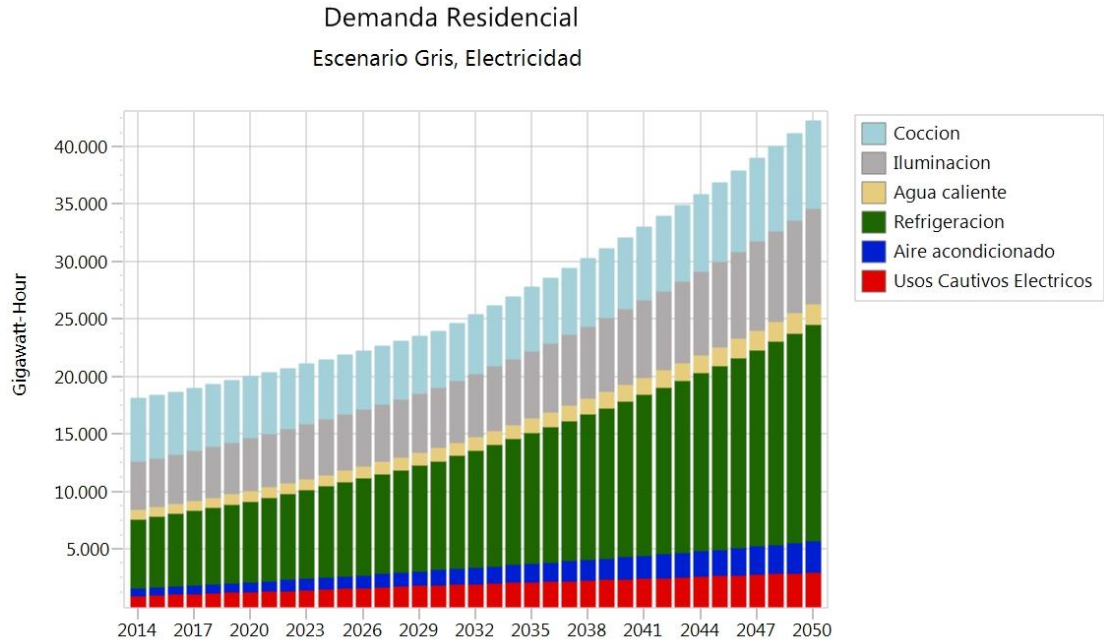
Este escenario se destaca el gran crecimiento de sectores residencial, industrial, comercial y público y minero; asimismo se destaca que la demanda exigida por el total de los sectores es de 168.000 GWh anuales para el año de 2050, la Figura 31 también se denota el gran crecimiento del sector residencial, esto acontece por la electrificación que se planeó en los supuestos para la zona rural de este sector.

Figura 33. Demanda escenario Gris



Al mirar con más detalle el sector residencial, en la zona urbana se observan varias características de este escenario, lo primero es que hay un gran aumento en la demanda en este sector que va del 18.094 GWh del año base a 42.220 GWh en el año 2050, también se observa que la carga con mayor consumo en este sector es la de refrigeración con un consumo de 18.786 GWh para el año 2050, se resalta que el uso de aire acondicionado se incrementara y será una carga que consume 2,7GWh un gran aumento si vemos que en el año base su participación en el sector residencial es de 0,6 GWh, Figura 32. (Se denota que la convención usos cautivos eléctricos hace referencia a pequeños aparatos del hogar)

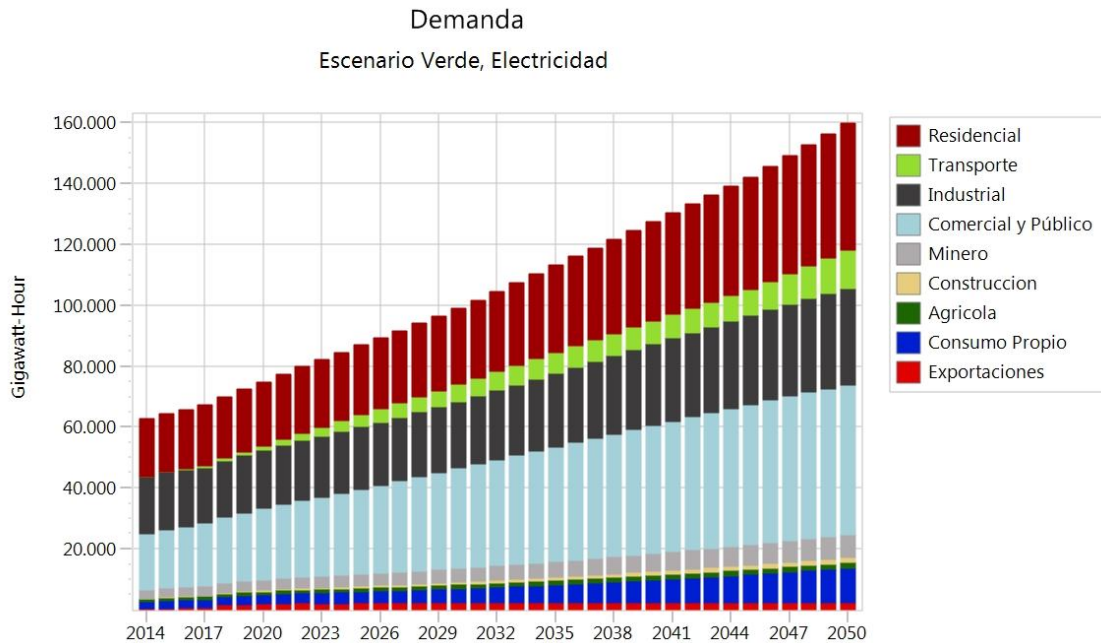
Figura 34. Demanda residencial escenario Gris



Escenario Verde

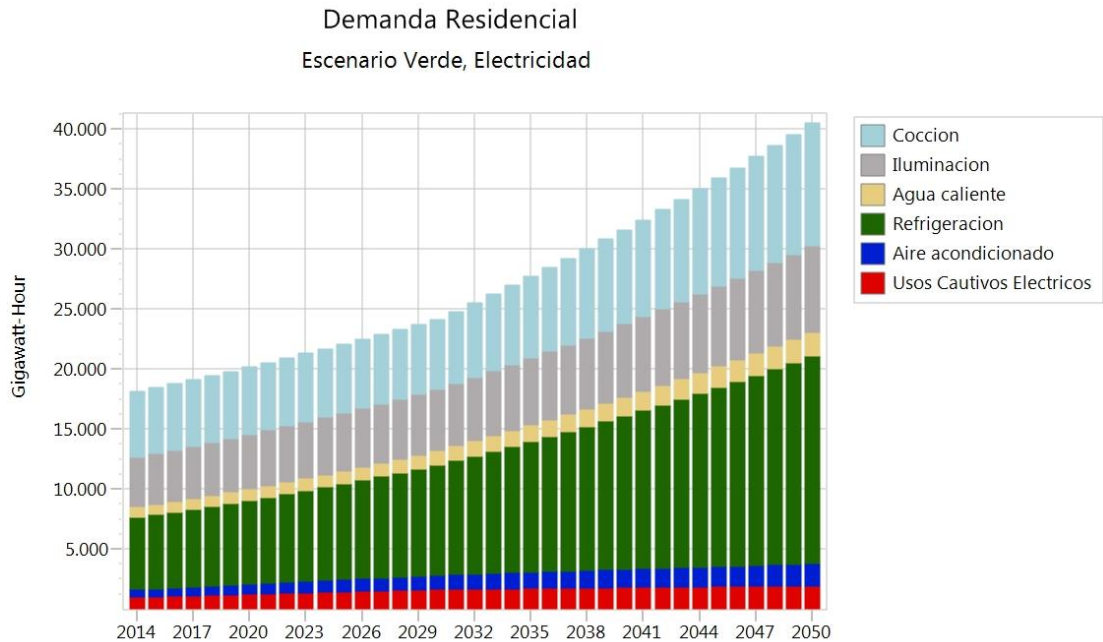
Este escenario se destaca el gran crecimiento de sectores residencial, industrial, comercial y público y minero; asimismo se destaca que la demanda exigida por el total de los sectores es de 168.630 GWh anuales para el año de 2050, Figura 33. También se denota el gran crecimiento del sector residencial, esto acontece por la electrificación que se planeó en los supuestos para la zona rural de este sector como sucede en el anterior escenario, pero lo más destacado de este escenario es la participación de la energía eléctrica para el sector transporte que en el año base es igual a 77,5 MWh, en este escenario pasa a una demanda de 12.526GWh, se espera que los vehículos automotores de dos o tres ruedas tomen una gran participación para el año 2050 esto debido a la versatilidad de los mismo y la eficiencia de la electricidad.

Figura 35. Demanda escenario Verde



Al realizar un análisis con más detalle el sector residencial, la zona urbana se observan varias características de este escenario, lo primero es que hay un gran aumento en la demanda en este sector que va del 18.094 GWh del año base a 42.220 GWh en el año 2050, también se observa que la carga con mayor consumo en este sector es la de refrigeración con un consumo de 18.786 GWh para el año 2050, lo más destacable es la tecnología de estufas de inducción la cual se ve representada en el aumento de demanda en esta subcategoría, aumentando en un 39,88% para el año 2050 (Figura 34).

Figura 36. Demanda residencial escenario Verde

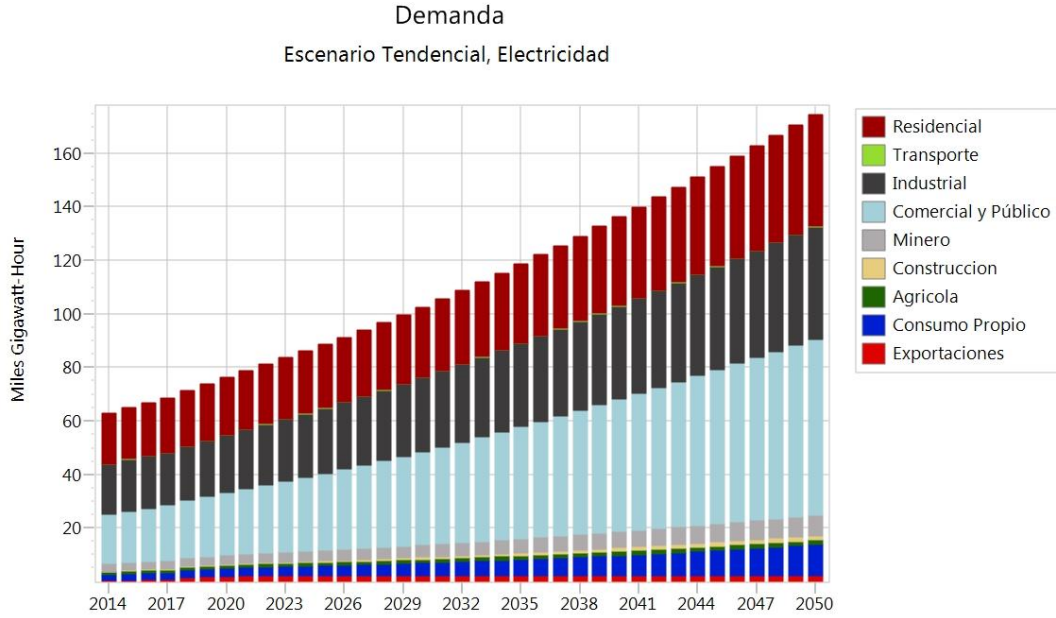


Escenario Tendencial

El escenario tendencial es aquel que toma el escenario base y hace un cálculo lineal suave, no se ve mucho la participación de energía eléctrica en cargas, simplemente se seguirán usando los mismos energéticos que se usaban en el año base, para las mismas cargas

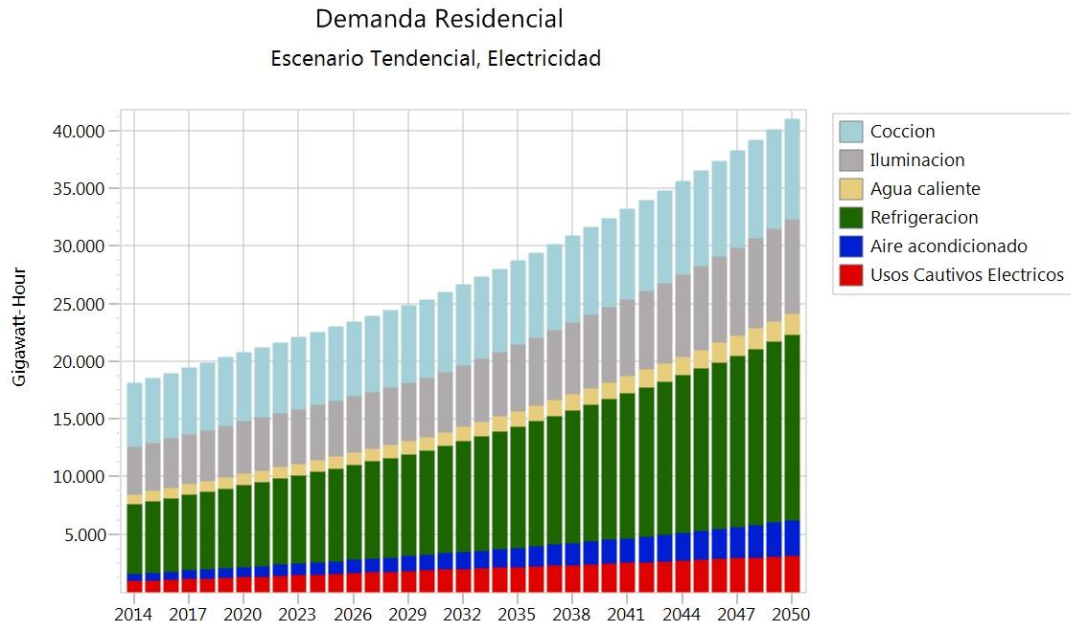
Asimismo, se destaca que la demanda exigida por el total de los sectores es de 174.352 GWh anuales para el año de 2050, Figura 35. También se destaca que la subcategoría de comercio y público tiene un crecimiento más elevado que en los anteriores escenarios llegando a 65.640 GWh para el año 2050, un crecimiento del 259,17% siendo el sector con mayor demanda y crecimiento para el 2050.

Figura 37. Demanda escenario Tendencial



Este escenario se destaca la categoría residencial, se observa la invariabilidad que esta presenta con respecto a los otros escenarios asimismo la demanda exigida para este sector es de 40.000 GWh para el año final. También se puede considerar un crecimiento lineal suave para sus subsectores (Figura 36).

Figura 38. Demanda residencial escenario Tendencial



Importaciones y exportaciones

La demanda exigida para exportar se divide para dos países, Ecuador y Panamá (aunque se espera que la conexión de Panamá vincule a Colombia con Centroamérica) como se puede observar en la Tabla 27.

Tabla 27. Exportaciones a Panamá

<i>Panamá</i>	
Fecha de exportación	Energía exportada GWh
2018	1313
2019	1696
2020	1844
2021	2127
2022	2393
2023	2212
2024	2296
2025	2396

Panamá	
Fecha de exportación	Energía exportada GWh
2026	2363
2027	2363
2028	2363
2029	2363

Para este análisis se debieron tener en cuenta los nuevos proyectos de generación que entrarían en Centroamérica, lo cual disminuye la cantidad de energía exportada hacia Panamá, se espera que el comportamiento de exportación sea igual al presentado en la Tabla 27 hasta el año 2029 y este siga incrementando en un 0,6% hasta el año 2034, ya que para este año se prevé la entrada de una generadora en el país vecino igualmente ante una falta de energía en Colombia también se prevé la importación de este recurso. Finalmente, en año 2046 se espera según análisis del país vecino un crecimiento de la exportación en un 0,6% anual. (ver Figura 37).

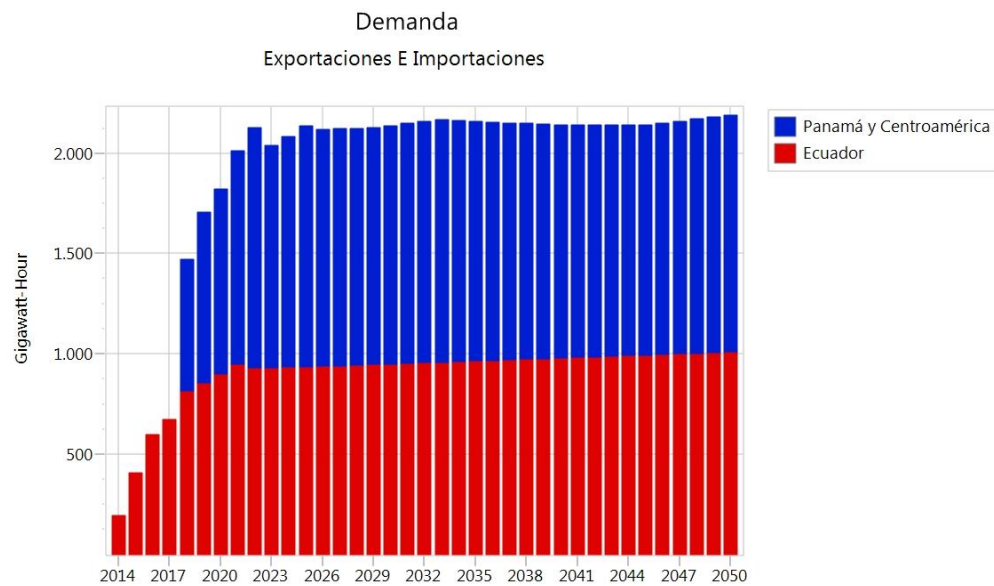
Para el caso de exportaciones también están las del país vecino, Ecuador las cuales se ven en la tabla 26, para este análisis se hace la suma entre exportaciones netas e importaciones netas, dando un resultado como se muestra en la gráfica 36.

Tabla 28. Exportaciones a Ecuador

Ecuador	
Fecha de exportación	Energía exportada GWh
2015	813
2016	1196
2017	1344
2018	1627
2019	1712
2020	1796

Ecuador	
Fecha de exportación	Energía exportada GWh
2021	1896
2022	1860

Figura 39. Demanda exportaciones e importaciones



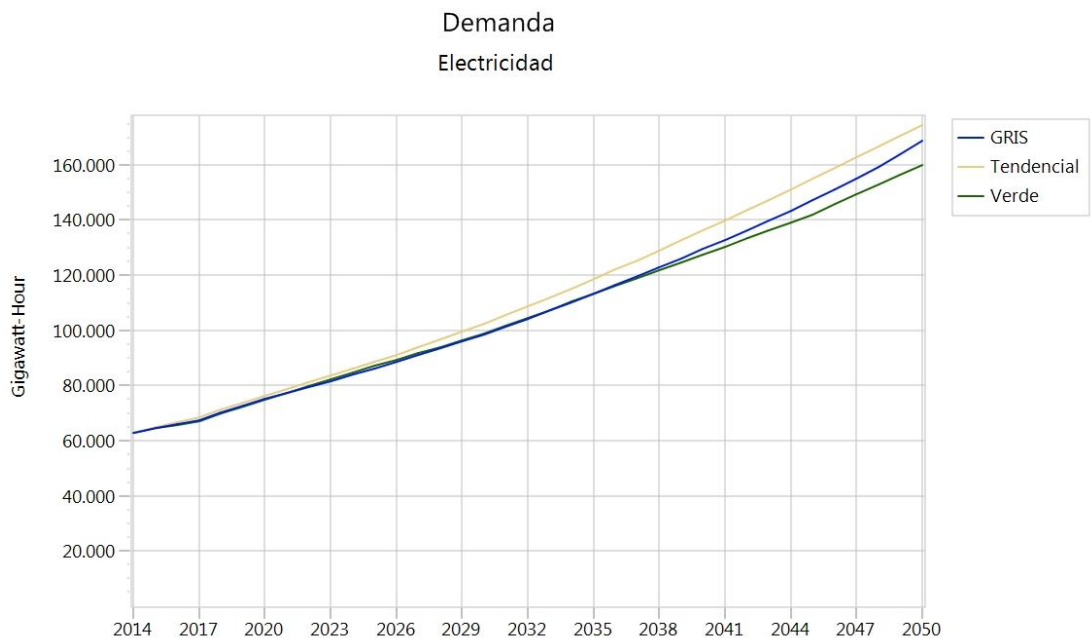
Se espera que para el 2050, la demanda hacia los países vecinos sea un total de 2141,4 GWh, también se denota que el país apuesta más por la exportación hacia Panamá y Centroamérica ya que el 53,9% de las exportaciones son para esta región (Tabla 29)

Tabla 29. Exportaciones previstas

Exportaciones previstas GWh		
Ecuador	Panamá y Centroamérica	Años
193,0	-	2014
930,0	1106,0	2023
955,4	1201,4	2032
981,5	1159,9	2041

Para terminar, en la Figura 38 se ve el comparativo entre la demanda de los tres escenarios, se resalta que el escenario Tendencial presenta la mayor valor para el año 2050, en 174.35 GWh, esto es porque este escenario prevé la expansión de las variables de acuerdo al año base y toma de referencia el crecimiento únicamente lineal, en cambio el escenario Verde con 159.79GWh, a pesar de la introducción de estufas de inducción y motocicletas, se resalta el pronóstico en el mejoramiento de la eficiencia de los conductores y de las carga, de acuerdo a lo establecido en cada escenario, asimismo el escenario Gris presenta la demanda intermedia entre los dos escenarios con 168.63GWh para el año 2050, ya que al igual que el escenario Verde se prevé una mejora de las eficiencias en conductores y cargas.

Figura 40. Comparativo de la demanda en los tres escenarios



3.3.4 Comparación demanda y carga instalada Al analizar el año 2015 se resalta que la capacidad instalada es de 15,5 GW, pero en promedio mensual solo se utiliza el 61,95% de esta capacidad, alrededor de 9,6 GW asimismo la energía

demandada para este año fue de 65.291,59 GWh, es decir que la capacidad real utilizada, su factor de carga anual fue de

$$FC = \frac{65.291,59 \text{ GWh}}{8.760 * 15,5 \text{ GW}} = 0,481$$

Pero al analizar mes a mes y sacar un promedio entre la energía producida y la carga instalada utilizada promedio por mes, se observa que el factor de carga mensual promedio fue de 0,77, ver tabla

$$FC = \frac{5.440,97 \text{ GWh}}{730 * 9,6 \text{ GW}} = 0,77$$

Tabla 30. Histórico de demanda y potencia año 2015 Fuente: XM

Meses	Histórico DEE (GWh)	Histórico DPMÁX (GW)	Horas	% Horas
ene-15	5.256,89	9,18	572,71	0,78
feb-15	4.978,84	9,37	531,27	0,73
mar-15	5.462,56	9,48	576,27	0,79
abr-15	5.212,20	9,32	559,44	0,77
may-15	5.541,13	9,66	573,65	0,79
jun-15	5.343,66	9,51	561,63	0,77
jul-15	5.591,13	9,44	592,24	0,81
ago-15	5.608,97	9,64	581,76	0,80
sep-15	5.621,00	9,94	565,45	0,77
oct-15	5.686,63	9,92	573,42	0,79
nov-15	5.365,82	9,81	547,03	0,75
dic-15	5.622,75	9,97	564,16	0,77
	Total:	Promedio:	Total:	Promedio:
	65.291,59	9,60	6.799,03	0,77

Para los casos del escenario verde y gris tenemos una capacidad instalada de 70,8 y 50 GW respectivamente pero sabemos que solo un 60% en promedio de esta capacidad es usada por lo tanto serian 42,48 y 33 GW instalados usados

para suministrar la demanda exigida que para el caso de los escenarios verde y gris es de 168.630 y 168.000 GWh, pero según la tabla

Tabla 31. Características representativas de los escenarios respecto a utilización y factor de planta

Escenario	Verde	Gris
Capacidad Instalada	70,8 GW	55 GW
Porcentaje de utilización	40%	52%
Capacidad instalada usada	28,32 GW	28,6 GW
Factor de planta mensual	67,973164%	67,056231%

Los datos de la tabla anterior muestran para el escenario Verde, con una capacidad de 28,32 GW y un factor de carga mensual de 67,97% suministra la demanda de 168.630 GWh del país para el año 2050, igualmente se resalta que en el escenario Gris con una capacidad de 28,6 GW y un factor de carga mensual de 67% suministra la demanda de 168.000 GWh.

$$FC = \frac{(168.630 \text{ GWh})/12}{730 * 28,32 \text{ GW}} = 0,68; \text{escenario verde}$$

$$FC = \frac{(168.000 \text{ GWh})/12}{730 * 28,6 \text{ GW}} = 0,67; \text{escenario gris}$$

Estos escenarios fueron pensados para que suministraran la demanda a determinados factores de cargas y determinados porcentajes de utilización.

4. CONCLUSIONES

La planeación energética de un país es de vital necesidad para el mismo, en este estudio podemos concluir que la generación de electricidad colombiana debe ser integral, es decir que la generación debe ser más distribuida y no como lo es hoy en día con una participación del 72,6% en hidroeléctricas, porque existen más tecnologías las cuales pueden tener más participación y a la vez ser más limpias para el ambiente como son la solar fotovoltaica, la eólica o la generación de energía con biomasa.

La integración de nuevas tecnologías en generación de energía eléctrica y del cambio de cargas que consumen combustibles fósiles a electricidad, permite que la generación tenga una mejor repartición en su matriz energética, condicen que ayudaría a enfrentar distintas complicaciones ejemplo más claro fenómeno del niño, esto fortalecería el sistema de generación y a la vez aseguraría que la demanda pedida sea abastecida de manera correcta y eficiente. Asimismo, se destaca la entrada de motocicletas eléctricas como un beneficio, porque según el supuesto que se dio para el año 2050 donde la eficiencia de la energía eléctrica sea mejorada, ayudaría a notar lo importante que sería reemplazar combustibles sólidos por electricidad y así ayudar al ambiente y pensar en futuras generaciones.

La integración de nuevas tecnologías en transformación de energía eléctrica y la migración de cargas que utilizan combustibles fósiles a electricidad, permite que la matriz energética se diversifique, esto ayudaría a enfrentar distintas complicaciones, ejemplo más claro fenómeno del niño, fortaleciendo el sistema de generación y a la vez asegurando que la demanda pedida sea abastecida en su totalidad y de manera eficiente, asimismo se apuesta para el año 2050 la inclusión

de motocicletas eléctricas por el beneficio que representan al disminuir efectos contaminantes, gracias a la mejora de la eficiencia eléctrica prevista para ese año.

5. RECOMENDACIONES

Dentro de los escenarios propuestos se trató de crear un equilibrio entre abastecimiento de la demanda y participación energías renovables las cuales resultaron en interesantes propuestas, que con ayuda del perfeccionamiento e innovación de las tecnologías pueden ser una realidad futura. Para el caso del escenario Gris, la captura de carbono hace posible la implementación de las plantas térmicas disminuyendo considerablemente el impacto ambiental utilizando un recurso abundante en el país.

El estudio prospectivo es necesario en un territorio porque permite direccionar estratégicamente los objetivos establecidos por dicha región, con la finalidad de tomar acciones en el presente que redunden en los resultados esperados. La densidad de este tipo de estudios hace pertinente que se siga indagando en estos temas por parte de la universidad y que se vea como otra de las ramas de la ingeniería.

La investigación hace que el progreso en nuevas y antiguas ideas se materialice, por ello el apoyo por parte de las instituciones educativas y financieras es vital para incentivar estos procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. G. V. Álvarez, «Breve historia del sector eléctrico colombiano,» *Blogger*, 6 Septiembre 2011.
- [2] «Curiosidades del gran apagón que amenaza con repetirse,» *SEMANA*, 4 Noviembre 2015.
- [3] XM, «Descripción del sistema eléctrico Colombiano».
- [4] XM, «Informe Anual,» Medellin, Colombia, 2014.
- [5] XM, «Demanda energía 2014,» 27 01 2015.
- [6] Republica de Colombia, Ley 489 de 1998, 1998.
- [7] UPME, «quienes somos».
- [8] IPSE, «Quienes somos».
- [9] SSDP, «Quienes somos».
- [10] SIP, «Funciones».
- [11] CREG, «Quienes Somos».
- [12] Republica de Colombia, «Ley 142 de 1994».
- [13] Republica de Colombia, «Ley 143 de 1994».
- [14] Republica de Colombia, «Ley 1715 de 2014».
- [15] F. Garcia, «10 años de empleo, crecimiento y sectores,» *Dinero*, 2014.
- [16] DANE, «Colombia: Balance 2014 y perspectivas 2015».
- [17] DANE, «2014 tuvo la tasa de desempleo más baja de los últimos 14 años con 9,1 %,» 2015.
- [18] CREG, «Cargo por confiabilidad esquema regulatorio para asegurar la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica en Colombia, una visión a

largo plazo».

- [19] XM, «Lista de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas».
- [20] Ingfocol Ltda, Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia 2015, 2015.
- [21] W. Vergara, 2006.
- [22] Ministerio de Minas y Energía - Unidad de Planeación Mineroenergética, «Cadena del Carbón,» Colombia, 2012.
- [23] D. Motta, «El Carbón: Estado tecnológico actual y viabilidad futura como energético primario para generación de electricidad,» Bucaramanga, 2015.
- [24] EPM, «Parque Eólico Jepírachi».
- [25] UPME - IDEAM, «Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia,» 2006.
- [26] Ó. G. Serpa, «Para 2018, Colombia estará generando energía eólica,» *El Espectador*, 2015.
- [27] UPME - IDEAM, «Atlas de Radiación Solar de Colombia,» 2006.
- [28] UPME, Plan Energético de Colombia: Ideario Energético 2015, 2015.
- [29] E. N. Z. T. -. A. F. S. Reyes, Estudio de la prospectiva y viabilidad de las energías renovables eólica y solar en Colombia en 2050 por medio del software LEAP, Bucaramanga, 2016.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ L. G. V., «Breve historia del sector eléctrico colombiano,» Blogger, 6 Septiembre 2011.

COLOMBIA CONGRESO DE LA REPUBLICA, «Ley 142 de 1994». (Julio 11) Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. [en línea] disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>

COLOMBIA CONGRESO DE LA REPUBLICA, «Ley 1715 de 2014». (mayo 13) Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. [en línea] disponible en: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

COLOMBIA CONGRESO DE LA REPUBLICA, Ley 489 DE 1998, (diciembre 29) por la cual se dictan normas sobre la organización y funcionamiento de las entidades del orden nacional, se expiden las disposiciones, principios y reglas generales para el ejercicio de las atribuciones previstas en los numerales 15 y 16 del artículo 189 de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones. [en línea] disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=186>

COLOMBIA CONGRESO DE LA REPUBLICA,, «Ley 143 de 1994». (julio 11) por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia

energética. [en línea] disponible en:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4631>

CREG, «Cargo por confiabilidad esquema regulatorio para asegurar la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica en Colombia, una visión a largo plazo».

CREG, «Quienes Somos».

DANE, «2014 tuvo la tasa de desempleo más baja de los últimos 14 años con 9,1 %,» 2015.

DANE, «Colombia: Balance 2014 y perspectivas 2015».

EPM, «Parque Eólico Jepírachi».

GARCIA F., «10 años de empleo, crecimiento y sectores,» Dinero, 2014.

INGFOCOL LTDA, Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia 2015, 2015.

IPSE, «Quienes somos».

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA - Unidad de Planeación Mineroenergética, «Cadena del Carbón,» Colombia, 2012.

MOTTA D., «El Carbón: Estado tecnológico actual y viabilidad futura como energético primario para generación de electricidad,» Bucaramanga, 2015.

REYES E. N. Z. T. - A. F. S., Estudio de la prospectiva y viabilidad de las energías renovables eólica y solar en Colombia en 2050 por medio del software LEAP, Bucaramanga, 2016.

SEMANA «Curiosidades del gran apagón que amenaza con repetirse,», 4 Noviembre 2015.

SERPA Ó. G., «Para 2018, Colombia estará generando energía eólica,» El Espectador, 2015.

SIP, «Funciones».

SSDP, «Quienes somos».

UPME - IDEAM, «Atlas de Radiación Solar de Colombia,» 2006.

UPME - IDEAM, «Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia,» 2006.

UPME, «quienes somos».

UPME, Plan Energético de Colombia: Ideario Energético 2015, 2015.

VERGARA W., 2006.

XM, «Demanda energía 2014,» 27 01 2015.

XM, «Descripción del sistema eléctrico Colombiano».

XM, «Informe Anual,» Medellin, Colombia, 2014.

XM, «Lista de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas».

ANEXOS

ANEXO A. OBJETIVOS ENERGETICOS A LARGO PLAZO UPME

De acuerdo con el panorama energético internacional, las expectativas de crecimiento y desarrollo económico, y la situación energética nacional actual; La UPME propuso un conjunto de ideas para desarrollar políticas energéticas a largo plazo con el objetivo principal de abastecer de manera eficiente la demanda y disminuir el impacto ambiental.

Con el propósito de alcanzar el objetivo principal se formularon 5 objetivos específicos, enfocados a la oferta energética, la demanda, la universalización, las interconexiones internacionales y la generación. Además, se proponen dos objetivos transversales que permitían contar con información, conocimiento y recurso humano que permitan incluir el marco institucional para la implementación de la política energética nacional.

Figura 1. Objetivos sectoriales



Fuente: UPME

Objetivo 1: Suministro confiable y diversificación de la canasta energética

Como primera instancia se pretende diversificar la canasta energética incorporando nuevas fuentes energéticas y nuevas tecnologías, con el propósito de garantizar un suministro confiable. Actualmente se ve una alta concentración en la generación hídrica que tiene grandes repercusiones en el sistema eléctrico por efectos climáticos, de ahí la necesidad de bajar la dependencia del recurso hídrico e implementar también nuevas tecnologías como lo puede ser la generación a partir de fuentes renovables, micro-redes, entre otras.

Objetivo 2: Demanda eficiente de energía

Mediante mejores prácticas y la incorporación de nuevas tecnologías se desea reducir la intensidad energética y aumentar eficiencias en el consumo. A

consecuencia de esto se obtendría confiabilidad del suministro, mejores precios y amortiguación del impacto ambiental a causa de la generación y transporte de energía.

Objetivo 3: Promover la universalización y asequibilidad de la energía eléctrica

De acuerdo con la ley colombiana, se tiene como propósito suministrar el servicio de energía eléctrica continua y de calidad a toda la nación, este objetivo está encaminado a desarrollar proyectos a miras de prestar el servicio a ZNI ya sea llevando líneas de transmisión o con generación en sitio. Contiguamente al abastecimiento se requiere que los esquemas de energización sean de bajo impacto ambiental y financieramente asequibles a los consumidores.

Objetivo 4: Estimular inversiones en interconexiones internacionales y en infraestructura para la comercialización

Para mejorar la competitividad del país y fortalecer el suministro energético interno, crear vínculos comerciales con otros países es una buena estrategia. Es así como se puede beneficiar las ZNI con la compra de energía a países vecinos.

Objetivo 5: Mantener los ingresos y viabilizar la transformación productiva y generación de valor

Como último objetivo está el aumentar los aportes de sector adquiriendo una mayor participación en exportaciones y de esta manera mejorar la estabilidad macroeconómica, la competitividad y el desarrollo del país.

Objetivo transversal 1: Vincular la información para la toma de decisiones y contar con el conocimiento, la innovación y el capital humano para el desarrollo del sector

Como soporte al desarrollo del sector, se requiere soporte de información de una manera completa, confiable, oportuna y asequible, además del conocimiento y recurso humano que se requerirá capacitar por entidades académicas.

Objetivo transversal 2: Consolidar la institucionalidad y avanzar en mayor eficiencia del estado y la regulación

También se requerirá planes de ordenamiento territorial, nuevas reformas y actualización de marcos regulatorios por parte del Estado. Esto permite incluir consideraciones ambientales, por ejemplo, la generación renovable. Otro punto importante es la optimización de procedimientos y trámites para la ejecución de proyectos lo cual ahorra tiempo y dinero.

ANEXO B. POTENCIAL HIDROENÉRGICO

Figura 2 Potencial Hidroenergético



Fuente: Atlas hídrico - UPME

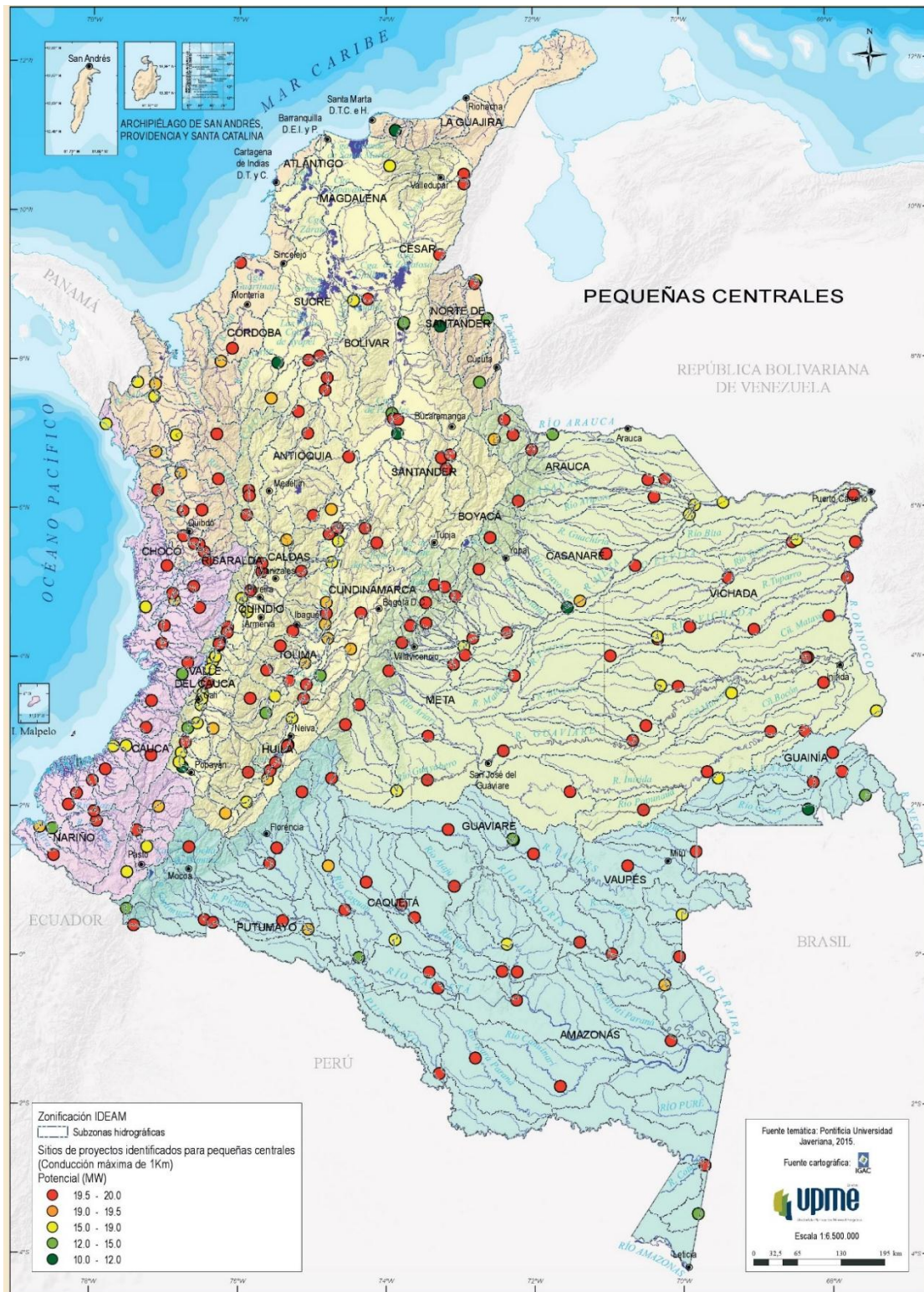
ANEXO C. CENTRALES HIDRICAS

Figura 3 Grandes Centrales



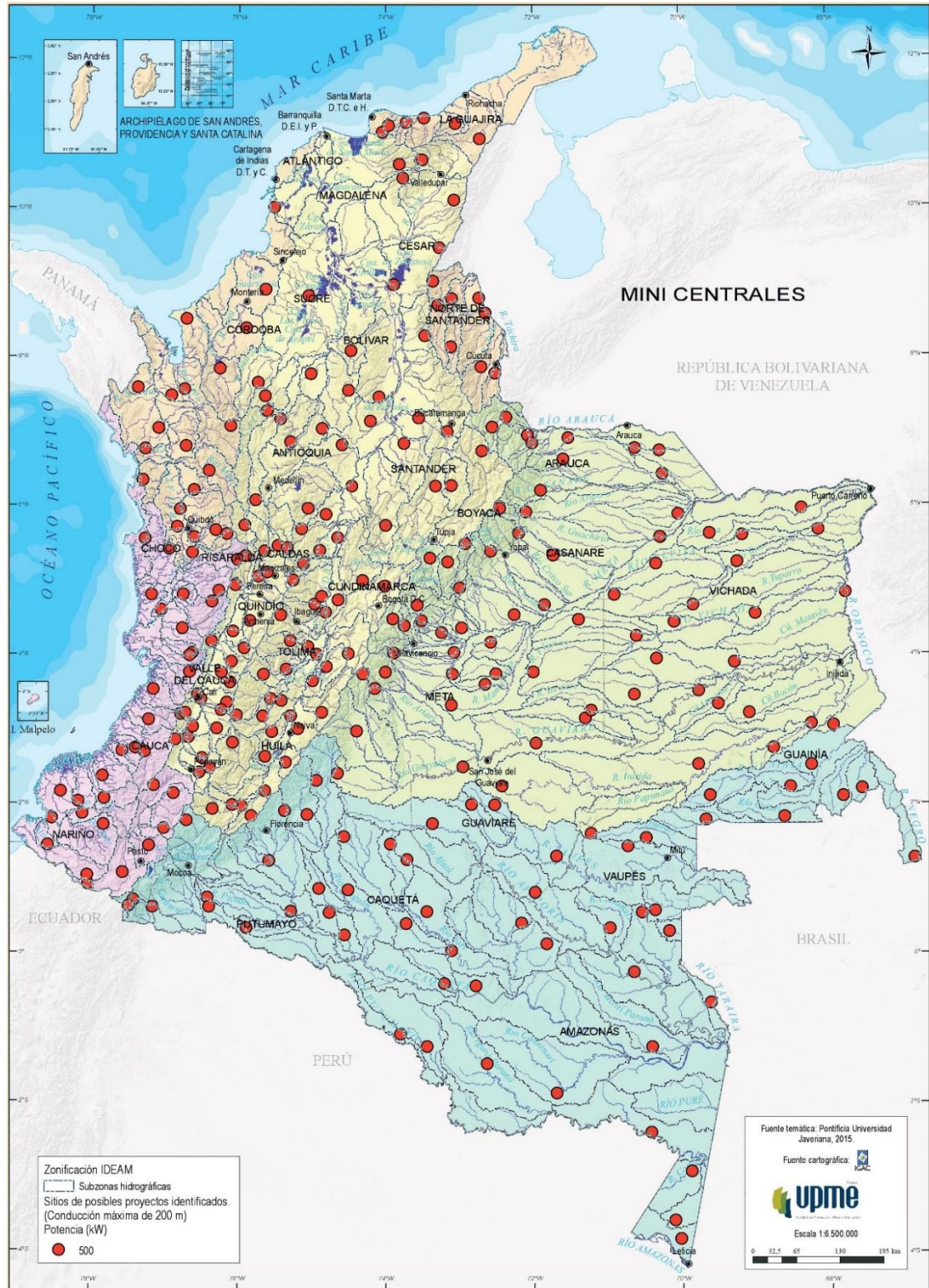
Fuente: Atlas Hídrico UPME

Figura 4 Pequeñas Centrales



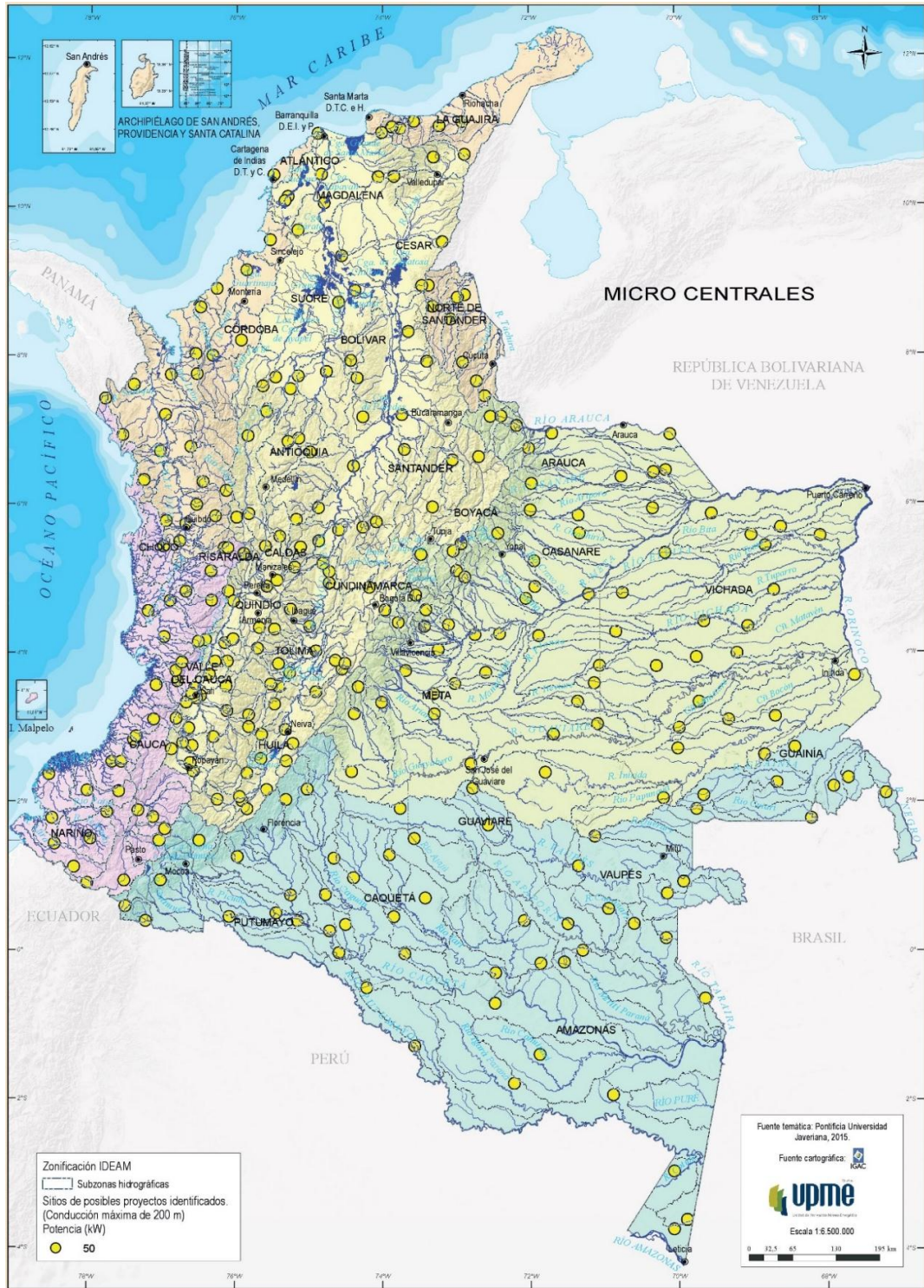
Fuente: Atlas Hídrico UPME

Figura 5 Mini Centrales



Fuente: Atlas Hídrico UPME

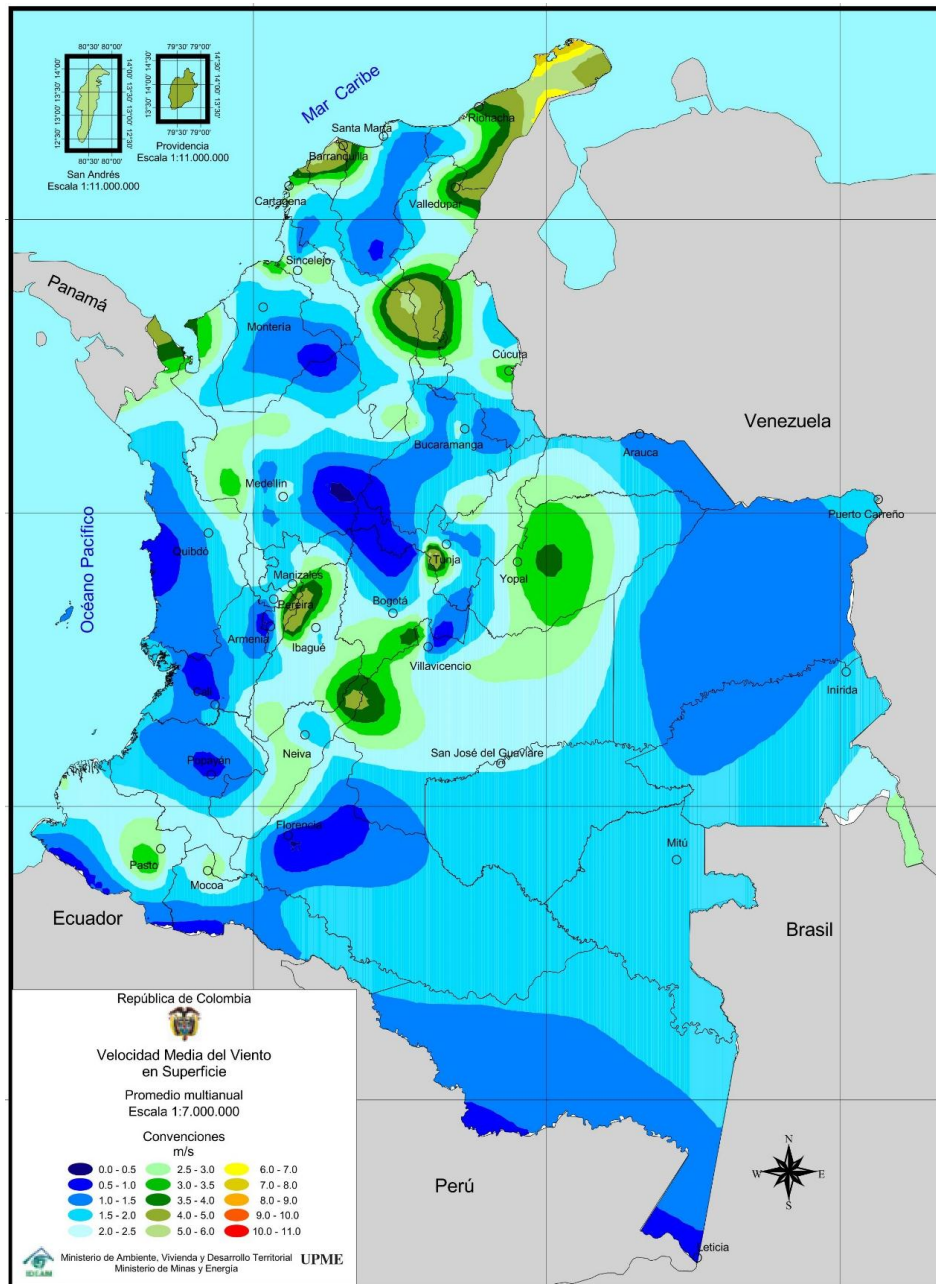
Figura 6 Micro Centrales



Fuente: Atlas Hídrico UPME

ANEXO D. ATLAS EÓLICO PROMEDIO MULTIANUAL

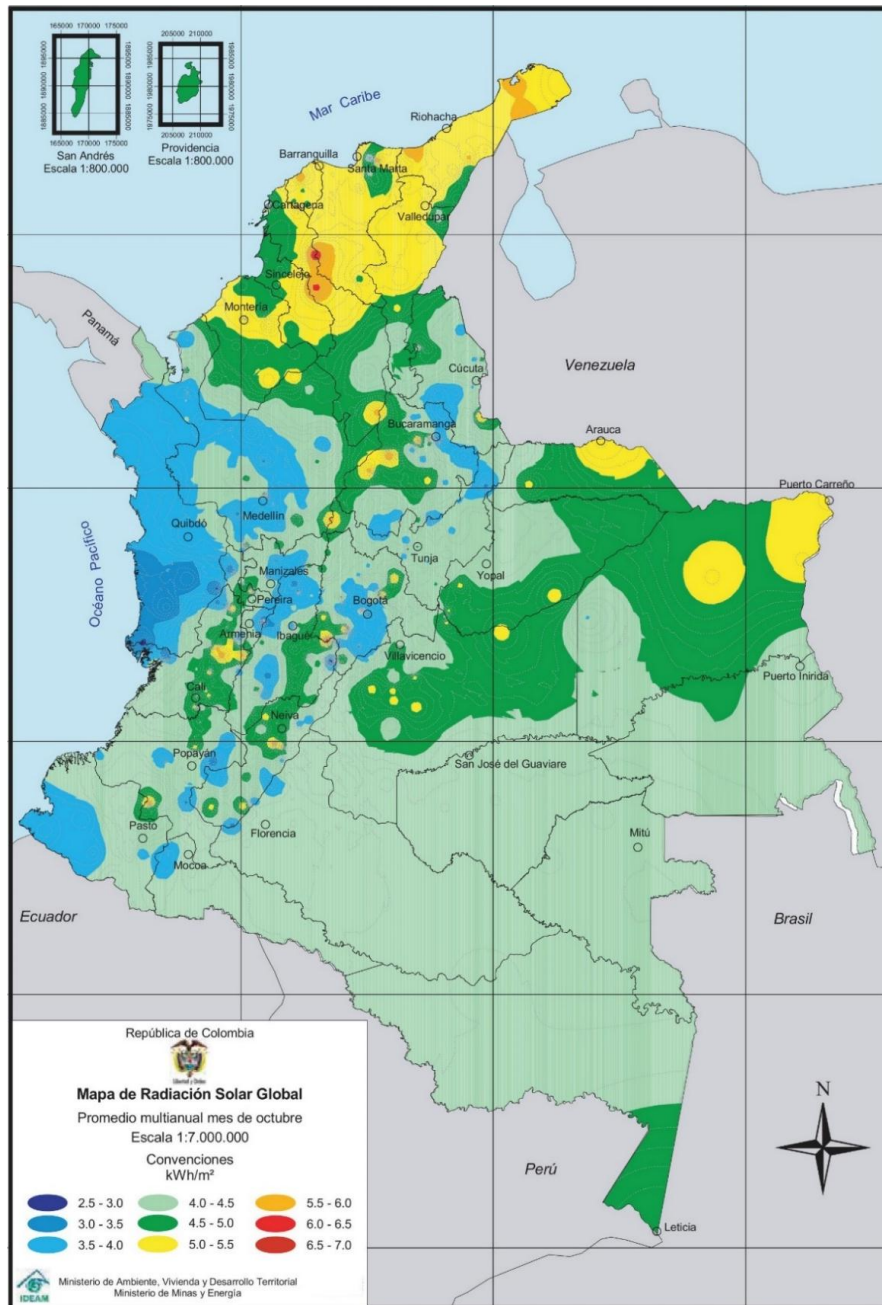
Figura 8 Atlas Eólico Promedio Multianual



Fuente: Atlas Eólico - UPME

ANEXO E. ALTAS SOLAR PROMEDIO MULTIANUAL

Figura 9 Atlas Solar Multianual



Fuente: Atlas Solar - UPME

ANEXO F. LEAP: MANUAL DEL USUARIO