



Ministerio de
Energía y Minas

MODELO DE ANÁLISIS DE LA MATRIZ NACIONAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE GUATEMALA

ENFOQUE EN EL CUMPLIMIENTO DE LA CONTRIBUCIÓN
NACIONALMENTE DETERMINADA 2021





Ministerio de
Energía y Minas



AUTORIDADES

Víctor Hugo Ventura Ruiz

Ministro de Energía y Minas

Juan Fernando Castro Martínez

Viceministro de Energía y Minas encargado del Área Energética

Carlos Alberto Avalos Ortíz

Viceministro de Energía y Minas encargado del Área de Minería e Hidrocarburos

Luis Haroldo Pacheco Gutiérrez

Viceministro de Desarrollo Sostenible

EQUIPO DE TRABAJO

Gabriel Velásquez

Jefe Unidad de Planeación Energético Minero

ÁREA TÉCNICA

Jonathan Calderón

María Gomez

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	7
GLOSARIO	8
SÍMBOLOS	9



1. GUATEMALA.....	10
-------------------	----



2. CONTRIBUCIÓN NACIONALMENTE DETERMINADA (CND)	17
--	----



3. SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....	19
------------------------------------	----

4. ESCENARIO ELABORADO	28
------------------------------	----



5. RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO DE ANÁLISIS DE LA MATRIZ NACIONAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE GUATEMALA.....	38
--	----



DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
CONLCLUSIONES.....	46
ANEXOS:1 CASO BASE.....	47
RESULTADOS CASO BASE.....	48

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Comportamiento histórico de la demanda y la generación de energía eléctrica en GWh	20
Gráfica 2. Comportamiento histórico de la exportación e importación de energía eléctrica del S.N.I. en GWh.....	20
Gráfica 3. Comportamiento histórico de la demanda de potencia del S.N.I. en MWh.....	21
Gráfica 4. Comportamiento histórico del consumo de energía eléctrica del S.N.I en porcentaje.....	21
Gráfica 5. Comportamiento histórico de la demanda de potencia eléctrica del S.N.I en porcentaje	22
Gráfica 6. Comportamiento histórico de la capacidad efectiva del S.N.I en MW.....	23
Gráfica 7. Comportamiento histórico de la participación de la capacidad efectiva del S.N.I.....	23
por tipo de fuente en MW.....	23
Gráfica 8. Comportamiento histórico de la participación en la generación de energía eléctrica del S.N.I	24
por tipo de tecnología en porcentaje.....	24
Gráfica 9. Comportamiento histórico de la generación de energía eléctrica del S.N.I	24
por tipo de combustible enGWh.....	24
Gráfica 10. Comportamiento histórico de la generación de energía eléctrica del S.N.I por tipo de recurso en GWh.....	25
Gráfica 11. Comportamiento histórico de la generación de energía eléctrica del S.N.I	25
por tipo de recurso en porcentaje.....	25
Gráfica 12. Comportamiento histórico de la emisión de Dióxido de Carbono equivalente (CO ₂ e) por la generación de energía eléctrica en TonCO ₂ e.....	26
Gráfica 13. Comportamiento histórico de la emisión de Dióxido de Carbono equivalente (CO ₂ e)	26
por tipo de combustible empleado para la generación de energía eléctrica en porcentaje	26
Gráfica 14. Comportamiento de la curva de carga horaria obtenida para la temporada ENE_ABR para el día laboral en MW	30
Gráfica 15. Comportamiento de la curva de carga horaria obtenida para la temporada ENE_ABR para el día laboral en MW de la tecnología solar para plantas mayores a 5 MW de capacidad efectiva.....	31
Gráfica 16. Comportamiento de la curva de carga horaria obtenida para la temporada ENE_ABR para el día laboral en MW de la tecnología eólica para plantas mayores a 20 MW de capacidad efectiva	31
Gráfica 17. Proyección de la demanda de energía eléctrica por sectores de consumo en MWy.....	35
Gráfica 18. Proyección de la evolución en la capacidad efectiva del S.N.I en MW.....	39
Gráfica 19. Proyección de la evolución en la capacidad efectiva del S.N.I por tipo de tecnología en MW.....	40
Gráfica 20. Participación en la capacidad efectiva del S.N.I por tipo de tecnología en porcentaje	40
Gráfica 21. Resultados de la proyección de la demanda vs la proyección de la energía eléctrica generada en GWh.....	41
Gráfica 22. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de combustible y transacciones internacionales en GWh ..	41
Gráfica 23. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de combustible para las plantas futuras consideradas por la PEG 4 en GWh.....	42
Gráfica 24. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de combustible para las plantas candidatas basadas en el PEG 2024-2054 en GWh	42
Gráfica 25. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de recurso en GWh	43
Gráfica 26. Participación de la generación de energía eléctrica por tipo de recurso proyectada en porcentaje	43
Gráfica 27. Total de emisiones de CO ₂ e producidas por la generación de energía eléctrica en Toneladas de CO ₂ e.....	44
Gráfica 28. Total de emisiones de CO ₂ e reducidas para el análisis del cumplimiento de la NDC en Toneladas de CO ₂ e ...	44
Gráfica 29. Capacidad efectiva para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MW	48
Gráfica 30. Capacidad efectiva por tipo de tecnología para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MW	48
Gráfica 31. Capacidad efectiva de los proyectos futuros y las plantas candidatas por tipo de combustible para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MWescenario base en MW.....	48
Gráfica 32. Capacidad efectiva de los proyectos futuros y las plantas candidatas por tipo de combustible para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MWescenario base en MW.....	48
Gráfica 33. Capacidad efectiva de los proyectos futuros y las plantas candidatas por tipo de combustible para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MWescenario base en MW.....	48
Gráfica 34. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de recurso proyectado en el escenario base en porcentaje	48
Gráfica 35. Matriz de emisiones de CO ₂ e proyectado en el escenario base en Tonelada de CO ₂ e	49



PRESENTACIÓN

El presente estudio analiza la evolución de la capacidad de generación y la producción de energía eléctrica en Guatemala entre 2015 a 2050, centrándose en un escenario específico para la verificación de las metas establecidas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC). Utilizando el software Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts (MESSAGE), elaborado y proporcionado por la Agencia Internacional de Energía Atómica o por sus siglas en inglés (IAEA), se modeló el análisis de matriz nacional de generación de energía eléctrica de Guatemala, incorporando tanto fuentes renovables como convencionales. El objetivo principal de este análisis es determinar si Guatemala puede cumplir con los compromisos ambientales, avanzando hacia una matriz energética más limpia y diversificada.

Los resultados del modelado destacan el crecimiento de las energías renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, que muestran un incremento significativo en su capacidad instalada y generación a lo largo del período estudiado. Estas fuentes limpias superan consistentemente a las energías no renovables, como el carbón y los combustibles fósiles, lo que contribuye de manera decisiva a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el país.

El estudio también resalta el rol de las fuentes convencionales, como el gas natural y las turbinas de vapor, que continuarán desempeñando un papel importante como respaldo durante la transición energética. No obstante, a medida que la capacidad de las energías limpias aumenta, se observa una disminución gradual en la dependencia de los combustibles fósiles.

A través de este análisis, se busca ofrecer una visión integral del futuro energético de Guatemala, destacando los retos y oportunidades para lograr una matriz energética diversificada que permita no solo cumplir con los compromisos ambientales, sino también garantizar la seguridad energética y el desarrollo sostenible del país.

GLOSARIO

Capacidad Efectiva: Potencia máxima que una central generadora puede suministrar de manera continua bajo condiciones normales de operación.

Curva de Carga: Gráfico que representa la variación de la demanda eléctrica a lo largo del tiempo, ayudando a identificar los picos y valles de consumo energético.

Contribución Nacionalmente Determinada (NDC): Compromiso que los países presentan bajo el Acuerdo de París para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático.

Diversificación de la Matriz Energética: Proceso de incluir diferentes fuentes de energía en el sistema eléctrico de un país, disminuyendo la dependencia de un solo tipo de recurso, especialmente los combustibles fósiles.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI): Liberación de gases como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y otros que contribuyen al calentamiento global y cambio climático.

Intermitencia: Característica de las fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, cuya producción de energía no es constante debido a variaciones naturales como la radiación solar o el viento.

MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts): Software utilizado para la planificación y modelado energético a largo plazo, permitiendo evaluar diferentes tecnologías de generación y sus impactos económicos y ambientales.

Plan de Expansión de Generación (PEG): Proceso de planificación para aumentar la capacidad de generación eléctrica a largo plazo en un país, con el objetivo de satisfacer la demanda futura y diversificar la matriz energética.

Proyección de la Demanda: Estimación de la cantidad de energía eléctrica que será requerida en el futuro, basada en factores como el crecimiento económico, la población y los avances tecnológicos.



SÍMBOLOS

MW: Megavatios. Unidad de medida de potencia equivalente a un millón de vatios.

MWh: Megavatio-hora. Unidad de medida de energía que equivale a un megavatio de potencia suministrado o consumido durante una hora.

GWh: Gigavatio-hora. Unidad de medida de energía equivalente a mil megavatios-hora.

CO₂e: Dióxido de carbono equivalente. Medida utilizada para expresar el impacto de diferentes gases de efecto invernadero en términos equivalentes al CO₂.

S.N.I.: Sistema Nacional Interconectado. Sistema de transmisión eléctrica que conecta las centrales generadoras de electricidad con los centros de consumo.

PEG: Plan de Expansión de Generación. Documento de planificación para ampliar la capacidad de generación eléctrica a futuro.

GEI: Gases de Efecto Invernadero. Gases responsables del calentamiento global, como el CO₂ y el CH₄.

BAU: Business as Usual. Escenario tendencial o de referencia en el que no se implementan cambios en políticas o tecnologías para reducir las emisiones o aumentar la eficiencia.



1. GUATEMALA



1.1 GEOGRAFÍA

Guatemala se encuentra en una ubicación estratégica en Centroamérica, limitando al norte y al oeste con México, al noreste con Belice y el mar Caribe, al este con Honduras, al sureste con El Salvador, y al sur con el océano Pacífico. El país tiene un total de 1,687 kilómetros de frontera con otras naciones, distribuidos en 266 kilómetros con Belice, 203 kilómetros con El Salvador, 256 kilómetros con Honduras y 962 kilómetros con México. Además, posee 400 kilómetros de litorales entre el océano Pacífico y el mar Caribe, lo que le brinda acceso a importantes recursos marinos y costeros.

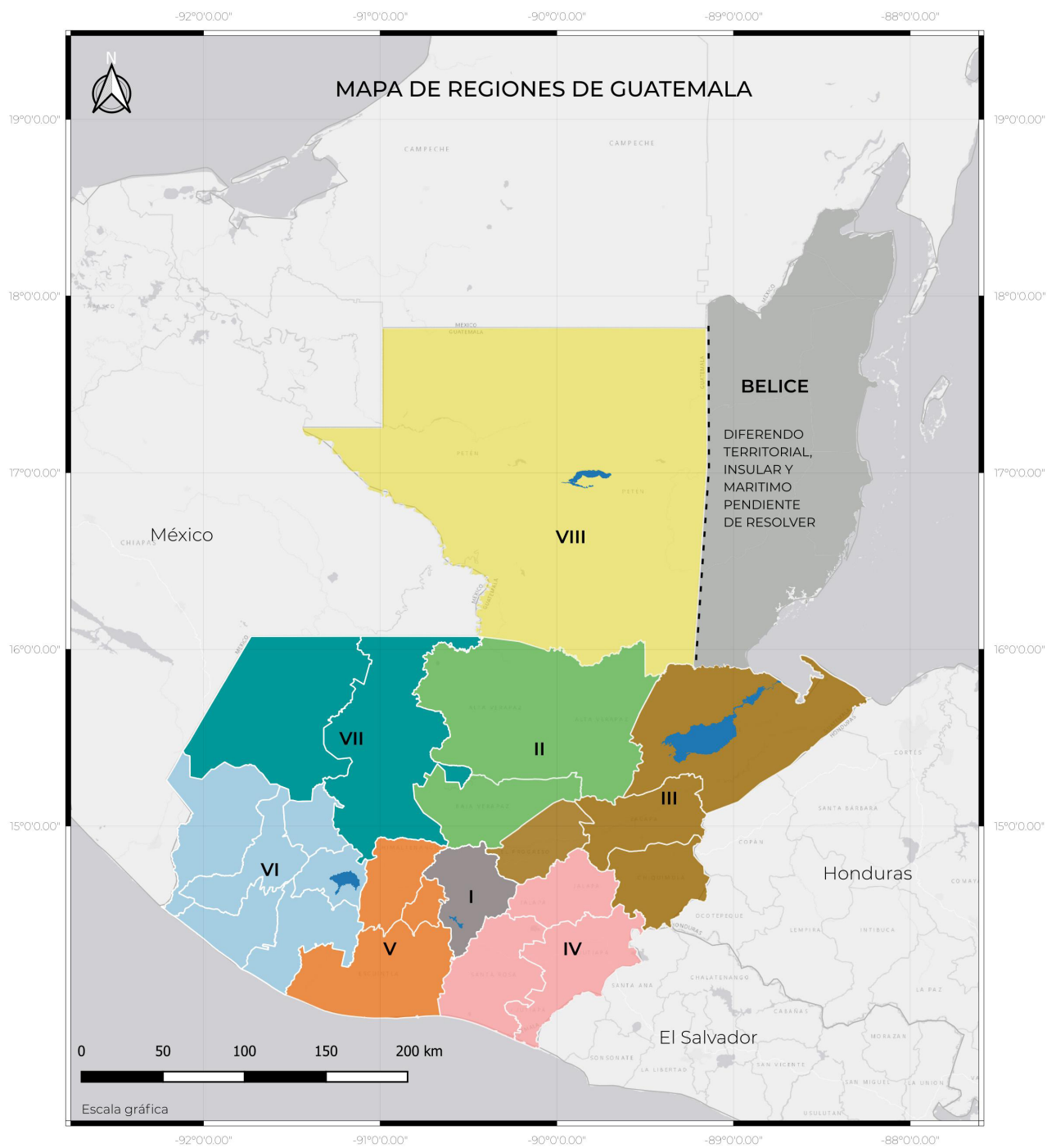
El territorio guatemalteco es diverso y rico en recursos naturales. Aunque históricamente la agricultura ha sido el pilar económico, el país también cuenta con una geología rica en minerales y combustibles fósiles. En la región de Petén, por ejemplo, se encuentran yacimientos de petróleo explotados desde 1975, así como depósitos de níquel, plomo, zinc, cobre, antimonio y tungsteno. Existen, además, pequeños yacimientos de uranio y mercurio, lo que destaca su potencial minero.

En cuanto a su geografía volcánica, Guatemala se sitúa dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, una región tectónicamente activa con una cadena de volcanes, muchos de ellos aún activos. Esta característica

otorga al país un alto potencial para el desarrollo de energía geotérmica, aprovechando el calor subterráneo como una fuente renovable y constante para la generación de electricidad.

Además, Guatemala cuenta con una extensa red de cuencas hidrográficas y recursos hídricos, que abastecen tanto a la población como a la generación hidroeléctrica. Los principales ríos, como el Motagua, Usumacinta y Polochic, junto con las lluvias estacionales, ofrecen oportunidades significativas para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos a diferentes escalas. Esto ha permitido a Guatemala posicionarse como uno de los países con mayor capacidad de generación hidroeléctrica en la región.

El modelo energético planteado en este escenario aprovecha estas características naturales y geográficas de Guatemala, incorporando plantas candidatas que diversifican la matriz eléctrica, enfocándose en la geotermia, hidroeléctrica, y otras fuentes renovables como la solar y eólica. El objetivo es aumentar la seguridad energética del país y cumplir con los compromisos de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), en el marco del Acuerdo de París.



SIMBOLOGÍA

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| REGIÓN I/Metropolitana | REGIÓN V/Central |
| REGIÓN II/Norte | REGIÓN VI/Suroccidental |
| REGIÓN III/Nororiental | REGIÓN VII/Noroccidental |
| REGIÓN IV/Suroriental | REGIÓN VIII/Petén |



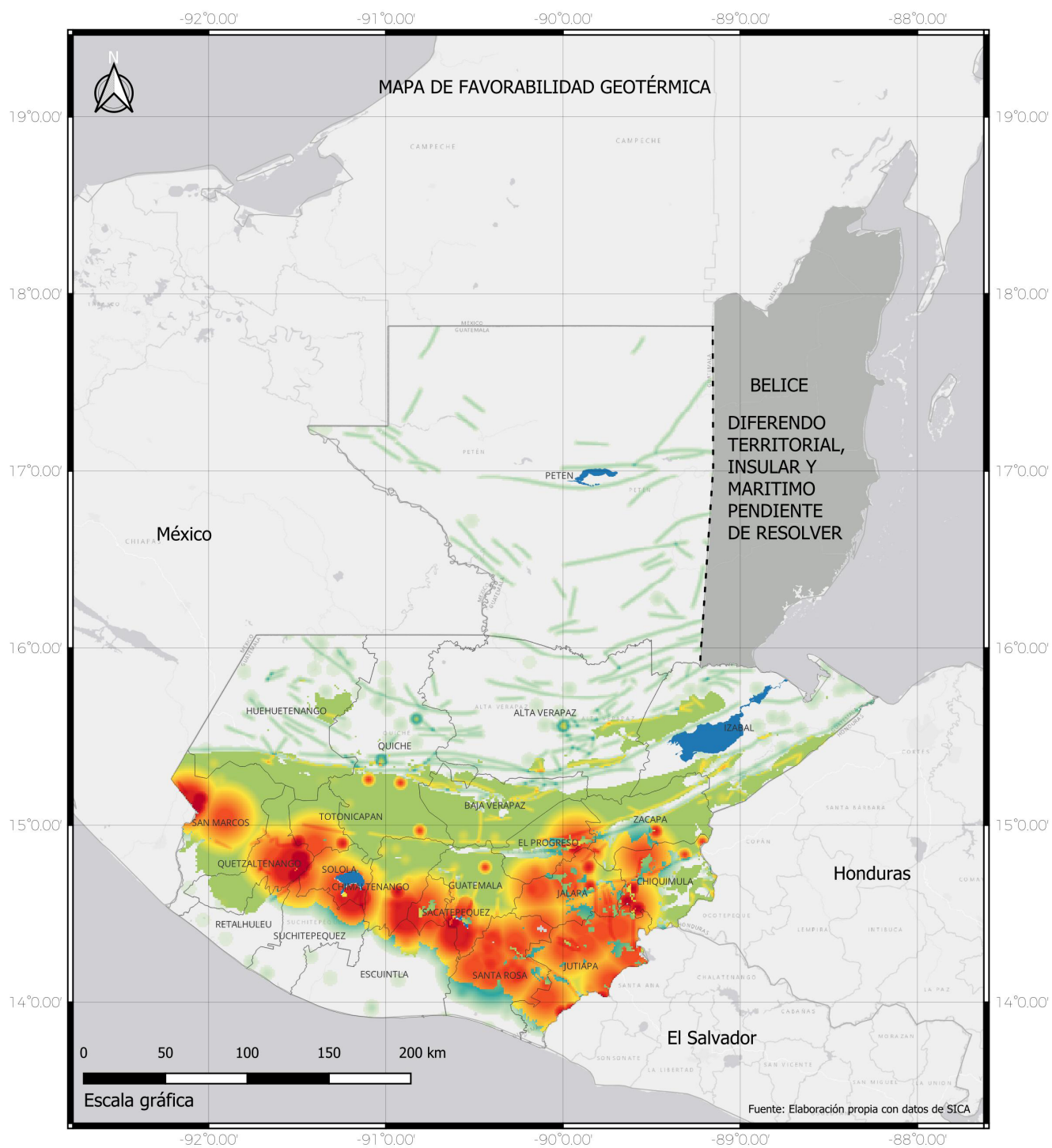
1.2 POTENCIAL ENERGÉTICO NACIONAL

El potencial energético se refiere a la capacidad que un país o región tiene para generar energía a partir de sus recursos naturales, tanto renovables como no renovables. Este concepto toma en cuenta la cantidad de energía que se puede producir, con el uso adecuado de tecnologías. En el caso de los recursos renovables, como el agua, el viento, el calor geotérmico o la radiación solar. El potencial energético depende de factores geográficos, climáticos y tecnológicos que permiten aprovechar estas fuentes para la generación de electricidad.

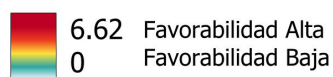
En Guatemala, existe un potencial para aprovechar recursos energéticos renovables que contribuyen hacia una transición de una matriz energética más limpia y diversificada. Según las estimaciones del Ministerio de Energía y Minas (MEM), publicadas en el Plan Nacional de Energía 2017-2032, se destacan los siguientes puntos clave:

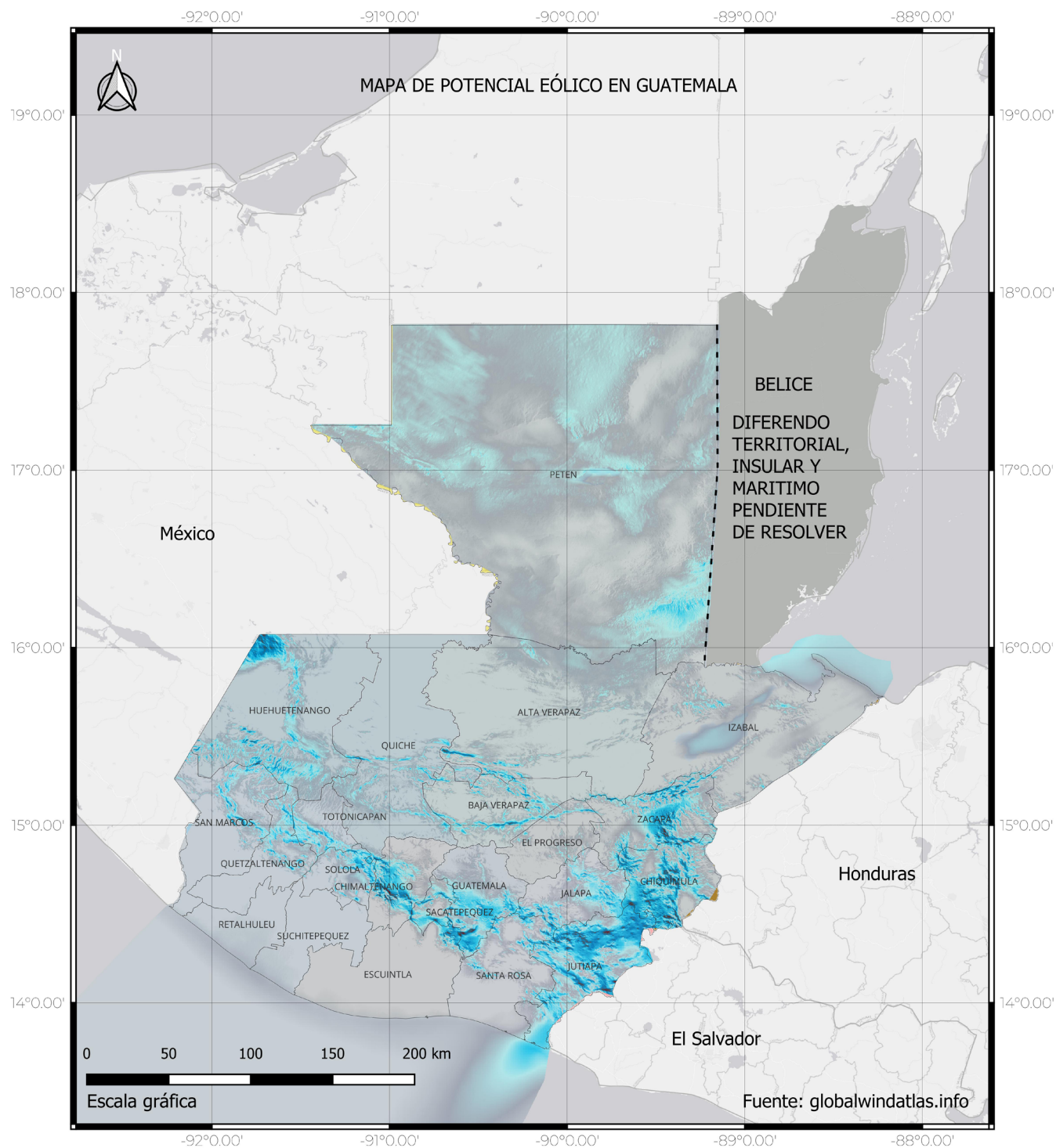
- * El recurso hídrico es el de mayor potencial aprovechable en el país. Se estima que aún existen 4,690 MW de capacidad hidroeléctrica que no han sido explotados, principalmente en cuencas de ríos importantes como el Usumacinta y el Motagua.
- * Aunque su uso ha sido limitado hasta ahora, Guatemala cuenta con un potencial geotérmico de aproximadamente 966 MW. Este recurso proviene de la energía interna de la Tierra, aprovechable gracias a la actividad volcánica presente en el país.
- * El potencial eólico de Guatemala se estima en unos 7,800 MW distribuidos en diversas zonas del territorio nacional, especialmente en áreas montañosas y costeras, donde las condiciones de viento son óptimas para la instalación de parques eólicos.
- * Guatemala posee una abundante radiación solar, con una valorización promedio de 5.3 kWh/m²/día, lo que hace viable el desarrollo de proyectos solares fotovoltaicos en gran parte del territorio.
- * Con esta abundancia de recursos naturales, Guatemala tiene la capacidad de generar su energía a partir de fuentes renovables, lo que no solo ayuda a garantizar la seguridad energética, sino que también facilita el cumplimiento de los compromisos establecidos en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC).



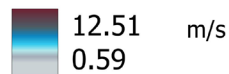


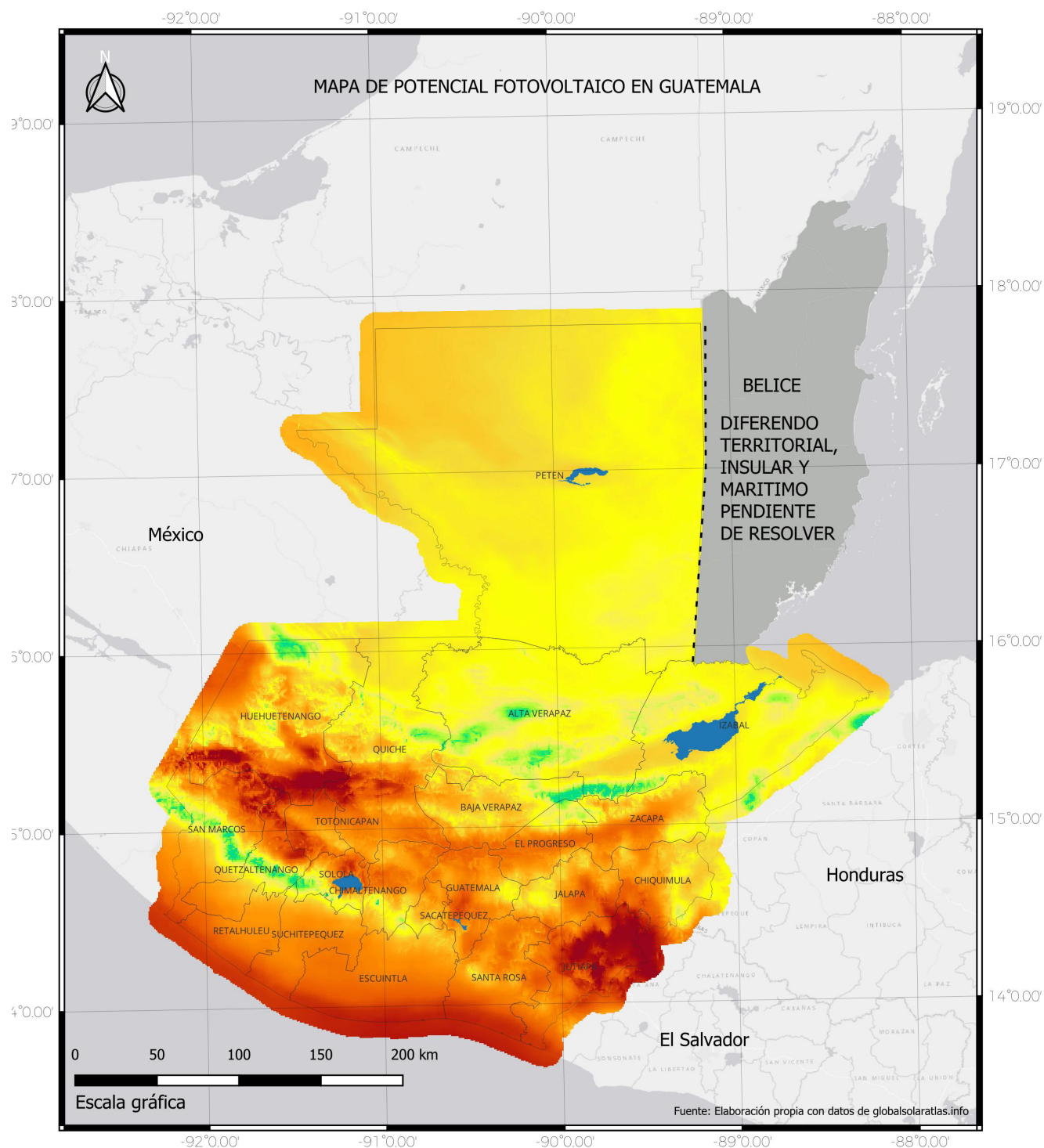
GT_Favorabilidad



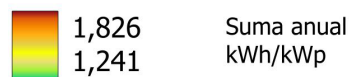


GTM_wind-speed_100m





Potencial Fotovoltaico de Guatemala



2. CONTRIBUCIÓN NACIONALMENTE DETERMINADA (CND)

Guatemala en el año 2021 actualiza su Contribución Nacionalmente Determinada. Esta Actualización de la CND (NDC, por sus siglas en inglés), ratifica el compromiso del país en cuanto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por medio de la implementación de acciones de adaptación y mitigación al cambio climático. Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el inventario de 2018 mostró que las emisiones totales fueron de 63.55 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e).

Guatemala definió las siguientes metas:

- * Meta no condicionada al apoyo internacional: Al 2030, se ha reducido el 11.2 % de las emisiones de GEI con respecto al escenario tendencial (BAU), lo cual conlleva reducir las emisiones a 64.9 millones de toneladas de CO_2e .



- * Meta condicionada al apoyo internacional: Al 2030 se ha reducido el 22.6 % de las emisiones de GEI con respecto al escenario tendencial (BAU), lo cual conlleva reducir las emisiones hasta 56.6 millones de toneladas de CO_2e .



Tabla 1. Medidas priorizadas para el sector energía.



Medida	ENE-1	ENE-2	ENE-3
Medida	Priorizar energía limpia para la generación de energía eléctrica	Movilidad sostenible (electro—movilidad y biocombustible)	Cambio en la matriz energética
Descripción	La medida está enfocada en promover fuentes de energía limpias, tales como el gas natural, geotermia y fuentes no convencionales tales como eólica y solar, a fin de diversificar la matriz energética	Esta medida trata de abordar un programa de renovación del parque vehicular privado hacia alternativas más eficientes. Combinará medidas regulatorias (reglamento de gases vehiculares) con incentivos (créditos de impuestos u otras medidas fiscales) para la compra y reemplazo por vehículos más eficientes (híbridos y eléctricos), además del establecimiento de la infraestructura necesaria para su funcionamiento. También considera la puesta en marcha de un programa para promover el uso de etanol avanzado en la gasolina en Guatemala. Ese programa combinará medidas regulatorias como una nueva ley para disminuir emisiones en los carros que usan gasolina.	En la NDC 2015, el país anotó como parte de los esfuerzos el reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación eléctrica por medio de la utilización de fuentes limpias.
Meta al 2030	Es una meta a largo plazo que ente 2021-2030 no generará reducciones de emisiones reportables	2.5 millones de toneladas de CO ₂ -eq	80% de la generación eléctrica provienen de energías limpias para 2030



3. SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

Durante la última década, el Sistema Eléctrico Nacional de Guatemala ha mostrado una evolución significativa en términos de capacidad instalada y la energía generada. Desde el año 2013 hasta el 2024, la demanda energética ha pasado de 8,635.3 GWh en 2013 a 12,967.1 GWh proyectados para 2024, mientras que la generación total de electricidad ha aumentado de 9,270.5 GWh en 2013 a 12,494.5 GWh proyectada en 2024.

La demanda máxima de potencia ha aumentado un 30% siendo 1,635.90 MW en 2013 y alcanzado los 2,121.80 MW en 2024.

A nivel de energías renovables, Guatemala ha incrementado su participación en la matriz energética, especialmente en recursos como la hidroeléctrica, solar, eólica y geotérmica. En 2023, a pesar de ser un año afectado por el fenómeno Del Niño, se generaron 8,096.16 GWh de energía renovable, en comparación con los 4,126.73 GWh provenientes de fuentes no renovables. Esto representa el esfuerzo realizado en este sector por reducir la dependencia de combustibles fósiles y aumentar la proporción de fuentes limpias y sostenibles.

La capacidad efectiva instalada del Sistema Nacional Interconectado (SNI) también ha experimentado un crecimiento, con un total de 3,437.86 MW para el año 2024, de los cuales 2,346.94 MW corresponden a fuentes renovables y 1,090.92 MW a fuentes no renovables. Estos avances en la infraestructura energética

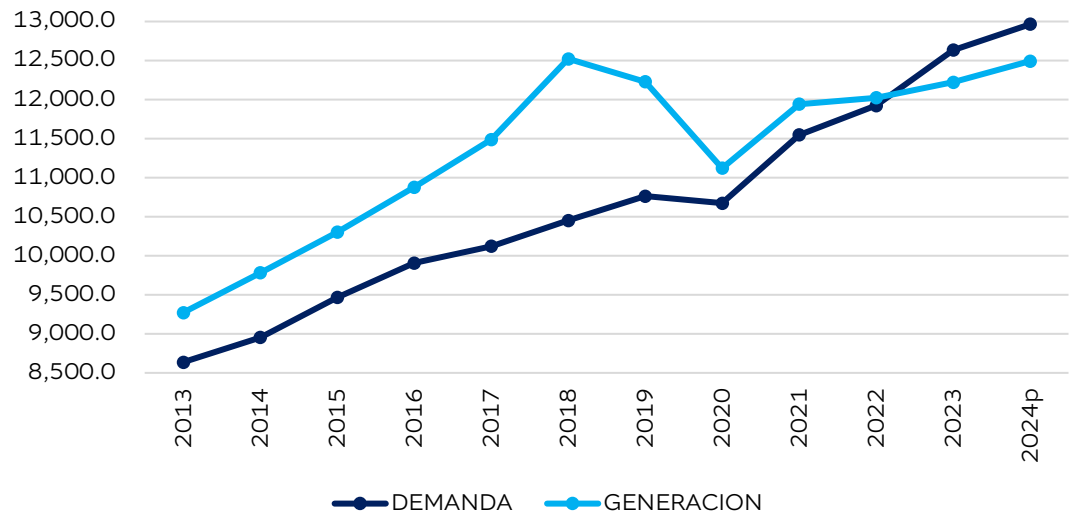
provenientes de la entidad pública y privada han permitido al país mantener un equilibrio entre la demanda interna y la capacidad de generación de energía eléctrica.

A continuación, se presenta una serie de tablas y gráficos que ilustran la evolución del sistema eléctrico en los últimos diez años, destacando la capacidad efectiva instalada, la energía generada por tipo de recurso y el balance entre exportaciones e importaciones de electricidad.



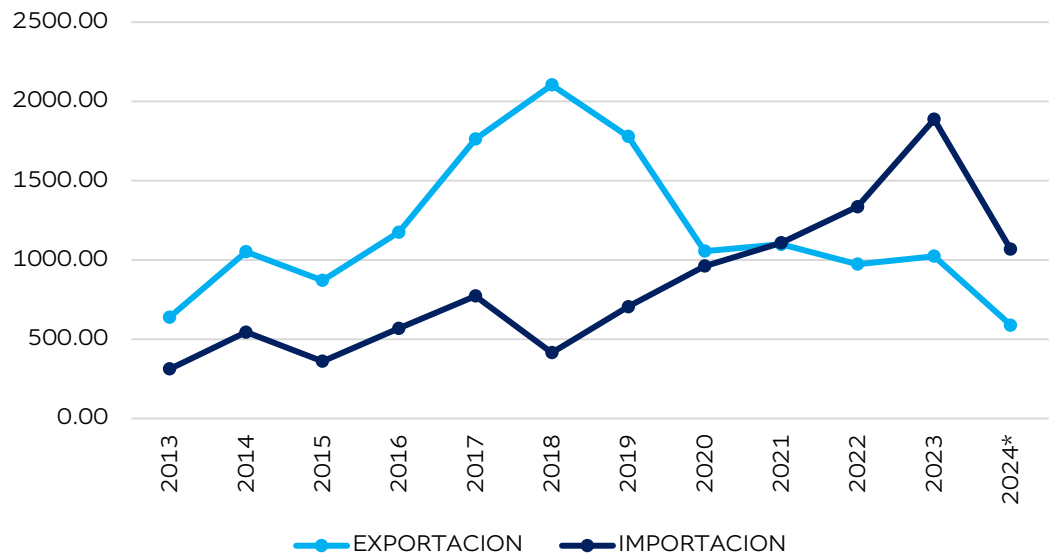
3.1 ASPECTOS GENERALES

Gráfica 1. Comportamiento histórico de la demanda y la generación de energía eléctrica en GWh



Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM). P dato proyectado

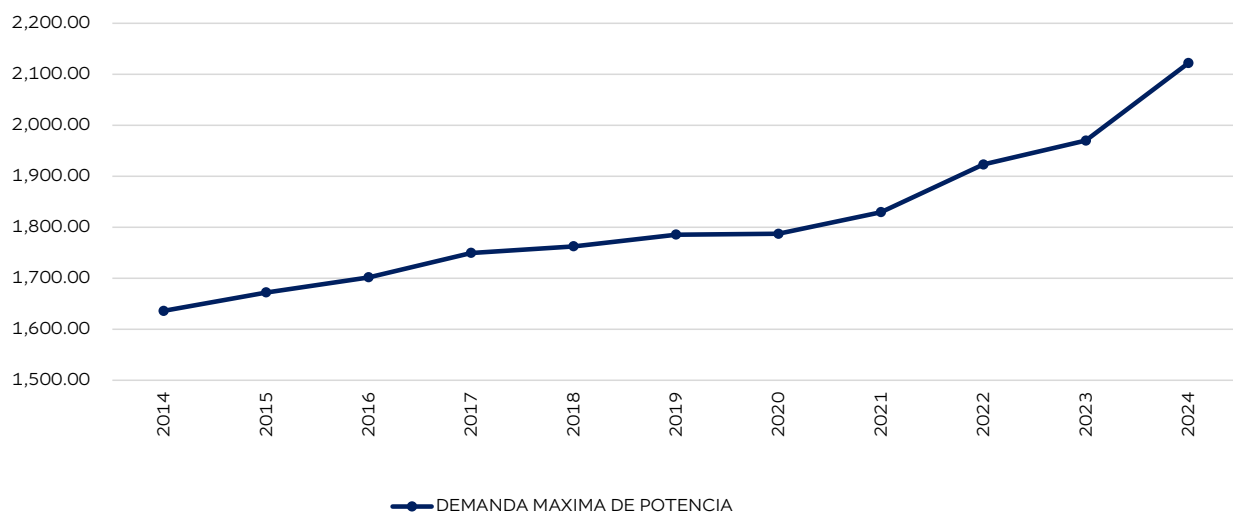
Gráfica 2. Comportamiento histórico de la exportación e importación de energía eléctrica del S.N.I. en GWh



Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM). *Datos a septiembre 2024

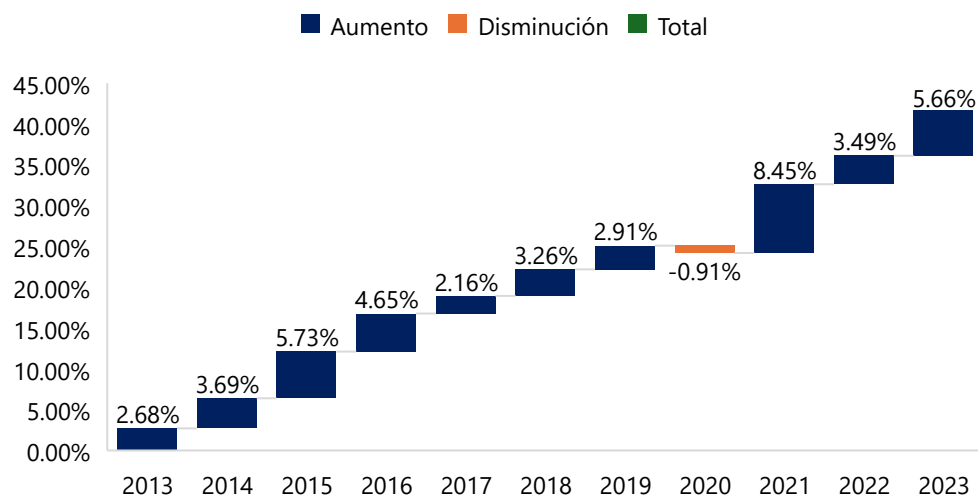


Gráfica 3. Comportamiento histórico de la demanda de potencia del S.N.I. en MWh



Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM)

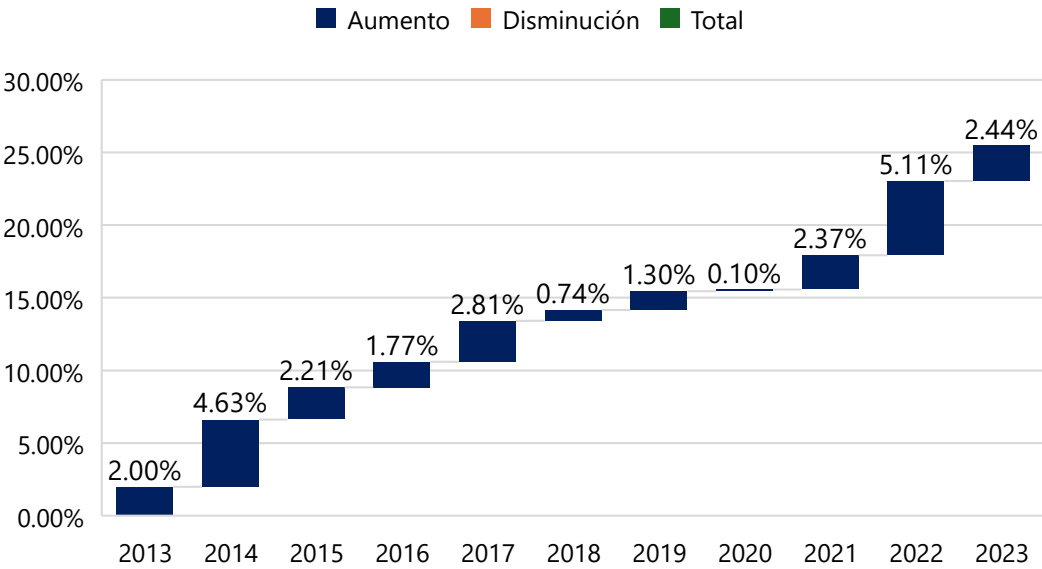
Gráfica 4. Comportamiento histórico del consumo de energía eléctrica del S.N.I. en porcentaje



Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM)



Gráfica 5. Comportamiento histórico de la demanda de potencia eléctrica del S.N.I en porcentaje

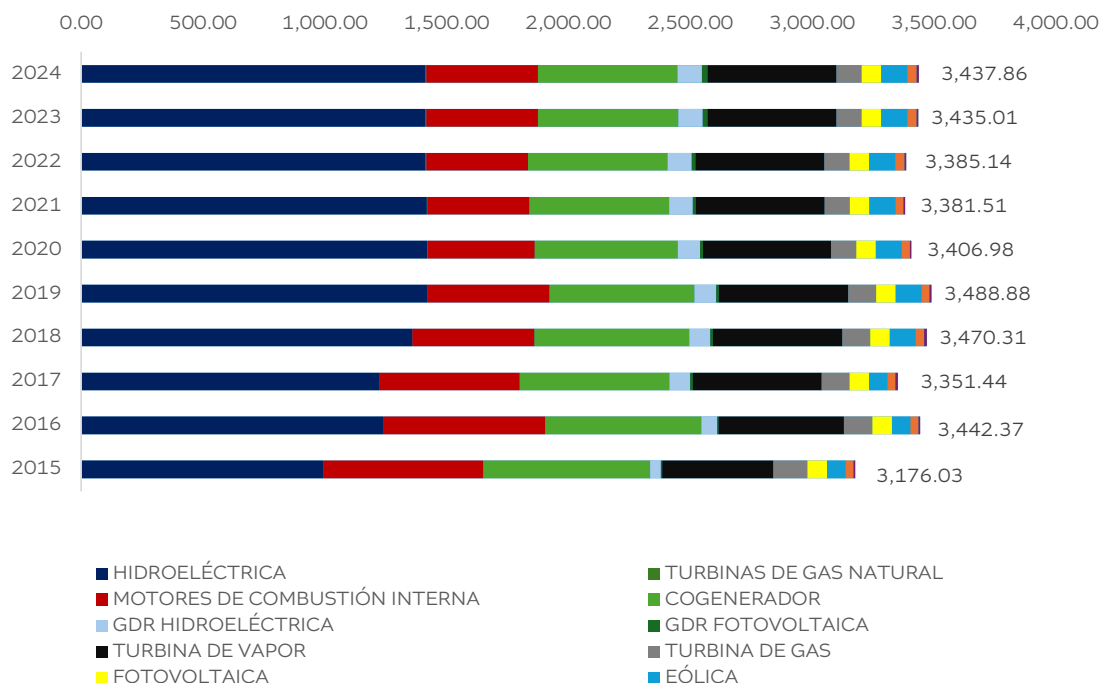


Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM)



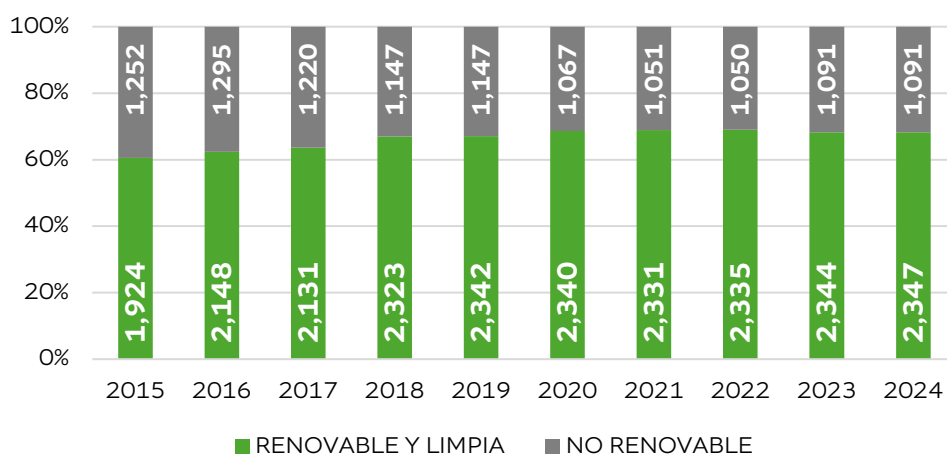
3.2 CAPACIDAD EFECTIVA

Gráfica 6. Comportamiento histórico de la capacidad efectiva del S.N.I en MW



Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM)

Gráfica 7. Comportamiento histórico de la participación de la capacidad efectiva del S.N.I por tipo de fuente en MW

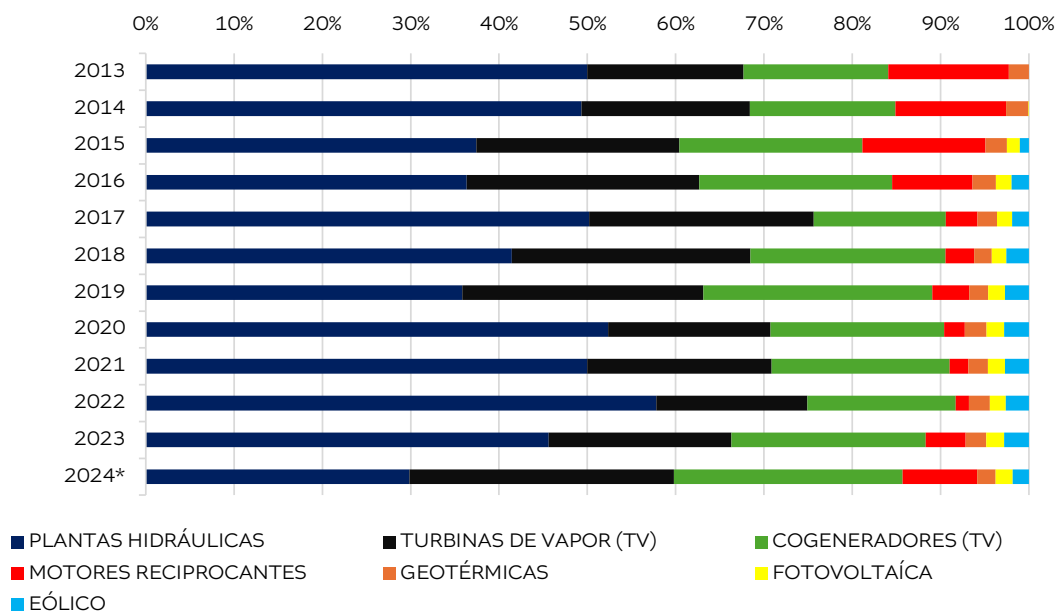


Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM)



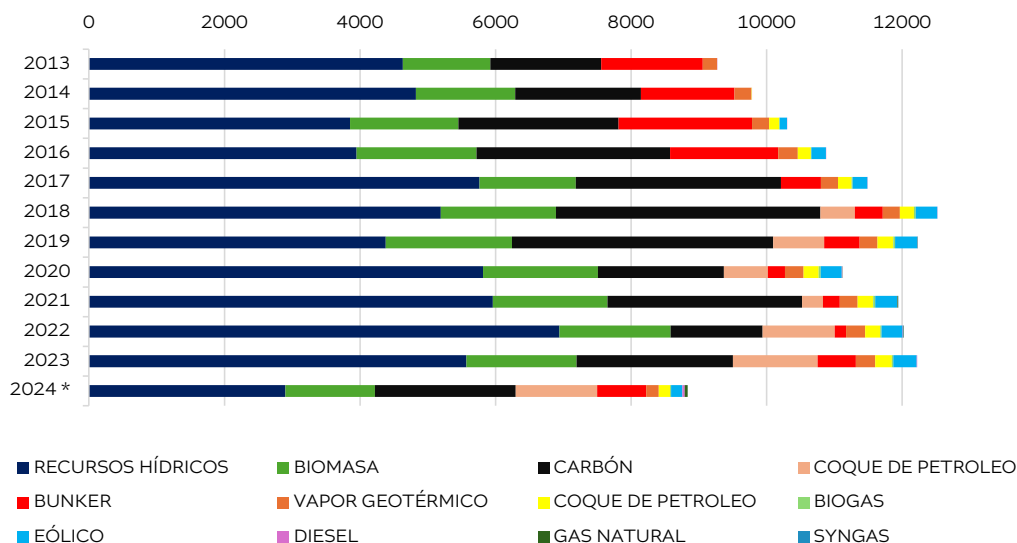
3.3 GENERACIÓN DE ENERGÍA

Gráfica 8. Comportamiento histórico de la participación en la generación de energía eléctrica del S.N.I por tipo de tecnología en porcentaje



Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM). *Dato hasta septiembre 2024

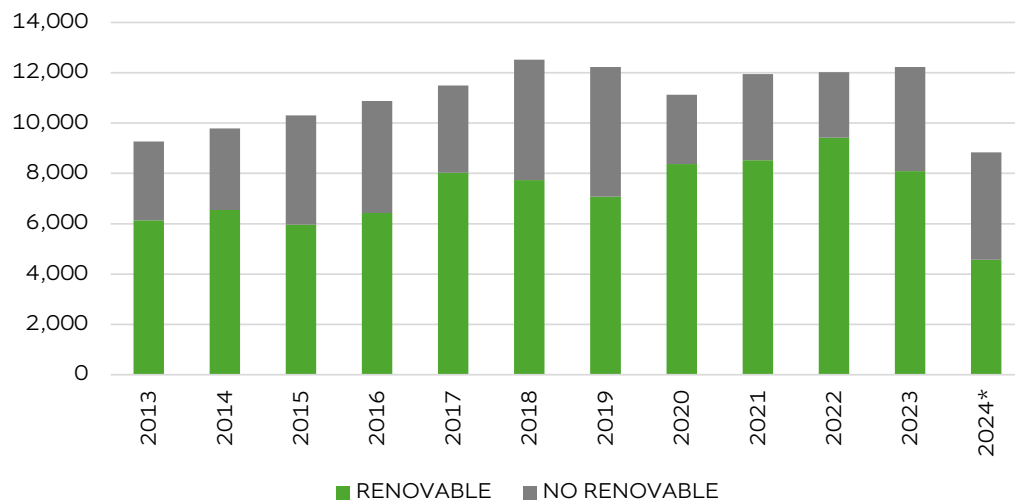
Gráfica 9. Comportamiento histórico de la generación de energía eléctrica del S.N.I por tipo de combustible en GWh



Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM). *Dato hasta septiembre 2024

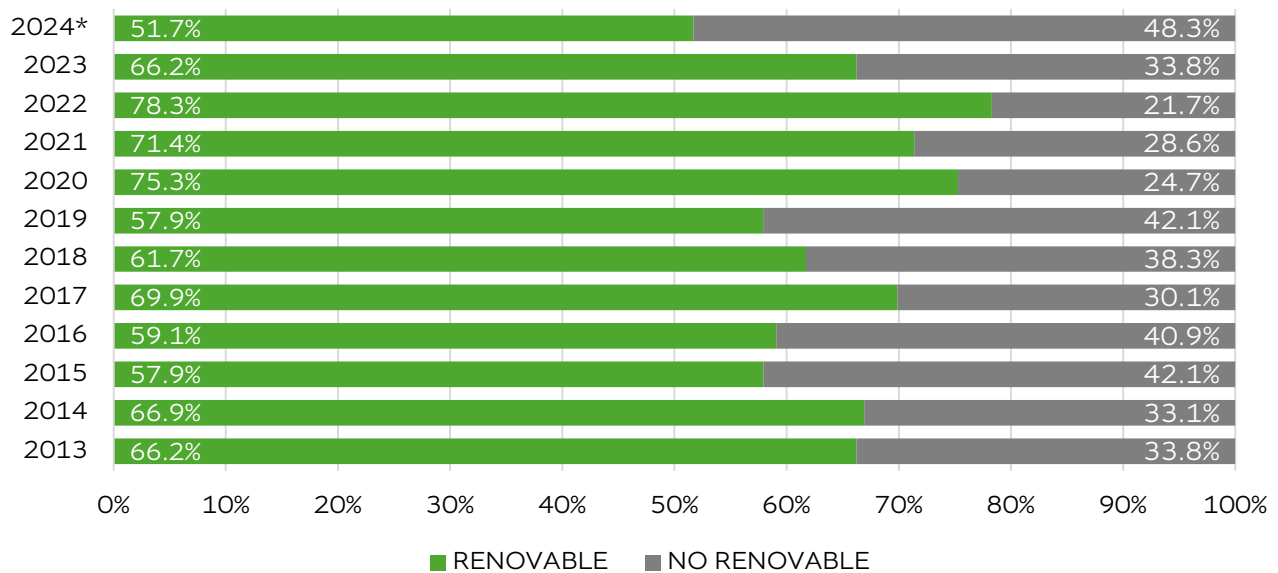


Gráfica 10. Comportamiento histórico de la generación de energía eléctrica del S.N.I por tipo de recurso en GWh



Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM). *Datos a septiembre 2024

Gráfica 11. Comportamiento histórico de la generación de energía eléctrica del S.N.I por tipo de recurso en porcentaje

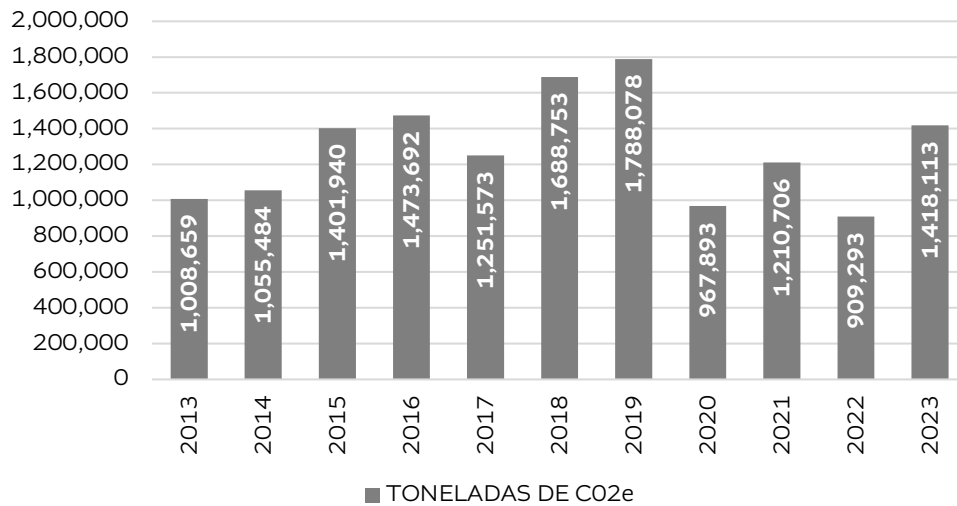


Fuente: Elaboración propia con información del Administrador del Mercado Mayorista (AMM)



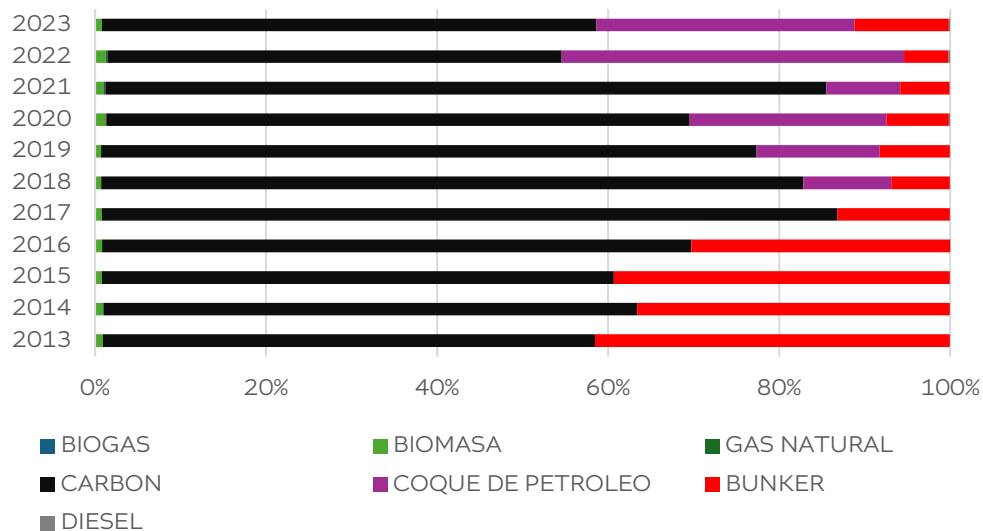
3.4 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Gráfica 12. Comportamiento histórico de la emisión de Dióxido de Carbono equivalente (CO₂e) por la generación de energía eléctrica en TonCO₂e



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 13. Comportamiento histórico de la emisión de Dióxido de Carbono equivalente (CO₂e) por tipo de combustible empleado para la generación de energía eléctrica en porcentaje



Fuente: Elaboración propia

ELABORACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS



4. ESCENARIO ELABORADO

Del software MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts) es una herramienta de modelado desarrollada por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), ampliamente utilizada para la planificación energética a largo plazo. Su propósito principal es optimizar el uso de los recursos energéticos de un país o región, teniendo en cuenta tanto la demanda como la oferta energética. MESSAGE permite analizar distintas tecnologías de generación y distribución de energía, evaluando escenarios que consideren la seguridad energética, el costo de la energía, el impacto ambiental y el cumplimiento de políticas energéticas y climáticas, como las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) en el marco del Acuerdo de París.

En este estudio, se modelaron 10 años de operación histórica del sistema energético de Guatemala para construir una base sólida que permita analizar el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. Esto incluyó la evolución de la capacidad instalada, la generación por tipo de recurso, la demanda energética y las emisiones de gases de efecto invernadero, permitiendo entender las tendencias del pasado y las posibles proyecciones futuras.

Posteriormente, se incluyeron en el modelo los proyectos futuros licitados en la licitación PEG 4, que son seleccionados para cubrir la creciente demanda energética en los próximos años. Estos proyectos licitados se han diseñado para cumplir con los objetivos del país en cuanto a diversificación de la matriz energética, priorizando la incorporación de fuentes renovables y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.

Además, se añadieron las plantas candidatas del escenario EBB6, que es considerado el escenario más probable dentro del PEG 2024-2054 (Plan de Expansión de la Generación). Este escenario refleja un enfoque estratégico para aumentar la participación de tecnologías limpias y optimizar la generación de energía en Guatemala. Las plantas candidatas propuestas se basan en el análisis del potencial energético del país, particularmente en recursos hidroeléctricos, geotérmicos, eólicos y solares, así como en la necesidad de mantener la seguridad energética y la estabilidad del sistema eléctrico.

El escenario EBB6 también responde a la necesidad de alcanzar los compromisos de reducción de emisiones de GEI bajo las NDC de Guatemala, mientras se asegura que el país mantenga una oferta energética confiable, asequible y sostenible en las próximas décadas.



4.1 CONSIDERACIONES DEL ESTUDIO

El modelado del análisis de la diversificación de la matriz energética de energía de Guatemala fue desarrollado con el software MESSAGE, de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA); para esto, se consideraron las siguientes características:

- * El año base para el estudio es el 2015, y se proyecta un horizonte de 35 años, culminando en el año 2050.
- * La base del estudio está dada sobre la operación del Sistema Nacional Interconectado, despreciando las pérdidas no técnicas.
- * Se modelaron 3 estaciones con base en la época seca y época húmeda característica del país que afectan las operaciones del S.N.I.
- * Se modelaron 2 tipos de días; siendo estos los días laborales y los días no laborales para tener un comportamiento mas acertado en la demanda de energía eléctrica.
- * Se modelaron curvas de comportamiento para las plantas con tecnologías intermitentes basadas en la operación real de las mismas.
- * Se establecieron parámetros de segmentación de las plantas generadoras de energía eléctrica con base en la tecnología y la capacidad efectiva de las mismas.
- * Se estableció la proyección de la demanda de consumo de energía eléctrica con base en el estudio elaborado con el Modelo de Análisis de la Demanda Energética, por sus siglas en inglés (MAED) de la Agencia internacional de energía atómica.
- * Se utilizaron los costos de inversión inicial, costos variables y costos fijos de referencia

dados por la agencia internacional de energías renovables (IRENA). para la moderación de las plantas candidatas.

4.2 CURVAS DE CARGA

Una curva de carga es una representación gráfica que muestra cómo varía la demanda de energía o potencia eléctrica a lo largo de un período de tiempo, generalmente un día, una semana o un año. En otras palabras, ilustra la cantidad de electricidad que requiere un sistema en cada momento, permitiendo identificar los momentos de mayor y menor demanda.

En el contexto de la modelación de tecnologías de generación intermitente como la solar y la eólica en MESSAGE, la curva de carga es crucial porque estas fuentes de energía no generan electricidad de manera constante, sino que su producción varía según factores naturales como la radiación solar o la velocidad del viento. Estas variaciones no siempre coinciden con los picos de demanda de energía, lo que hace necesario un análisis detallado para asegurar que el sistema eléctrico pueda satisfacer la demanda en todo momento.

Al integrar la energía solar y eólica en un modelo como MESSAGE, se requiere una curva de carga que tenga en cuenta estas fluctuaciones para:

- * Evaluar la capacidad de integración de estas fuentes en el sistema eléctrico.
- * Optimizar la combinación de tecnologías que puedan complementar la generación intermitente (como hidroeléctricas o plantas de respaldo térmico) para garantizar la seguridad energética.



- * Planificar la infraestructura de almacenamiento o de respaldo, en caso de que la generación intermitente no pueda satisfacer la demanda en ciertos momentos.

- * Así, las curvas de carga permiten hacer una simulación precisa del comportamiento de estas tecnologías y asegurar una planificación adecuada del sistema energético.

- * Para realizar la curva de carga se realizó una recolección de información para el año base de la operación horaria de energía del S.N.I obtenida de los reportes realizados por el Administrador del Mercado Mayorista con el fin de crear una curva de demanda horaria, la curva fue realizada segmentando la operación diaria en 3 temporadas en dos tipos de días diferentes quedando desagregado de la siguiente manera:

- * Temporada 1: ENE_ABR

Esta temporada es la que corresponde a la primera etapa del verano, conocida como seca, que es contemplada para el periodo entre los meses de enero a marzo.

- * Temporada 2: MAY_OCT

Esta temporada es la que corresponde a la temporada de invierno conocida como “húmeda”, que es contemplada para el periodo entre los meses de mayo a octubre.

- * Temporada 3: NOV_DIC

Esta temporada es la que corresponde a la temporada después del invierno conocida como la segunda temporada seca, que es contemplada para el periodo entre los meses de noviembre a diciembre.

- * Tipo de día 1: Workday

Este tipo de día representa a los días laborales correspondiendo el periodo entre lunes y viernes.

- * Tipo de día 2: SSH

Este tipo de día representa los fines de semana y los días de asuetos nacionales.

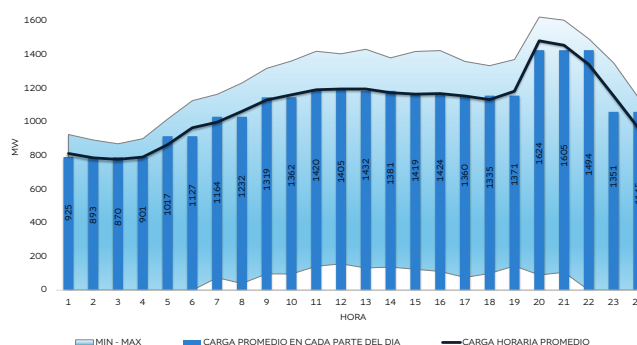
El resultado final se muestra a continuación.

Tabla 2. Descripción de escenarios modelados en el software MAED

Proporciones por Temporadas		Proporciones días típicos	
Nombre de la temporada	Proporción	Workday	SSH
ENE_ABR	0.319	0.7212726	0.2787274
MAY_OCT	0.513	0.7231477	0.2768523
NOV_DIC	0.169	0.7334689	0.2665311

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 14. Comportamiento de la curva de carga horaria obtenida para la temporada ENE_ABR para el día laboral en MW

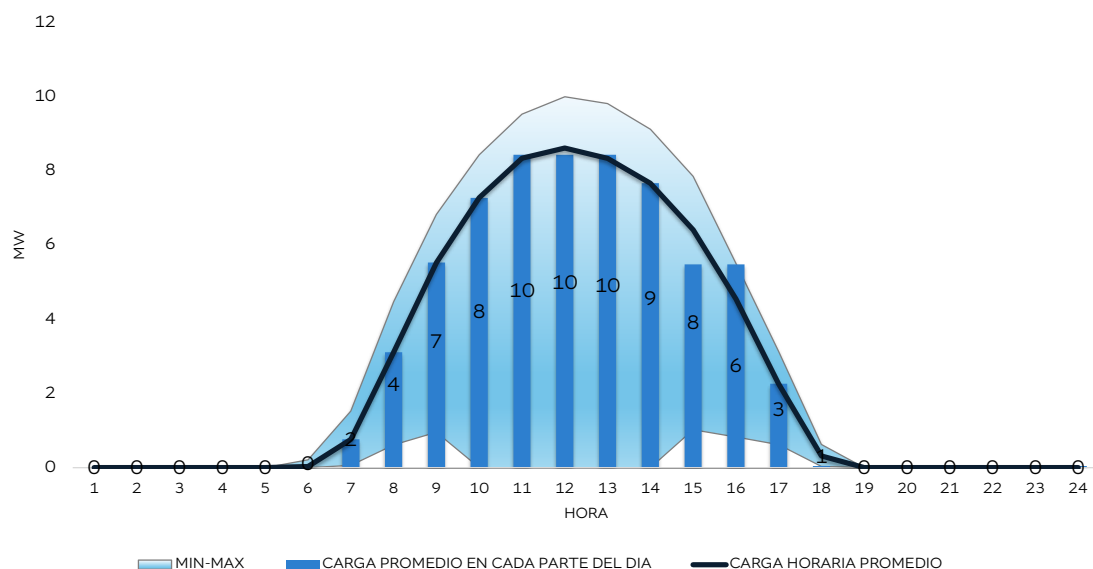


Fuente: Elaboración propia



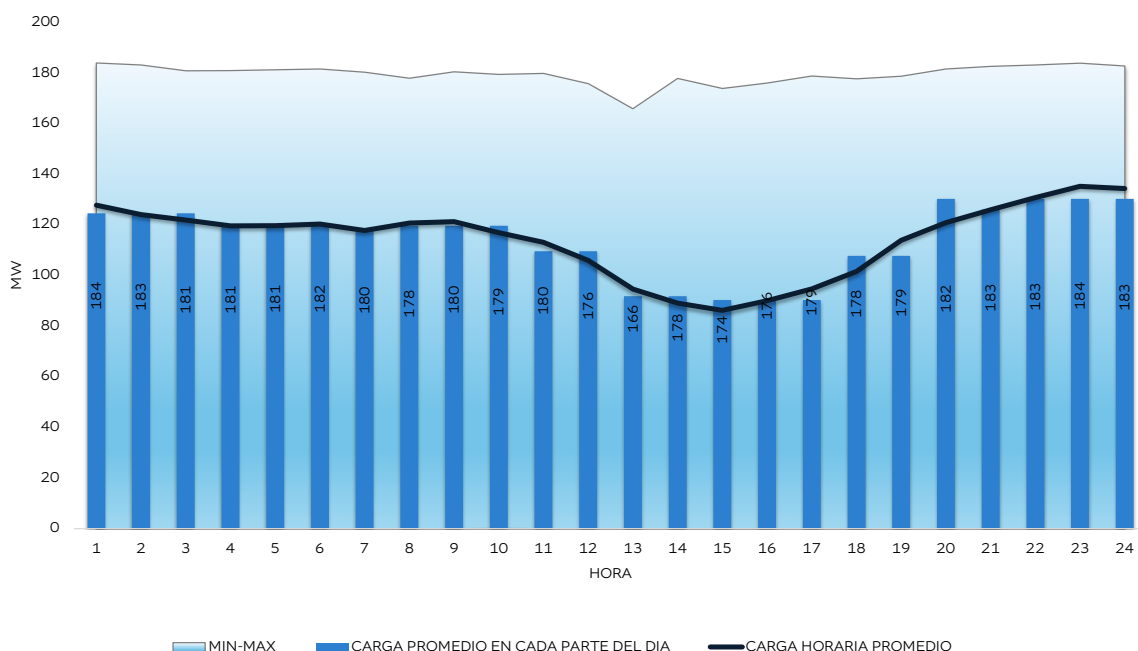
Para el escenario de estudio se realizaron un total de 54 curvas que tomaban la operación horaria, las temporadas contempladas y los tipos de día definidos. A continuación, se muestran dos ejemplos de dichas curvas.

Gráfica 15. Comportamiento de la curva de carga horaria obtenida para la temporada ENE_ABR para el día laboral en MW de la tecnología solar para plantas mayores a 5 MW de capacidad efectiva



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 16. Comportamiento de la curva de carga horaria obtenida para la temporada ENE_ABR para el día laboral en MW de la tecnología eólica para plantas mayores a 20 MW de capacidad efectiva



Fuente: Elaboración propia



4.3 SEGMENTACIÓN DE LAS PLANTAS EXISTENTES DEL PARQUE GENERADOR DEL S.N.I.

Se realizó una segmentación de las plantas existentes en el parque generador del S.N.I. con el propósito de agrupar las plantas con características similares, dicha segmentación se elaboró por medio de la separación de las tecnologías actuales dentro de la matriz de generación y la capacidad de potencia efectiva de las mismas. Cada una de las agrupaciones se les asignó un código a manera de poder identificarlas.

A continuación, se muestra la segmentación elaborada de las plantas del parque generador por tipo de tecnología y capacidad efectiva.

Tabla 3. Histórico de la agrupación propuesta para la elaboración del escenario de estudio para la potencia efectiva del parque generador en MW

TECNOLOGÍA	CODIGO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Cogenerador Mayor a 30 MW	COG_MA30	428.1	516.3	510.6	549.5	536.1	534.1	490.4	489.2	492.7	492.7
Cogenerador menor a 30 MW	COG_ME30	257.5	182.1	161.6	143.4	115.6	110.5	140.3	140.3	140.4	137
Eólica	EOL_MA20	75.9	75.9	75	106.5	106.5	106.5	107.4	107.4	107.4	107.4
Generador Distribuido Renovable Térmico	GDRTER_ME5	6.1	6.1	9.6	10.6	7.5	6.5	6.5	6.5	6.5	9.5
Geotérmica	GEO_MA15	33.6	33.6	33.6	35.2	32.7	33.4	33.4	38.2	38.2	38.2
Hidroeléctrica mayor a 65 MW	HIDR_MA65	551.4	727.5	688.8	732.5	729.7	728.7	728.7	728.3	728.3	728.3
Hidroeléctrica menor a 25 MW	HIDR_ME25	205.2	269.7	261.6	267.8	281.5	282	285.3	281.1	281.1	281
Generador Distribuido Renovable Hidráulica	HIDR_ME5	73.1	94	112.3	113.4	118.4	121.1	119.6	121.4	122.4	122.4
Hidroeléctrica menor a 65 MW	HIDR_ME65	208	214.9	244.2	330.5	380.1	380.3	382.3	381.9	381.9	382.1
Motor de combustión interna mayor a 70 MW	MOCO_MA70	433.4	437	237.1	161	161	161	158.6	158.6	158.6	158.6
Motor de combustión interna menor a 20 MW	MOCO_ME20	36.1	39.7	52.6	53.1	53.1	49.1	47.3	47.3	45.4	45.4
Motor de combustión interna menor a 70 MW	MOCO_ME70	186.5	186.5	287	287.5	287.5	228.3	212.5	212.5	254.9	254.9
Solar fotovoltaica mayor a 5 MW	SOLFO_MA5	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Generador Distribuido Renovable solar fotovoltaica	SOLFO_ME5	5	5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	15.5	20.3	20.3
Turbinas de Gas mayor a 35 MW	TURGA_MA35	78.4	78.4	75.8	75.8	75.8	69.6	69.6	69.6	69.6	69.6
Turbinas de Gas menor a 35 MW	TURGA_ME35	61.3	38.5	38.6	38.6	38.6	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1
Turbinas de Gas Natural menor a 10 MW	TURGAN_ME10	0	0	0	0	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Turbinas de vapor mayor a 30 MW	TURVA_MA30	422.5	403.9	418	419.4	419.4	419.4	422.5	422.5	422.5	422.5
Turbina de vapor menor a 30 MW	TURVA_ME30	53.4	53.4	53.6	53.9	53.9	48.3	48.3	48.3	48.1	48.1

Fuente: Elaboración propia



Tabla 4. Histórico de la agrupación propuesta para la elaboración del escenario de estudio de la generación de energía eléctrica del parque generador en GWh

TECNOLOGÍA	CODIGO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Cogenerador Mayor a 30 MW	COG_MA30	1869.8	2015.1	1604.8	2265.1	2636.9	1807.0	1956.3	1652.4	2229.9
Cogenerador menor a 30 MW	COG_ME30	813.6	851.0	558.2	499.0	530.4	374.9	445.1	362.1	454.4
Eólica	EOL_MA20	107.3	215.1	218.1	319.5	330.8	312.7	323.8	313.8	344.0
Generador Distribuido Renovable Térmico	GDRTER_ME5	6.9	9.6	17.9	27.8	26.9	33.1	31.5	21.9	29.0
Geotérmica	GEO_MA15	251.5	289.1	253.0	249.8	262.1	273.9	265.0	282.0	285.4
Hidroeléctrica mayor a 65 MW	HIDR_MA65	2142.1	2084.6	3368.0	2893.5	2141.9	3001.7	3137.5	3710.3	2930.3
Hidroeléctrica menor a 25 MW	HIDR_ME25	667.9	786.8	1009.3	883.6	738.1	904.7	935.0	1063.4	827.3
Generador Distribuido Renovable Hidráulica	HIDR_ME5	281.4	316.2	441.3	360.0	366.8	426.2	460.2	501.9	461.9
Hidroeléctrica menor a 65 MW	HIDR_ME65	760.4	763.6	946.8	1014.8	1083.9	1427.9	1372.3	1601.7	1306.1
Motor de combustión interna mayor a 70 MW	MOCO_MA70	1221.7	1058.5	653.7	460.6	367.2	306.3	297.1	300.5	316.4
Motor de combustión interna menor a 20 MW	MOCO_ME20	45.8	43.4	29.9	33.8	33.3	8.6	12.9	40.5	67.3
Motor de combustión interna menor a 70 MW	MOCO_ME70	347.2	127.7	21.6	42.6	55.3	24.8	21.7	52.6	141.8
Solar fotovoltaica mayor a 5 MW	SOLFO_MA5	49.5	179.4	178.3	182.7	206.4	193.9	202.0	193.3	202.3
Generador Distribuido Renovable solar fotovoltaica	SOLFO_ME5	12.0	12.4	19.9	25.6	27.0	27.6	27.6	26.6	43.6
Turbinas de Gas mayor a 35 MW	TURGA_MA35	10.0	4.2	2.9	1.4	1.5	3.7	2.8	5.0	4.4
Turbinas de Gas menor a 35 MW	TURGA_ME35	0.1	1.0	1.3	0.2	0.0	1.2	0.0	1.2	2.9
Turbinas de Gas Natural menor a 10 MW	TURGAN_ME10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	13.9	9.2	0.0
Turbinas de vapor mayor a 30 MW	TURVA_MA30	1267.6	1812.9	2101.8	3030.8	3075.3	1889.0	2255.0	1952.1	2477.9
Turbina de vapor menor a 30 MW	TURVA_ME30	308.3	252.0	149.8	251.1	262.0	153.2	234.1	100.5	49.3

Fuente: Elaboración propia



Tabla 5. Histórico del factor de planta para la agrupación propuesta para la elaboración del escenario de estudio del parque generador

TECNOLOGÍA	CODIGO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Máximo
Cogenerador Mayor a 30 MW	COG_MA30	50%	45%	36%	47%	56%	39%	46%	39%	52%	56%
Cogenerador menor a 30 MW	COG_ME30	36%	53%	39%	40%	52%	39%	36%	29%	37%	53%
Eólica	EOL_MA20	16%	32%	33%	34%	35%	34%	34%	33%	37%	37%
Generador Distribuido Renovable Térmico	GDRTER_ME5	13%	18%	21%	30%	41%	58%	56%	39%	51%	58%
Geotérmica	GEO_MA15	86%	98%	86%	81%	92%	94%	91%	84%	85%	98%
Hidroeléctrica mayor a 65 MW	HIDR_MA65	44%	33%	56%	45%	34%	47%	49%	58%	46%	58%
Hidroeléctrica menor a 25 MW	HIDR_ME25	37%	33%	44%	38%	30%	37%	37%	43%	34%	44%
Generador Distribuido Renovable Hidráulica	HIDR_ME5	44%	38%	45%	36%	35%	40%	44%	47%	43%	47%
Hidroeléctrica menor a 65 MW	HIDR_ME65	42%	41%	44%	35%	33%	43%	41%	48%	39%	48%
Motor de combustión interna mayor a 70 MW	MOCO_MA70	32%	28%	31%	33%	26%	22%	21%	22%	23%	33%
Motor de combustión interna menor a 20 MW	MOCO_ME20	14%	12%	6%	7%	7%	2%	3%	10%	17%	17%
Motor de combustión interna menor a 70 MW	MOCO_ME70	21%	8%	1%	2%	2%	1%	1%	3%	6%	21%
Solar fotovoltaica mayor a 5 MW	SOLFO_MA5	7%	26%	25%	26%	29%	28%	29%	28%	29%	29%
Generador Distribuido Renovable solar fotovoltaica	SOLFO_ME5	27%	28%	20%	25%	27%	27%	26%	20%	25%	28%
Turbinas de Gas mayor a 35 MW	TURGA_MA35	1%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	1%	1%
Turbinas de Gas menor a 35 MW	TURGA_ME35	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
Turbinas de Gas Natural menor a 10 MW	TURGAN_ME10	0%	0%	0%	0%	0%	5%	13%	9%	0%	13%
Turbinas de vapor mayor a 30 MW	TURVA_MA30	34%	51%	57%	82%	84%	51%	61%	53%	67%	84%
Turbina de vapor menor a 30 MW	TURVA_ME30	66%	54%	32%	53%	55%	36%	55%	24%	12%	66%

Fuente: Elaboración propia



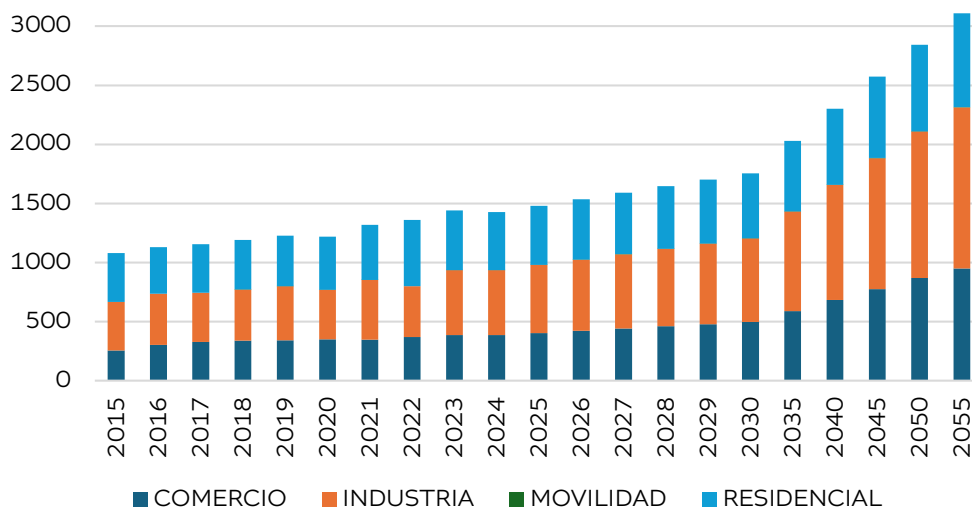
4.4 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

La proyección de la demanda permite estimar el consumo futuro de electricidad, basándose en una serie de variables históricas y factores socioeconómicos. En este estudio, la proyección de la demanda fue realizada utilizando el software MAED (Model for Analysis of Energy Demand), desarrollado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA). MAED permite modelar la evolución de la demanda de energía en función de indicadores como el crecimiento económico, los cambios demográficos y la evolución tecnológica, brindando una visión integral de las necesidades futuras del sistema.

Para garantizar la precisión del modelo, la proyección se calibró con datos históricos del periodo 2015-2023, obtenidos del balance energético de los sectores de consumo. Este balance recopila información detallada sobre cómo se ha consumido energía en los distintos sectores del país, como el residencial, industrial, comercial y de servicios. Sin embargo, en este caso, la proyección se enfocó exclusivamente en el consumo de energía eléctrica, dejando fuera otros tipos de energía, como los combustibles fósiles utilizados en transporte o calefacción.

Se presenta a continuación los detalles de los resultados de la información modelada a través del software MAED.

Gráfica 17. Proyección de la demanda de energía eléctrica por sectores de consumo en MWy



Fuente: Elaboración propia



4.5 PROYECTOS DE GENERACIÓN FUTUROS Y PLANTAS CANDIDATAS

En el escenario modelado para la planificación energética, se consideraron tanto proyectos futuros ya licitados como plantas candidatas de tecnologías renovables y limpias, con el objetivo de diversificar la matriz energética y asegurar la sostenibilidad del sistema eléctrico a largo plazo. Estos proyectos se alinean con los compromisos nacionales de reducción de emisiones y con la necesidad de garantizar la seguridad energética.

Las plantas candidatas incluyen una variedad de tecnologías renovables que aprovechan los recursos naturales del país. Entre ellas se encuentran:

- * **Geotermia:** Guatemala cuenta con un significativo potencial geotérmico, especialmente en la región del Cinturón de Fuego, donde las plantas geotérmicas propuestas aprovecharán el calor subterráneo para generar electricidad de manera constante y limpia.
- * **Solar fotovoltaica:** Dada la abundante radiación solar en el territorio nacional, se han identificado varias plantas solares que aprovecharán este recurso, contribuyendo a la diversificación de la matriz y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.
- * **Eólica:** Los pre-estudios de potencial eólico indican que hay zonas del país, especialmente en áreas montañosas y costeras, con vientos adecuados para la generación de energía eléctrica. Las plantas eólicas proyectadas aprovechan de esta fuente intermitente, contribuyendo al desarrollo de una matriz más verde.

- * **Hidroeléctricas:** A pesar del importante desarrollo hidroeléctrico existente, aún hay un considerable potencial hídrico por aprovechar. Los proyectos futuros se centran en plantas de tamaño medio y grande, que contribuirán a la estabilidad del sistema eléctrico, especialmente en combinación con fuentes intermitentes como la solar y la eólica.

- * **Gas natural:** Aunque es un recurso fósil, el gas natural es considerado una opción de transición más limpia en comparación con otros combustibles como el carbón o el bunker. Las plantas de gas natural servirán como respaldo para la generación intermitente, asegurando que el suministro eléctrico sea estable en momentos de baja producción renovable.

Los proyectos ya licitados bajo el marco de la PEG 4 incluyen una combinación de estas tecnologías renovables y están en proceso de construcción o planificación avanzada. Estos proyectos se sumarán a la capacidad instalada en los próximos años, contribuyendo a una matriz eléctrica cada vez más limpia y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. La integración de estas nuevas plantas asegura un futuro energético más sostenible y resiliente para Guatemala, alineado con los compromisos adquiridos en las NDC.



Tabla 6. Capacidad instalada y fecha de conexión de los proyectos futuros de generación de energía eléctrica licitados en la PEG 4 al S.N.I. en MW

Tecnología	2026	2028
Gas Natural	43.75	0
Hidroeléctrica	0	52
Solar	50	295
Eólica	0	60
Total	93.75	407

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Cronograma de ingreso de potencia para las plantas candidatas al S.N.I

Año	Potencia de Ingreso					
	Eólica	Solar	Turbinas de Gas Natural	Recursos hídricos	Geotermia	Total Adicionado
2029	0	100	210	0	0	310
2030	150	100	0	180	23	453
2035	50	0	0	100	0	150
2040	0	40	100	120	30	290
2045	81	41	0	0	0	122
2050	0	70	0	0	0	70
Total	281	351	310	400	53	1394

Fuente: Elaboración propia



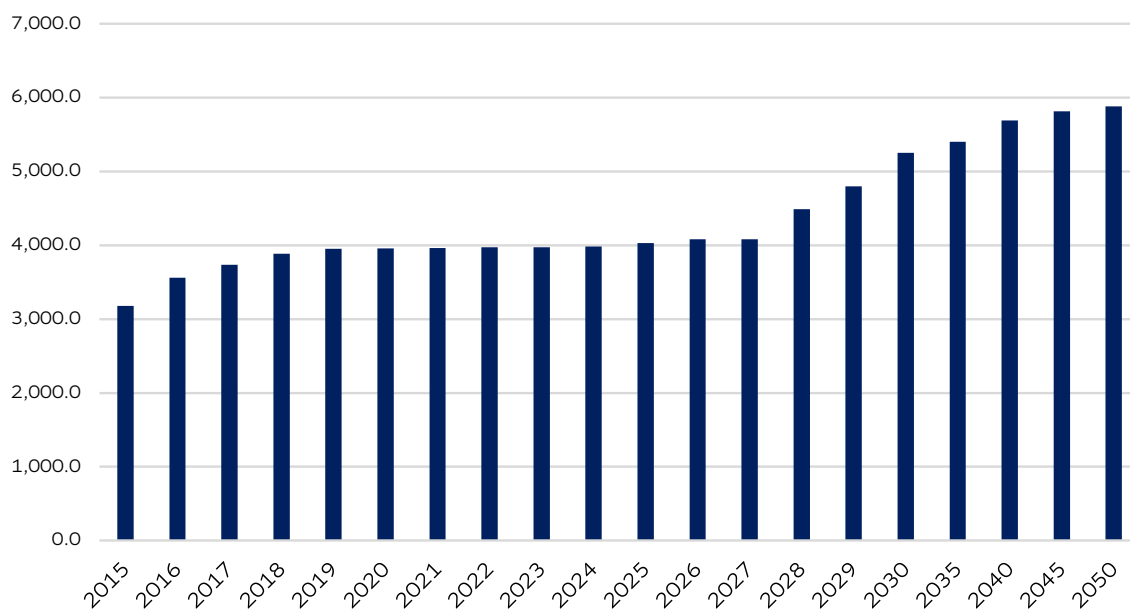
5. RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO DE ANÁLISIS DE LA MATRIZ NACIONAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE GUATEMALA



A continuación, se presenta el análisis de la generación de energía eléctrica obtenida del modelo realizado.

5.1 CAPACIDAD EFECTIVA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

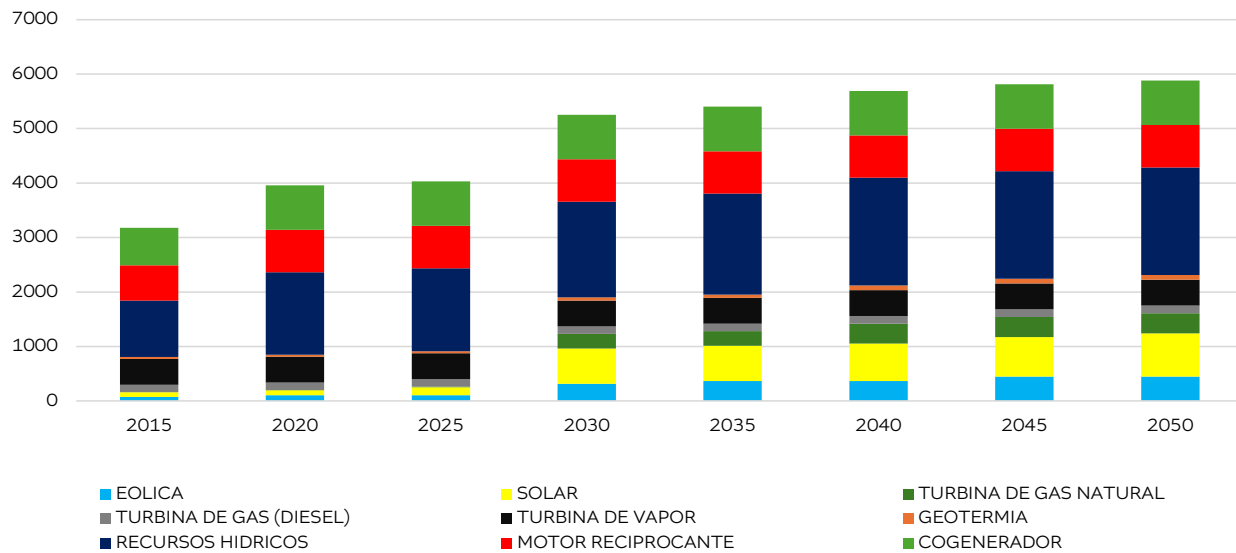
Gráfica 18. Proyección de la evolución en la capacidad efectiva del S.N.I en MW



Fuente: Elaboración propia

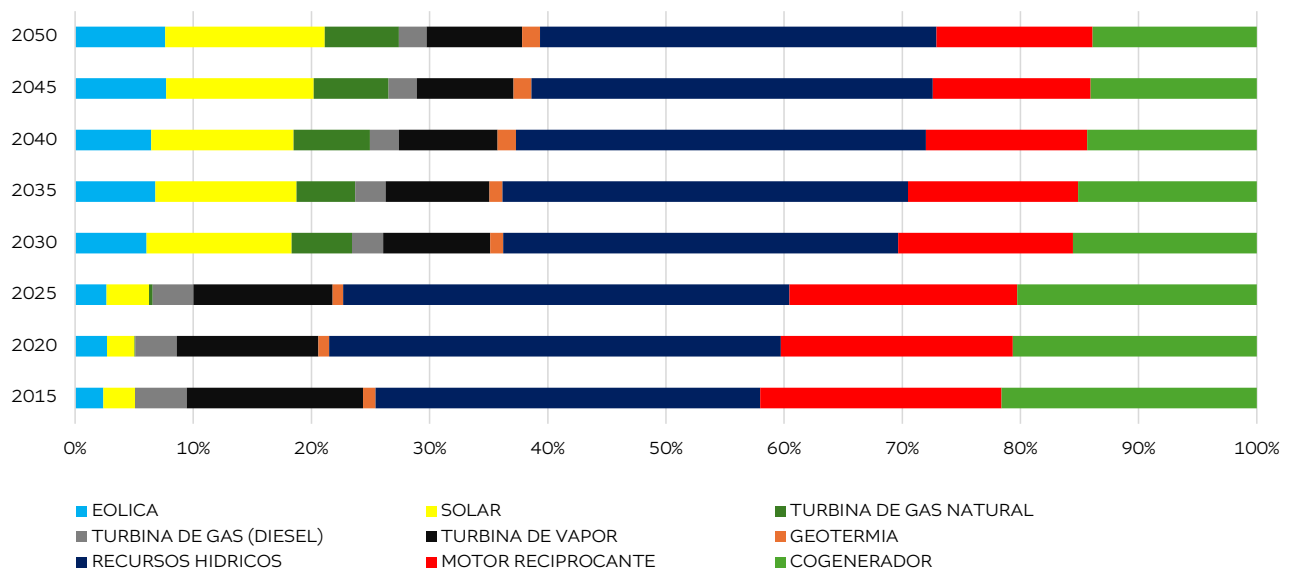


Gráfica 19. Proyección de la evolución en la capacidad efectiva del S.N.I por tipo de tecnología en MW



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 20. Participación en la capacidad efectiva del S.N.I por tipo de tecnología en porcentaje

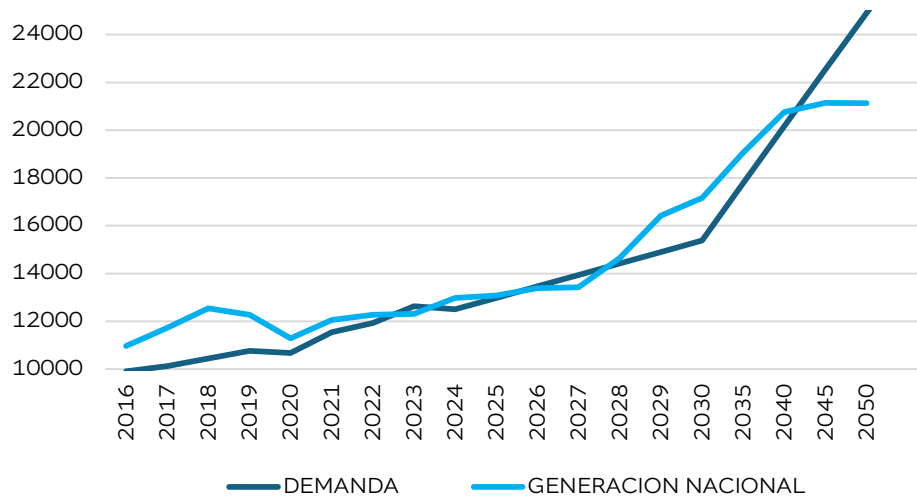


Fuente: Elaboración propia



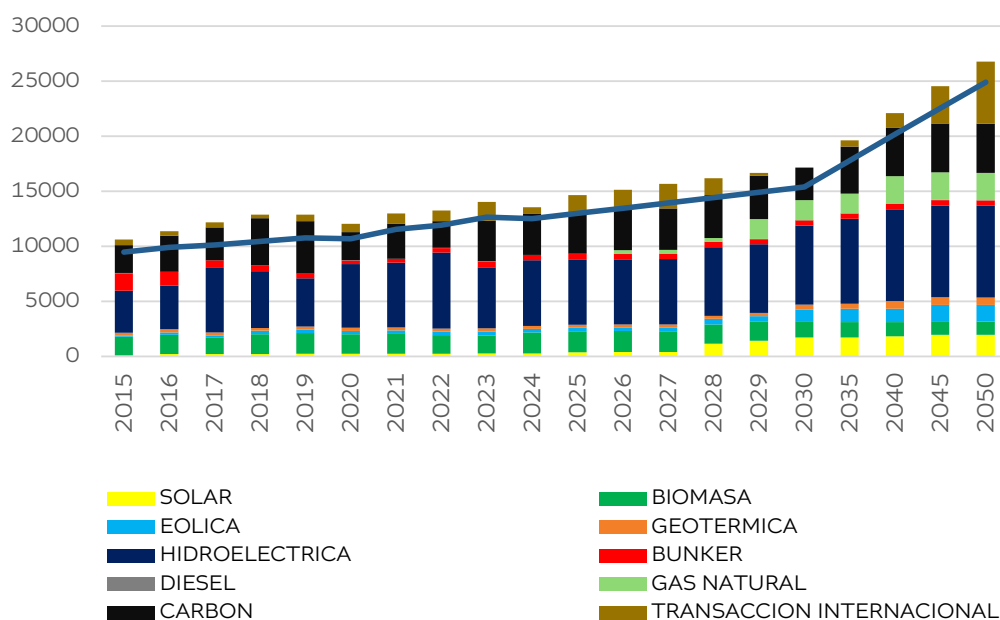
5.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Gráfica 21. Resultados de la proyección de la demanda vs la proyección de la energía eléctrica generada en GWh



Fuente: Elaboración propia

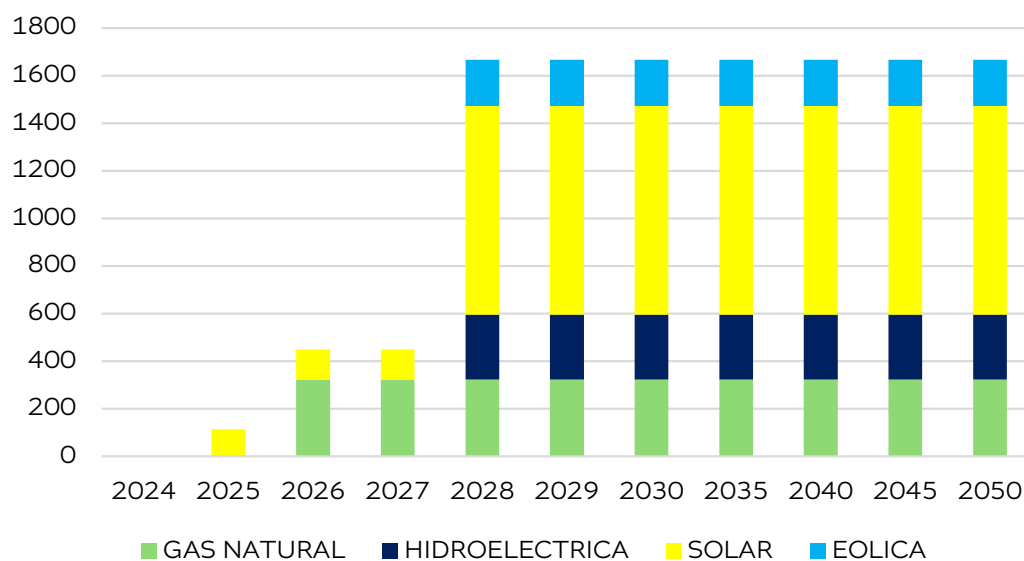
Gráfica 22. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de combustible y transacciones internacionales en GWh



Fuente: Elaboración propia

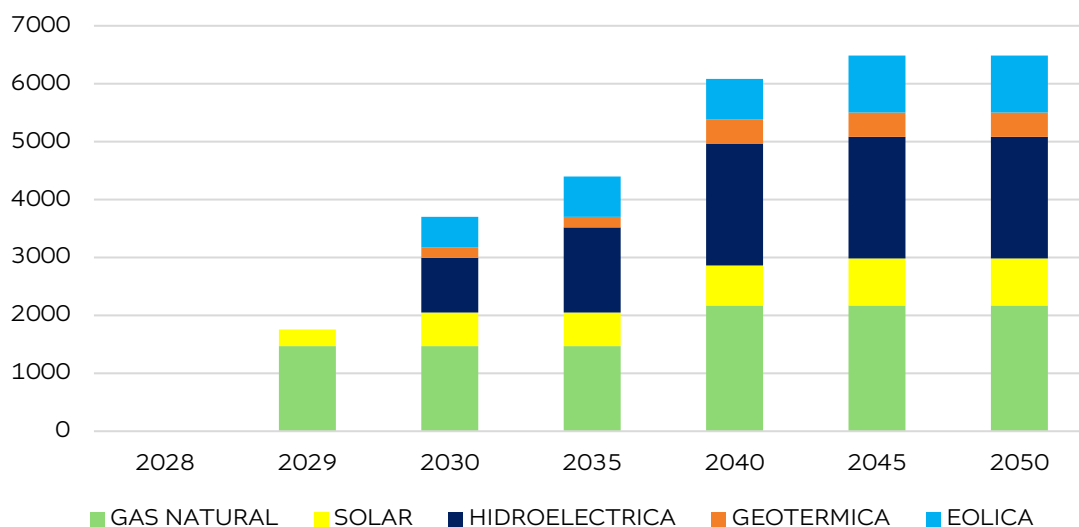


Gráfica 23. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de combustible para las plantas futuras consideradas por la PEG 4 en GWh



Fuente: Elaboración propia

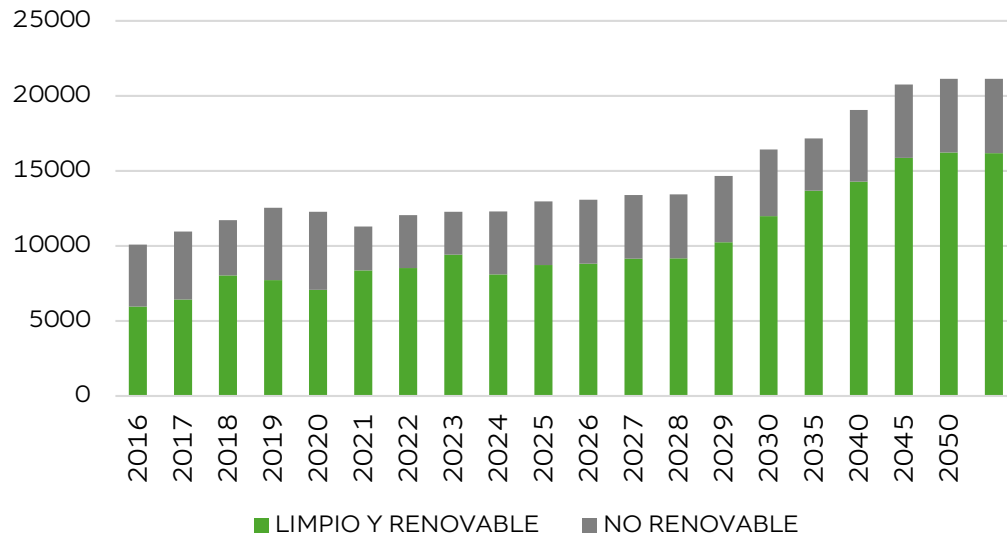
Gráfica 24. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de combustible para las plantas candidatas basadas en el PEG 2024-2054 en GWh



Fuente: Elaboración propia

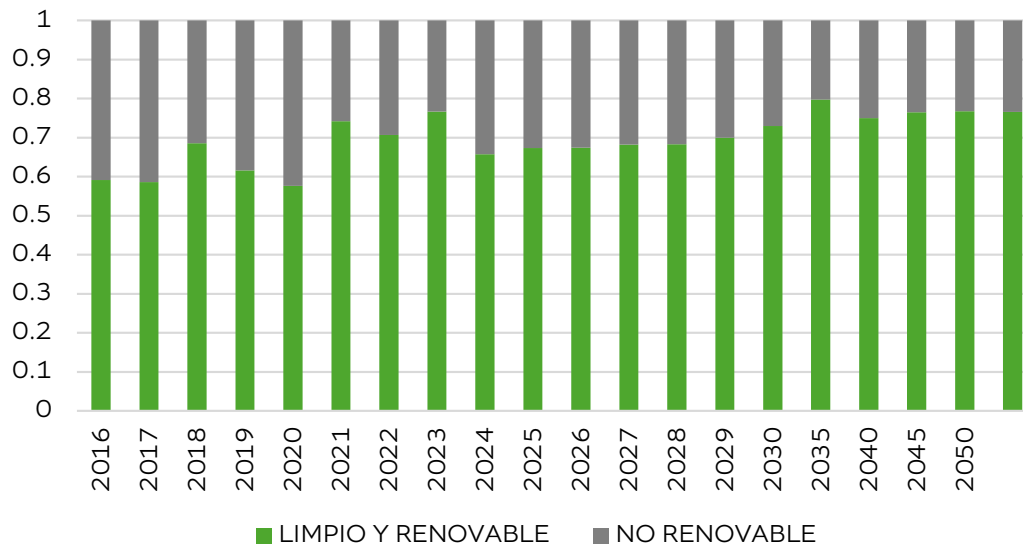


Gráfica 25. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de recurso en GWh



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 26. Participación de la generación de energía eléctrica por tipo de recurso proyectada en porcentaje



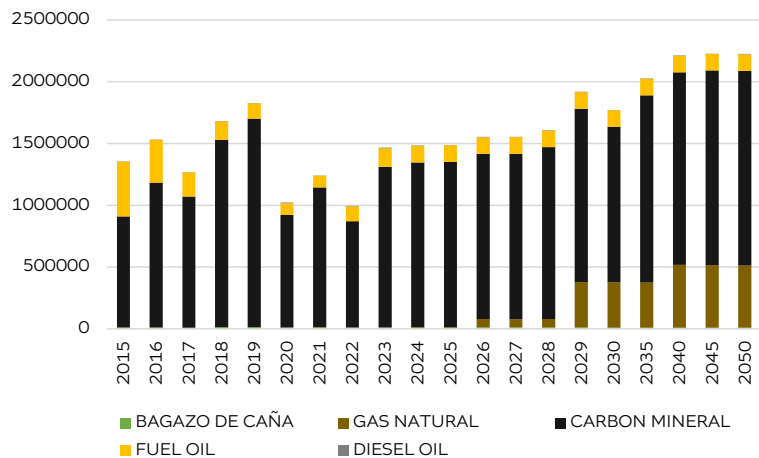
Fuente: Elaboración propia



5.3 EMISIONES

El análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se realizó utilizando la metodología del Grupo Inter-gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), específicamente bajo su Sexto Informe de Evaluación (IPCC AR6). Esta metodología permite calcular las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) asociadas con la generación de energía eléctrica, considerando los diferentes tipos de combustibles fósiles utilizados en el sistema eléctrico de Guatemala.

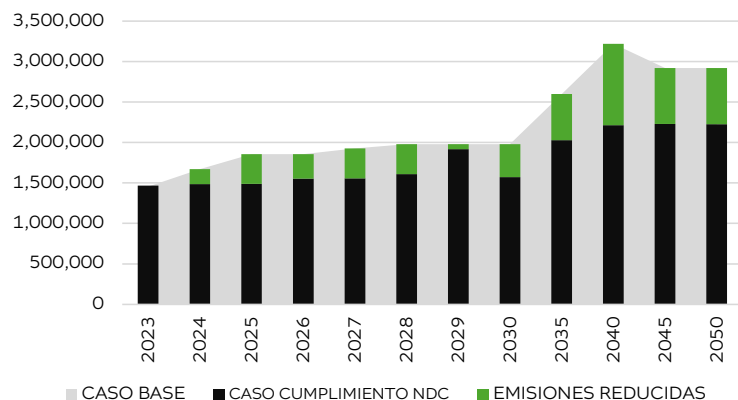
Gráfica 27. Total de emisiones de CO₂e producidas por la generación de energía eléctrica en Toneladas de CO₂e



Fuente: Elaboración propia

En comparación con el escenario base realizado se tiene que para el 2030 se proyecta un total de 2,058,397 toneladas de CO₂e evitadas derivado de la inclusión de tecnologías limpias y renovables. Para el 2050 se tiene como resultado 5,015,843 toneladas de CO₂e evitadas. A continuación, se muestra las emisiones evitadas del Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala, nombrado caso de cumplimiento NDC, en comparación al escenario base realizado en toneladas de CO₂e

Gráfica 28. Total de emisiones de CO₂e reducidas para el análisis del cumplimiento de la NDC en Toneladas de



Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN DE RESULTADOS



Los resultados del análisis del Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Guatemala entre 2015 y 2050, utilizando el software MESSAGE, muestran una tendencia clara hacia la adopción de energías limpias y renovables tanto en términos de capacidad instalada como de generación. Se observa un crecimiento significativo en la participación de fuentes renovables como la solar, eólica e hidroeléctrica, mientras que las fuentes no renovables, como el carbón y los combustibles fósiles, mantienen una tendencia estable o decreciente en términos relativos.

Evolución de las Fuentes Renovables

La capacidad instalada de energía solar muestra un crecimiento exponencial a lo largo del período. En 2015, la capacidad era de 85 MW, alcanzando los 795.3 MW en 2050. En términos de generación, pasó de 60.88 GWh en 2015 a 1,943.44 GWh en 2050. Este crecimiento refleja el gran potencial de Guatemala para aprovechar su alta radiación solar, apoyando el cumplimiento de sus compromisos climáticos y diversificando la matriz energética.

La capacidad instalada de energía eólica también experimenta un aumento significativo, pasando de 76 MW en 2015 a 448 MW en 2050. En cuanto a generación, el incremento es igualmente notable, alcanzando 1,497.78 GWh en 2050 desde los 106.52 GWh registrados en 2015. Esto refleja el aprovechamiento de las condiciones óptimas de viento en las zonas montañosas y costeras del país.

Guatemala ha mantenido una fuerte dependencia de la energía hidroeléctrica. La capacidad instalada pasó de 1,034 MW en 2015 a 1,974 MW en 2040, manteniéndose constante hasta 2050. En términos de generación, la hidroeléctrica fue la principal fuente de energía limpia, aumentando de 3,823.40 GWh en 2015 a 8,342.36 GWh en 2050. Este recurso sigue siendo fundamental para la estabilidad del sistema y el complemento de las fuentes intermitentes como la solar y eólica.

La energía geotérmica, con una capacidad de 34 MW en 2015, aumenta moderadamente a 88.74 MW en 2040. Aunque su crecimiento es más lento que el de otras fuentes, se mantiene como una fuente constante y confiable, alcanzando 693.32 GWh en 2050. La geotermia es una tecnología clave para complementar la intermitencia de otras renovables.

Fuentes Convencionales y su Rol en la Transición Energética

Aunque las turbinas de gas natural no estuvieron presentes en los primeros años, su capacidad comienza a aumentar a partir de 2020, alcanzando los 368 MW en 2040. La generación a partir de gas natural crece significativamente desde 324.40 GWh en 2026 hasta 2,494.85 GWh en 2050, consolidándose como una opción de transición menos contaminante que otros combustibles fósiles. Las turbinas de diésel, por otro lado, mantuvieron una capacidad constante de 139 MW, con una mínima generación de alrededor de 12 GWh para 2050.



CONCLUSIONES

- * El estudio demuestra que la diversificación de la matriz energética de Guatemala es importante para cumplir con los compromisos establecidos en la NDC. La incorporación de fuentes renovables como la geotermia, la solar y la eólica no solo permite reducir la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también fortalece la seguridad energética del país a largo plazo.
- * Los resultados del escenario modelado en MESSAGE indican que, al integrar de manera efectiva fuentes renovables, el país puede alcanzar una participación del 80% de energías limpias en la matriz eléctrica para 2030. Esta transformación reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y el cumplimiento de los objetivos ambientales.
- * A pesar del alto potencial renovable de Guatemala, existen barreras importantes para la implementación de nuevas tecnologías, como la necesidad de mejoras en la infraestructura de transmisión y un marco regulatorio más favorable para atraer inversiones.
- * Es necesaria la incorporación de nueva capacidad para la generación de energía eléctrica para suplir la demanda y garantizar un suministro constante y eficiente.
- * El análisis a largo plazo muestra que Guatemala puede cumplir con su meta de reducir las emisiones de CO₂e en un 22.6% para 2030, siempre que se tomen medidas y se promueva la inversión en tecnologías renovables.
- * Es necesario que se incluya tanto el desarrollo de energías limpias como la promoción de la eficiencia energética en todos los sectores.



ANEXO: 1 CASO BASE

Este modelo se realizó con el objetivo de tener un punto de comparación y poder tener una línea base y así evaluar el impacto de las medidas tomadas para la creación del Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala.

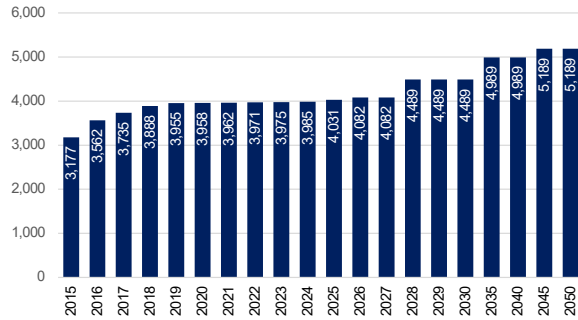
A continuación, se enlistan las consideraciones tomadas para este caso.

- * Se proyecta el mismo horizonte de estudio que en el Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala.
- * La base del estudio está dada sobre la operación del Sistema Nacional Interconectado, despreciando las pérdidas no técnicas.
- * Se modelaron las mismas 3 estaciones que en el Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala.
- * Se modelaron los mismos 2 tipos de días que en el Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala.
- * Se utilizaron las mismas curvas de comportamiento para las plantas con tecnologías intermitentes basadas en la operación real de las mismas que en el Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala.
- * Se realiza con la misma segmentación de plantas existentes que para el Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala.
- * Se realiza para suplir la misma demanda proyectada para el Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala.
- * Se consideran los mismos proyectos futuros tomados en cuenta en el Modelo de Análisis de la Matriz Nacional de Generación de Energía Eléctrica De Guatemala.
- * Se satisface la demanda aumentando la participación de tecnologías que utilizan carbón y gas natural como combustible para la generación de energía eléctrica.



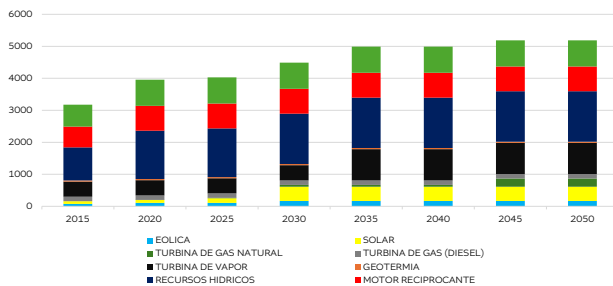
RESULTADOS CASO BASE

Gráfica 29. Capacidad efectiva para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MW



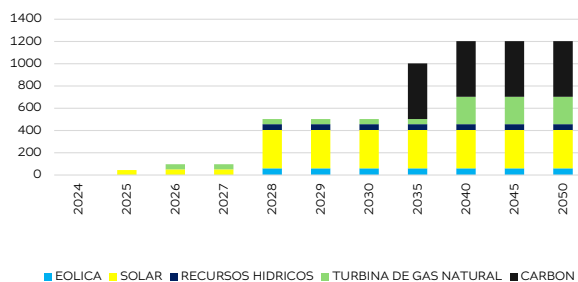
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 30. Capacidad efectiva por tipo de tecnología para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MW



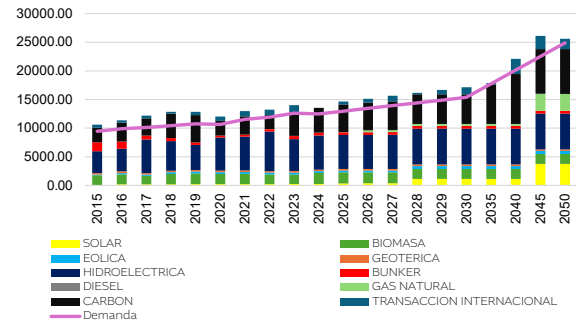
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 31. Capacidad efectiva de los proyectos futuros y las plantas candidatas por tipo de combustible para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MW



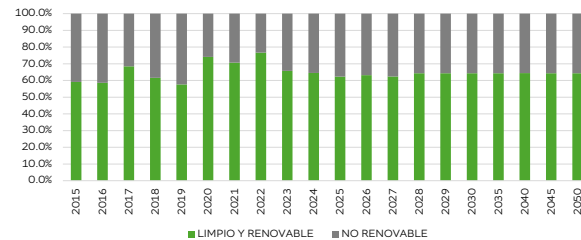
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 32. Capacidad efectiva de los proyectos futuros y las plantas candidatas por tipo de combustible para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MW



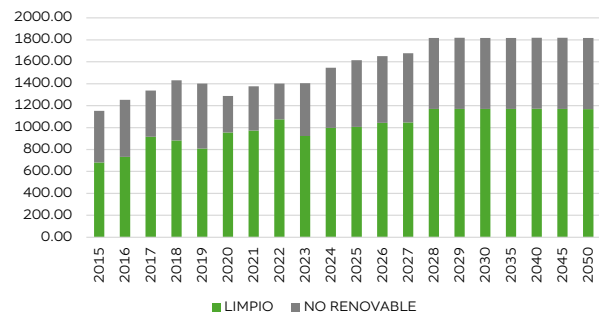
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 33. Capacidad efectiva de los proyectos futuros y las plantas candidatas por tipo de combustible para la generación de energía eléctrica proyectada en el escenario base en MW



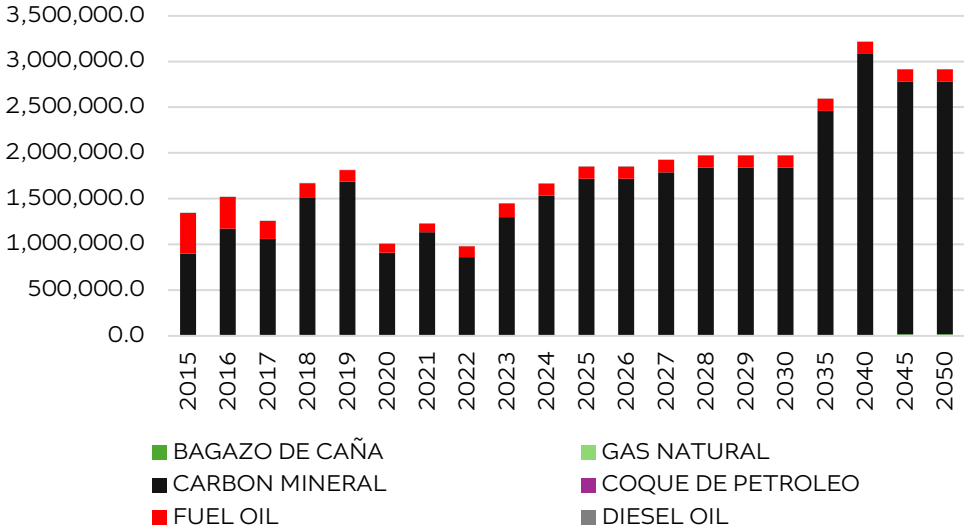
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 34. Matriz de generación de energía eléctrica por tipo de recurso proyectado en el escenario base en porcentaje



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 35. Matriz de emisiones de CO₂e proyectado en el escenario base en Tonelada de CO₂e



Fuente: Elaboración propia





Ministerio de
Energía y Minas

