



## **Hoja de ruta de Transición Energética en Guatemala**

Un modelo energético sostenible para Guatemala al 2050

An aerial photograph of a dense, lush green forest. The trees are tightly packed, creating a textured canopy of various shades of green. The perspective is from directly above, looking down on the forest floor.

Han participado en el desarrollo del presente informe los siguientes profesionales de Deloitte:

- **Cristian Serricchio (Socio)**
- **Damián Grignaffini (Gerente)**
- **Tomás Cardozo (Senior)**
- **Sebastián Yopez (Senior)**
- **Clara Mackey (Senior)**

# Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Objetivos</b>  | <b>4</b>  |
| <b>Introducción por el Country Manager del Grupo Enel en Guatemala</b>                                  | <b>7</b>  |
| <b>Acrónimos, siglas, abreviaciones y unidades de medida</b>  | <b>9</b>  |
| <b>Resumen Ejecutivo</b>  | <b>12</b> |
| La lucha contra el cambio climático   | 13        |
| El modelo energético de Guatemala al 2050   | 13        |
| Transición energética   | 14        |
| Impactos Económicos de la Descarbonización  | 17        |
| Recomendaciones   | 17        |
| <b>1. La Lucha Contra el Cambio Climático</b>   | <b>19</b> |
| 1.1. La reducción de emisiones es un reto global  | 20        |
| 1.2. Emisiones de GEI en Guatemala en 2016  | 24        |
| 1.3. Contribuciones nacionales en la lucha contra el cambio climático                                   | 27        |
| <b>2. El modelo energético de Guatemala 2050</b>  | <b>31</b> |
| 2.1. Visión actual de Guatemala para el 2050  | 32        |
| 2.2. El modelo energético en el marco de las ODS  | 33        |
| 2.3. Introducción a la metodología de modelización: TIMES   | 33        |
| 2.4. Transformaciones necesarias en el modelo energético  | 38        |
| <b>3. Transición energética</b>   | <b>44</b> |
| 3.1. Nuevas políticas energéticas en Guatemala  | 45        |
| 3.2. Planificación para una transición exitosa al 2050  | 45        |
| 3.3. Cambiar a fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde | 46        |
| 3.4. La promoción de infraestructuras digitales y redes inteligentes                                    | 47        |
| 3.5. Fomentar la eficiencia energética y la electrificación en los usos finales                         | 52        |
| 3.5.1. Electrificación de los sectores residencial, comercial y público                                 | 52        |
| 3.5.2. Electrificación del sector agricultura   | 57        |
| 3.5.3. Sustitución de combustibles en el sector industrial  | 57        |
| 3.5.4. Sustitución de combustibles en el sector transporte  | 58        |
| 3.6. El rol del hidrógeno verde en la descarbonización de Guatemala                                     | 62        |
| 3.7. Incentivos a modelos de producción sustentable – sector no energético                              | 64        |
| 3.7.1. Sector AFOLU   | 64        |
| 3.7.2. Residuos Sólidos   | 66        |
| 3.8. Análisis de inversiones y costos en el sistema   | 66        |
| 3.9. Beneficios de la descarbonización  | 68        |
| <b>4. Conclusiones</b>  | <b>71</b> |
| <b>5. Recomendaciones de política energética para una descarbonización sostenible</b>                   | <b>74</b> |
| <b>Contactos</b>  | <b>93</b> |

# Objetivos



# Objetivos

El presente informe ha sido impulsado por el Grupo Enel en Guatemala y elaborado por Deloitte como una reflexión analítica y participativa sobre la necesaria transición hacia la descarbonización sostenible del modelo energético de Guatemala. Esta transformación se enmarca en el cumplimiento del objetivo nacional de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la consideración de otros aspectos clave de la política energética: la seguridad de suministro, la competitividad del sistema energético-económico, la compatibilidad con criterios de crecimiento y la sostenibilidad ambiental y social.

Somos conscientes de que el debate sobre la transición hacia una economía sostenible basada en tecnologías con bajas emisiones en carbono es un tema de especial relevancia para nuestra sociedad, por su innegable impacto en la sostenibilidad medioambiental y económica, pero también por su especial complejidad. En este contexto, los objetivos del estudio han sido los siguientes:

- Dar una visión de largo plazo de qué supone el cumplimiento de los compromisos internacionales de reducción de emisiones de Guatemala al horizonte 2050 que sirva de referencia para definir la transición hacia un escenario de carbono neutralidad.
- Desarrollar el análisis de medio plazo que guíe la necesaria transición energética, con vista en el hito intermedio de 2030, con el fin de brindar una serie de recomendaciones de políticas energéticas para una descarbonización eficiente.

Este estudio ha contado con la participación voluntaria de diversos actores de reconocido prestigio y de perfiles diversos, con el objetivo de compartir y enriquecer los puntos de partida de éste, recoger su visión sobre las cuestiones más relevantes e identificar potenciales vías de avance hacia una Guatemala sin emisiones.

Buenos Aires, 17 de noviembre de 2022

Asunto: *Agradecimiento al Grupo Enel y equipo*

*El presente informe y los estudios que lo facilitaron han sido promovidos en gran medida por Grupo Enel y equipo de trabajo. Su colaboración y participación activa ha sido fundamental para la confección del informe respecto de la transición hacia la descarbonización sostenible del modelo energético de Guatemala.*

*Deloitte quiere agradecer de manera especial al Grupo Enel por haber promovido y sustentado materialmente la iniciativa; además de contribuir con expertise y el Know How de iniciativas similares desarrolladas en otros países. También nos acompañó en la presentación de los resultados a los stakeholders de Guatemala, favoreciendo la difusión dentro del sector, y generando una fuerte toma de conciencia.*

*Atentamente,*



Cristian Serricchio

Socio

# **Introducción por el Country Manager del Grupo Enel en Guatemala**



# Introducción por el Country Manager del Grupo Enel en Guatemala

Todos sabemos que una de la crisis considerada como uno de los grandes desafíos del Siglo XXI, y que permanece aún sin solución, es la del cambio climático. Nos encontramos en una época de grandes retos que se transforman en oportunidades para acelerar la transición hacia una sociedad más justa y respetuosa del planeta. Para lograrlo necesitamos centrar nuestros esfuerzos en buscar soluciones innovadoras, oportunas y eficaces para el planeta y la humanidad. Sin duda, los impactos del cambio climático nos exigen priorizar acciones en el corto y largo plazo para adaptarnos y evitar efectos mayores.

Motivados por contribuir en esta construcción colectiva, el Grupo Enel pone a disposición y en sus manos el estudio "Hoja de Ruta Transición Energética de Guatemala 2030-2050", realizado por la consultora internacional Deloitte con la participación inclusiva de diversas instituciones públicas, privadas, gremios, academia y expertos del país, como una propuesta técnica e inclusiva impulsada por Enel que busca acelerar la necesaria transición hacia la descarbonización sostenible del modelo energético en nuestro país, compartiendo y enriqueciendo los puntos de partida, recogiendo visiones sobre las cuestiones más relevantes e identificando potenciales vías de avance hacia un país sin emisiones.

Fomentamos esta iniciativa porque somos conscientes de que la transición energética no debe ser vista como un futuro posible, sino como nuestro presente y único futuro de cara a la reducción del impacto negativo que las personas e industrias tenemos en nuestro medio ambiente. Ese es el camino para seguir y asegurar que nuestros hijos y los hijos de nuestros hijos, reciban un mundo que les permita crecer y desarrollarse en todo su potencial.

Este estudio expedido en el año 2022 se realiza considerando la importancia que a nivel global tiene la lucha contra el cambio climático y el compromiso asumido por los países en la última COP26 de Glasgow. En ese sentido, aportamos este Estudio como contribución de otra perspectiva adicional en las reflexiones y debates nacionales que se realicen en torno al tema y en preparación para la participación del país a la COP27.

Esta propuesta abierta y colaborativa, en la que estuvieron involucrados más de sesenta actores claves, se llevó a cabo en tres talleres participativos, dos mesas de trabajo, logrando una convocatoria total superior a setenta participantes por taller y su valor más destacado está en la mirada integral de todos los aspectos necesarios para lograr un cambio sostenible y justo; entre ellos, la situación de la demanda energética presente y futura, la incorporación de tecnologías inteligentes y no convencionales, el desarrollo de la movilidad eléctrica, generación distribuida, hidrógeno verde, el análisis costo-beneficio para la economía del país y un análisis del impacto en el empleo que conllevará a la reconversión laboral y la creación de nuevas ofertas de trabajo.

Destacamos los esfuerzos del gobierno de Guatemala en impulsar políticas y planificación energética que han contribuido a tener una matriz energética diversificada y con gran presencia de energías renovables, así como las distintas iniciativas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, pero enfatizamos los retos que se mantienen y que podemos superar si todas las partes involucradas aportamos desde nuestros espacios.

Agradezco inmensamente a todas las personas que participaron en este Estudio, especialmente al Ingeniero Carlos García-Rosa, Orazul Energy Guatemala S.A y al Ingeniero José González Solé Presidente de la Asociación de Generadores de Energía Renovable AGER, como líderes de las mesas técnicas y a los panelistas que nos acompañaron a lo largo del ejercicio, cuya contribución es un impulso para seguir avanzando en la construcción del país que soñamos.

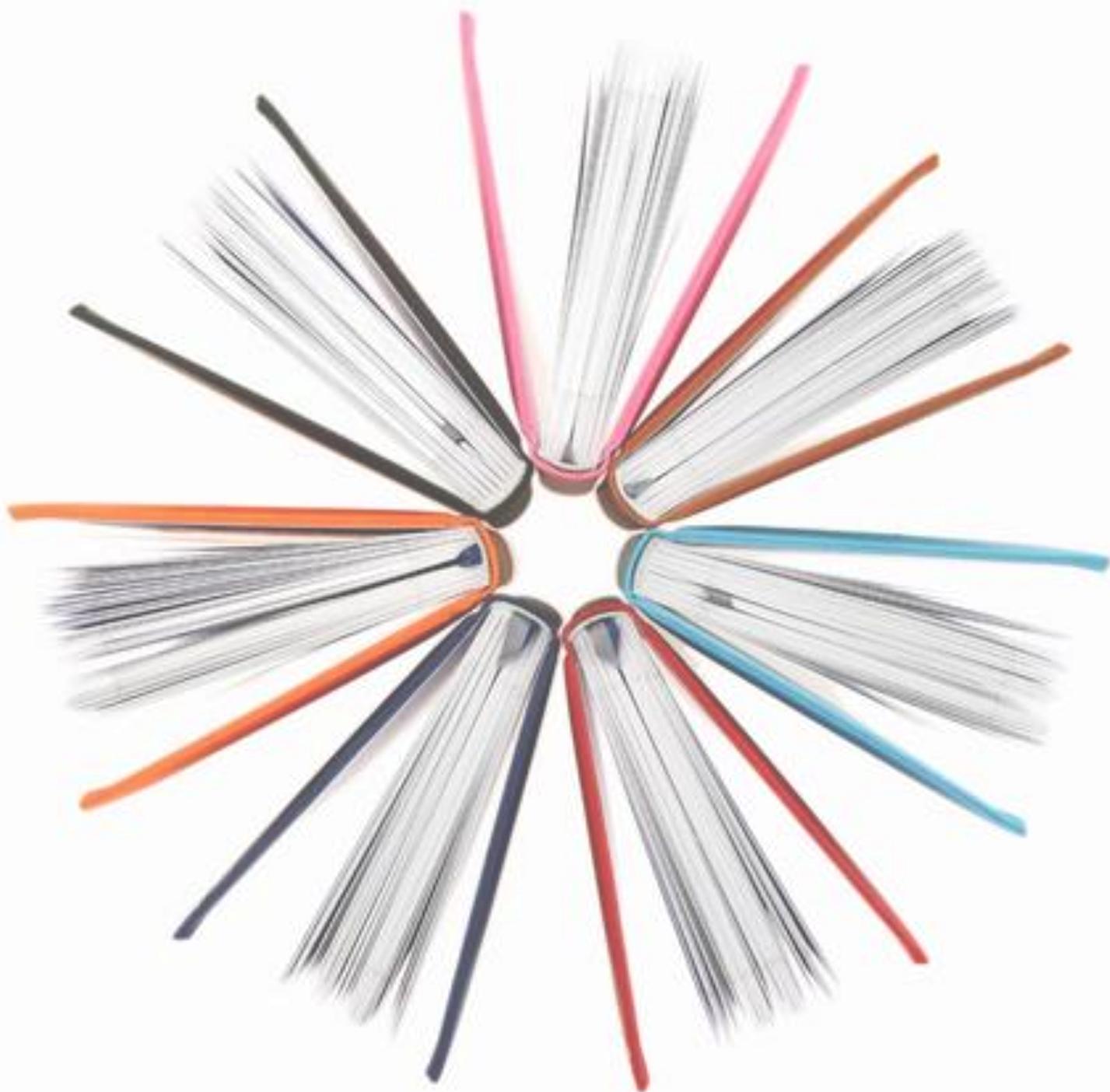
Este informe estará disponible en formato digital para que todos los interesados puedan descargarlo en el link: [https://linktr.ee/transicionenergetica\\_qua](https://linktr.ee/transicionenergetica_qua)

José Antonio Sánchez Boche  
Country Manager Guatemala

Lucio Rubio  
Head of Colombia & Central America

Maurizio Bezzeccheri  
Head of Latin American Region

# Acrónimos, siglas, abreviaciones y unidades de medida



# Acrónimos, siglas, abreviaciones y unidades de medida

**AFOLU:** Agriculture, Forestry and Other Land Use (Agricultura, ganadería y uso de los suelos)

**ARD:** Aguas Residuales Domésticas/Comerciales

**ARI:** Aguas Residuales Industriales

**CFL:** Fluorescentes compactas más eficientes

**CH<sub>4</sub>:** Metano

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de Carbono

**CONEE:** Consejo Nacional de Eficiencia Energética

**COP21:** Vigésima primera Conferencia de las Partes

**COP27:** Vigésimo séptima Conferencia de las Partes

**COVDM:** Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano

**CPLC:** Carbon Pricing (Precio del Carbono)

**CUSS:** Cambios en el Uso del Suelo y Silvicultura

**EMSES:** Empresas de servicios energéticos

**ERNC:** Energías renovables no convencionales.

**ESS:** Sistemas de almacenamiento o electricity storage system

**GCF:** Green Climate Fund (Fondo Verde para el Clima)

**GEF:** Global Environment Facility (Fondo para el Medio Ambiente Mundial)

**GEI:** Gases de efecto invernadero

**GLS:** General lighting service (servicio de iluminación general)

**GtCO<sub>2</sub>eq.:** Gigatonelada de dióxido de carbono equivalente

**BEN:** Balance Energético Nacional

**GW:** Gigawatt

**HFC:** Gases de hidrofurocarbono

**HL:** Lámparas halógenas

**HVAC:** Heating, ventilation, and air conditioning (calefacción, ventilación y aires acondicionados)

**(I+D+i):** Investigación, Desarrollo e Innovación

**I&D:** Investigación y desarrollo

**IGV:** Impuesto general a las ventas

**ILO:** International Labour Organization

**INGEI:** Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero

**IPCC:** Panel Intergubernamental del Cambio Climático

**IRENA:** Agencia Internacional de Energías Renovables

**LCOE:** Levelized cost of electricity (Costo Nivelado de la Energía)

**MtCO<sub>2</sub>:** Megatoneladas de dióxido de carbono equivalente

**TEP:** Tonelada equivalente de petróleo

**NDC:** Contribución determinada a nivel nacional

**NOx:** Óxidos de nitrógeno

**ODS:** Objetivo de Desarrollo Sostenible

**OLADE:** Organización Latinoamericana de Energía

**PFC:** Perfluorocarbonos

**PBI:** Producto bruto interno

**PPA:** Power purchase agreements (Contrato de suministro a largo plazo)

**PTAR:** Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

**RAC:** Residuos de cosecha

**REF:** Escenario business as usual o de referencia

**RSU:** Gas de rellenos sanitarios

**RSU:** Residuos Sólidos Urbanos

**SF<sub>6</sub>:** Hexafluoruro de azufre

**SICA:** Sistemas de secas intermitentes

**SIEPAC:** Sistema de Interconexión Eléctrica para Países de América Central

**SNI:** Sistema Nacional Interconectado de la República de Guatemala

**TWh:** Terawatt hora

**UEE:** Uso Eficiente de la Energía

**USCUSS:** Uso de Suelos, Cambios en el Uso del Suelo y Silvicultura

**USD:** dólares americanos

**VEB:** Vehículo Eléctrico a Batería



**Los contenidos, análisis, conclusiones y recomendaciones descritos en este informe no tienen por qué reflejar la opinión de cada uno de los expertos participantes. Se han manifestado visiones y opiniones diversas y, en algunas ocasiones, contrapuestas, que han servido para enriquecer y contrastar los aspectos fundamentales cubiertos en el estudio.**

# Resumen Ejecutivo



# Resumen Ejecutivo

## La lucha contra el cambio climático

**El Acuerdo de París, alcanzado en la XXI Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, incluyó como objetivo el compromiso de contener el incremento de la temperatura media de la tierra "muy por debajo de los 2°C" con respecto al nivel preindustrial, y esforzarse para limitarlo en 1.5°C, así como alcanzar la neutralidad de emisiones entre 2050 y 2100.**

Las partes alcanzaron un acuerdo para preparar, comunicar y mantener contribuciones nacionales en el futuro, poniendo en marcha medidas para la consecución del objetivo global planteado.

## El modelo energético de Guatemala al 2050

**El cambio en las formas de producción y consumo de energía entre hoy y 2050 es imprescindible para la reducción de emisiones.**

Guatemala emitió 31.06 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>) equivalentes en el año 2016, de las cuales 18.5 millones provinieron de usos energéticos y los 12.56 millones restantes correspondieron a otros usos no energéticos.

El proceso de construcción de escenarios para la evaluación del modelo energético sostenible para Guatemala en 2050 requirió, necesariamente, de la elaboración de la línea de base para contrastar los resultados y los impactos de las acciones y medidas de mitigación de cambio climático para el sistema en su conjunto.

A partir de esta premisa, se simuló el escenario tendencial o "Referencia" el cual mantiene el statu quo del año 2016 (en lo referente a la matriz productiva, energética y las emisiones) aunque considerando los avances tecnológicos y las tendencias de los mercados en cuanto a cambios en patrones de producción y consumo, bajo la suposición de que el crecimiento de la economía se mantiene constante un 2.67% (a partir del 2027, previendo un efecto Covid-19 en los años correspondientes) hasta el año 2050. Como resultado de la proyección se obtuvo que las emisiones de GEI totales alcanzarían un valor cercano a los 53.15 MtCO<sub>2</sub>eq. a 2030 y a 79.38 MtCO<sub>2</sub>eq. a 2050.

**Por su parte, el Escenario 1 representa un horizonte alternativo que permiten una reducción en términos de emisiones de gases de efecto invernadero del 41% y 100%, con respecto a la proyección realizada bajo el escenario de referencia a 2030 y 2050 respectivamente.**

En el **Escenario 1** se introducen políticas de mitigación y cambios en la matriz energética orientados a maximizar los beneficios de la descarbonización en un contexto de apoyo internacional. En este sentido, dada la multiplicidad de opciones de mitigación disponibles, y no menos importante, la interrelación entre las mismas, estas se dividieron en cuatro vectores de descarbonización que resultan necesarios para alcanzar metas más ambiciosas al año 2050. Estos son:

- **Cambiar a fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde:** Para que la sustitución de fuentes primarias tenga un efecto duradero, es necesario que la electricidad se produzca a través de fuentes de energía renovables.
- **Fomentar la eficiencia energética y electrificación de los usos finales:** Existe un gran potencial de reducir emisiones desacoplando el crecimiento económico del consumo de energía. Las oportunidades para reducir la intensidad energética en la producción de bienes, el potencial de ahorro de energía en el consumo residencial y sector servicios, así como la eficientización de procesos de transformación que incrementen la energía utilizada y minimicen los desperdicios. A su vez, se espera un cambio a fuentes primarias de energía con menores emisiones a través del reemplazo del carbón y del petróleo con altos niveles de emisión por combustibles bajos en emisión, como la electricidad, los biocombustibles, hidrógeno verde.

- **Desarrollo de infraestructura y digitalización:** La actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono. El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.
- **Incentivar modos de producción sustentable:** En la industria y especialmente en la ganadería y agricultura se requiere adoptar modos de producción sustentables, que permitan reducir el nivel de emisiones.

## Transición energética

**El camino a recorrer en la transición deberá contar con una cuidada planificación que garantice el logro de ambiciosos objetivos ambientales, de modo que el esfuerzo conjunto que haga toda la sociedad, así como el importante volumen de inversiones, se plasmen de forma eficaz.** En este sentido, el diseño y momento de las transformaciones deberán realizarse sin poner en riesgo la actividad económica ni la seguridad del suministro energético y al mismo tiempo optimizar los costos e inversiones.

Esta transición deberá avanzar sobre las cuatro grandes palancas mencionadas en el título anterior:

- *Cambiar a fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde*

**El piso inicial para establecer el diseño de la matriz eléctrica libre de emisiones a futuro debe centrarse en fomentar el uso de fuentes renovables de energía para la producción de energía eléctrica. De cara al 2050 se espera que haya una fuerte penetración de generación de fuentes renovables, considerando la reducción de costos de las tecnologías y más aún si se incluyera el costo social de la emisión de carbono.**

La OLADE destacó en su estudio "Panorama Energético de America Latina y el Caribe 2021" que Guatemala cuenta con una de las matrices más limpias de America Latina, puesto que más de un 52% proviene de fuentes de generación hidroeléctrica y aproximadamente un 23% de fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC).

La capacidad instalada libre de emisiones proyectada para el **Escenario 1** alcanza el 89%, logrando llevar el porcentaje de la generación en base a fuentes limpias al 79% en 2050.

**A su vez, la complementariedad que permite la generación hidroeléctrica y eólica, más la expectativa de incorporar la energía solar con el agregado de baterías posibilitó apuntar a una penetración agresiva de fuentes renovables no convencionales (eólicas y solares).** En el **Escenario 1** se instalan 3.21 GW de potencia eólica y 3.3 GW de potencia solar, llegando en 2050 a un total de 3.31 GW y 3.4 GW respectivamente.

**La mayor penetración de energía renovable variable requiere administrar la gestión de los picos de demanda, a través de la gestión activa de la demanda.** Utilizando generación hidroeléctrica, energía eólica, otras renovables (biomasa y geotérmico) como respaldo y aumentando la participación de tecnologías de almacenamiento, en particular las baterías.

- ✓ *Fomentar la eficiencia energética y electrificación de los usos finales*

**La evolución hacia una matriz energética más limpia en términos de emisiones involucra también la reducción de intensidad energética, que se logra a través de la mejora en eficiencia energética.** Todos los sectores de actividad a nivel nacional deberían estar alineados para disminuir el consumo energético del país y, por ende, las medidas correspondientes han de afectar a cada uno de estos.

**La regulación legislativa es una excelente herramienta para lograr impactos fuertes en materia de consumo energético.** 2019-2032 El plan nacional de eficiencia energética promueve una propuesta de ley de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) que permite asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía de Guatemala y reducir el impacto ambiental negativo del uso y del consumo de los energéticos. La misma declara de interés y prioridad nacional el uso

racional y eficiente de la energía a través de la adecuación de los sistemas de producción, transporte, transformación, distribución, comercialización y consumo de la energía.

**En lo que respecta a electrificación, para el año 2050 sería necesario alcanzar un nivel del 29% sobre el consumo total de energía final en el Escenario 1.**

- Electrificación de los sectores residencial, comercial y público

En el año 2016 (año base), el sector residencial, comercial y público, era responsable de la emisión de 1 MtCO<sub>2</sub>eq. (un 3.7% de las emisiones totales de Guatemala), explicado principalmente como consecuencia del consumo de energía para usos térmicos.

**Para reducir sus emisiones, el consumo eléctrico en este sector necesitaría aumentar hasta situarse en el 55% (Escenario 1) del consumo energético total**, como consecuencia de las políticas más agresivas en términos de electrificación y eficientización.

Para alcanzar esta penetración desde los valores actuales, el consumidor residencial y comercial, así como el Estado para sus edificios e instalaciones públicas, necesitarán invertir en nuevos equipos para usos térmicos, en estufas eléctricas y en artefactos con un mayor nivel de eficiencia que pudieran aparecer en el mercado en años venideros. La adopción de una fuente de energía u otra vendrá derivada de la competitividad en costos de las distintas soluciones tecnológicas disponibles y de la reglamentación aplicable incluida la que incentive unas menores emisiones en estos consumos.

- Electrificación del sector agricultura

**En los próximos 10 años se espera que se produzca una revolución tecnológica en la maquinaria agrícola a nivel global que provoque cambios de paradigmas productivos, comparables a los que produjo la irrupción del tractor diésel en las décadas del 50/60 del siglo pasado.** Por ello, el desarrollo de "robots" y/o maquinarias que utilizan baterías de recarga eléctrica o solar (ya disponibles en algunos países de Europa) se incorporan en la construcción del Escenario 1. Contemplando la irrupción de este tipo de tecnologías de forma paulatina para el período 2016-2050.

Se espera que la electrificación de maquinarias agrícolas genere una reducción del 9% (en el Escenario 1) en el consumo energético respecto del escenario REF al 2050.

- Sustitución de combustibles en el sector industrial

**La implementación de medidas que tiendan a mejorar la eficiencia energética en la industria permitiría reducir costos sustanciales a las empresas, logrando una optimización del uso de la energía y al mismo tiempo contribuyendo a la lucha contra el cambio climático.** El recambio tecnológico a equipos más eficientes también permitiría lograr avances significativos en materia de intensidad energética y emisiones.

**La implementación de dichas medidas permitirá lograr una reducción de las emisiones totales (por eficientización de consumo energético y procesos) del 71% para el Escenario 1 al 2050.**

**El hidrógeno verde puede utilizarse como sustituto del carbón, el petróleo y el gas en una gran variedad de aplicaciones.** En nuestro modelo, a modo de sensibilización, hemos incluido el uso del hidrógeno verde a largo plazo (período 2030-2050), principalmente en la industria química y manufacturera, y, en menor medida, en la industria ligada a la minería. Si bien la introducción del hidrógeno verde genera un impacto ambiental positivo, hemos observado que se generaría también un aumento en el consumo energético.

- Sector transporte

**Las emisiones de GEI del sector transporte crecen, a nivel internacional, a la mayor tasa desde 1970.<sup>1</sup> Entre las razones se destaca el incremento de la motorización a medida que crece el PBI per cápita.** Para mitigar las emisiones potenciales del sector, cuatro líneas de acción son identificadas. En primer lugar, políticas tendientes a reducir la intensidad energética de los vehículos, y en conjunto con estas, medidas que tiendan a restringir la intensidad de carbón por combustible. Una mayor eficiencia, de todas maneras, será insuficiente, por lo que se requiere avanzar a modos de movilización libres de emisiones, como son los vehículos eléctricos y el cambio modal al tren, especialmente para el transporte de carga. Por último, existen oportunidades

<sup>1</sup> Fuente: IPCC - [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter8.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf)

importantes para incrementar el uso del transporte público, o modificar conductas que promuevan el uso de la bicicleta, compartir el uso del vehículo o disminuir la necesidad de movilizarse, como puede ser el trabajo remoto.

**El desarrollo del Vehículo Eléctrico a Batería (VEB) es la apuesta más importante para descarbonizar el sector transporte.** En el **Escenario 1** se proyecta una penetración de la movilidad eléctrica del 29% para 2030 y 95% para 2050 del total del parque de vehículos privados a partir de su abaratamiento relativo.

En lo que respecta al sector de transporte de cargas, las medidas apuntan a promover la participación de los camiones eléctricos para el transporte de carga liviana y reducir el uso del diésel como combustible. Es por ello, que en el **Escenario 1** se logra llegar a una tasa de penetración de mercado del 50%.

Existen oportunidades importantes para incrementar el uso del transporte público, o modificar conductas que promuevan el uso de la bicicleta, compartir el uso del vehículo o disminuir la necesidad de movilizarse, como puede ser el trabajo remoto. Se estima entonces para el 2050 una electrificación del 96% de los buses, en el **Escenario 1**.

✓ *Desarrollo de la infraestructura y la digitalización*

**La red de transmisión de Guatemala se encuentra en desarrollo a través de un proyecto a plazo de cuatro años para expandir la Red de Transmisión Eléctrica. El proyecto fue anunciado en septiembre 2020 por el ministro de Energía y Minas. El objetivo es fortalecerá industrialización en la zona sur del país, permitiendo la conexión con regiones que en general solo están conectadas por una sola línea al sistema.** El proyecto la construcción de dos Subestaciones, entre ambas se construirá una línea de 400 mil voltios que abarcará la parte sur de Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla y San Marcos.

**La actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono.** El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.

**Para lograr los objetivos de electrificación a 2050, es necesario un esfuerzo adicional ya que se requerirá expandir en un total de entre 3,860 km y 5,990 km de líneas de transporte eléctrico, que permitirán despachar entre 31 y 62 TWh de potencia adicional para la descarbonización de Guatemala.**

**Las nuevas infraestructuras de red en transporte y distribución son claves para impulsar el crecimiento de las energías renovables.** En el horizonte 2030, se requerirán nuevas inversiones en las redes eléctricas tanto para permitir el acceso a sitios de alto potencial renovable, y para perseguir una red más interconectada que permita aumentar la confiabilidad del sistema.

**Una red eléctrica moderna traerá diversos beneficios para la población y la economía del país.** La digitalización de la red permitirá a los clientes de servicios públicos administrar y reducir mejor los costos de electricidad, cortes de energía más cortos y menos frecuentes, mejoras en las condiciones de trabajo y seguridad pública. Al mismo tiempo, reforzará el sistema eléctrico, aumentando así la confiabilidad y la capacidad de recuperación del servicio incluso en el caso de condiciones climáticas severas.

**El despliegue masivo de medidores inteligentes proporcionará un retorno positivo tanto para el sistema como para los clientes.** Los beneficios incluyen la eficiencia energética y la oportunidad para que los usuarios gestionen su demanda de manera activa y cambien los hábitos y renueven la tecnología, lo que brinda una mejor eficiencia.

✓ *Incentivar modos de producción sustentable (sector no energético)*

**El sector no energético tiene una participación del 40% (12.56 MtCO<sub>2</sub>eq.) sobre el total de emisiones en el año base. Explicado principalmente por los sectores ganadería y uso de los suelos (AFOLU).**

Dentro del sector ganadería las medidas de mitigación tienen que ver con la optimización en el manejo de ganado a partir de mejoras en la calidad de los alimentos y suplementos dietarios, y campañas de vacunación para el ganado con el objetivo de la reducción de emisiones de gas metano, así como la introducción de prácticas de pastoreo rotativo que permitan una óptima regeneración de pastizales (los cuales funcionan como sumideros de carbono).

Por su parte, para el sector uso de los suelos, las medidas están asociadas con la reducción de la tasa de forestación conforme pasan los años, el proceso de reforestación y agroforestería, la mejora en los pastizales e implementación de mejores prácticas en los usos de las tierras para el cultivo.

En los sectores de desechos y procesos industriales las medidas de mitigación impuestas promueven la generación de energía eléctrica a partir de residuos y mejora en el tratamiento de las aguas residuales, un cambio de conducta hacia la reutilización, la reducción y el reciclaje, y la incorporación de tecnología de captura de carbono para ciertos procesos industriales.

En conjunto con lo arribado las medidas contempladas para la elaboración del **Escenario 1**, permite proyectar una reducción del 115% en términos de emisiones de gases de efecto invernadero con respecto al escenario REF al 2050.

## Impactos Económicos de la Descarbonización

A fin de alcanzar la carbono-neutralidad al 2050 se necesitará una inversión total de USD 31 mil millones abarcando todos los sectores económicos, especialmente en la transformación de la matriz eléctrica, sector transporte e incluyendo los cambios modales. De esta inversión total, el 21% podrían financiarse mediante mecanismos de Carbon Pricing, con lo cual, las inversiones netas pasarían a ser de un total de USD 24.4 mil millones.

Esta transición permitirá un incremento neto del PBI en un 1.8%, al que, si le incorporamos la estimación de daños climáticos evitados, puede alcanzar el 3% al 2050.

Por su parte, la hoja de ruta de transición energética contempla lo establecido en el Acuerdo de París en materia de reconocimiento de la necesidad de una transición justa, la cual apunta a aumentar la prosperidad y puede ser un motor clave en la creación de empleo. Implica tanto al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°8 de la ONU que busca promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo el trabajo decente para todos, como al ODS N°13 centrado en adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

El estudio arroja que, mediante la implementación de mejores prácticas impuestas a nivel global, se podrían crear 631,058 puestos de trabajo netos al 2050.

## Recomendaciones

**Tanto en la administración pública, como en el sector privado de Guatemala, se necesitan emprender acciones decididas para liderar el cambio de modelo energético.** La lucha contra el cambio climático requiere cambiar patrones y modos de consumo, utilizar masivamente energías renovables y hacer enormes esfuerzos en eficiencia energética. Todo ello requiere movilizar a los distintos actores para facilitar las necesarias inversiones en generación, en infraestructuras, en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), en nuevas formas de edificación, y en los usos finales de la energía. Este cambio requerirá la implicación y concientización de la sociedad en su conjunto.

**Para ello, se vuelve necesario que se instrumenten una serie de políticas que incentiven los cambios estructurales y establezcan nuevos marcos legales y regulatorios.** Una intensa coordinación de la planificación y ejecución de acciones entre las diferentes instituciones públicas será esencial para la toma racional y eficiente de decisiones por parte de las empresas y los consumidores finales.

Para poder realizar una transición paulatina y competitiva, pero que debe ser decidida y con un compromiso de cambiar las estructuras de nuestro modelo energético, se propone un conjunto de recomendaciones para el desarrollo de una política de descarbonización que dé la necesaria importancia a la seguridad y competitividad del modelo energético.

“Se propone determinar objetivos vinculantes de descarbonización de cara a 2030 y a 2050”

- **Recomendaciones para la generación eléctrica a partir de una matriz verde**

*Recomendación 1: Acelerar la Transición Energética a una matriz de generación eléctrica libre de emisiones.*

*Recomendación 2: Impulsar el desarrollo de técnicas de almacenamiento de energía como soporte del desarrollo de las energías renovables, la mejora de la calidad de servicio y reducción de costos.*

*Recomendación 3: Impulsar técnicas de Gestión de Demanda (Respuesta de Demanda o Demand Response) y otros programas relacionados actualizando los valores de remuneración de estos servicios.*

*Recomendación 4: Propender a la integración energética con los países limítrofes.*

*Recomendación 5: Desarrollar una regulación que incentive las inversiones necesarias en las redes.*

*Recomendación 6: Potenciar los beneficios de la energía distribuida logrando la instrumentación completa de los beneficios de la ley de promoción de la energía distribuida, la adhesión de todas las regiones y una normalización de los precios de energía.*

*Recomendación 7: Acelerar la implementación de medidores inteligentes acompañado de un plan de comunicación por parte del gobierno sobre los beneficios de la tecnología.*

*Recomendación 8: Digitalizar la matriz de potencia eléctrica reconociendo el rol que cumple en la transición energética.*

*Recomendación 9: Promover la estructura tarifaria con el objetivo de representar precios adecuados para impulsar una respuesta activa por parte de la demanda.*

*Recomendación 10: Buscar la integración entre distribuidores y transportadores de energía para optimizar el manejo de la matriz.*

*Recomendación 11: Establecer a la Eficiencia Energética como política de Estado, para lo cual se promueve la sanción de una Ley de Eficiencia Energética integral.*

*Recomendación 12: Satisfacer la creciente demanda de energía, abordando el cambio climático y los impactos sociales y de género.*

- **Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en los sectores residencial, comercial y de servicios públicos**

*Recomendación 13: Promover la reducción de emisiones de los sectores residencial y comercial.*

*Recomendación 14: Promover la reducción de emisiones del sector público.*

- **Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en el sector transporte**

*Recomendación 15: Fomentar la movilidad sostenible en el transporte ligero.*

- **Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en el sector agricultura**

*Recomendación 16: Promover la reducción de emisiones del sector agricultura.*

- **Recomendaciones sobre sectores no energéticos**

*Recomendación 17: Promover la reducción de emisiones de los sectores ganadería, silvicultura, y en lo que respecta a otros usos de los suelos.*

*Recomendación 18: Promover la reducción de emisiones del sector residuos y promover la economía circular en todos los sectores como acelerador transversal.*

- **Recomendaciones sobre instrumentos económicos y políticas de Carbon Pricing**

*Recomendación 19: Introducir una regulación específica para desarrollar una señal de precio efectiva del coste de las emisiones.*

- **Introducción del hidrógeno verde como vector de descarbonización de los segmentos denominados "difíciles de descarbonizar"**

*Recomendación 20: Avanzar en la promoción del desarrollo de hidrógeno verde para acelerar la transición energética.*

# La lucha contra el cambio climático



# 1. La lucha contra el cambio climático

## 1.1. La reducción de emisiones es un reto global

### Análisis del contexto

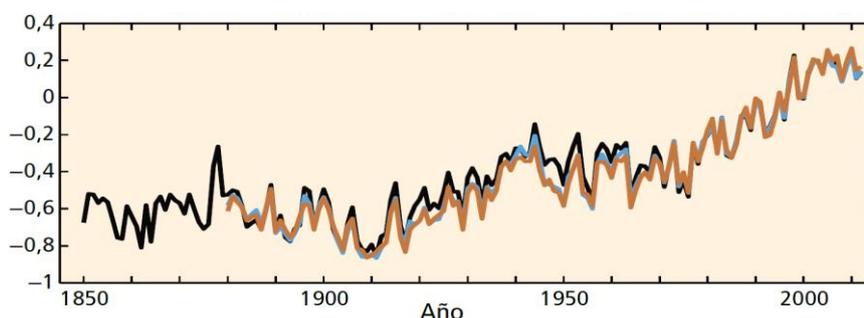
En el 2015 y en anticipación a las negociaciones multilaterales que se iban a desarrollar, el Panel Intergubernamental en Cambio Climático afirmaba que la influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son las más altas de la historia.<sup>2</sup> Las concentraciones en la atmósfera de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) no tienen precedente, siendo la causa dominante del aceleramiento del calentamiento global desde 1950.

Las consecuencias de esta conclusión son variadas: además del calentamiento de la atmósfera y el océano, disminuyeron los volúmenes de nieve y hielo, se elevó el nivel del mar, y se incrementaron y generalizaron las olas de calor extremo y el número de precipitaciones intensas, aumentando el número de sequías, inundaciones, ciclones, e incendios forestales. La sucesión de fenómenos climáticos extremos demuestra la vulnerabilidad humana a las consecuencias del cambio climático. En ausencia de una acción global y urgente, los efectos futuros tendrán impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas a nivel global, siendo necesario reducir de forma sustancial las emisiones de GEI para limitar el daño del cambio climático.

“Por encima del calentamiento de 2°C, existe un alto riesgo de cambios climáticos irreversibles”

**Reducir las emisiones solo es posible si existe un cambio de los patrones de consumo de energía, así como de las técnicas de producción en general, y específicamente, de forma sustentable cuando involucre el uso del suelo.** Esto implica reducir la utilización de combustibles fósiles como el carbón, los derivados del petróleo y el gas natural - las principales fuentes de energía actuales- al resultar ser el primer causante de las emisiones de GEI. Cambiar los modos de producción y consumo de energía es el primer paso. También se debe trabajar sobre las emisiones de ciertos procesos industriales como la producción de cemento o la emisión de metano en la cadena de valor del gas natural, y procesos naturales asociados a la silvicultura y los otros usos del suelo.

**Figura 1: Anomalía del promedio global de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas, combinadas (°C)**



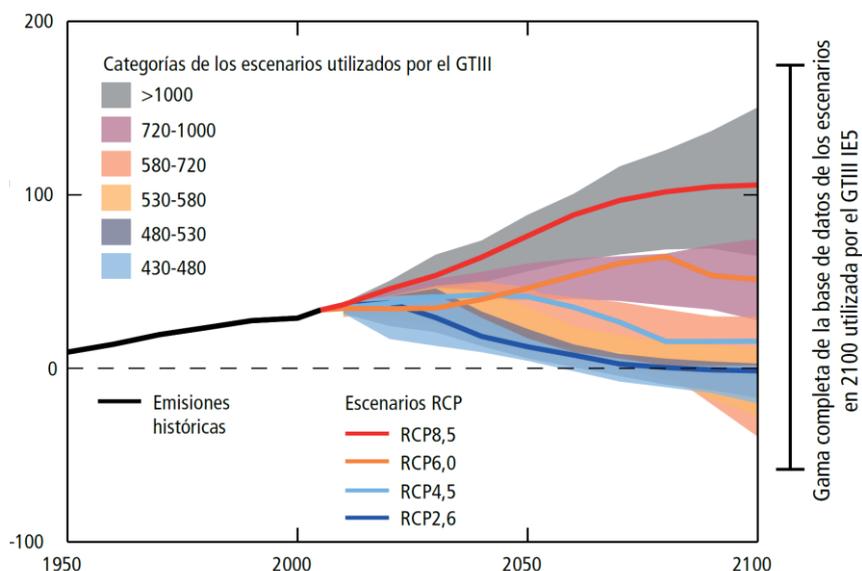
Fuente: IPCC, 2016: *Cambio climático 2016: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

**Los efectos del cambio climático dependen de las emisiones acumuladas de GEI.** La comunidad científica estima que el límite de emisiones acumuladas en la atmósfera a partir del cual existe un elevado riesgo de

<sup>2</sup> Ver Figura 2

cambios climáticos irreversible es de 3 GtCO<sub>2</sub><sup>3</sup> equivalente, habiéndose emitido aproximadamente dos terceras partes de este límite. Este valor es compatible con un calentamiento global por debajo de los 2°C sobre las temperaturas preindustriales. Solo si se recortan drásticamente las emisiones de GEI durante los próximos decenios, a valores inferiores a 530 GtCO<sub>2</sub><sup>4</sup> equivalentes anuales, se pueden reducir notablemente los riesgos que entraña el cambio climático al limitarse el calentamiento en la segunda mitad del siglo XXI.

**Figura 2: Emisiones antropogénicas de CO2 anuales (GtCO2/año)**



Fuente: IPCC, 2016: *Cambio climático 2016: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

### En busca de un objetivo más ambicioso

**Para informar a los gobiernos, la reunión de París invitó al IPCC a proporcionar un Informe Especial sobre 1.5°C en 2018 para evaluar las implicaciones de la meta y cómo podría lograrse.**

El Informe Especial sobre 1.5°C evalúa tres temas principales:

- Lo que se requeriría para limitar el calentamiento a 1.5°C (vías de mitigación).
- Los impactos de 1.5°C de calentamiento, comparado con 2°C y más.
- Fortalecimiento de la respuesta global al cambio climático; Opciones de mitigación y adaptación.

Tal como se mencionó anteriormente, a través de sus "Contribuciones Determinadas a nivel Nacional" (NDC, por sus siglas en inglés), cada país presenta sus esfuerzos para reducir las emisiones y mitigar los impactos del cambio climático. Los científicos a menudo usan el término "promesas actuales" cuando se refieren a la reducción de emisiones en los primeros NDC.

En relación con el punto anterior, **el informe del IPCC evalúa las vías de desarrollo y las vías de emisión de gases de efecto invernadero consistentes con 1.5°C en comparación con 2°C, lo que ayuda a los formuladores de políticas a determinar si las promesas actuales son consistentes con el objetivo de temperatura y se espera que proporcionen conocimiento científico relevante para la preparación de sucesivos NDC.**

<sup>3</sup> IPCC, 2016: Cambio climático 2016: Informe de síntesis

<sup>4</sup> Ver Figura 2

Para lograr este objetivo, el Acuerdo de París proporciona un marco internacional sin precedentes para la acción climática al vincular esferas políticas, económicas, financieras y sociales. De esta manera, se define una nueva dinámica basada en:

- *Gobernanza multilateral*, que evalúa el progreso y monitorea el logro de la meta a largo plazo a través de un sistema sólido de transparencia y responsabilidad de los Estados.
- *Contribuciones Nacionales Determinadas* (NDC, por sus siglas en inglés) de los estados que especifican sus objetivos climáticos
- *La acción climática* de actores públicos y privados no estatales.

Finalmente, el Acuerdo proporciona un mecanismo clave: evaluaciones del progreso cada cinco años para garantizar que los países que han ratificado el Acuerdo conviertan su compromiso en acción.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2022, más comúnmente conocida como COP27, fue la 27ª conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, desarrollada del 6 al 18 de noviembre de 2022 en Sharm El Sheikh, Egipto.

La COP27 ha sido una oportunidad para intercambiar ideas y visiones y trabajar arduamente para llegar a decisiones justas, equilibradas e integrales para acelerar la adopción de medidas reales. Acelerar el ritmo de la transición energética de aquí a 2030 y negociar un acuerdo de reparaciones para los países en vías de desarrollo son los grandes desafíos que se pondrán a consideración en la conferencia.

Para garantizar el éxito, se busca que todos los países se comprometan a alcanzar las emisiones netas cero lo antes posible, y a realizar nuevos recortes significativos para 2030, aprovechando la innovación y el compromiso de todos -ciudadanos, inversores, empresas, países, ciudades y regiones-<sup>5</sup>.

### El papel central del financiamiento en el Acuerdo de París

**El financiamiento ha sido esencial con miras a lograr el consenso necesario para poder adoptar el Acuerdo de París, pues los países en desarrollo han entendido que es preciso asegurar la provisión de recursos financieros que estén en línea con sus necesidades, lo que constituye la contraparte imprescindible de los esfuerzos –en particular de mitigación– que deban realizar.** Además, la inclusión de una meta referida al financiamiento echa luz sobre la significación que el financiamiento climático adquiere en cuanto a la viabilidad política del Acuerdo, y la importancia crucial que habrá de tener en su efectiva implementación. **Más aún, el Acuerdo reconoce formalmente la importancia del financiamiento en la implementación de las acciones de mitigación y adaptación.**

En materia de financiamiento climático, el Acuerdo encuadra explícitamente las obligaciones de los países en materia climática e incluye para eso tres elementos clave:

- Aspecto institucional: el Fondo Verde para el Clima (GCF, por sus siglas en inglés) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), entidades encargadas del funcionamiento del Mecanismo Financiero de la Convención, servirán también como mecanismo financiero del Acuerdo. Estas instituciones tendrán entonces la responsabilidad de asignar los recursos financieros incrementales que se canalicen para el financiamiento climático a partir de la entrada en vigor del Acuerdo.
- Financiamiento público: el financiamiento público tiene un rol crítico, en especial en las acciones destinadas a la mejora de la resiliencia y la adaptación, y también en tanto permite apalancar y movilizar recursos de otras fuentes, en particular fondos del sector privado. Por tanto, es importante que el Acuerdo haya dejado establecido que en el suministro de un mayor nivel de recursos financieros se debería buscar un equilibrio entre la adaptación y la mitigación, y que las Partes que son países desarrollados deberán comunicar bianualmente los niveles proyectados de recursos financieros públicos que se suministrarán a las Partes que son países en desarrollo, cuando se conozcan, asegurando, de esta manera, una mayor predictibilidad de los recursos financieros que se hagan disponibles.
- Metas colectivas de financiamiento: en las decisiones se emite una señal muy fuerte en esta materia, pues allí se indica la necesidad de expandir el apoyo financiero para asegurar la transición hacia

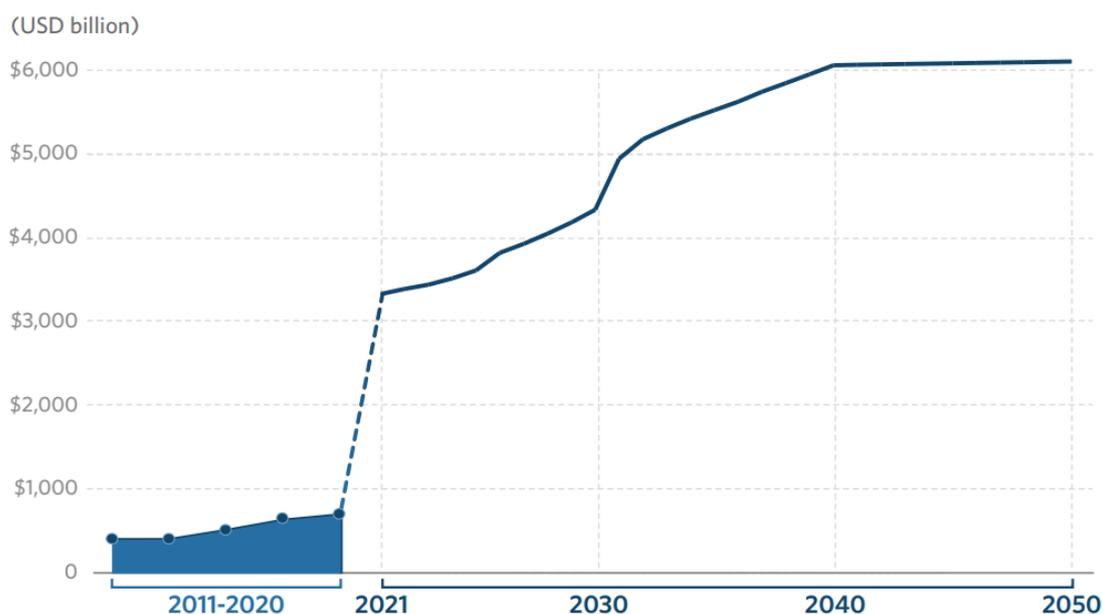
<sup>5</sup>COP26: <https://ukcop26.org/uk-presidency/the-road-to-cop26/>

economías bajas en carbono y resilientes al clima. Además, la Conferencia de las Partes podrá establecer en el futuro metas de contribuciones financieras para las Partes, en particular para los países desarrollados, una atribución a la que estos en general se habían opuesto.

### **Perspectiva actual en materia de financiamiento**

A nivel global, el financiamiento climático total ha aumentado constantemente durante la última década, alcanzando los 632,000 millones de dólares en 2019/2020, pero los flujos se han ralentizado en los últimos años. Esta es una tendencia preocupante dado que, para alcanzar las metas de corto/mediano plazo (2030), se requiere un incremento de al menos el 590% en financiamiento climático anual, mientras que para las metas de largo plazo (2050) que refieren al cumplimiento del objetivo de carbono-neutralidad, la brecha entre el financiamiento anual actual y requerido se amplía al 850%.

**Figura 3: Brechas de financiamiento climático<sup>6</sup>**



### **Acuerdo de París: compromiso asumido por los países**

**Las conclusiones de la comunidad científica fueron el fundamento principal para que, en 2015, 196 países firmaran el Acuerdo de París<sup>7</sup> en la Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.** Estos asumieron el compromiso de coordinar los esfuerzos para traducir en acción las recomendaciones científicas de limitar las emisiones, conteniendo el incremento de la temperatura de la tierra “muy por debajo de los 2°C” con respecto al nivel preindustrial, y esforzarse para limitarlo en 1.5°C, así como alcanzar la neutralidad de emisiones entre 2050 y 2100.

<sup>6</sup> <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2021/10/Full-report-Global-Landscape-of-Climate-Finance-2021.pdf>

<sup>7</sup> [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)

Pese a que no es jurídicamente vinculante, las partes alcanzaron un acuerdo para preparar, comunicar y mantener contribuciones nacionales en el futuro, poniendo en marcha medidas para la consecución del objetivo global planteado. Estas contribuciones previstas y determinadas a nivel nacional deben ser revisadas con objetivos más ambiciosos cada cinco años, independientemente de sus respectivos plazos de aplicación. A su vez, de acuerdo con el artículo 4, párrafo 19, se invita a los países parte a formular y comunicar para ese año una estrategia de desarrollo a largo plazo con bajos niveles de emisiones de GEI. Esta invitación responde a que las comunicaciones previstas y determinadas a nivel nacional son insuficientes para cumplir el objetivo del acuerdo, como lo muestra el último informe de brecha de emisiones a 2019<sup>8</sup> emitido por las Naciones Unidas.

“Compromiso para contener el incremento de la temperatura de la tierra “muy por debajo” de los 2°C con respecto al nivel preindustrial”

Existe una brecha de 12 GtCO<sub>2</sub>eq. entre los niveles de emisión bajo la aplicación de las NDC condicionales y los coherentes con las vías de menor coste para alcanzar el objetivo de 2°C en 2030. Si sólo se aplican las NDC incondicionales la diferencia aumenta a 15 GtCO<sub>2</sub>eq. La brecha para alcanzar el objetivo de 1.5°C es de 29 GtCO<sub>2</sub>eq. y 32 GtCO<sub>2</sub>eq. respectivamente. La conclusión es que para cerrar la brecha a 2030 y alcanzar los objetivos a largo plazo de los países se requiere acelerar las acciones de corto plazo y ser más ambiciosos en los objetivos a largo plazo de los países.<sup>9</sup>

**Uno de los principales beneficios de adoptar una economía verde es su potencial para aliviar el impacto ambiental causado por la contaminación; un beneficio de alcance global y local.** A escala mundial, puede contribuir a la lucha contra el calentamiento global, la desertificación y la pérdida de biodiversidad. A nivel local y regional, la transición a una economía verde puede conducir a mejoras significativas en la calidad del aire, el agua y el suelo.

**Además de los aspectos ambientales ya mencionados, una economía verde también tiene un gran potencial para conducir al crecimiento económico.** En dicha transición, se crean nuevos mercados en áreas como la de los biocombustibles y las fuentes de energía renovables. Y los nuevos mercados traen ventajas internacionales con el potencial de ser financiadas completamente a través de las exportaciones, o un aumento en la actividad comercial nacional alimentada por regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

Los países emergentes en particular pueden beneficiarse de un cambio hacia una economía verde, ya que puede brindar la oportunidad de crear más ventajas económicas y sociales. Por ejemplo, al invertir en fuentes de energía alternativas, se puede mejorar el acceso a los servicios de energía y la infraestructura puede ser más eficiente. Esto también puede conducir a la disminución de la importación de energía y potencialmente a ahorrar dinero. También puede mejorar la eficiencia de los recursos ya que la producción agrícola se hará más limpia y, como consecuencia de nuevas técnicas agrícolas sostenibles, se mejorará la seguridad alimentaria. Además, las nuevas tecnologías que surgen como resultado de una economía verde ayudarán a proteger y mejorar la producción agrícola.

**Invertir en una economía verde y en fuentes de energía renovables no solo conducirá a la creación de nuevos empleos<sup>10</sup> sino también a beneficios en materia de población y salud ambiental, al tiempo que mejorará la seguridad energética a largo plazo.**

## 1.2. Emisiones de GEI en Guatemala en 2016

Guatemala ha desarrollado cinco inventarios nacionales de GEI para los años 1990, 1994, 2000, 2005 y 2016. Estos inventarios se realizaron en conformidad con las Directrices del IPCC, la elaboración del INGEI 2016 ha implicado la actualización de las estimaciones previas de los años 1990, 1994, 2000 y 2005, de tal modo que las mejoras metodológicas son aplicadas a toda la serie temporal haciendo que los resultados anuales sean comparables entre sí.

<sup>8</sup> <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019>

<sup>9</sup> <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<sup>10</sup> Fuente: International Labor Organization (ILO) – “World Employment and Social Outlook 2018: Greening with jobs”

El último inventario de emisiones de GEI realizado en Guatemala se estimó de acuerdo con las Directrices del IPCC de 2005 para el año 2016 y arrojó un resultado total de 31.06 MtCO<sub>2</sub>eq., las cuales están compuestas en un 67.2% por emisiones de CO<sub>2</sub>, 20.4% de CH<sub>4</sub>, 11.1% de N<sub>2</sub>O y 1.28% de HFC. No se han estimado las emisiones de PFC, SF<sub>6</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, COVDM ni SO<sub>x</sub> debido a la falta de información.

Al analizar las emisiones según el sector, se observa que los sectores energía, agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de los suelos constituyen casi el 94% de las emisiones de GEI totales. Las emisiones derivadas de los usos energéticos aportaron el 74% del total, concentrándose principalmente en el consumo de combustibles utilizados en el transporte, en las industrias y en los hogares, en ese orden. La agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de los suelos (AFOLU por sus siglas en inglés) alcanzaron el 20% de las emisiones totales, siendo las emisiones derivadas de la fermentación entérica del ganado la principal causa de las emisiones de esta categoría, seguida de las emisiones indirectas generadas por la gestión de los distintos usos del suelo, los pastizales y las tierras cultivadas. A su vez, las emisiones derivadas de la generación de residuos contribuyeron en un 4% a las emisiones totales. Por último, el 2% restante se compone de las emisiones que surgen de los propios procesos productivos de la industria y los materiales que ésta utiliza, más la gestión de los residuos.

Figura 4: Inventario de emisiones GEI distribuidas por sector año 2016 (% MtCO<sub>2</sub>eq.)

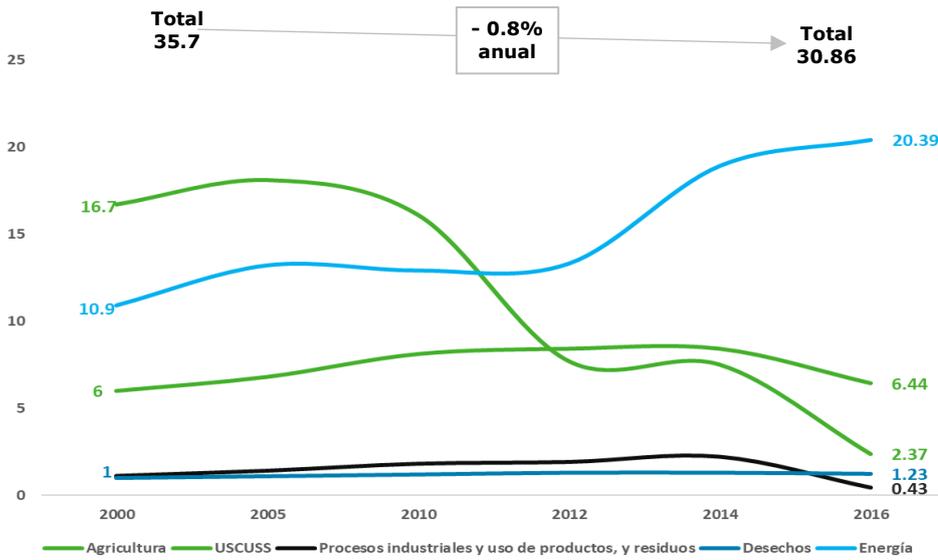


Fuente: análisis Deloitte en base a INGEI 2016 Guatemala

El comportamiento histórico de las emisiones desde el año 2000 muestra una leve tendencia decreciente en el tiempo, con una reducción de 5.16 MtCO<sub>2</sub>eq. entre puntas, con un incremento sostenido de las emisiones provenientes del sector energético y residuos, y un ascenso del sector USCUS hasta 2010 que luego se retrotrae y cae hacia 2016<sup>11</sup>. En total, las emisiones decrecieron a una tasa anual del 0.8%, pero las que más contribuyeron a esta disminución fueron las correspondientes al sector USCUS que lo decrecieron a una tasa anual del 5.36%. En contraste con energía que creció en 5.44%.

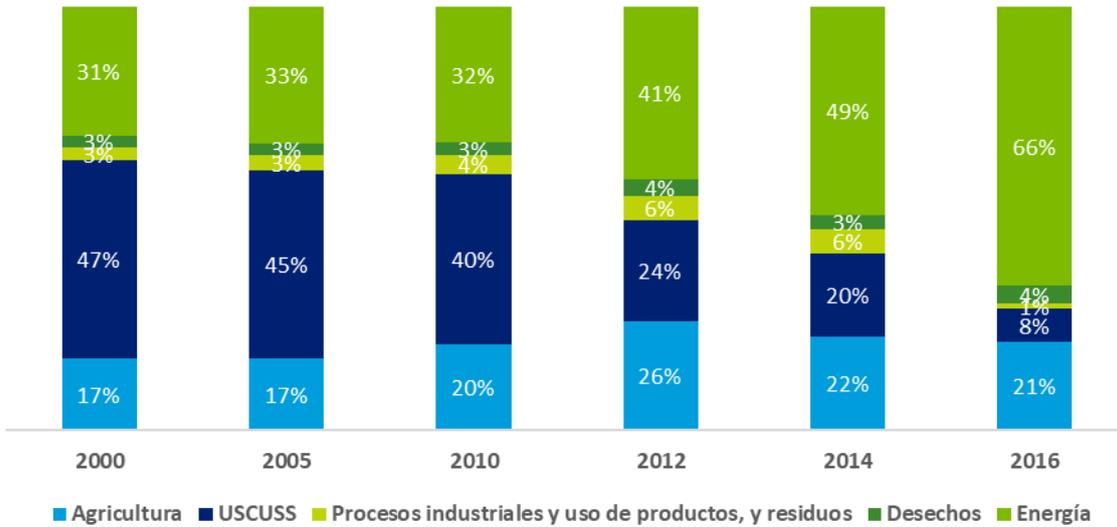
<sup>11</sup> Ver Figura 5

**Figura 5: Evolución de emisiones GEI por sector - años 2000-2016 (% , MtCO2eq.)**



Fuente: análisis Deloitte

**Figura 6: Evolución de emisiones GEI por sector - años 2000-2016 (% , MtCO2eq.)**



Fuente: análisis Deloitte

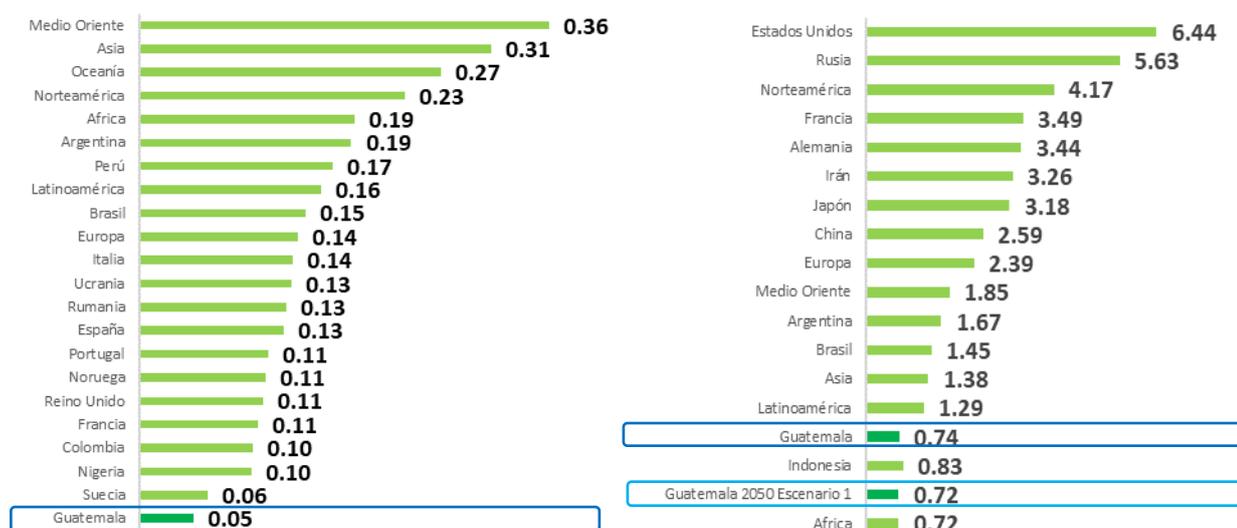
**A través de un benchmark de la intensidad energética de Guatemala con relación a otros países, se observa que la intensidad energética de Guatemala medida en términos per cápita es de las menores a nivel global<sup>12</sup>. Ello se ve reflejado en el indicador "TEP/cápita" para el año 2021, que alcanza los 0.74 TEP por habitante en Guatemala. Se observa, además con respecto a las emisiones necesarias para producir una unidad de PBI, Guatemala se encuentra un 7% por debajo del promedio de Latinoamérica, aún por debajo del promedio global.**

<sup>12</sup> Ver Figura 7

**Figura 7: Indicadores de intensidad energética - año 2021**

(kCO2/USD PBI)

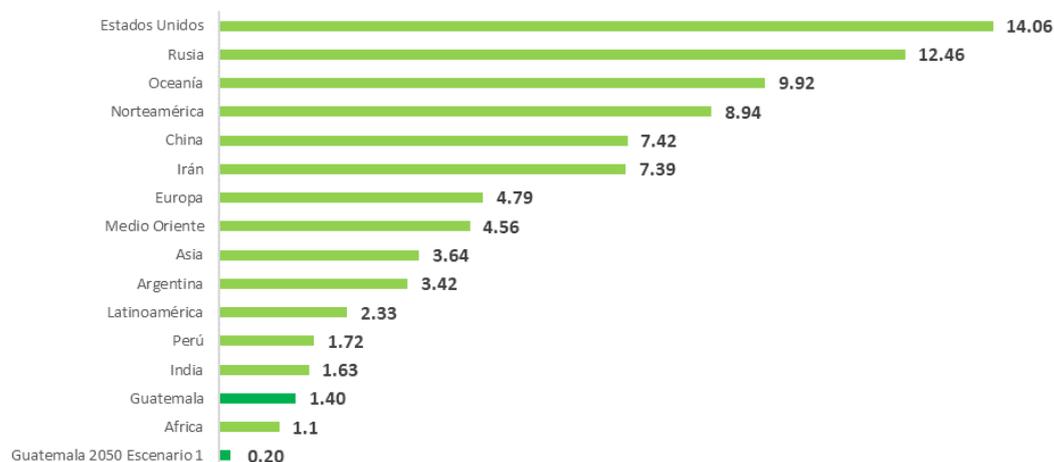
(TEP/capita)



Fuente: análisis Deloitte en base a ENERDATA 2021

**De forma análoga, a través de un benchmark de la intensidad de las emisiones de CO2 derivadas del consumo de combustibles se observa que la intensidad de las emisiones de CO2 en Guatemala se ubica por debajo respecto al promedio de países de la Unión Europea y Latinoamérica.**

**Figura 8: Indicadores de intensidad de las emisiones (sector energético) de CO2 - año 2021**



### 1.3. Contribuciones nacionales en la lucha contra el cambio climático

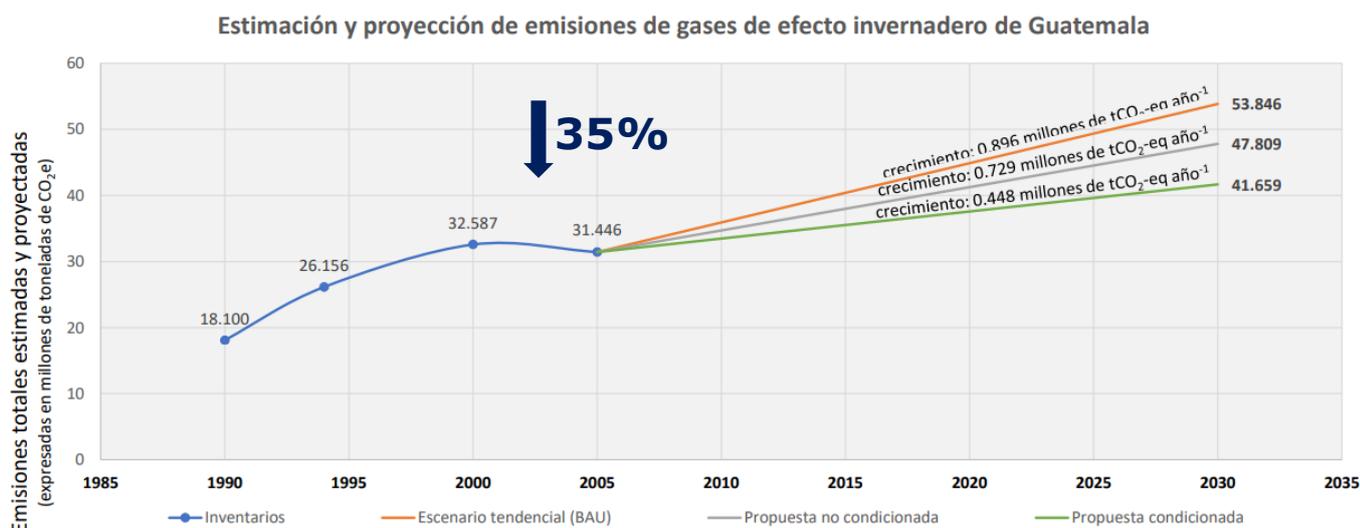
#### Contribuciones asumidas por Guatemala – NDC

**Guatemala presentó su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) en septiembre del año 2015 en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible. El 22 de abril de 2016, Guatemala ratificó el Acuerdo de París y de acuerdo con las decisiones adoptadas y asociadas a dicho acuerdo, el país reafirmó y validó el compromiso asumido en las NDC.**

**La meta de mitigación de las NDC ha sido calculada a partir de una proyección REF de las emisiones de GEI considerando como año base el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2016.**

El escenario "incondicional" planteado por el gobierno nacional para 2030 propone disminuciones de la emisión de GEI en un 11%<sup>13</sup> (6.0 MtCO<sub>2</sub>eq.) considerando un escenario Business as Usual (REF) de incremento de emisiones. Dicho objetivo se plantea con mayor agresividad en el escenario "condicional", el cual propone reducciones del 23% (12.2 MtCO<sub>2</sub>eq.) condicionadas al apoyo internacional externo. Para este cálculo, el país ha utilizado el INGEI del año 2005, actualizado en 2015. Es decir, emisiones de GEI de un total de 31.4 MtCO<sub>2</sub>eq. para el 2005 y de 53.8 MtCO<sub>2</sub>eq. para el año 2030<sup>14</sup>.

**Figura 9: Escenarios planteado por el Ministerio de Ambiente (MtCO<sub>2</sub>eq.)**



Fuente: Ministerio del Ambiente – Guatemala

### Estrategias nacionales para la lucha contra el cambio climático

**Guatemala ha realizado la publicación de normativa y documentos de planificación que definen la agenda para la gestión del cambio climático en el país. Los de mayor relevancia para el caso específico de la gestión del cambio climático son:** proyecto de ley de eficiencia energética, plan integral de eficiencia energética, guía práctica para la eficiencia energética, el informe técnico de alternativas para el ahorro, el informe de eficiencia energética del alumbrado público, ley forestal, ley de áreas protegidas, la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, ley marco de cambio climático, plan de acción nacional de cambio climático, estrategia nacional de desarrollo con bajas emisiones, estrategia nacional de reducción de la deforestación y degradación de los bosques de Guatemala y la actualización de la contribución nacionalmente determinada con metas definidas, elementos importantes que nos brindan los lineamientos para mejorar el medio ambiente local en todas sus esferas.

**El plan nacional de eficiencia energética** demuestra que, en todos los escenarios, las mejoras de la eficiencia energética en los edificios, equipos y sistemas, el transporte, la industria, el comercio y la generación de electricidad representan los ahorros de mayor nivel y de menor costo, para la optimización del consumo energético y la reducción de los impactos ambientales de los gases efecto invernadero a corto plazo. Se plantean los siguientes beneficios como objetivos del plan:

Beneficios económicos:

- Mejora la productividad y competitividad empresarial.

<sup>13</sup> Ver Figura 9

<sup>14</sup> Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

- Mejora el acceso a mercados protegidos por barreras arancelarias
- Reduce o difiere las necesidades de inversión en la industria energética
- Tiene efectos positivos sobre el sector externo -balanza de pagos-, al contribuir a reducir las importaciones de derivados del petróleo.
- Reduce los presupuestos públicos y libera recursos
- Mejora la seguridad del abastecimiento energético
- Impacta positivamente sobre la demanda agregada

#### Beneficios Sociales:

- Disminuye la factura energética en los hogares
- Facilita el acceso a fuentes nuevas y modernas de energía

#### Beneficios Tecnológicos:

- Impulsa la mejora tecnológica y el desarrollo del conocimiento.
- Ambientales
- Mitiga los efectos negativos sobre el ambiente
- Conserva la energía no renovable e incrementa disponibilidad futura

La **ley forestal** tiene por objetivo reducir la deforestación de tierras de vocación forestal y el avance de la frontera agrícola, a través del incremento del uso de la tierra de acuerdo con su vocación y sin omitir las propias características de suelo, topografía y el clima. Busca promover la reforestación de áreas forestales actualmente sin bosque, para proveer al país de los productos forestales que requiera. A su vez, tiene por objetivo el incremento de la productividad de los bosques existentes, sometiéndolos a manejo racional y sostenido de acuerdo con su potencial biológico y económico, fomentando el uso de sistemas y equipos industriales que logren el mayor valor agregado a los productos forestales.

En complemento, la **ley de áreas protegidas** fija como principal objetivo el asegurar el funcionamiento óptimo de los procesos ecológicos esenciales y de los sistemas naturales vitales para beneficio de toda la sociedad. Además, la **ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (Decreto 68-1986)** tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes en Guatemala.

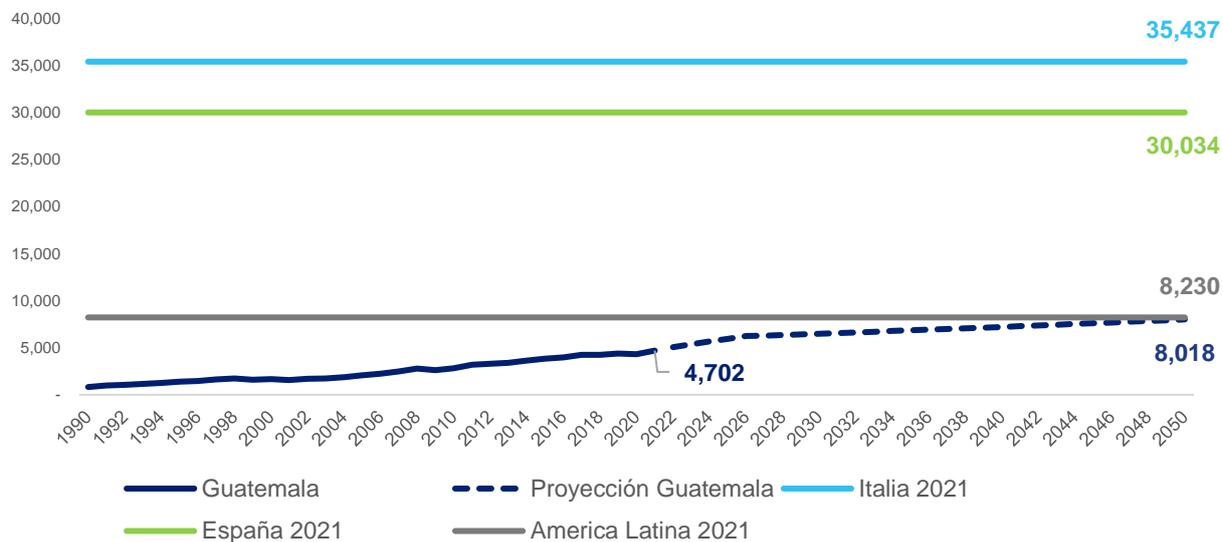
### Proceso de construcción del Escenario de Referencia

El proceso de construcción de escenarios para la evaluación del modelo energético sostenible para Guatemala en 2050 requirió, necesariamente, de la elaboración de la línea de base para contrastar los resultados y los impactos de las acciones y medidas de mitigación de cambio climático para el sistema en su conjunto. **A partir de esta premisa, se simuló el escenario tendencial o "Referencia" el cual mantiene el statu quo del año 2016 (en lo referente a la matriz productiva, energética y las emisiones) aunque considerando los avances tecnológicos y las tendencias de los mercados en cuanto a cambios en patrones de producción y consumo, bajo la suposición de que el crecimiento de la economía se mantiene constante un 2.67% (a partir del 2027, previendo un efecto Covid-19 en los años correspondientes) hasta el año 2050.** Como resultado de la proyección se obtuvo que las emisiones de GEI totales alcanzarían un valor cercano a los 53 MtCO<sub>2</sub>eq. a 2030 y a 79 MtCO<sub>2</sub>eq. a 2050.

**Es importante realizar una apreciación adicional que brinda un marco de referencia en el que se enmarcan este escenario.** La actualización de la actividad económica guatemalteca a una tasa del 2.67% anual, a priori puede resultar pesimista en un análisis macroeconómico de largo plazo considerando que la tasa histórica se encuentra unos escalones por encima (cerca al 3%). Sin embargo, se debe tener en cuenta que la economía guatemalteca debe atravesar una recuperación frente a la reciente caída económica. El tamaño de la economía

resultante de esta proyección a 2050 permitiría lograr un ingreso per cápita para Guatemala cercano al que actualmente (2022) percibe América Latina y el Caribe, e inferior al que perciben países desarrollados como España e Italia.<sup>15</sup>

**Figura 10: PBI per cápita - años 1990-2050** (millones de USD)



Fuente: análisis Deloitte en base a World Bank & The Economists Intelligence Unit (datos a 2022 e históricos)

<sup>15</sup> Ver Figura 10

# El modelo energético de Guatemala al 2050



# 2. El modelo energético de Guatemala al 2050

## 2.1. Visión actual de Guatemala para el 2050

**El presente estudio tiene como objetivo desarrollar un escenario de transición a 2050 para una economía baja en emisiones**, teniendo en consideración las condiciones iniciales de Guatemala, los planes de mitigación desarrollados por las autoridades, las tecnologías disponibles o que se espera estén disponibles durante el periodo de estudio y las medidas regulatorias necesarias para que se realicen los escenarios.

En función de la multiplicidad de opciones de mitigación disponibles, y no menos importante, la interrelación entre las mismas, estas se dividieron en cuatro vectores de

descarbonización que resultan necesarios para alcanzar metas más ambiciosas al año 2050. Sin embargo, solo se consideraron medidas de mitigación a partir de tecnologías que, con la información actual, es razonable suponer que alcancen su madurez y sean viables comercialmente, utilizando como criterio para esto último que su aplicación tiene un costo menor a USD 100 por tonelada de CO2 equivalente evitada. Los cuatro vectores anteriormente mencionados son:

“Son tres los vectores de descarbonización que resultan necesarios para alcanzar metas más ambiciosas al año 2050”

- **Cambiar a fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde:** Para que la sustitución de fuentes primarias tenga un efecto duradero, es necesario que a su vez la electricidad se produzca a través de fuentes renovables. Ligado a ello, el desarrollo de infraestructuras digitales y las redes inteligentes es clave como agentes habilitadores capaces de acomodar la introducción de renovables, las tecnologías distribuidas y la participación de los prosumidores en el sistema energético.
- **Fomentar la eficiencia energética y electrificación de los usos finales mediante la digitalización de redes:** Existe un gran potencial de reducir emisiones desacoplando el crecimiento económico del consumo de energía. Las oportunidades para reducir la intensidad energética en la producción de bienes, el potencial de ahorro de energía en el consumo residencial y sector servicios, así como la eficientización de procesos de transformación que incrementen la energía utilizada y minimicen los desperdicios. A su vez, se espera un cambio a fuentes primarias de energía con menores emisiones a través del reemplazo del carbón y del petróleo con altos niveles de emisión por combustibles bajos en emisión, como la electricidad, los biocombustibles. Además, la actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono. El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.
- **Desarrollo de infraestructura y digitalización:** La actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono. El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.
- **Incentivo a modelos de producción sustentables:** En la industria y especialmente en la ganadería y agricultura se requiere adoptar modos de producción bajos en emisiones.

## 2.2 El modelo energético en el marco de las ODS

La agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la cual fue aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros, a la cual Guatemala pertenece. Concretamente, en el ODS 7 "energía asequible y no contaminante" determina que la energía sostenible es una oportunidad que transforma vidas, economía y el planeta.

En Guatemala, la falta de acceso al suministro de energía en algunas regiones es un obstáculo para el desarrollo humano y económico; razón por la cual, si en los hogares no se tuviera acceso a la energía eléctrica, se tendría un gran atraso en cuanto a desarrollo.

Tomando las consideraciones indicadas en el ODS 7, la energía se puede generar de diversas formas, pero lo recomendable es utilizar responsable y conscientemente los recursos renovables, para producir los impactos al cambio climático, ya que si se genera energía a través de la quema de combustibles con alto contenido de carbono, se producen altas cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), que favorecen al cambio climático y tienen efectos nocivos para el bienestar de la población y el medio ambiente.

Figura 11: Objetivos de Desarrollo Sostenible - PNUD



## 2.3 Introducción a la metodología de modelización: TIMES

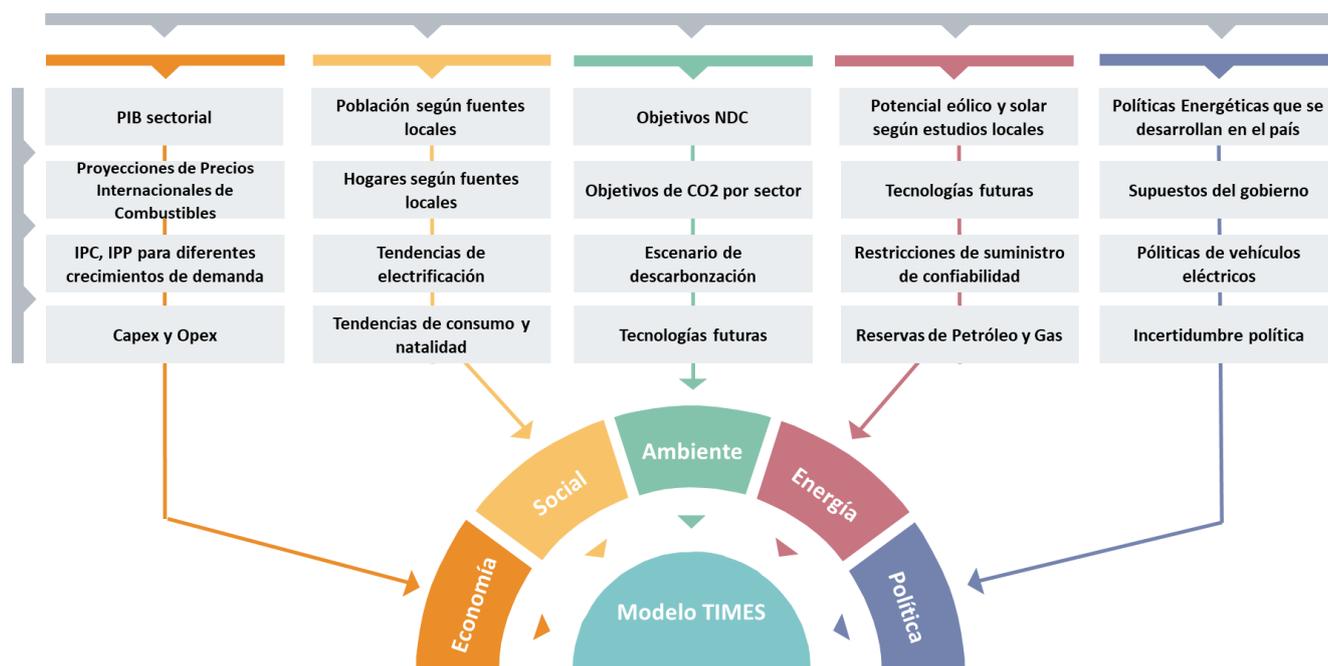
**TIMES es una herramienta de modelización que combina dos enfoques sistemáticos para modelar la energía: un enfoque de ingeniería técnica y un enfoque económico.**

La herramienta abarca todos los pasos, desde los recursos primarios hasta la cadena de procesos que transforman, transportan, distribuyen y convierten la energía en el suministro de servicios energéticos que demandan los consumidores de energía. Una vez establecidos todos los insumos, las restricciones y los escenarios, el modelo intentará resolver y determinar el sistema energético que satisfaga la demanda de servicios energéticos durante todo el horizonte temporal con el menor costo.

Por el lado de la oferta energética, comprende la extracción de combustibles, la producción primaria y secundaria y la importación y exportación exógena. Los "agentes" del lado de la oferta energética son los "productores". A través de diversos vectores energéticos, la energía se suministra al lado de la demanda, que se estructura sectorialmente en los sectores residencial, comercial, agrícola, de transporte e industrial. Los "agentes" del lado de la demanda de energía son los "consumidores". Las relaciones matemáticas, económicas y de ingeniería entre estos "productores" y "consumidores" de energía son la base de los modelos TIMES.

A continuación, se presentan los inputs, restricciones y otras variables importantes que se han tenido en cuenta a la hora de la construcción del modelo TIMES:

**Figura 12: Inputs del Modelo TIMES**



Toda esta información ha sido recopilada de diferentes fuentes oficiales que se detallan a continuación:

- Proyecciones económicas con fuente "The Economist Intelligence Unit"
- Proceso de actualización de la NDC de Guatemala - 2021<sup>16</sup>
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) - 2016 para la construcción del año base<sup>17</sup>
- Balance Energético Nacional 2016
- Fichas técnicas por tecnología publicadas por IEA-ETSAP<sup>18</sup>
- Estimaciones propias basadas en censos nacionales (se consideró la evolución histórica contemplando los censos del 2002 y 2018)
- Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático
- Modelo de Análisis de Demanda de Energía (Guatemala 2015 - 2050)<sup>19</sup>
- Central America: Autos Report - 2021<sup>20</sup>
- Country Report: Guatemala<sup>21</sup>
- Informe de Análisis de Consumo de Electricidad - 2012<sup>22</sup>
- Informe de Situación y Evolución del sector Mipyme de Guatemala (2015-2017)<sup>23</sup>
- Perfil energético de Guatemala: Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía - 2018<sup>24</sup>
- Movilidad Eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe y Oportunidades Para la Colaboración Regional 2019.<sup>25</sup>
- Política energética 2019 - 2050<sup>26</sup>
- Informe Estadístico Gerencia Planeamiento y Vigilancia de Mercados Eléctricos - 2021<sup>27</sup>

<sup>16</sup> Contempla la propuesta presentada en 2015

<sup>17</sup> Incluido en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático

<sup>18</sup> <https://iea-etsap.org/index.php/energy-technology-data/energy-demand-technologies-data>

<sup>19</sup> <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/31.-Informe-MAED.pdf>

<sup>20</sup> Informe desarrollado por FitchSolutions

<sup>21</sup> Informe publicado por The Economist Intelligence Unit

<sup>22</sup> Informe publicado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica

<sup>23</sup> Informe publicado por el Ministerio de Economía de Guatemala

<sup>24</sup> <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>

<sup>25</sup> Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), noviembre 2019.

<sup>26</sup> <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Pol%C3%ADtica-Energ%C3%A9tica-2019-2050.pdf>

<sup>27</sup> Informe publicado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica

## Tecnologías

Las tecnologías son representaciones de dispositivos físicos que transforman mercancías en otras mercancías. Los procesos pueden ser fuentes primarias de materias primas, o actividades de transformación como plantas de conversión que producen electricidad, plantas de procesamiento de energía como refinerías, dispositivos de demanda de uso final como automóviles y sistemas de calefacción, etc.

## Commodities

Los productos básicos (incluidos los combustibles) son portadores de energía, servicios energéticos, materiales, flujos monetarios y emisiones; un producto básico es producido o consumido por alguna tecnología.

## Flujos de commodities

Los flujos de commodities son los vínculos entre los procesos y los commodities (por ejemplo, la generación de electricidad a partir del viento). Un flujo es de la misma naturaleza que una mercancía, pero está vinculado a un proceso concreto y representa una entrada o una salida de ese proceso.

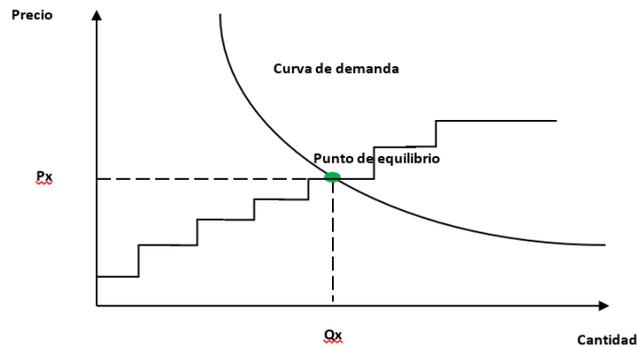
Estas tres entidades se utilizan para construir un sistema energético que caracterice al país o región en cuestión. Todos los modelos TIMES tienen un sistema energético de referencia, que es un modelo básico del sistema energético antes de que se modifique sustancialmente, ya sea para una región concreta o para un escenario determinado.

## Funcionalidad

Una vez que se han colocado todas las entradas, restricciones y escenarios, el modelo intentará resolver y determinar el sistema energético que satisfaga las demandas de servicios energéticos durante todo el horizonte temporal al menor costo. Para ello, toma simultáneamente decisiones de inversión en equipos y decisiones de explotación, suministro de energía primaria y comercio de energía, por regiones. TIMES supone una previsión perfecta, es decir, que todas las decisiones de inversión se toman en cada periodo con pleno conocimiento de los acontecimientos futuros. Optimiza horizontalmente (en todos los sectores) y verticalmente (en todos los periodos de tiempo para los que se impone el límite).

Los resultados serán la combinación óptima de tecnologías y combustibles en cada periodo, junto con las emisiones asociadas para satisfacer la demanda. El modelo configura la producción y el consumo de los productos básicos (es decir, los combustibles, los materiales y los servicios energéticos) y sus precios; cuando el modelo iguala la oferta con la demanda, es decir, los productores de energía con los consumidores de energía, se dice que está en equilibrio. Matemáticamente, esto significa que el modelo maximiza el excedente del productor y del consumidor. El modelo está configurado de tal manera que el precio de producción de una mercancía afecta a la demanda de esa mercancía, mientras que al mismo tiempo la demanda afecta al precio de la mercancía. Se dice que un mercado ha alcanzado el equilibrio a precios "p" y cantidades "q" cuando ningún consumidor desea comprar menos de "q" y ningún productor desea producir más de "q" al precio "p". Cuando todos los mercados están en equilibrio, se maximiza el excedente económico total (es decir, la suma de los excedentes de productores y consumidores).

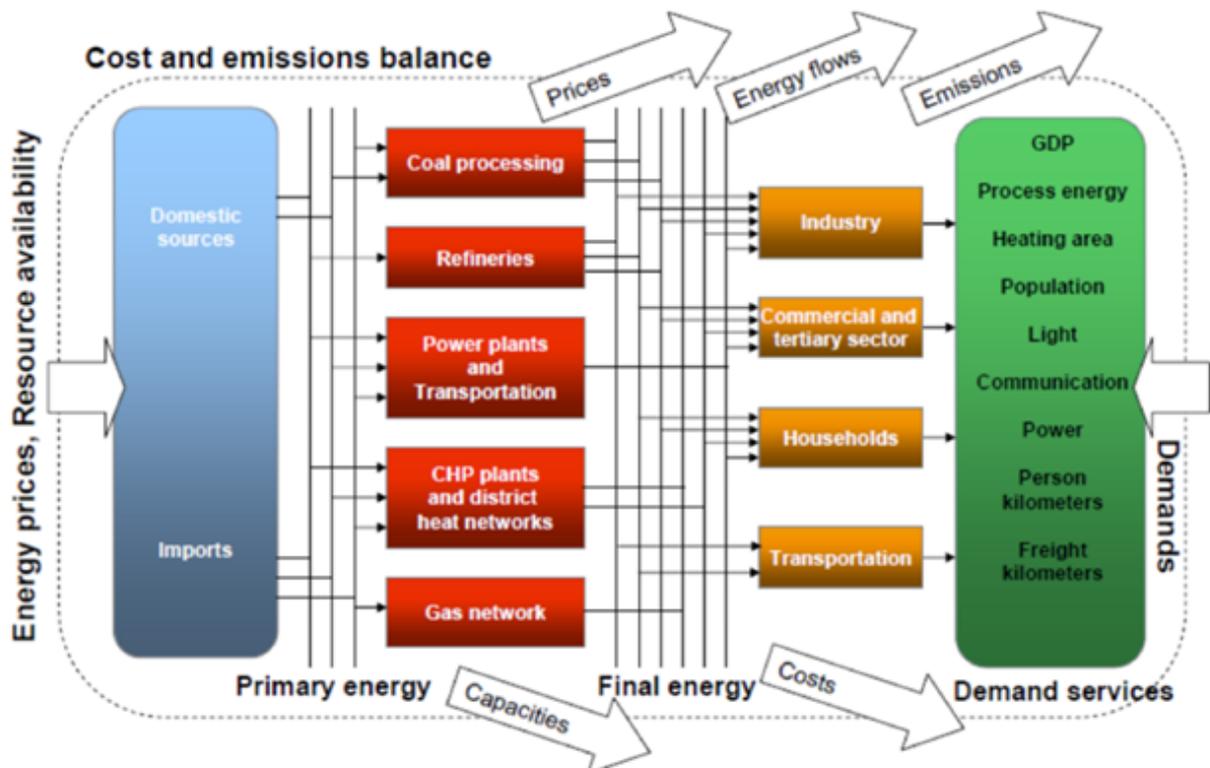
**Figura 13: Diagrama de equilibrio del mercado en TIMES**



### Salidas

El principal resultado de TIMES son las configuraciones de los sistemas energéticos que satisfacen la demanda de servicios energéticos del usuario final al menor costo posible, respetando al mismo tiempo las distintas restricciones (por ejemplo, una reducción del 80% de las emisiones o una penetración del 40% de la electricidad renovable). En primer lugar, el modelo TIMES responde a la pregunta: ¿es factible el objetivo? Si un sistema energético es posible, se puede examinar entonces, ¿a qué costo? Los resultados del modelo son los flujos de energía, los precios de los productos energéticos, las emisiones de GEI, las capacidades de las tecnologías, los costos de la energía y los costos marginales de reducción de las emisiones. En la figura 11 se muestra un esquema del modelo TIMES junto con las flechas blancas de salida que muestran los resultados del modelo.

**Figura 14: Esquema de las entradas y salidas de TIMES**



### Construcción de Escenarios a partir de la utilización del modelo TIMES

El modelo TIMES nos ha permitido generar los resultados del presente estudio bajo la óptica de dos escenarios diferentes:

- **Escenario de Referencia:** se trata de un escenario tendencial, sin esfuerzos adicionales en medidas de mitigación de gases de efecto invernadero. Este escenario reconoce los avances tecnológicos de cara a futuro, pero no concreta esfuerzos en términos de inversiones a efectos de facilitar la lucha contra el cambio climático. Como consecuencia, las emisiones proyectadas surgen como consecuencia de un incremento en los niveles de demanda energética derivado de un crecimiento demográfico y de un mayor nivel de actividad económica, que se deriva en mayor tasa de empleo y un mayor nivel de consumo por mejoras en el salario real.
- **Escenario 1:** si bien se alimenta de los supuestos básicos establecidos para el Escenario de Referencia, en el Escenario 1 se añaden los esfuerzos en términos de políticas de mitigación para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energético. Para ello, se definen restricciones al modelo (principalmente, *targets* en términos de emisiones y consumos de energía por tipo de combustibles), y sobre estas premisas, el TIMES diseña una solución óptima en términos de costos, para alcanzar los lineamientos en términos de emisiones.

La construcción de ambos escenarios contempla un mismo punto de partida, al que en el presente estudio denominamos "año base". Para este año en particular, se definen las emisiones en función de lo reportado en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y la demanda energética por sector, derivada de los Balances Energéticos Nacionales. De forma tal que al asignar el consumo energético por sector y por tipo de combustible, a los usos finales (tecnologías), el resultado proveniente de la utilización de dichos insumos, den como resultado el volumen de emisiones reportadas en el inventario. A partir de allí, la curva de emisiones se proyecta como resultado de los criterios mencionados para cada escenario.

### Sector no energético: modelización por fuera del TIMES

Tal como se menciona en el apartado anterior, el modelo TIMES se encarga de estimar las proyecciones de demanda por tipo de combustible para el sector energético (residencial, comercial, servicios públicos, transporte, industria y agricultura -en lo que refiere a uso de maquinaria agrícola-) y las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de dicho consumo.

En lo que refiere al sector no energético (compuesto por los subsectores Uso de Suelos, Cambio en el Uso de Suelos y Silvicultura -USCUSS-, ganadería, residuos, emisiones fugitivas y de procesos industriales), las proyecciones se realizan por fuera del modelo TIMES, y en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.

El punto de partida (o año base) resulta de las emisiones reportadas en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI). A partir de allí, la proyección de emisiones se rige por los siguientes lineamientos:

- **Escenario de Referencia:** al no realizarse esfuerzos adicionales en términos de implementación de políticas de mitigación, las emisiones derivadas del sector no energético tenderán a incrementarse. El indicador (o indicadores) que incidirá en el incremento de las emisiones, dependerá de cada subsector. En el caso de las emisiones derivadas del sector USCUSS, estará dado por el incremento en el nivel de actividad económica, pues un mayor despliegue de la actividad agrícola, sin reconocer la implementación de mejores prácticas, llevará inexorablemente a una mayor degradación de la tierra, eliminación de pastizales (que funcionan como sumideros de carbono) y mayor nivel de deforestación (en parte, para seguir sustentando el consumo de leña en el sector residencial donde, tanto por crecimiento demográfico como por mayor poder de consumo, la utilización de la leña como insumo debiera verse incrementado). Mismo comportamiento podrá evidenciarse en el sector ligado a la ganadería, donde el mayor nivel de actividad económica llevará al crecimiento del ganado y, por tanto, a un mayor volumen de emisiones de gas metano. Por su parte, las emisiones fugitivas y de procesos industriales, seguirán la trayectoria de las emisiones del sector industrial (dentro del sector energético). Por último, las emisiones derivadas de la gestión de residuos, estará íntimamente ligada al crecimiento demográfico y el mayor nivel de consumo.
- **Escenario 1:** sobre la trayectoria de las emisiones proyectadas en el escenario de referencia, las políticas de mitigación (sobre las cuales ahondaremos en el capítulo 3) nos permite fijar restricciones a las emisiones estimadas para el escenario de referencia. De este modo, la curva de emisiones de los diferentes subsectores estará definida como el resultante de la diferencia entre las emisiones

proyectadas en el escenario de referencia y el potencial de mitigación de cada una de las medidas propuestas para estos sectores.

## Construcción del análisis de costo-beneficio

Para comprender la metodología implícita en la elaboración del análisis de costo-beneficio (el cual se detalla en el capítulo 3 del presente informe), es necesario definir los siguientes conceptos:

- **Costo-Beneficio unitario:** costo o beneficio neto de una medida de mitigación por cada tonelada mitigada que se deriva de realizar la diferencia entre las inversiones de capital necesarias para desarrollar la medida (CAPEX), las variaciones en los costos operativos (OPEX) y el costo social de carbono (que representa el ahorro generado por cada tonelada de CO<sub>2</sub>eq. evitada). Cuando la variación en costos operativos (derivados de los ahorros generados por un uso eficiente de los recursos) y los ahorros generados en términos de costos social de carbono superan a la inversión de capital requerida (CAPEX), entonces decimos que la medida genera un beneficio unitario. Caso contrario, se tratará de una medida con un costo neto por tonelada mitigada.
- **Costo-beneficio total por medida de mitigación:** es el resultado de multiplicar el costo-beneficio unitario de la medida de mitigación por la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub>eq. mitigadas por su implementación.
- **Costo-Beneficio total:** surge de estimar el costo-beneficio neto por sector (el cual resulta de la sumatoria del costo-beneficio total por medida de mitigación aplicable a cada sector). La suma del costo-beneficio neto de los distintos sectores (incluyendo el concepto de costo social de carbono), da como resultado el costo-beneficio total de la transición energética.

En cuanto a los resultados exhibidos en el capítulo 3, se debe destacar que los valores se encuentran expresados a valor presente. Esto se debe a que las operatorias explicadas en los ítems anteriormente mencionados aplican a todos los años comprendidos en el período bajo análisis y, por tanto, los flujos se generan en diferentes períodos. A efectos de expresar los resultados a valor presente neto, se ha empleado una tasa de descuento del 10%.

Mismo procedimiento se aplica para estimar el análisis del total de inversiones de capital (CAPEX) y financiamiento a través de mecanismos de *Carbon Pricing*:

- **El análisis de CAPEX** implica, para cada año, multiplicar el monto total por tonelada a ser invertido para la implementación de las medidas de mitigación de los diferentes sectores por el total de toneladas de CO<sub>2</sub>eq. mitigadas. Al realizarse esta operatoria para todo el período bajo análisis, para el cálculo de los importes a valor presente neto, se aplica también la tasa de descuento del 10%.
- **El análisis de Carbon Pricing** señala el potencial de financiar una parte del total de inversiones requeridas para materializar la transición energética mediante los mercados de carbono. Los flujos de fondo se estiman multiplicando el total de toneladas de CO<sub>2</sub>eq. mitigadas por año por el precio al carbono de cada tonelada. Al realizarse esta operatoria para todo el período bajo análisis, para el cálculo de los importes a valor presente neto, se aplica también la tasa de descuento del 10%.

## 2.4 Transformaciones necesarias en el modelo energético

### Construcción de un escenario de reducción de emisiones

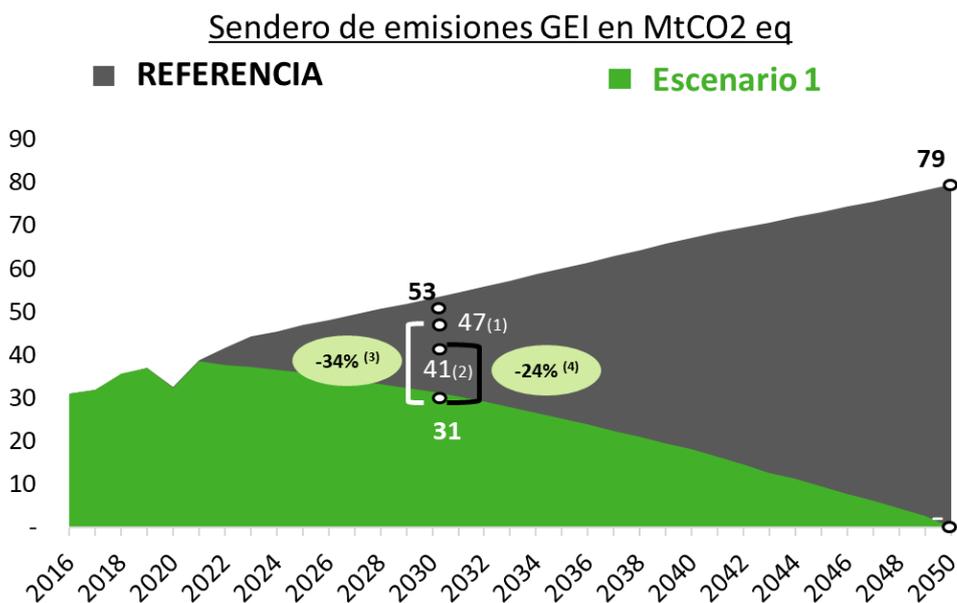
**En el escenario que se desarrolla en el presente estudio (Escenario 1)** se introducen políticas de mitigación y cambios en la matriz energética orientados a optimizar los resultados y aumentar la ambición de la descarbonización en un contexto de apoyo internacional.

**Para integrar el escenario en conjunto con la relación entre actividad económica, conductas, políticas públicas y avances tecnológicos, se utilizó la herramienta TIMES para realizar una modelización cuantitativa.**

Los resultados obtenidos bajo el escenario desarrollado muestran que las soluciones propuestas para la transición energética en Guatemala permiten mejorar los resultados en términos de emisiones en el medio y largo plazo logrando un mayor potencial de captura de carbono para una economía que continúa su desarrollo.

Realizando un esfuerzo adicional para optimizar los resultados, en el 2050, las emisiones de GEI del sector energético del **Escenario 1** se reducen 43.4 MtCO<sub>2</sub>eq. Por su parte, el sector no energético, debido a su gran potencial de captura, alcanza una reducción de 36.01 MtCO<sub>2</sub>eq. equivalentes. De esta manera, se produce una reducción de emisiones netas de 79.38 MtCO<sub>2</sub>eq. equivalentes a 2050 entre el **Escenario 1** y el de referencia.

Figura 15: Sendero de emisiones de GEI (MtCO<sub>2</sub>eq.)



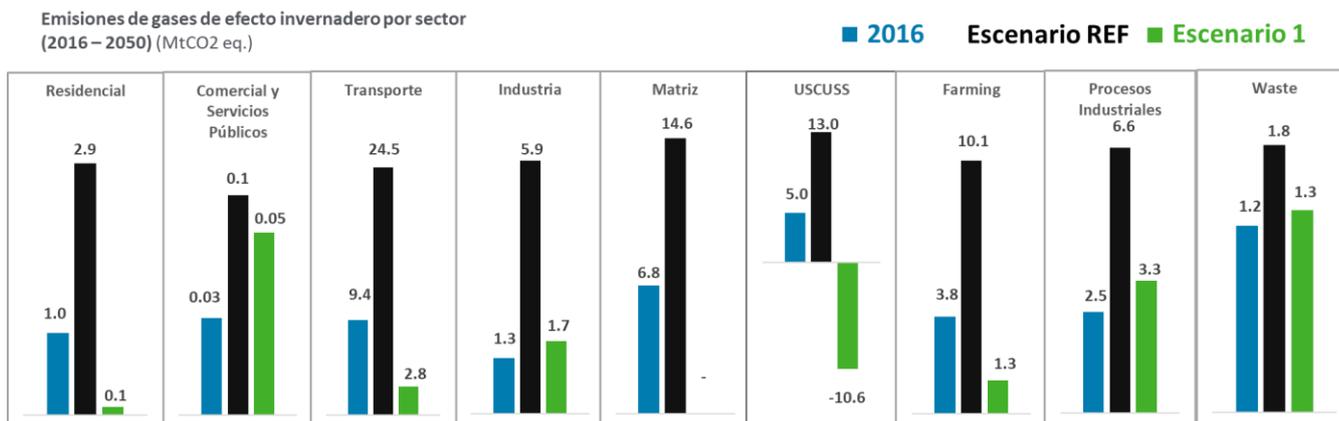
- (1) Target Incondicional 2030 NDC
- (2) Target Condicional 2030 NDC
- (3) Comparación nivel 2030 del escenario 1 con objetivo Incondicional del NDC
- (4) Comparación nivel 2030 del escenario 1 con objetivo Condicional del NDC

**Emisiones**

Año Base: 60% sector energético / 40% sector no energético  
 Escenario de referencia (2050): 60% sector energético / 40% sector no energético  
 Escenario 1 (2050): carbono neutral  
 Nota: Año base 2016  
 Fuente: análisis Deloitte

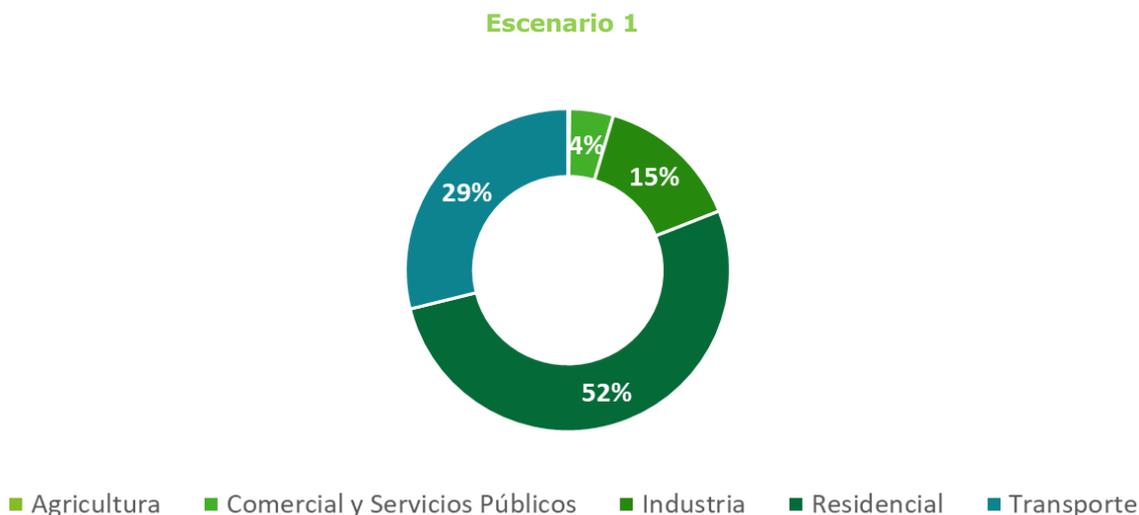
En el **Escenario 1** en todos los sectores que demandan energías se hace el mayor esfuerzo factible (en términos de costo-eficiencia) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, **compensándose el remanente de las mismas mediante la captura de carbono en el sector no energético.**

Figura 16: Emisiones de gases de efecto invernadero por sector (2016 - 2050) (MtCO<sub>2</sub>eq.)



**Para mantener o reducir las emisiones resulta clave que se produzca un desacople del crecimiento económico del uso de la energía, reduciendo la intensidad energética del desarrollo.** En el **Escenario 1** el consumo total de energía se reduce un 27% con respecto al escenario de referencia a 2050. En dicho escenario, los esfuerzos para reducir la intensidad energética son generalizados, pero además existe una serie de medidas destinadas específicamente a disminuir la intensidad del sector transporte, logrando a 2050 una reducción adicional de la demanda energética total del 43% con respecto al escenario de referencia.

**Figura 17: Consumo energético final total a 2050 – por sector (participación %)**



Fuente: análisis Deloitte.

**Para que los esfuerzos de descarbonización sean efectivos, resulta necesario la sustitución del consumo de combustibles fósiles, de manera que su consumo no crezca o inclusive se reduzca.** La opción más eficiente es promover la electrificación de la matriz energética. Si bien los biocombustibles pueden realizar un aporte adicional a la descarbonización, existen opiniones encontrados sobre el efecto neto a lo largo de su ciclo de vida, pudiendo ser el caso que no reduzcan las emisiones netas. En cambio, la mayor penetración de energías renovables en la matriz eléctrica es una estrategia probada para la reducción de emisiones y a la vez competitiva en términos económicos frente a otras alternativas.

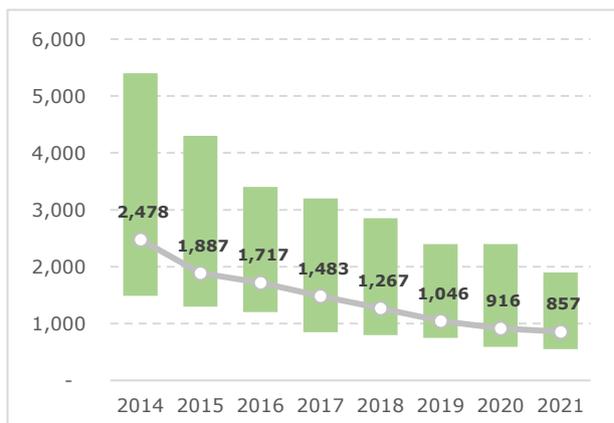
**CUADRO 1. Reducción de costo de las Energías Renovables**

**Las tecnologías energéticas con baja emisión de carbono tienen un rol clave en la transición energética, en particular en el sector ligado a la matriz eléctrica, donde las tecnologías solar y eólica se presentan como opciones cada vez más competitivas a la luz de la continua disminución de sus costos.**

En base al relevamiento de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) realizado en 2022<sup>28</sup>, la reducción de costos medios de instalación para la tecnología solar fotovoltaica a escala industrial fue de un 88% sólo entre 2010 y 2021, alcanzando un precio promedio de 857 USD/kW en 2021. En el caso eólico, la disminución de los costos de instalación alcanzó el 67% entre puntas, destacándose la menor dispersión de precios existentes, con un rango en 2021 que va desde los 900 a 2,200 USD/kW.

<sup>28</sup>Fuente: IRENA Renewable Power Generation Costs in 2021. (<https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>)

**Figura 18: Costo de instalación promedio mundial de la tecnología solar PV (USD 2021/kW)**



**Figura 19: Costo de instalación promedio mundial de la tecnología eólica on-shore (USD 2021/kW)**

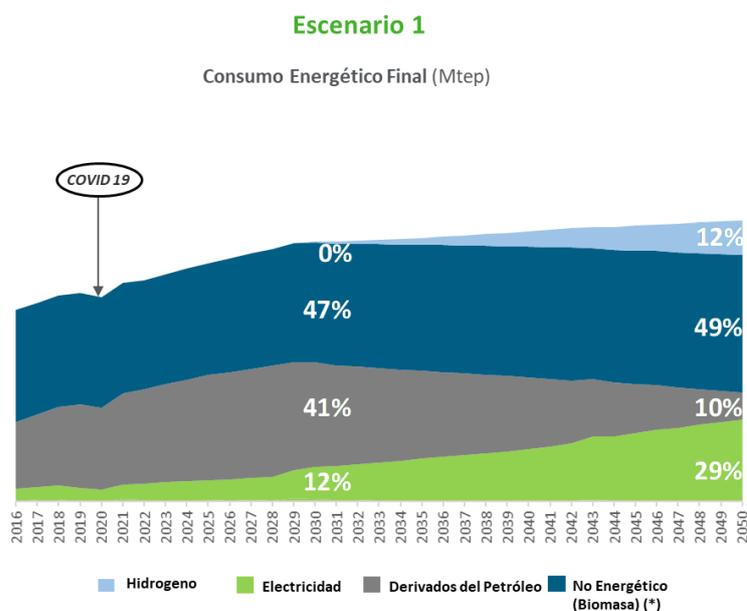


Si además se mira el Costo Nivelado de la Energía (LCOE por sus siglas en inglés), un indicador que recrea el costo esperado de firmar un contrato de suministro a largo plazo (PPA por sus siglas en inglés) la caída es aún más pronunciada. Una de las causas se debe a las mejoras técnicas que permitieron un mayor rendimiento de los equipos, como así también la mayor participación que han ido adquiriendo regiones como Asia y Sudamérica con factores de capacidad notablemente más elevados respecto a zonas de mayor penetración. En el caso de los paneles fotovoltaicos el LCOE medio descendió 90% entre 2010 y los nuevos proyectos encargados para 2021, mientras que en las centrales eólicas el indicador cayó un 50% en el mismo período.

Hacia adelante IRENA ha identificado al menos tres grandes factores que permiten proyectar una nueva reducción de costos: **1) las mejoras tecnológicas**, que continúan siendo una constante en el mercado de generación de energía renovable y que irán reduciendo cada vez más los costos de instalación y aumentando el rendimiento de los equipos; **2) la adquisición en forma competitiva**, que permite beneficiarse de mejores precios a medida que aumente la escala; y **3) una gran base de desarrolladores de proyectos**, con experiencia internacional que busca activamente nuevos mercados.

La capacidad de sustitución de combustibles dependerá, en consecuencia, del avance en la electrificación de la demanda, y la incorporación de nueva generación renovable. En el **Escenario 1** el mayor consumo eléctrico permite restringir el aumento del consumo de combustibles fósiles desde los 3.9 millones de TEP de 2016 hasta 1.56 millones de TEP esperados en 2050 TEP con una penetración del vector electricidad de 29%, logrando que los combustibles fósiles se reduzcan 60% y su participación en la matriz pase de 6% a 29% de la matriz hasta los 5.2 millones de TEP.

**Figura 20: Consumo energético final total – por combustible** (Millones de TEP)



Fuente: análisis Deloitte.

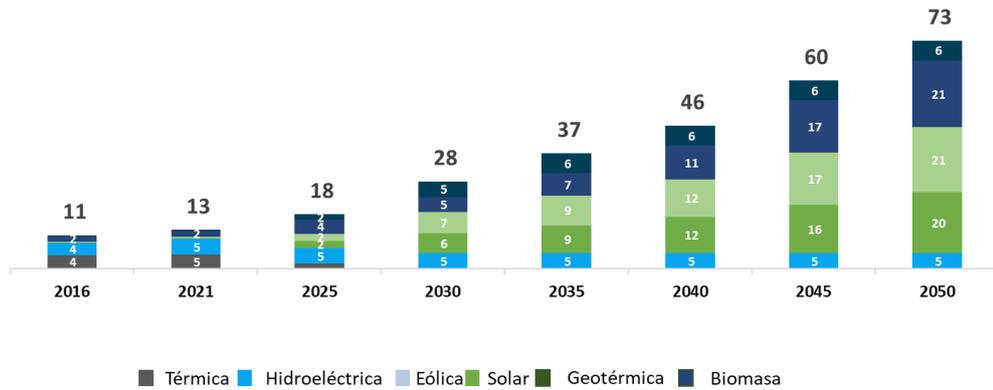
**La electrificación requiere acompañarse de un cambio en la matriz de generación hacia energías renovables o limpias de emisiones.** En primer lugar, el consumo de energía eléctrica crecerá a una tasa anual del 5% en el **Escenario 1** derivado de la mayor electrificación de la demanda, y en línea con el crecimiento del país.

En términos de consumo energético lo que se logra a largo plazo es acelerar el ritmo de crecimiento mediante medidas de eficiencia energética. Se introduce el hidrogeno para sectores difíciles de descarbonizar, lo que permite reducir significativamente la participación de derivados de petróleo. Por su parte biomasa presenta un crecimiento moderado en términos de consumo total (aunque con una reducción en el índice de consumo por habitante). Esto se da bajo un supuesto de consumo de leña sustentable tal como se detalla en la "Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013-2024" donde las políticas implementadas en el sector no energético no solo abastecen este mayor consumo de leña sino también mejoran el potencial de captura de carbono a 2050. Considerando estas premisas el modelo en su búsqueda de alcanzar los targets necesarios para materializar un escenario de carbono neutralidad, prioriza la reducción de derivados de petróleo antes que el de biomasa. En este sentido, el modelo arroja un aumento promedio de la biomasa en un 0.7% anual pasando de un consumo de energía de 6.54 a 8.03 millones de TEP en el periodo 2016 - 2050.

Tal como mencionamos en el párrafo anterior, el modelo considera que el crecimiento de biomasa se generaría en leña con manejo sustentable, es decir libre de emisiones antes que el uso de derivados de petróleo. Este incremento es notablemente menor que la ampliación del consumo total de energía que varía positivamente en un promedio de 14% anual en el mismo periodo. A nivel de consumo energético de biomasa por habitante, se da un decrecimiento promedio anual del 0.4%. Es así como el aumento en la participación de biomasa en el consumo energético que pasa del 47% a 2030 al 49% en 2050 es guiado particularmente por una reducción de la participación de los derivados de petróleo.

En el **Escenario 1**, a 2050, la generación térmica es mínima, prácticamente eliminándose su participación. Por su parte, la generación de fuentes renovables no convencionales (eólicas y solares) alcanza el 55% y el resto depende de la generación hidroeléctrica.

**Figura 21: Generación Eléctrica y penetración de renovables (TWh)**

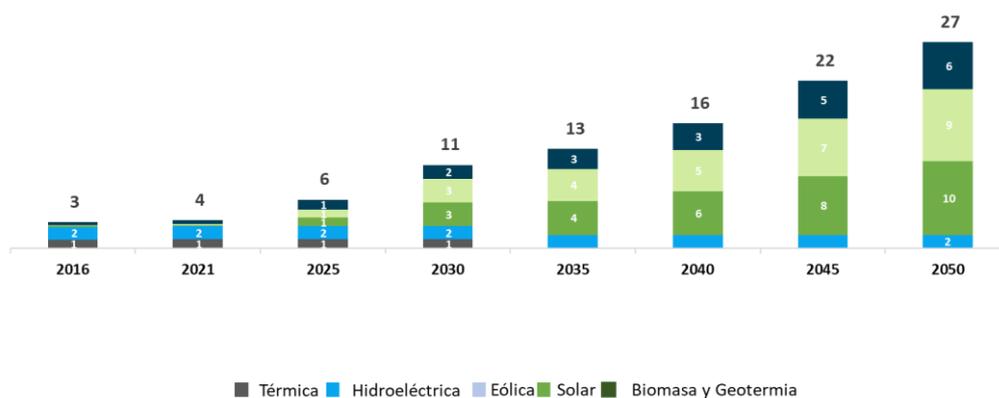


Fuente: análisis Deloitte.

**Guatemala tiene recursos naturales que permiten desarrollar un parque de generación eléctrica libre de emisiones y alcanzar los objetivos ambiciosos antes descritos.** En este sentido, la capacidad instalada libre de emisiones establecida en el **Escenario 1** alcanza el 99.6% a 2050.

En primer lugar, se desarrolla de mantiene inventario hidroeléctrico, que asciende a 1.6 GW de potencia en el **Escenario 1** a 2050. A su vez, la complementación que se da entre la generación hidroeléctrica y eólica, más la expectativa de complementar la energía solar con la incorporación de baterías permite apuntar a una penetración agresiva de fuentes renovables no convencionales (eólicas y solares). En el **Escenario 1** se instalan 9.18 GW de potencia eólica y 9.44 GW de potencia solar, llegando en 2050 a un total de 9.27 GW y 9.44 GW respectivamente. Estas metas son factibles de ser alcanzadas desde el punto de vista técnico, en particular cuando se las compara con los recursos potenciales estimados desde distintas instituciones.

**Figura 22 Capacidad Instalada (GW)**



Fuente: análisis Deloitte.

# Transición energética



# 3. Transición energética

## 3.1. Nuevas políticas energéticas en Guatemala

### Proceso de implementación de medidas de mitigación en Guatemala: planes sectoriales existentes y nuevos

**En los últimos años la República del Guatemala ha llevado a cabo planes, programas y acciones relacionados de manera directa e indirecta con la mitigación de GEI en varios sectores productivos y de consumo.**

Entre las acciones en implementación, se pueden destacar en el sector energía dos leyes fundamentales: **el proyecto de ley de promoción del uso eficiente de la energía** en la que se prevé desarrollar una cultura nacional del uso eficiente de la energía en coordinación con todos los sectores educativos y económicos del país y el **plan integral de eficiencia energética** que busca contribuir con la solución de más bajo costo y de menor plazo de implementación para reducir la tasa de la demanda de energía respecto a la tasa de crecimiento de la economía.

En el sector transporte los esfuerzos se han concentrado principalmente en la ampliación del sistema de transporte público. En este sentido, ya se están trabajando en iniciativas tales como la incorporación de buses eléctricos y el cambio modal de transporte.

En el sector de cambio de uso de los suelos y silvicultura (CUSS) se ha desarrollado el marco normativo e institucional para fomentar la plantación y el manejo sustentable de los recursos naturales y para establecer los presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sustentable de los mismos, así como de los servicios ambientales que éstos brindan a la sociedad. Este marco institucional permitió llevar adelante un proceso de ordenamiento territorial de los recursos naturales existentes, estableciendo diferentes categorías de conservación. En este marco se creó la ley forestal, ley de áreas protegidas y la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente.

Dentro del marco normativo para el sector de cambio de uso de los suelos y silviculturas, se destacan:

- **Ley 4-89:** Ley promulgada en junio de 1989 que establece como objetivo el asegurar el funcionamiento óptimo de los procesos ecológicos esenciales y de los sistemas naturales vitales para beneficio de todos los guatemaltecos.
- **Ley 101-96:** Ley promulgada en octubre 1996 Reducir la deforestación de tierras de vocación forestal y el avance de la frontera agrícola, a través del incremento del uso de la tierra de acuerdo con su vocación y sin omitir las propias características de suelo, topografía y el clima.

## 3.2. Planificación para una transición exitosa al 2050

**El camino a recorrer en la transición deberá contar con una cuidada planificación que garantice el logro de los ambiciosos objetivos ambientales, de modo que el esfuerzo conjunto que haga toda la sociedad, así como el importante volumen de inversiones, se plasmen de forma eficaz.** En este sentido, las transformaciones deberán realizarse sin poner en riesgo la actividad económica ni la seguridad del suministro energético y al mismo tiempo optimizar los costos e inversiones.

Además, y en términos generales, la concreción de las acciones específicas a llevarse a cabo en cada caso deberá contar al menos con las siguientes consideraciones:

- La secuencia de implementación de las medidas deberá priorizarse según el volumen de emisiones que éstas eviten, o sobre los combustibles que más contaminen.
- Se deberá tener en cuenta la dimensión económica, eligiendo primero aquellas medidas más eficientes económicamente, en el caso de plantearse varias alternativas.
- El uso de tecnologías de transición que permitan la progresiva adopción por el mercado de otras más limpias, a medida que se reduzcan sus costos.

- El establecimiento de metas de mediano plazo sectoriales, que permitan un monitoreo de las variables críticas y la detección de posibles desvíos.

En las siguientes secciones del informe se profundiza acerca de estos aspectos, agrupándolos por cada uno de los vectores y detallando el conjunto de medidas elegidas para la transición hacia el modelo energético a 2050.

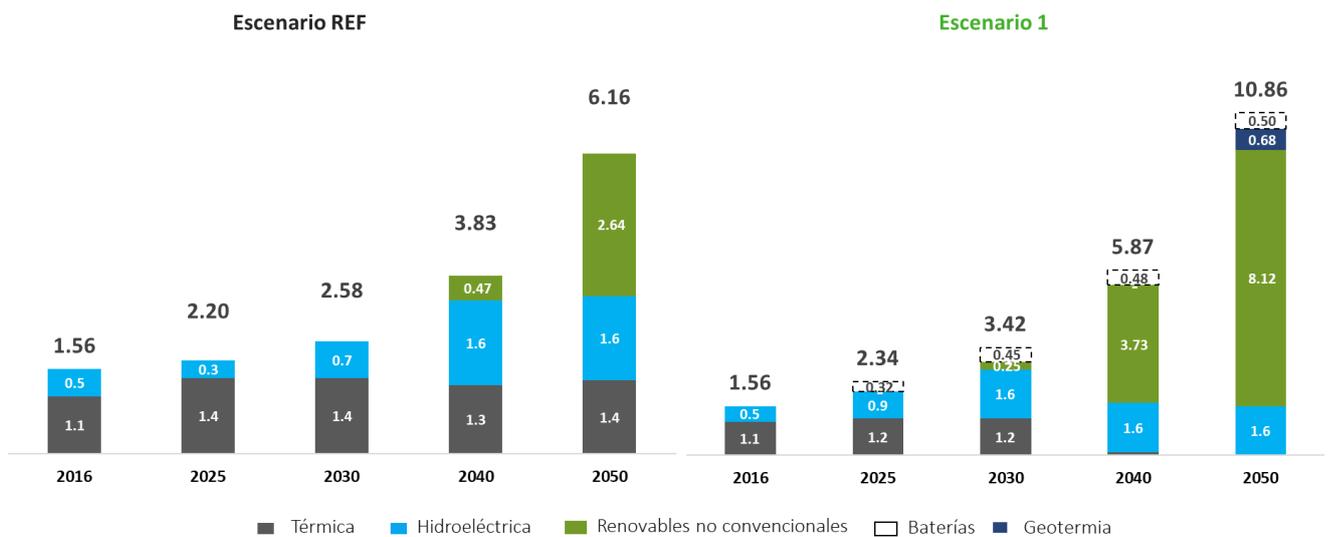
### 3.3. Cambiar a fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde

**La baja participación de las energías térmicas en Guatemala (alcanzan un 41% en 2016) y, en contraposición, la alta participación de las fuentes hidroeléctricas (alcanzan un 36% en el año base), han llevado a que, comparativamente, su matriz eléctrica tenga una baja intensidad de emisiones.**

Pese a la actual baja participación de energías térmicas, para lograr las metas de descarbonización, es necesario un esfuerzo adicional. **Por este motivo, la capacidad instalada libre de emisiones establecida en el Escenario 1 alcanza el 99.6%.** A su vez, la complementación que permite la generación hidroeléctrica y eólica, más la expectativa de complementar la energía solar con la incorporación de baterías, posibilita apuntar a una penetración agresiva de fuentes renovables no convencionales como la eólica y la solar

**La mayor penetración de energías renovables no convencionales requiere administrar la gestión de los picos de demanda,** a través de respuesta de la demanda, utilizando como respaldo energía eólica, energía hidroeléctrica y aumentando la participación de tecnologías de almacenamiento.

**Figura 23: Potencia para cubrir el pico de demanda (GW)**



Fuente: análisis Deloitte.

#### CUADRO 2. Proyecciones para la reducción de costo del almacenamiento mediante baterías

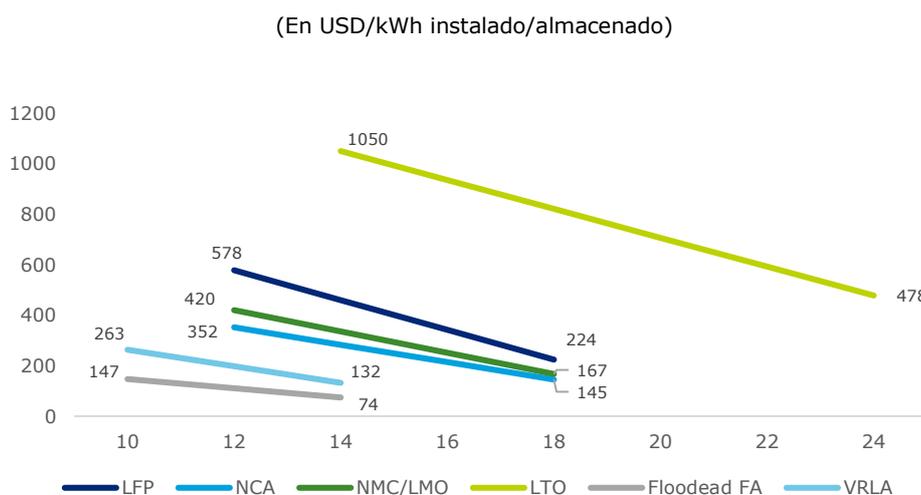
**Los sistemas de almacenamiento o electricity storage system (ESS por sus siglas en inglés) brindan importantes ventajas para los sistemas eléctricos en donde las tecnologías variables como la energía solar y eólica ganan participación.** Las aplicaciones estacionarias de las baterías permiten profundizar la inserción de las energías renovables, en la medida que permiten acumular energía no consumida en el momento de la generación y estar disponible para cuando se requiera, suavizando así las fluctuaciones de las condiciones climáticas que aparecen durante el día, semanas o incluso meses. Además, brindan un mayor grado de flexibilidad a los operadores de la red, garantizando un funcionamiento suave y confiable y/o reacción a los cambios inesperados en la demanda, evitando así daños a los aparatos eléctricos y cortes de suministro. Otra ventaja de los sistemas de almacenamiento es que pueden reducir las congestiones en la red de transmisión en horas de generación pico y pueden aplazar la necesidad de grandes inversiones en infraestructura en este segmento.

**Las baterías además juegan un rol importante en la descarbonización de segmentos clave de uso de energía, como en el transporte con la e-movilidad y en el caso de baterías para sistemas domésticos y mini-redes que operan fuera de la red.** Estas últimas están emergiendo como parte de la solución para aumentar el acceso a la electricidad, así como proporcionar servicios de estabilidad a mini-redes, mejorando la calidad de la energía y reemplazando sistemas que dependen en gran medida del combustible Diésel.

**El desarrollo de baterías más eficientes, el aumento de su vida útil y la tendencia hacia una rápida caída en su costo, ubican a esta tecnología en el corazón de la transición energética como una alternativa competitiva, al proporcionar servicios de valor en toda la cadena del sector eléctrico y en los consumidores finales.** La Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA por sus siglas en inglés) en su trabajo "Almacenamiento de electricidad y renovables: costos y mercados hasta 2030" (2017) señala que el costo de las baterías de ion-litio ha caído hasta un 73% entre 2010 y 2016 para aplicaciones de transporte, pudiendo trasladar estos beneficios de mayor escala de fabricación a las baterías para aplicaciones estacionarias, que hoy tienen un costo de instalación más alto debido a ciclos de carga / descarga más sofisticados que requieren sistemas y hardware de administración más costosos.

**Se estima que el costo de instalación de baterías de ion-litio para aplicaciones estacionarias podrían disminuir entre 54% y 61% hasta 2030.**<sup>29</sup> Esto reflejaría una caída en el costo total de instalación de entre USD 207/kWh y USD 572/kWh, dependiendo de la composición química de las baterías. Como se muestra en el gráfico, las opciones de plomo ácido serán todavía más económicas, pero encuentran un límite a la expansión de su vida útil que las hace menos competitivas.

**Figura 24: Proyección de costo y vida útil de baterías seleccionadas por tecnología - Años 2016 y 2030. <sup>(1)</sup>**



Nota (1): Baterías de Iones de Litio (LFP, LTO, NCA y NMC/LMO) y de plomo ácido (Floodead FA y VRLA). Fuente: análisis Deloitte en base a IRENA.

### 3.4. La promoción de infraestructuras digitales y redes inteligentes

#### Análisis del contexto

**La red de transmisión de Guatemala está muy desarrollada en la capital y sus alrededores, mientras que otras regiones menos pobladas no están interconectadas y solo están conectadas por una sola línea al sistema.**

**La actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono.** El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.

<sup>29</sup> Ver Figura 24

Es por ello que **el Proyecto a 4 años de construcción de la red de trasmisión eléctrica al sur del país incluye una serie de proyectos que permitirán impulsar el crecimiento de las energías renovables.** El proyecto contempla la construcción de dos subestaciones principales, La Subestación Meléndrez 2, en Ayutla, San Marcos, de transformación e 400kv a 230 mil kV y en San José, Escuintla, se construirá una subestación idéntica, conocida como San José 2.

Además de acuerdo al plan de expansión de la red del sistema de transporte, que tiene como objetivo planificar el crecimiento de la infraestructura de la Red de Transmisión de Energía Eléctrica, lo cual es necesario para satisfacer la demanda futura (proyectada) del país y el acceso a la red eléctrica de nuevos usuarios; garantizando la calidad del suministro de energía eléctrica, el cumplimiento de las metas planteadas en la Política Energética 2019-2050, la Política General de Gobierno 2020-2024 y contribuir con las acciones necesarias para la ejecución del plan para la recuperación económica del país, logrando así se pueda apoyar para que el 90 % de la población cuente con acceso a la energía eléctrica en el año 2023 y alcanzar la cobertura de acceso a energía eléctrica al año 2032 al 99.99% de la población y mantenerla al año 2052.

Guatemala dispone de una infraestructura robusta en 230 kV, con la adición del complemento de red aportado por el PET-1-2009; esta infraestructura posibilita la evacuación de generación hacia los centros de consumo. Como se observa en la mapa a continuación, en la región norte del país no existe infraestructura en 230 kV, la implementación de nuevas obras en esta área brinda un beneficio para la población, ya que actualmente los índices de calidad de suministro son muy bajos, además resulta de mucho beneficio para el país promoviendo un punto de conexión para transacciones de energía con México y Belice; también es necesario reforzar la red en 230 kV en Huehuetenango, Quiché y Alta Verapaz, puntos de evacuación de la mayor parte de generación hidroeléctrica en época húmeda.

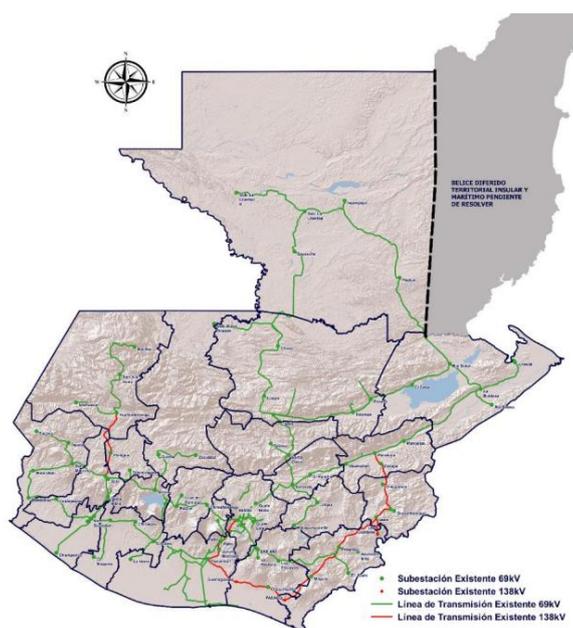
**Figura 25: Guatemala - Red de transmisión actual 230kV y 400 kV**



Fuente: Plan de expansión del sistema de transporte 2022-2052

El Sistema Nacional Interconectado cuenta con una red eléctrica en 138 kV que complementa la red eléctrica en 230 kV y que funciona como enlace para el transporte hacia la red de 69 kV, lo cual es de mucha importancia para brindar acceso a la energía eléctrica en las regiones donde el índice de cobertura eléctrica no ha alcanzado el 100%. El mapa de la figura 26, muestra la distribución de la red eléctrica en 69 Kv sobre el territorio nacional, incluyendo las obras que existen actualmente y aquellas obras que se buscan integrar a la red producto de proyectos por iniciativa propia y por el proyecto de expansión PETNAC-2014. La construcción de nueva infraestructura en la red de 69 kV apoya a la electrificación del país, ya que como puede observarse en el mapa, es necesario reforzar la red de transmisión en los departamentos de San Marcos, Quiché, Alta Verapaz, Izabal y Petén, con ello mejorar los índices de calidad de servicio y aportar más capacidad para que el país pueda ser industrializado, apoyando al sector comercio, servicios y turismo de los departamentos antes mencionados.

**Figura 26: Guatemala – Red de transmisión actual 69kV**

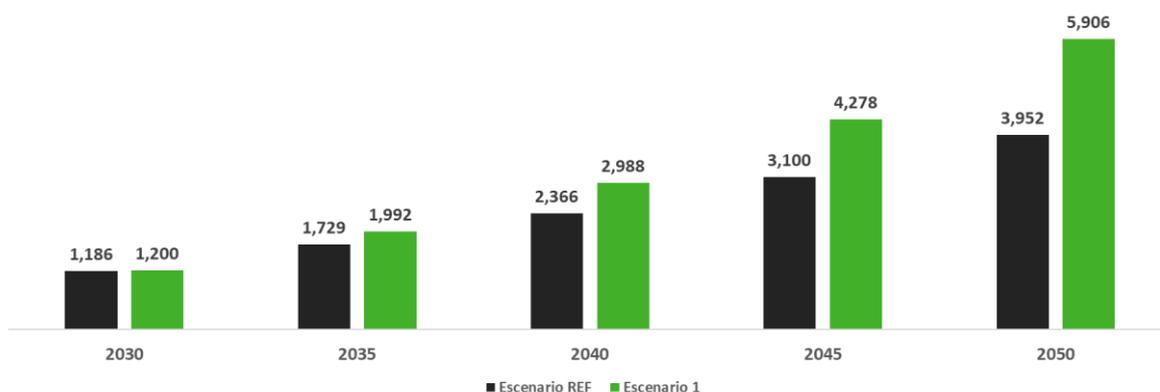


Fuente: Plan de expansión del sistema de transporte 2022-2052

La gestión de los proyectos de electrificación desarrollados en el país y la apertura del mercado eléctrico, han contribuido a lograr un incremento en el índice de cobertura eléctrica, no obstante, aún existe una brecha significativa por superar. Para el año 2021, se ha calculado un índice de electrificación del 89.26%, con lo cual, el 10.74% de los hogares en el país aún no cuentan con el acceso a la red de electricidad. Los departamentos con menor índice de cobertura eléctrica son Alta Verapaz (50.89%), Petén (74.70%), Baja Verapaz (78.34%), Quiché (80.46%), Chiquimula (81.73%), Huehuetenango (82.69%); departamentos para los cuales se ha analizado la inversión de infraestructura nueva.

**Para lograr los objetivos de electrificación a 2050, es necesario un esfuerzo adicional ya que se requerirá expandir en un total de entre 3,860 km y 5,990 km de líneas de transporte eléctrico.**

**Figura 27: Inversiones en capacidad de redes eléctricas**



Fuente: Elaboración propia

**Construir un sistema eléctrico más limpio y amplio requerirá inversiones en líneas de transmisión y en capacidad de respaldo firme, que podrían verse reducidas gracias a la interconexión regional.**

El aumento de la demanda requerirá ampliar la capacidad de transporte eléctrico a lo largo del territorio nacional pero especialmente desde las regiones donde los recursos renovables son más abundantes. A su vez, la integración regional permite reducir la necesidad de una mayor capacidad de generación destinada únicamente a cubrir los picos de demanda, gracias al aporte de capacidad firme proveniente de países vecinos.

La inversión para la expansión de redes eléctricas (SNI) proyectada en el **Escenario 1** será de USD 5.9 mil millones. Esta nueva infraestructura permitirá brindar soporte a la transmisión de la energía adicional generada a partir de energías renovables no convencionales, la cuál será de 40.39 TWh en el **Escenario 1**. Esto último, genera un impacto positivo al permitir el aumento de los niveles de electrificación de usos finales y a su vez, apoyando al cambio hacia una nueva matriz verde (brindando apoyo al desarrollo de energías renovables no convencionales), lo que lleva a que estas inversiones tengan un impacto positivo en términos de descarbonización logrando una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero de 31.6 MtCO<sub>2</sub>eq. en el **Escenario 1** **Si tomamos en consideración el beneficio económico que se genera por evitar dichas emisiones (costo social de carbono), llegamos a que esta infraestructura en redes genera un beneficio neto a valor presente de USD 6.4 mil millones en el Escenario 1.**

## Perspectivas

**La actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono.**<sup>30</sup> El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.

**Las nuevas infraestructuras de red en transporte y distribución son claves para impulsar el crecimiento de las energías renovables.** En el horizonte 2030, se requerirán nuevas inversiones en las redes eléctricas tanto para permitir el acceso a sitios de alto potencial renovable, y para perseguir una red más interconectada que permita aumentar la confiabilidad del sistema. Para ello, se necesita un número mayor de puntos de conexión disponibles para futuras subastas en programas de desarrollo de energías renovables. Por su parte, en el horizonte de 2050, se espera que la terminación de las redes de las principales áreas urbanas y los nuevos refuerzos en la red aumenten enormemente los sitios potenciales de generación distribuida para energía eólica y solar.

**Las nuevas infraestructuras de red en transporte son fundamentales para desarrollar nuevos recursos autóctonos.** Con la adecuada planificación a largo plazo requerida para estructurar el futuro del sistema energético integral de Guatemala, y cuando se combine con la generación en el sitio, Guatemala puede beneficiarse de la electricidad (generada a partir de fuentes renovables). Una adecuada red de transmisión funcionaría como la mejor carretera posible para conducir nueva energía valiosa a los principales centros de consumo. Este modelo de desarrollo para la red proporcionaría beneficios económicos sustanciales debido a las sinergias con las fuentes de energía renovables, y también evitará redundancias y superposiciones financieras en infraestructuras muy demandadas de recursos.

**La digitalización de la red es el habilitador clave de la transición requerida, que trae beneficios significativos en términos de ahorro en el gasto de energía, eliminación de emisiones de GEI y mejora de la calidad del aire.** La transición a 2050 requerirá, entre otras cosas, una inversión en la red eléctrica, tanto en el sector de la transmisión como en el sector de la distribución. Las inversiones requeridas en las redes de distribución permitirán integrar completamente la nueva capacidad renovable, la mayoría de las cuales se conectará a las redes de baja y media tensión, gestionará el desarrollo de la movilidad eléctrica y apoyará la electrificación del consumo en los sectores residencial y de servicios.

**Una red eléctrica moderna traerá diversos beneficios para la población y la economía del país.** La digitalización de red permitirá a los clientes de servicios públicos administrar y reducir mejor los costos de electricidad, cortes de energía más cortos y menos frecuentes, mejoras en las condiciones de trabajo y seguridad pública. Al mismo tiempo, reforzará el sistema eléctrico, aumentando así la confiabilidad y la capacidad de recuperación del servicio incluso en el caso de condiciones climáticas severas.

**El despliegue masivo de medidores inteligentes proporcionará un retorno positivo tanto para el sistema como para los clientes.** Existen distintas aplicaciones para el uso de los medidores inteligentes las cuales ofrecen beneficios tanto para el usuario final, como para la distribuidora y entes reguladores. El principal beneficio es la **eficiencia energética** la cual puede lograrse ya sea haciendo un uso eficiente de la energía consumida o bien reduciendo pagos innecesarios tales como el pago por demanda contratada no utilizada que tienen algunos clientes. Actualmente al momento de efectuar una nueva instalación, en la mayoría de los

<sup>30</sup> El análisis de esta sección se sustentó mayormente en un informe de Deloitte realizado previamente: "Hacia la descarbonización de la economía: la contribución de las redes a la transición energética", 2018. (<https://perspectivas.deloitte.com/contribucion-redes-electricas>)

casos, tanto los diseñadores como los desarrolladores dejan un margen de seguridad en las instalaciones; esto con el fin de que al momento que dichas instalaciones entren en funcionamiento, no exista alguna falla por sobrecarga que produzca un disparo en las protecciones y, por consiguiente, una salida en la producción de la industria o comercio que corresponda.

Lo anterior ocasiona que, al momento de especificar la demanda a contratar con el nuevo servicio de electricidad, se solicite una potencia mayor a la necesaria, lo que ocasionará gastos adicionales tanto para el distribuidor como para el usuario final por el pago mensual de demanda contratada no utilizada que debe hacer. Con el uso de medidores inteligentes, el usuario puede llevar un control específico de su demanda máxima conforme se van incrementando su carga de manera que podrían determinar cuál es la demanda real que necesita y en el caso de que tuviera contratada una demanda mayor, solicitar la reducción. Otro beneficio importante para los usuarios consiste en evitar cargos adicionales por exceder la demanda contratada en el servicio. Actualmente la regulación en Guatemala especifica que en el caso que el distribuidor detecte que la potencia utilizada por el usuario es mayor que la contratada, el distribuidor le podrá cobrar la potencia utilizada en exceso a un precio máximo de dos veces el valor del cargo unitario por potencia contratada de la tarifa correspondiente por cada kilovatio utilizado en exceso. Además del control de la demanda, los medidores inteligentes permiten al usuario final el acceso a la información de sus consumos durante el día, lo que le permite identificar consumos innecesarios. Para el caso de usuarios que cuenten con tarifa de bandas horarias, existe la posibilidad de que el mismo medidor le envíe la información de la banda horaria en que se encuentra a través de un display, lo que le permitirá saber en qué momento del día le es más económico consumir energía eléctrica.

**Los medidores inteligentes pueden ayudar a crear patrones de demanda activos y un sistema más confiable y predecible.** Las tarifas hora por hora deben desarrollarse, si no es en tiempo real, para permitir un efecto de aplanamiento de la demanda. Una curva de carga más aplanada requerirá una demanda menor y una demanda menos firme, lo que permitirá una mejor planificación y optimización de la generación. La masificación de los medidores inteligentes será la base para el desarrollo de las redes inteligentes y para la optimización en la planificación de las inversiones en la distribución.

Actualmente los consumidores del mercado eléctrico guatemalteco están clasificados en dos tipos de usuarios: aquellos con una demanda máxima menor a 100 kW los cuales entran dentro de un mercado regulado donde el precio de la energía es definido por la CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica) y que se conocen como usuarios regulados; y aquellos con una demanda mayor o igual a 100 kW los cuales reciben el nombre de **grandes usuarios**. Estos últimos tienen la potestad de comprar su energía ya sea con un distribuidor de energía eléctrica dentro del mercado regulado o bien a través del mercado mayorista, en donde pueden optar por comprar la energía con un comercializador de energía o directamente con un generador. Actualmente existen tres empresas distribuidoras de energía eléctrica registradas en el Mercado Mayorista del país: Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA) que atiende a los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez; Distribuidora de Oriente, S.A. (DEORSA) en el oriente del país, y Distribuidora de Occidente, S.A. (DEOCSA) en el occidente; todas estas con más de quince mil usuarios cada una. Además, existen también 17 empresas eléctricas municipales ubicadas en distintos departamentos del país.

Dentro de las normativas nacionales para los medidores de estos usuarios se encuentran el reglamento de la Ley general de Electricidad, las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD), Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable -NTGDR- y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía. **Actualmente en Guatemala no existe ninguna normativa que regule el uso específico de medidores inteligentes para usuarios regulados, es decir no existe una homologación en el uso y tipo de medidores utilizados**, las actuales normativas que solo hacen referencia a la exactitud, propiedad y parámetros de medición de los medidores, más no a la tecnología de fabricación de estos.

Es recomendable que se otorguen incentivos para las inversiones en la distribución para reconfigurar y modernizar las redes (que son puramente radiales) hacia modelos más resilientes y acordes a la digitalización de esta, que permita para llegar a niveles óptimos de calidad y gestionar de manera eficiente el ingreso de la movilidad eléctrica, la generación distribuida, respuesta a la demanda, optimización de las inversiones, entre otros servicios

### 3.5. Fomentar la eficiencia energética y electrificación de los usos finales

#### Fomento de la eficiencia energética

**La evolución hacia una matriz energética más limpia en términos de emisiones involucra también la reducción de intensidad energética, que se logra a través de la mejora en eficiencia energética.**

Todos los sectores de actividad a nivel nacional deberían estar alineados para disminuir el consumo energético del país y, por ende, las medidas correspondientes han de afectar a cada uno de estos.

**La regulación legislativa es una excelente herramienta para lograr impactos fuertes en materia de consumo energético.** Hoy el principal instrumento normativo es el proyecto de ley de promoción del uso eficiente de la energía que permitirá asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos. De esta manera, se estableció la creación del consejo nacional de eficiencia energética (CONEE) como la autoridad competente del Estado para la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE), con atribuciones para:

- 1) Promover la creación de una cultura orientada al empleo de los recursos energéticos para impulsar el desarrollo sostenible del país buscando un equilibrio entre la conservación del medio ambiente y el desarrollo económico.
- 2) Promover la mayor transparencia del mercado de la energía, mediante el diagnóstico permanente de la problemática de la eficiencia energética y de la formulación y ejecución de programas, divulgando los procesos, tecnologías y sistemas informativos compatibles con el UEE.
- 3) Diseñar, auspiciar, coordinar y ejecutar programas y proyectos de cooperación internacional para el desarrollo del UEE.
- 4) La elaboración y ejecución de planes y programas referenciales de eficiencia energética.
- 5) Promover la constitución de empresas de servicios energéticos (EMSES), así como la asistencia técnica a instituciones públicas y privadas, y la concertación con organizaciones de consumidores y entidades empresariales.
- 6) Coordinar con los demás sectores y las entidades públicas y privadas el desarrollo de políticas de uso eficiente de la energía.
- 7) Promover el consumo eficiente de energéticos en zonas aisladas y remotas.

Además, introducir conceptos de Eficiencia Energética en el currículo de la educación formal, tanto en los niveles primarios y secundarios, así como en ambientes técnicos y universitarios afines, incorporar sistemas de gestión de la energía en empresas, generar regulación específica en construcciones y difundir nuevos procesos industriales, son solo algunas de las cuestiones que debería tratar la ley, en pos de alentar un cambio de paradigma en la conducta de la población y las empresas. El desarrollo de actuaciones dirigidas a realizar procesos de forma más eficiente, o simplemente no desperdiciar energía en consumos innecesarios, son maneras mediante las cuales, tanto el usuario con capacidad de gestión como el pequeño usuario, pueden colaborar en el aumento de eficiencia.

#### Rumbo a una mayor electrificación en los usos finales

**En 2050 sería necesario alcanzar un nivel de electrificación del 29% sobre el consumo total de energía final en el Escenario 1.** Esto representa un incremento del 5.7% anual del consumo eléctrico, como resultado del traspaso de tecnologías convencionales a tecnologías eléctricas.

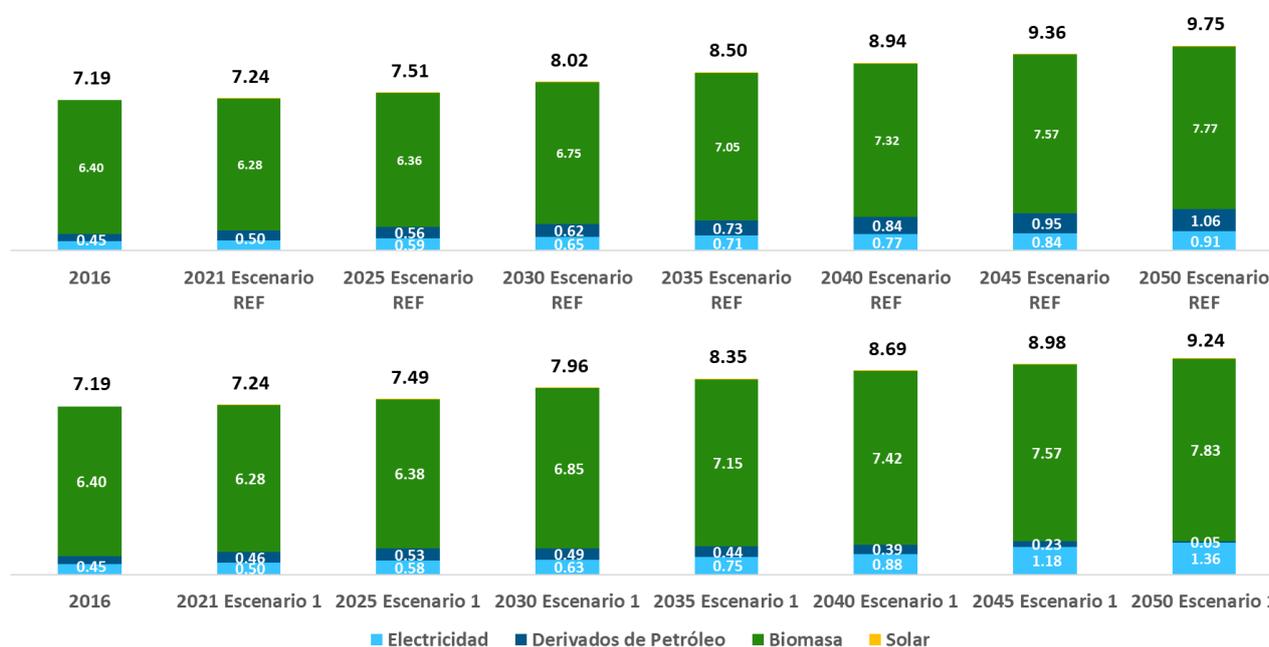
##### 3.5.1. Electrificación de los sectores residencial, comercial y público

**En el año 2016 (año base), el sector residencial, comercial y público, era responsable de la emisión de 1 MtCO<sub>2</sub>eq. (un 3.7 % de las emisiones totales de Guatemala en aquel entonces), explicado principalmente por el consumo de biomasa para usos de cocción.**<sup>31</sup> El consumo eléctrico en el sector

<sup>31</sup> Fuente: Elaboración Propia. El modelo para el año base se alimenta de datos del Balance Energético Nacional (BEN).

residencial, comercial y de servicios públicos necesitaría aumentar hasta situarse en el 10% (**Escenario 1**) del consumo energético total en dichos sectores, como consecuencia de las políticas más agresivas en términos de electrificación y eficientización.

**Figura 28: Consumo energético final – sectores residencial, comercial y público** (Millones de TEP)



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los gráficos, en Guatemala la leña es utilizada por un gran porcentaje de la población, principalmente en el área rural, según la demanda de recursos energéticos a nivel nacional se estima que la fuente más utilizada en el país es la leña, con un 57%, principalmente para la cocción de alimentos y como combustible para calentar sus viviendas, en las zonas frías conllevando otro factor implícito, el cultural, ya que es alrededor de los fuegos abiertos que las familias se reúnen para transmitir una serie de conocimientos, costumbres y tradiciones útiles para las generaciones venideras.

La oferta anual de leña en Guatemala proviene de bosques naturales (85%), plantaciones forestales (14%) y residuos de la industria (1%). La demanda anual se estima en 27.98 millones de metros cúbicos y proviene de la demanda doméstica rural (85%), demanda doméstica urbana (13%) y demanda industrial (2%). E históricamente se extrae leña más de lo que crece en el bosque, por lo tanto, el consumo de leña a nivel nacional no es sostenible.

Lo antes descrito se deriva en un problema de emisiones en el sector. Que el modelo optimiza en base a una relación costo beneficio, sustituyendo y solo aumentado el consumo de leña a través de procesos sostenibles. Lo que va de acuerdo con la "Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013-2024", cuyo objetivo general es garantizar el abastecimiento de leña para la población, desarrollando instrumentos, medios y capacidades a nivel local que permitan producir leña en forma sostenible y facilitar la adopción de tecnología apropiada para el uso eficiente de la leña; generando fuentes de empleo rural no agrícola, reduciendo los efectos adversos del humo para la salud de las personas y favoreciendo la conservación de los bosques. La estrategia plantea, establecer y manejar al menos 48,000 hectáreas de plantaciones y sistemas agroforestales con apoyo de los programas de incentivos forestales, que producirán en forma continua y sostenida, aproximadamente 1.2 millones de metros cúbicos de leña cada año, para abastecer a la población para su consumo sostenible. De forma complementaria al enunciado anterior, la estrategia busca también promover el uso de tecnologías apropiadas para el uso eficiente de la leña, mediante asistencia técnica y financiera para establecer y supervisar el funcionamiento de 100,000 estufas mejoradas.

**Como muestra la figura 28, es importante el rol de la biomasa dado que aporta una vía para garantizar el desarrollo sostenible en todo el planeta, generando puestos de trabajo locales -en especial en zonas con mayor despoblación-, ayudando a la limpieza de bosques, previniendo incendios y aportando una resiliencia en los territorios. El modelo optimiza las soluciones energéticas con biomasa son un instrumento de competitividad y estabilidad de precios**

**energéticos para el sector. Para Guatemala, se considera la biomasa forestal, que, al ser gestionada de forma sostenible, su explotación es inferior a su tasa de crecimiento por lo que las extracciones anuales de carbono no exceden los volúmenes almacenados durante ese mismo periodo de tiempo.**

**Adicionalmente, para alcanzar esta penetración desde los valores actuales, el consumidor residencial, así como el Estado para sus edificios e instalaciones públicas, necesitarán invertir en nuevos equipos para usos térmicos, en cocinas eléctricas y en artefactos con un mayor nivel de eficiencia que pudieran aparecer en el mercado en años venideros.** La adopción de una energía u otra vendrá derivada de la competitividad en costos de las distintas soluciones tecnológicas disponibles y de la reglamentación aplicable, incluida la que incentive unas menores emisiones en estos consumos.

#### **CUADRO 4. Iluminación**

La iluminación representa aproximadamente el 19% de toda la electricidad generada en todo el mundo. El consumo de energía de iluminación puede reducirse mediante mejoras en la eficiencia energética de los sistemas de iluminación, que se componen de lámparas, luminarias y balastos. (Este último para lámparas de descarga). Las mejoras clave de eficiencia están asociadas con la elección de la lámpara. Los principales tipos de lámparas utilizadas en el sector doméstico incluyen las tradicionales (ineficientes) lámparas incandescentes de filamento de tungsteno (servicio de iluminación general, GLS), lámparas halógenas (HL), las lámparas fluorescentes compactas más eficientes (CFL) y luminarias con tecnología LED.

En nuestro modelo, en el **Escenario 1**, se proyecta un reemplazo del 85% de luminarias tradicionales a luminarias de tecnologías LED a 2030, mientras que a 2050 se espera un remplazo total. Nuestro modelo considera además que estas tecnologías aún tienen potencial de mejora, con lo que podemos establecer una tasa de eficientización del 20-22% para el año 2030 y del 45-50% a 2050.

#### **CUADRO 3. Refrigeradores**

Los aparatos de refrigeración y frío son tecnologías maduras cuyo mercado ha alcanzado el nivel de saturación en los países más desarrollados, con tasas de penetración de casi el 100%.<sup>32</sup>

El mercado de hoy se caracteriza por una disminución significativa en el tamaño del congelador, con un aumento de refrigeradores combinados. Los dispositivos de refrigeración comercial (gabinetes de servicio y de explosión, cámaras frigoríficas, unidades de condensación empaquetadas, enfriadores de procesos) se utilizan en restaurantes, hoteles, pubs, cafés, supermercados y en procesos industriales. En algunos tipos de edificios comerciales (por ejemplo, supermercados), la refrigeración representa hasta el 50% del consumo de energía del edificio.<sup>33 34</sup> Todos estos dispositivos incluyen compresores, válvulas de expansión, condensadores y evaporadores, ventiladores de evaporador y fluidos de proceso apropiados. En lo que respecta al fluido del proceso, en las últimas décadas del siglo XX, los gases a base de freón, CFC y HCFC se han utilizado ampliamente porque son eficientes, estables y seguros. Sin embargo, las regulaciones para proteger la capa de ozono atmosférica han llevado a la eliminación gradual de la mayoría de estos gases, y se han desarrollado gases de hidrofluorocarbono (HFC) alternativos y se utilizan actualmente. Los fluidos con un potencial de calentamiento global más pequeño están actualmente en desarrollo. La demanda de energía para los aparatos de frío puede reducirse mediante mejoras de eficiencia, como el aislamiento térmico por vacío y las espumas de poliuretano, los descongeladores adaptativos, los intercambiadores de calor, compresores y ventiladores más eficientes y el control electrónico.

En 2016, los refrigeradores en Guatemala representaban aproximadamente el 8% del consumo eléctrico total, para fines de 2050 se espera que su participación sobre el consumo eléctrico total del sector alcance el 14% en el **Escenario 1**, lo cual nos indica que, al ser una tecnología madura, su potencial para alcanzar mayor eficientización es menor que otras tecnologías de uso doméstico.

#### **CUADRO 5. Estufas**

En los países desarrollados, los aparatos de cocción son tecnologías maduras con una penetración de mercado muy alta.

<sup>32</sup> IEA, Key World Energy Statistics

<sup>33</sup> IEA, Cool Appliances: Policy Strategies for Energy Efficient Homes

<sup>34</sup> Cold appliances data, ODYSSEE

Por su parte, en las economías en desarrollo, la energía para cocinar es un uso final más importante en comparación con las economías desarrolladas: en la India, la cocción representa el 90% del consumo doméstico de energía.<sup>35</sup>

El equipamiento doméstico puede clasificarse ampliamente en hornos, parrillas, fogones y microondas. Al 2016, la tecnología más utilizada en Guatemala es la cocina por biomasa, con una participación de mercado del 90%, mientras que la participación de las cocinas eléctricas es de tan solo el 1.36% (tendencia que se espera que se revierta en el mediano plazo).

#### **CUADRO 6. Calefacción y refrigeración mediante bombas de calor**

Las bombas de calor no son una tecnología nueva y se han utilizado en todo el mundo durante décadas. De hecho, ejemplos de este tipo de tecnología son los aires acondicionados frío-calor. Las bombas de calor proporcionan calefacción y refrigeración de espacios en edificios que utilizan principalmente electricidad como fuente de alimentación principal. El costo de capital de las bombas de calor para aire acondicionado de espacios podría ser mayor que el costo del equipo de combustión tradicional en algunos casos, sin embargo, el costo de la tecnología está disminuyendo. Si bien las bombas de calor son una tecnología madura, se espera que su eficiencia aumente en 2030 en un 38-40% para la refrigeración. Se esperan reducciones de costos como consecuencia de las mejoras tecnológicas, la penetración en el mercado y la sinergia con los sistemas de almacenamiento térmico.

Entre las principales ventajas de las bombas de calor está el hecho de que su principio de funcionamiento les permite usar menos cantidad de energía que el calor que proporcionan, lo que les permite alcanzar fácilmente rendimientos estacionales del 200% al 300%, en comparación con un máximo del 100% alcanzable por un Caldera de gas o aceite de primera clase. Las bombas de calor modernas son adecuadas para cualquier condición climática, y esto se ve corroborado por la amplia penetración que tienen las bombas de calor en los mercados del norte y nórdicos. La energía extra recuperada por el proceso sobre la base del 100% cuenta como energía renovable, ya que no se necesita energía primaria adicional para producirla. Con la mezcla eléctrica promedio en América Latina, las bombas de calor emiten menos CO<sub>2</sub> que cualquier otro dispositivo de calefacción. Si las bombas de calor se adoptaran ampliamente para aplicaciones de calefacción de agua y espacios en edificios, podrían reducir las emisiones globales de CO<sub>2</sub> en 1.250 millones de toneladas en 2050, según la Agencia Internacional de Energía.<sup>36 37</sup>

#### **CUADRO 7. Sistemas para calentar el agua**

En los países desarrollados, se han producido modestas mejoras de eficiencia en el calentamiento del agua en los últimos años. El calentamiento de agua suele ser el tercer uso final de energía doméstica más grande después de la calefacción / refrigeración de espacios y la iluminación. Esta demanda puede ser atendida por sistemas de calentamiento de agua dedicados o por sistemas combinados que también desempeñan un papel de calefacción de espacio primario.<sup>38</sup>

Los sistemas dedicados pueden caracterizarse ampliamente como sistemas de almacenamiento, dispositivos instantáneos o sistemas alternativos, incluidas bombas de calor y sistemas solares. Las divisiones de combustible varían sustancialmente; la mayoría de los países dependen principalmente del gas y la electricidad, aunque el uso de petróleo y biomasa puede ser significativo (Como es el caso de Guatemala).

En el sector comercial, el consumo de calefacción de agua contribuye a una menor proporción del consumo total y se concentra en tipos de edificios limitados. El equipo de calentamiento de agua comercial generalmente se amplía en comparación con el equipo doméstico, en términos de potencia y capacidad de almacenamiento o tasa de flujo, con una importante superposición entre los equipos pequeños.

<sup>35</sup> D. K. a. M. R. S.D. Pohekar, Dissemination of cooking energy alternatives in India - a review

<sup>36</sup> Building's roadmap - International Energy Agency

<sup>37</sup> Energy Technology Perspectives - International Energy Agency

## Sector residencial

Según el último censo publicado por INE, al 2016<sup>39</sup> había 3.5 millones de hogares habitados en Guatemala, y la proyección de población realizada por el mismo organismo espera unos 4.9 millones para 2050.

Para la construcción de los escenarios se ha considerado el traspaso de tecnologías convencionales a tecnologías eléctricas en los principales rubros de demanda energética del hogar: calefacción, ventilación y aires acondicionados (HVAC por sus siglas en inglés), cocina y otros usos (principalmente, calentamiento del agua). A su vez, se espera que la mayor eficiencia de las nuevas tecnologías lleve a un menor consumo energético por dispositivo (mayor en términos absolutos respecto del año base).

## Sector comercial

En línea con últimos censos e informes publicados, en 2016 se registraban 110.712 comercios en Guatemala. Si tomamos para la proyección la tasa de crecimiento del PBI<sup>40</sup>, en 2050 la cantidad de comercios debería ascender a aproximadamente 301 mil comercios.

De la misma manera que en el sector comercial, se espera que los nuevos locales construidos estén adaptados para la utilización de artefactos eléctricos. A su vez, se estima un traspaso gradual de tecnologías convencionales a tecnologías eléctricas a medida que estas últimas consigan mayores niveles de eficiencia.

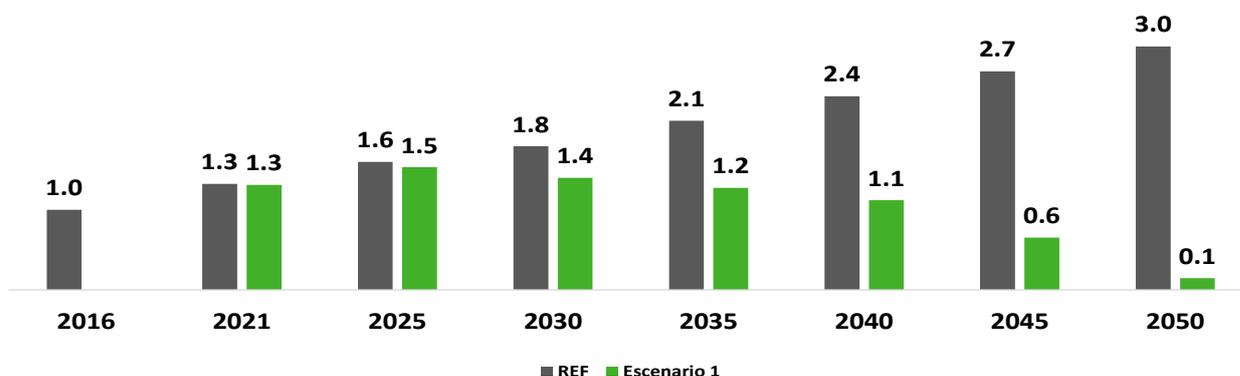
## Sector público

Se espera que, con el transcurso de los años, los edificios (tales como colegios y hospitales) de carácter público que se inauguren se encuentren adaptados para la utilización de artefactos eléctricos. A su vez, los establecimientos públicos existentes reemplazarán paulatinamente los artefactos no eléctricos por eléctricos conforme estos últimos se vuelvan más eficientes.

A modo resumen podemos enumerar las siguientes medidas para el rubro de servicios públicos:

- En lo que respecta a luminarias, el traspaso del 100% de luminarias convencionales a luminarias LED para 2050.
- Traspaso de calefactores de tiro balanceado por bombas de calor, a medida que las tecnologías eléctricas sigan ganando terreno en términos de eficiencia.
- Electrificación de artefactos para el calentamiento del agua.
- Electrificación de estufas en comedores públicos.

**Figura 29: Emisiones directas – sectores Residencial, Comercial y de Servicios Públicos**  
(MtCO<sub>2</sub>eq.)



Fuente: análisis Deloitte.

<sup>39</sup> Dato fue tomado del censo nacional 2018

<sup>40</sup> Estimaciones propias en función de proyecciones realizadas por "The Economist Intelligence Unit"

### 3.5.2 Electrificación del sector agricultura

En los próximos 10 años se espera que se produzca una migración tecnológica en la maquinaria agrícola global que provoque cambios de paradigmas productivos, comparables a lo que produjo la irrupción del tractor diésel en las décadas del 50/60 del siglo pasado.<sup>41</sup> Por ello, si bien en Sudamérica el desarrollo de “robots” y/o maquinarias que utilizan baterías de recarga eléctrica o solar (ya disponibles en algunos países de Europa) aún se encuentra en etapa de desarrollo y diseño de prototipos, la construcción del **Escenario 1** contempla la irrupción de este tipo de tecnologías de forma paulatina para el período 2016-2050.

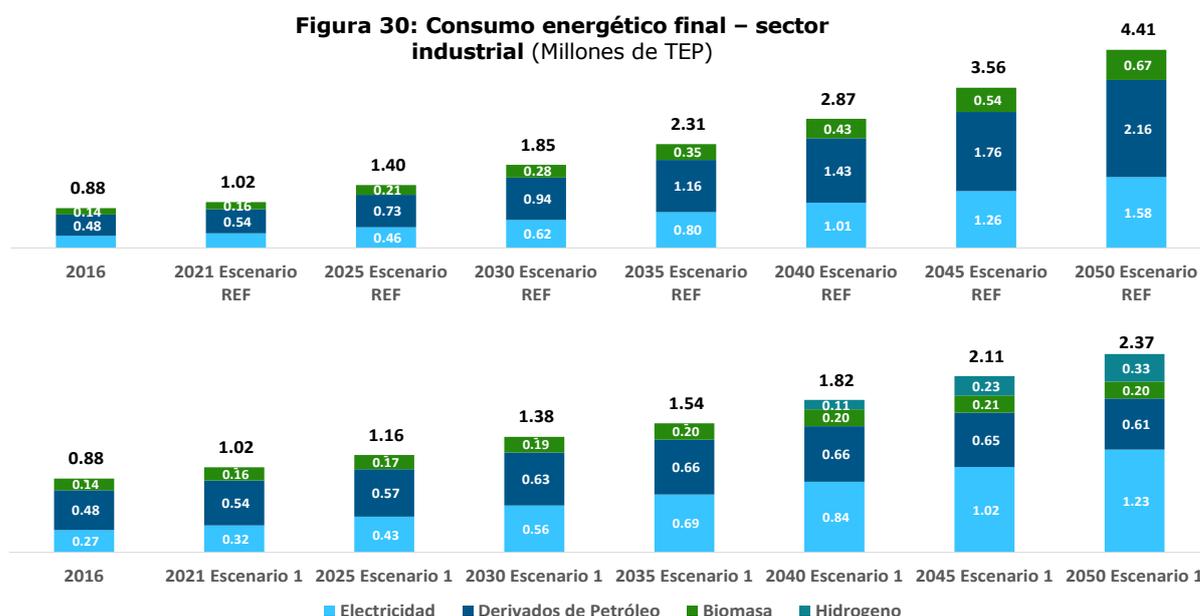
### 3.5.3 Sustitución de combustibles en el sector industrial

El recambio de motores y luminarias, la penetración del hidrógeno verde como vector de descarbonización y el cambio en los métodos de producción, permite importantes posibilidades de reducción de emisiones GEI para los horizontes 2030-2050 a partir de la sustitución de combustibles. Una mayor utilización de desechos industriales para generación eléctrica a partir de biomasa, el uso de hidrógeno verde en la sustitución de procesos industriales o una mayor electrificación de los procesos a base de generación libre de emisiones, son todas alternativas de fuentes limpias de energía que la industria puede explotar y así disminuir la intensidad de las emisiones generada por su consumo energético.

La implementación de medidas que tiendan a mejorar la eficiencia energética en la industria permitiría reducir costos sustanciales a las empresas, logrando una optimización del uso de la energía y al mismo tiempo contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. El recambio tecnológico a equipos más eficientes también permitiría lograr avances significativos en materia de intensidad energética y emisiones.

Un exitoso proceso de descarbonización del sector industrial que logre estabilizar las emisiones a medida que la industrialización avanza requerirá la adaptación gradual de los procesos industriales locales a la vanguardia tecnológica a nivel mundial, sobre todo en sectores intensivos en emisiones de GEI. La reconversión tecnológica (incluye sustitución de materia prima) a los nuevos estándares internacionales que incorporan una visión ambiental, permitirá no sólo reducir la intensidad de las emisiones sino estabilizarlas en términos absolutos.

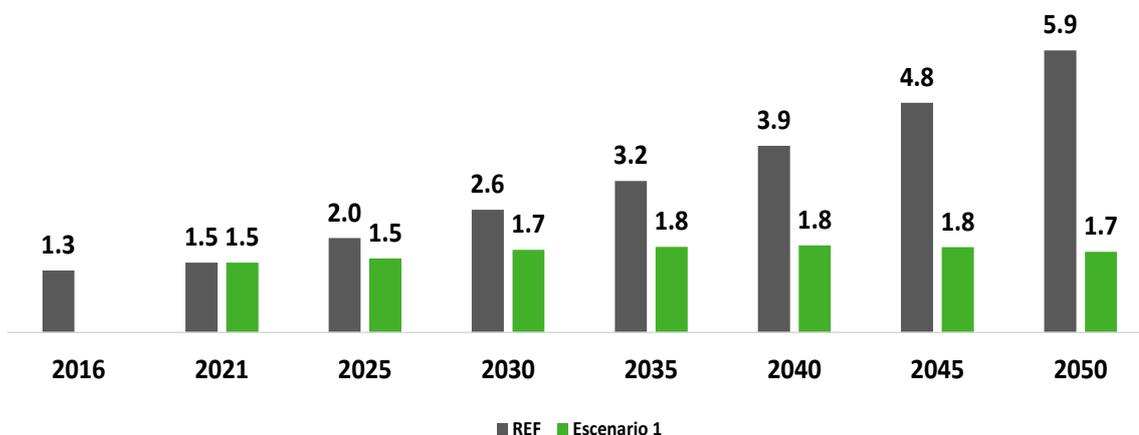
La implementación de las medidas identificadas para la industria permitiría lograr una reducción de las emisiones totales (por la mayor eficientización de consumo energético y de procesos) del 39% en el **Escenario 1** a 2050 con respecto al escenario de referencia. Al mismo tiempo se avanzaría en una industrialización sustentable y achicaría la brecha existente en la intensidad energética de Guatemala con relación a la de los países industrializados.



Fuente: análisis Deloitte.

<sup>41</sup> Fuente: “La maquinaria agrícola, innovaciones y tendencias al 2030” - INTA

**Figura 31: Emisiones directas – sector industria (MtCO<sub>2</sub>eq.)**



Fuente: análisis Deloitte.

### 3.5.4 Sustitución de combustibles en el sector transporte

**Las emisiones de GEI del sector transporte crecen, a nivel internacional, a la mayor tasa desde 1970.<sup>42</sup> Entre las razones se destaca el incremento de la motorización a medida que crece el PBI per cápita.** Para mitigar las emisiones potenciales del sector, cuatro líneas de acción son identificadas. En primer lugar, políticas tendientes a reducir la intensidad energética de los vehículos, y en conjunto con estas, medidas que tiendan a restringir la intensidad de carbón por combustible. Una mayor eficiencia, de todas maneras, será insuficiente, por lo que se requiere avanzar a modos de movilización libres de emisiones, como son los vehículos eléctricos y el cambio modal al tren, especialmente para el transporte de carga. Por último, existen oportunidades importantes para incrementar el uso del transporte público, o modificar conductas que promuevan el uso de la bicicleta, compartir el uso del vehículo o disminuir la necesidad de moverse, como puede ser el trabajo remoto.

**El desarrollo del Vehículo Eléctrico a Batería (VEB) es la apuesta más importante para descarbonizar el sector transporte.** Habiendo alcanzado ventas a nivel global de 3 millones de unidades, como IEA señala en su informe "Global EV Outlook 2022", el objetivo propuesto por varios países es alcanzar una penetración del 30% para 2030, y de 60% para 2050. El despliegue de una estrategia de alta penetración del VEB requerirá cambios sustanciales en la infraestructura necesaria para su uso.

El 29 de agosto 2022 a través del Decreto 40-2022 se aprobó la Ley de Incentivos para la Movilidad Eléctrica, que tiene como objetivo principal facilitar y promover la importación, compraventa y uso de vehículos eléctricos, híbridos, de hidrógeno y sistemas de transporte eléctrico en Guatemala. La ley declara de interés público la promoción y uso de vehículos eléctricos, de hidrógeno y sistemas de transporte eléctrico, para promover la inversión en la infraestructura y producción de energía eléctrica, la eficiencia en el transporte público y privado, la diversificación de la matriz energética y la descarbonización del parque vehicular. Entre los incentivos que contempla la legislación están una exención del Impuesto al Valor Agregado de Importación, Impuesto al Valor Agregado de primera venta e Impuesto Específico a la Primera Matricula de Vehículos Automotores Terrestres para la compraventa de vehículos eléctricos o impulsados por hidrógeno para todo uso, ensamblado o producido en Guatemala.

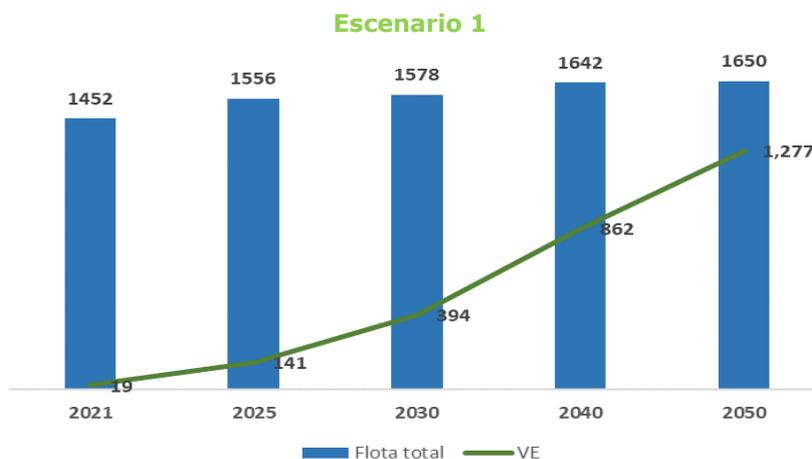
**En un escenario con una ley de incentivos aprobada por parte del Estado y sin restricciones a la circulación de autos con motores de combustión interna, se espera una penetración de EV baja en los primeros años y un crecimiento sostenido a medida que avanza la transición.** Pasando de un 2.5% de automóviles eléctricos en el 2021 a un 25% a 2030 y un 100% a 250 en el **Escenario 1**.

**Para lograr una curva acelerada de adopción del VEB debería seguirse una política de promoción del vehículo eléctrico, con incentivos para adoptar la tecnología y restringir la circulación de autos a combustión interna, y en particular promover la electromovilidad en el transporte público de pasajeros, así como el uso de vehículos no motorizados.** Como consecuencia, en el **Escenario 1** se logra una curva acelerada de penetración de mercado alcanzando un 25% de participación de mercado al

<sup>42</sup> Fuente: IPCC - [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter8.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf)

2030 y una participación del 77% al 2050. Un mecanismo de súper-créditos que vincule a los productores de automóviles a una determinada cuota de créditos de vehículos cero-emisiones, como los adoptados en China, California y Canadá podría resultar muy efectivo para el incremento de la movilidad sostenible. Otras posibilidades incluyen la introducción de requisitos de instalación de puntos de recarga en edificios nuevos y existentes. La tasa de penetración en las nuevas ventas del EV privado se muestra a continuación:

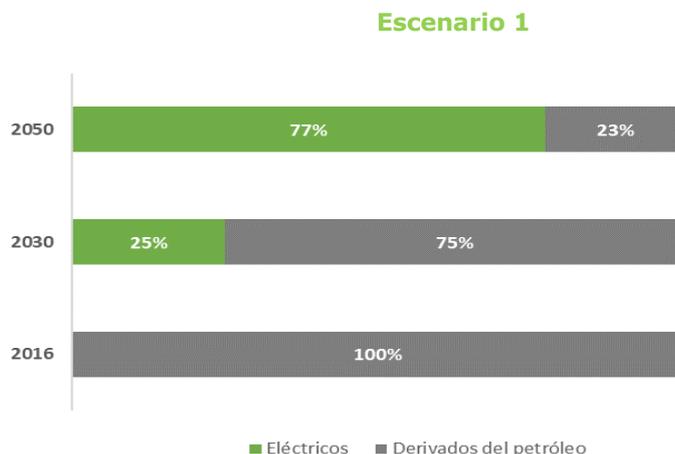
**Figura 32: Electrificación de los vehículos privados (en miles)**



Fuente: análisis Deloitte

**Si se analizan las tendencias en el costo nivelado de la energía y en el precio de las baterías, podríamos concluir que, en un futuro cercano, la posibilidad de introducir una nueva tecnología como el VEB en el parque automotor de Guatemala sería económicamente factible, lo cual permitiría la reconversión de los consumidores frente a una tecnología más competitiva.**

**Figura 33: Vehículos privados (% pasajeros – km.)**

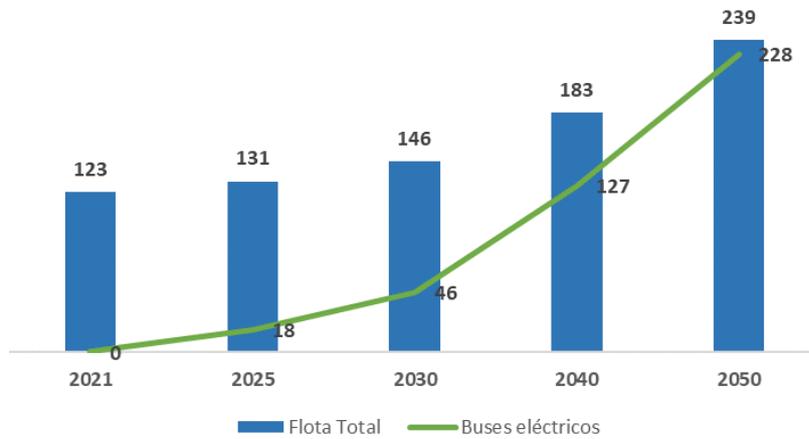


Fuente: análisis Deloitte.

**En el Escenario 1, la tasa de penetración de los buses eléctricos a 2030 es del 31%, mientras que a 2050 se estima una tasa de penetración para los buses eléctricos del 96%.**

**Figura 34: Electrificación de los buses (en miles)**

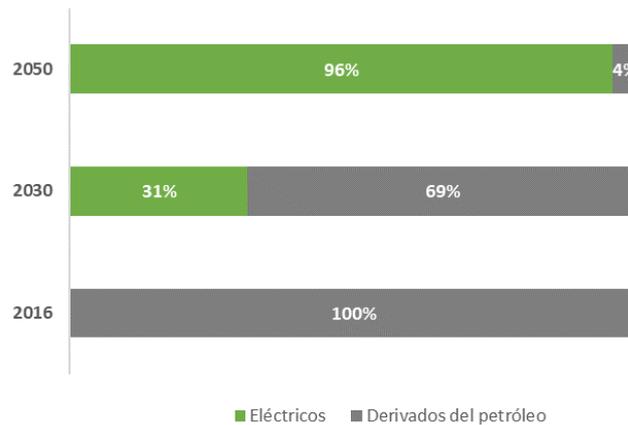
**Escenario 1**



Fuente: análisis Deloitte

**Figura 35: Buses (% Passenger - Km.)**

**Escenario 1**



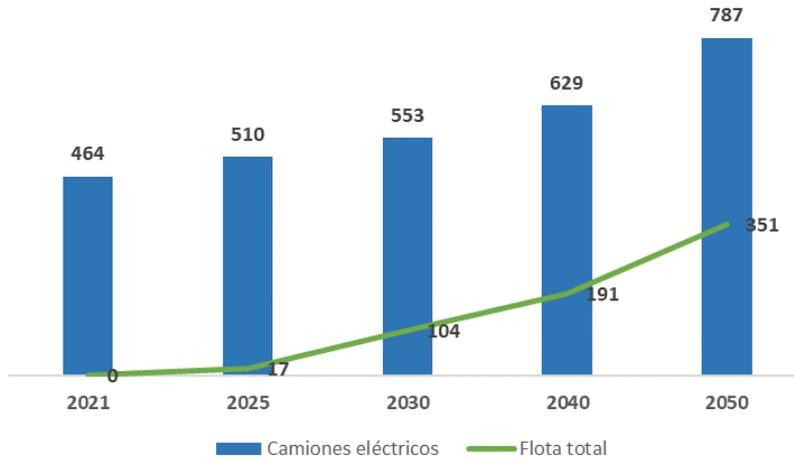
Fuente: análisis Deloitte

**En lo que respecta al transporte de cargas, las medidas apuntan a promover la participación de los camiones eléctricos para el transporte de carga liviana y reducir el uso del diésel como combustible, por su parte, para el transporte de carga pesada, se incluye el uso del hidrógeno verde como vector de descarbonización.** De esta manera, se alcanza una tasa de penetración de los camiones eléctricos a 2050 del 50%.

**Mediante la electrificación de los vehículos de carga y la adopción de nuevas normas con los mayores estándares de emisiones de CO<sub>2</sub>, Guatemala obtendrá un impacto sustancial en las emisiones de GEI y una reducción significativa en la flota a combustible fósil.**

**Figura 36: Electrificación de los camiones (en miles)**

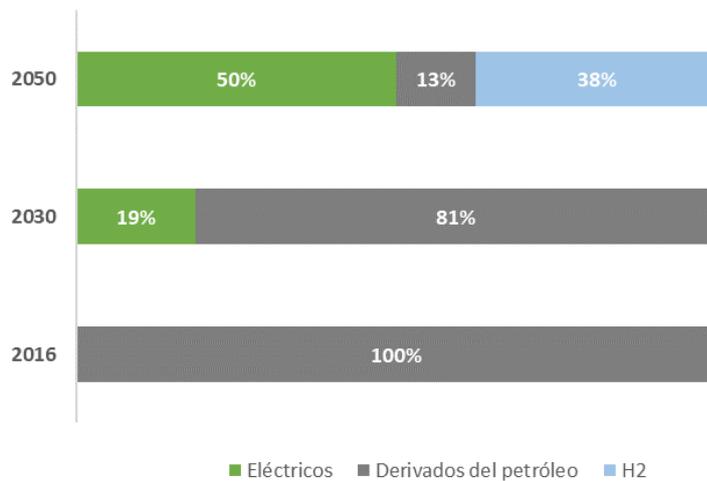
**Escenario 1**



Fuente: análisis Deloitte

**Figura 37: Transporte de carga (% Passenger – Km.)**

**Escenarios 1**



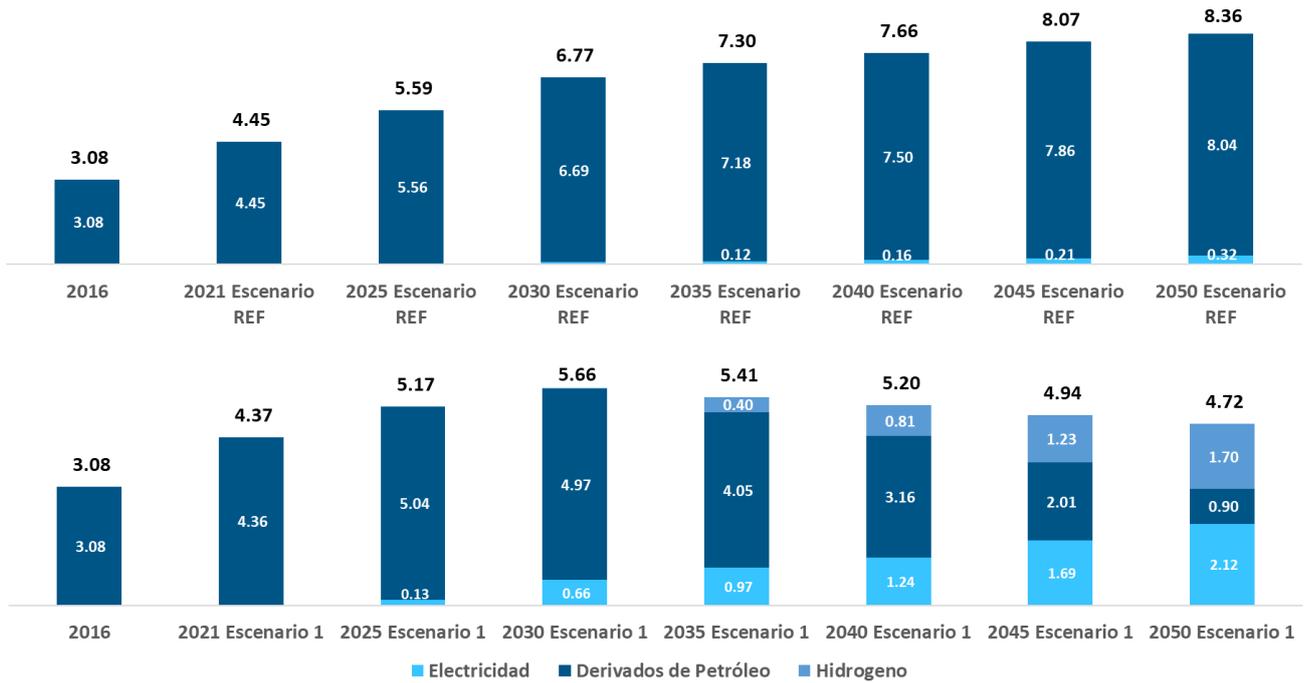
Fuente: análisis Deloitte

**Para el sector de transporte de pasajeros y de carga (terrestre, aéreo y naval), las medidas de mitigación están enfocadas a la eficientización de tecnologías existentes** con el fin de lograr una reducción en el consumo de combustibles fósiles.

En suma, todas estas medidas nos permiten reducir la demanda energética en un 43% en el **Escenario 1** para el año 2050 con respecto al escenario de referencia.

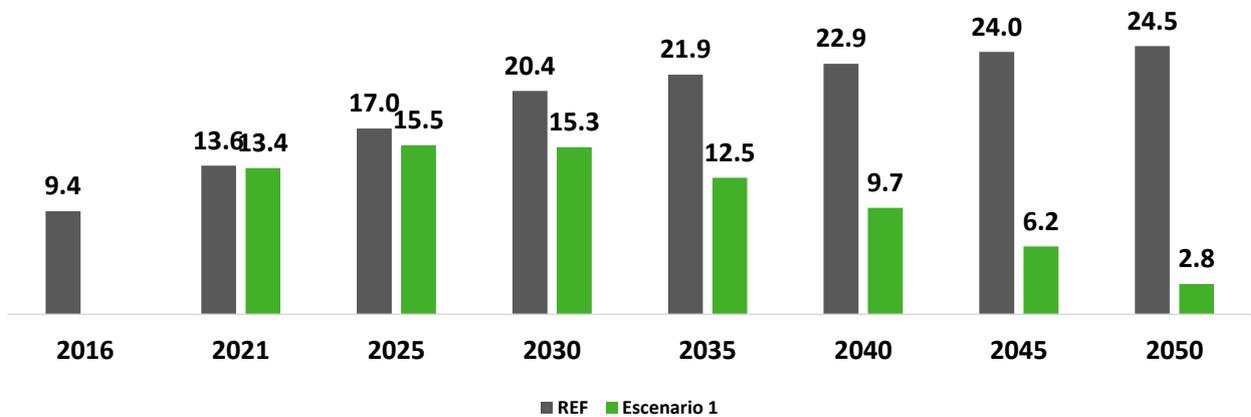
Con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, se espera una reducción directa de 21.7 MtCO<sub>2</sub>eq. en el **Escenario 1** con respecto a los valores proyectados en el escenario de referencia a 2050.

**Figura 38: Consumo energético final – sector transporte (Millones de TEP)**



Fuente: análisis Deloitte

**Figura 39: Emisiones directas – sector Transporte (MtCO<sub>2</sub>eq.)**



Fuente: análisis Deloitte

### 3.6. El rol del hidrógeno verde en la descarbonización de Guatemala

#### Introducción del hidrógeno verde como fuente de energía limpia

**El Hidrógeno verde es la mayor reserva de combustible no contaminante del mundo.** Este gas se puede generar a partir de fuentes renovables, almacenarse y ser utilizado, a través de pilas de combustible, para generar electricidad sin contaminar.

**El hidrógeno verde permite una verdadera integración de las energías renovables** en todos los sectores: energía eléctrica, transporte, gas, industrias pesadas como minería, fertilizantes verdes, refinerías, etc.; y una descarbonización de **sectores donde no es viable la electrificación.**

**Se espera que el hidrógeno verde alcance paridad económica en 2030:** el costo nivelado estimado para el hidrógeno azul es de 1.4 a 1.8 USD/kg mientras que, para el hidrógeno verde, este valor podría estar entre los 1.5 USD/kg para los proyectos off-grid del orden de 1 GW de potencia eólica y de entre 1.6 y 2.7 USD/kg para proyectos on-grid de hasta un orden de 100 MW. Esto facilitaría la adopción de tecnologías de hidrógeno y su masificación, sobre todo para la industria y la movilidad.

### El rol que asume el hidrógeno verde como vector de descarbonización en la presente actualización de Hoja de Ruta de Transición Energética para Guatemala a 2050

**Una de las principales novedades que trae el presente estudio es la profundización que se le ha dado al análisis del hidrógeno verde como vector de descarbonización.** En este sentido, hemos incorporado este insumo como una realidad que se materializa en el **Escenario 1**, dado que las actuales tendencias de mercado empiezan a mirar con mayor optimismo la factibilidad para el desarrollo de esta fuente de energía.

Considerando las proyecciones de costos de este insumo y las restricciones propias del modelo que resultan de un nivel de ambición compatible con el logro del objetivo de optimizar los resultados de reducciones a 2050, **el hidrógeno verde se presenta como una solución costo-eficiente para aquellos sectores denominados difíciles de descarbonizar** (principalmente, los referidos a industria y transporte de carga pesada).

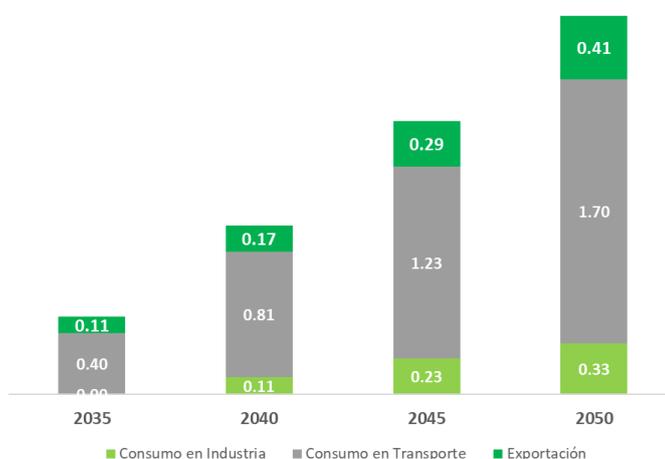
**En cuanto a la utilización del hidrógeno verde como vector de descarbonización**, el mismo se emplea en el sector industrial (0.33 millones de TEP a 2050) y para el transporte de carga pesada (1.69 millones de TEP a 2050).

De esta manera, el modelo contempla el potencial de Guatemala para ser un **país exportador de hidrógeno verde**. En este sentido, es importante mencionar que **el país cuenta con un gran potencial para convertirse en un hub de hidrógeno verde a nivel mundial**.

Todos estos submercados del hidrógeno verde permitirían abastecer a la aviación con combustible sintético con hidrógeno, transporte marítimo internacional con amoníaco y al transporte terrestre con combustibles de menor contenido de azufre. Siendo un hub geográfico, estos subproductos del hidrógeno se distribuirían a la región.

Teniendo en cuenta dicha ventaja competitiva de Guatemala, a 2050 se proyecta un volumen total de exportaciones de 0.41 millones de TEP.

**Figura 40: Consumo interno + Exportaciones de Hidrógeno verde**  
(Millones de TEP)



Fuente: análisis Deloitte

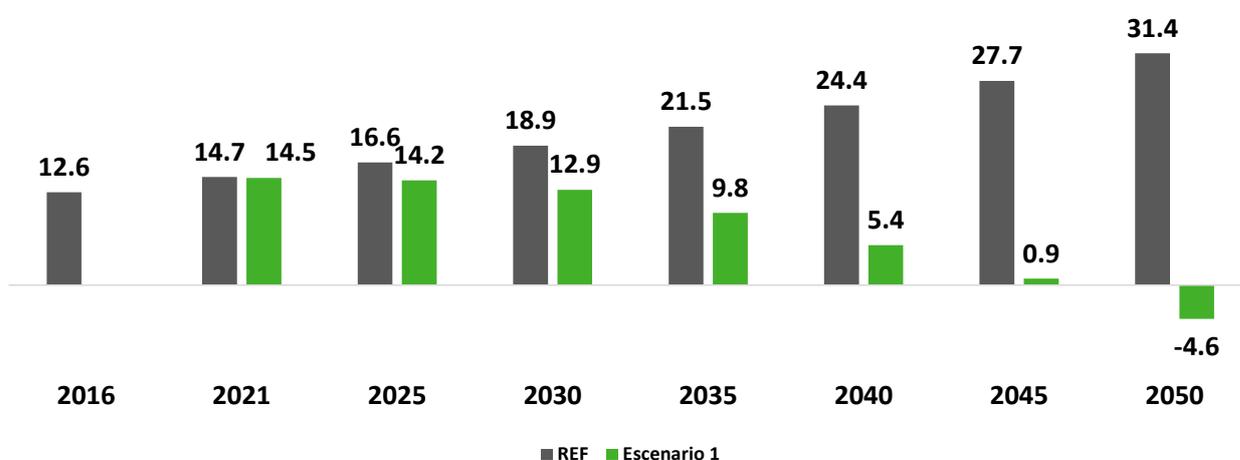
### 3.7. Incentivo a modelos de producción sustentable – sector no energético

El sector “no energético” comprende las siguientes ramas:

- Ganadería, silvicultura y otros usos de los suelos
- Tratamiento de residuos
- Emisiones fugitivas

Dado que representa uno de los sectores con mayor volumen de emisiones de gases de efecto invernadero, se aplican fuertes medidas de mitigación en el **Escenario 1**. Mientras que, en el escenario de referencia, el aumento del nivel de emisiones hacia 2050 es de 150%, el **Escenario 1** las medidas disruptivas llegan incluso a lograr reducciones del 137% con respecto a los niveles de emisiones del escenario de referencia.

**Figura 41: Emisiones – sector no energético (MtCO<sub>2</sub>eq.)**



Fuente: análisis Deloitte.

#### 3.7.1. Sector AFOLU

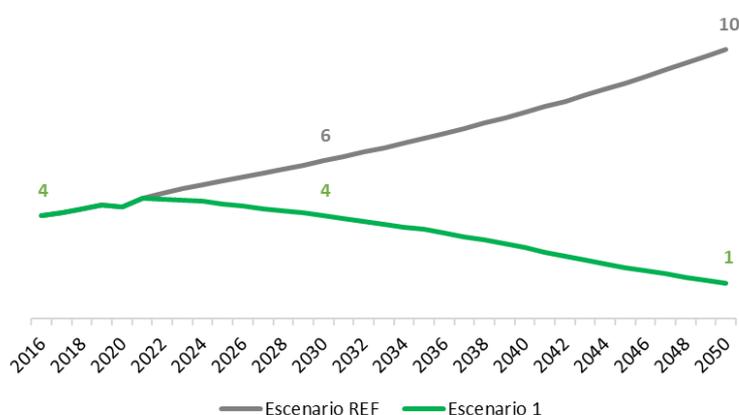
##### Ganadería

En el año 2016, el sector ganadero fue responsable de la emisión de 3.85 MtCO<sub>2</sub> equivalentes. Si estos niveles continuaran con la misma tendencia creciente, proyectando hacia 2030 y 2050, los niveles de emisiones se hallarían en torno a los 7.61MtCO<sub>2</sub>eq. y 10.06 MtCO<sub>2</sub>eq. respectivamente en el escenario de referencia.

**El Escenario 1 proponen mejoras en esta tendencia de aumento del nivel de emisiones, de distinto grado, pero con esfuerzos en diferentes palancas a través de diversas medidas en lo que respecta al manejo de la ganadería, que ayudan a lograr resultados más favorables.** El **Escenario 1** muestra reducciones por el 35% y el 87% en 2030 y 2050 respectivamente, con respecto a los niveles del escenario de referencia.

Estas reducciones se logran, como se remarcó anteriormente, mediante la implementación de medidas de mitigación de carácter sistémico, ambiciosas y estratégicas, que abarcan al subsector entero. La promoción de buenas prácticas y la mejora de procesos mediante el desarrollo de planes y programas públicos de extensionismo rural es fundamental para lograr estas metas.

**Figura 42: Emisiones - subsector ganadería (MtCO<sub>2</sub>eq.)**



Fuente: análisis Deloitte.

### Usos de los suelos

**El sector Uso de Suelos, Cambio de Uso de Suelos y Silvicultura (USCUSS) genera un total de emisiones de 4.96 MtCO<sub>2</sub>eq. en 2016.**

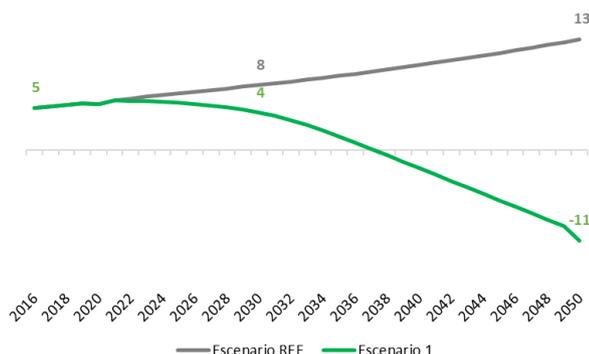
En caso de no aplicarse medidas que logren mitigar el nivel de emisiones, el subsector registraría niveles de 7.61 MtCO<sub>2</sub>eq. en 2030 y 12.97 MtCO<sub>2</sub>eq. en 2050. En el **Escenario 1** se propone medidas en torno a la forestación, mejora en pastizales y el mejor uso de tierra para cultivo que buscan reducir estos niveles a 4.38 MtCO<sub>2</sub>eq. en 2030, hasta alcanzar un potencial de captura de carbono de 10.56 MtCO<sub>2</sub>eq. en 2050, logrando absorber las emisiones remanentes del sector.

**La reducción de la deforestación y la promoción del aumento de la superficie de las plantaciones forestales es fundamental para que lograr las metas.**

A continuación, se muestran las medidas a implementar en el sector con el objetivo de alcanzar la carbono-neutralidad de Guatemala mediante la reducción y absorción de las emisiones de GEI:

- **Manejo de cultivos:** restauración de tierras, manejo silvopastoril, reconversión de cultivos de cardamomo por cultivos permanentes y asociados, sistemas de secas intermitentes (SICA) en el cultivo de cardamomo para la disminución de GEI y manejo sostenible de los cultivos permanentes para la disminución de GEI.
- **Manejo forestal sostenible:** mecanismos de conservación de bosques en comunidades nativas, asignación de derechos de tierras no categorizadas y desarrollo de programas de reforestación y agroforestería.
- **Mejora en pastizales.**

**Figura 43: Emisiones - subsector otros usos de los suelos (MtCO<sub>2</sub>eq.)**



Fuente: análisis Deloitte.

La ganadería y el uso de suelos, en conjunto con otras actividades relacionada a la agricultura, componen la totalidad del sector que denominamos AFOLU, que alcanzó niveles de emisiones por 8.80 MtCO<sub>2</sub>eq. en 2016. El **Escenario 1** propone reducciones con respecto a los niveles del escenario de referencia alcanzando un total de emisiones de 8.22 MtCO<sub>2</sub>eq. para 2030 y un potencial de captura de carbono de 9.23 MtCO<sub>2</sub>eq. para 2050.

### 3.7.2. Residuos Sólidos

**Las emisiones de GEI del sector residuos ascendieron en 2016 a 1.23 MtCO<sub>2</sub>eq.**, compuesto casi en su totalidad de emisiones de metano y, en caso de no emprender esfuerzos adicionales en términos de descarbonización, podrían ascender a 1.77 MtCO<sub>2</sub>eq. en 2050.

**Por su parte, las medidas de mitigación consideradas en el Escenario 1 podrían propiciar una reducción en el nivel de emisiones del sector del 24% hacia 2050 con respecto al escenario tendencial.** Las mismas se centran en lo siguiente:

- Recuperación y valorización material y energética de los residuos a través de reutilización, reciclaje, compostaje, co-procesamiento y disposición final de los residuos en la infraestructura respectiva a través de la implementación de tecnologías que permitan la reducción de GEI.
  - Construcción de rellenos sanitarios con tecnología semiareobia y con captura y quema centralizada de biogás.
  - Segregación de residuos sólidos orgánicos para su valorización material en plantas de compostaje.
  - Aprovechamiento del biogás generado en rellenos sanitarios para su valorización energética.
- Aumento de la cobertura actual de los servicios de saneamiento, considerando tecnologías que permitan la reducción de emisiones de GEI en las PTAR tales como sistemas de coberturas, sistemas de instalación de geomembranas, tuberías de recolección de gas, digestores para el tratamiento de lodos, quemadores u otras tecnologías.
  - Mejorar el tratamiento de aguas residuales y control de presiones en los servicios de agua potable.
  - Construcción de nuevas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para el cierre de brechas del sector de saneamiento.
  - Cobertura de lagunas anaerobias y quema de metano, e instalación de digestores anaerobios de lodos de PTAR para la captura y quema de metano.
  - Aprovechamiento de aguas residuales tratadas y biosólidos

Por otra parte, se pretende establecer una política de reciclado que permita disminuir la cantidad de residuos anuales por habitante a través de una economía circular, aumentando el esfuerzo de reciclaje a lo largo de toda la cadena económica.

## 3.8. Análisis de inversiones y costos en el sistema

### Inversiones necesarias durante el periodo 2016-2050

**Los cambios planteados en el escenario requerirán de inversiones incrementales con relación al escenario de referencia, que a valor presente alcanzan USD 31,000 millones USD<sup>43</sup>.** Las inversiones abarcan todos los sectores económicos, especialmente la transformación de la matriz eléctrica y los cambios del sector transporte, incluyendo los cambios modales.

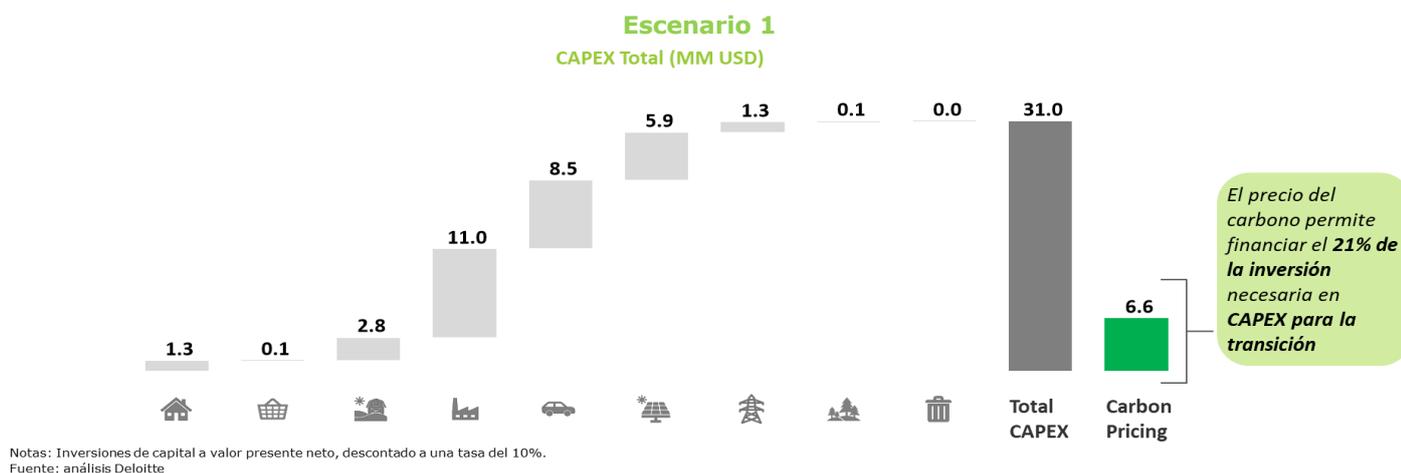
La literatura reciente producida desde distintas organizaciones para la lucha contra el cambio climático, observa en la fijación de precios del carbono, o en los llamados esquemas *Carbon Pricing* que penalizan las emisiones, una poderosa palanca política para apoyar la descarbonización y financiar las inversiones necesarias

<sup>43</sup> Todos los valores se encuentran descontados a 2016, a la tasa utilizada por los organismos internacionales para países emergentes del 10%.

en la transición, al tiempo que estimulan la competitividad, la creación de empleos y la innovación.<sup>44</sup> En la actualidad, alrededor de 40 gobiernos nacionales y 23 Gobiernos subnacionales han implementado mecanismos de fijación del precio del carbono, con lo que se cubre el 12 % de las emisiones mundiales<sup>45</sup>.

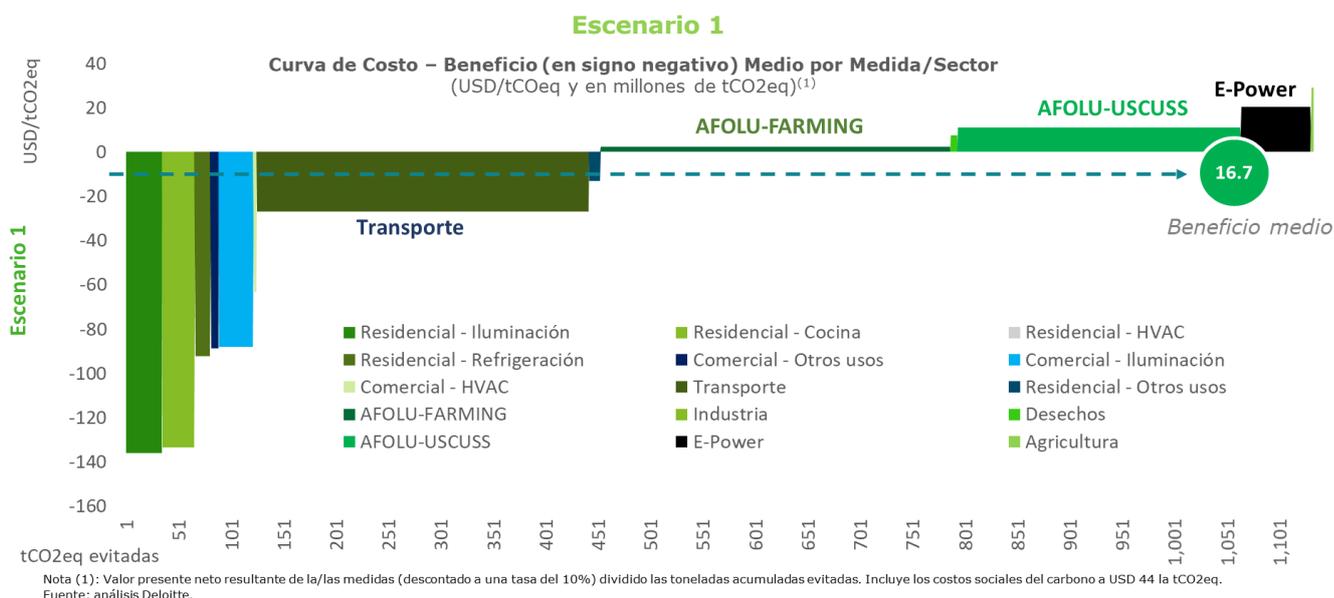
De las inversiones totales del **Escenario 1**, una parte se logra financiar mediante *Carbon Pricing*. A valores de 2016, hemos estimado que este mecanismo permitiría obtener un fondeo por un total de USD 6.6 mil millones. De esta manera, las inversiones netas serían de USD 24.4 mil millones, lo que nos permite concluir que **un 21% del total de inversión podrá ser financiado por Carbon Pricing**.

**Figura 44: CAPEX total** (miles de millones de USD)



Cuando realizamos un análisis del costo-beneficio por medida de mitigación incluyendo, por un lado, el costo de implementación de los paquetes de medidas y, por otro, el beneficio generado en concepto de costo social de carbono<sup>46</sup>, arribamos que **el beneficio medio por tonelada de CO<sub>2</sub>eq. es de 16.7 USD**.

**Figura 45: Curva de Costo-Beneficio medio por medida/sector** (USD/tCO<sub>2</sub>eq.)<sup>(1)</sup>



<sup>44</sup> Fuente: Coalición de Liderazgo para la Fijación del Precio del Carbono (CPLC, por sus siglas en inglés), una alianza mundial puesta en marcha durante las negociaciones sobre el clima en París, con el objetivo de reunir el apoyo público y privado para la fijación del precio del carbono en todo el mundo.

<sup>45</sup> Fuente: CPLC, Año 2016 (<https://www.cdp.net/CDPResults/carbon-pricing-in-the-corporate-world.pdf>)

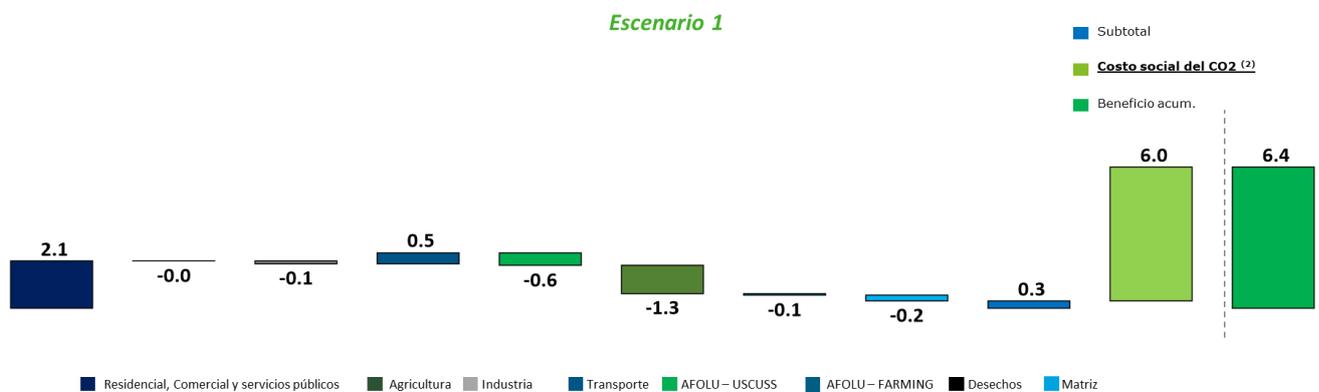
<sup>46</sup> Por costo social de carbono se entiende al valor económico por la tonelada CO<sub>2</sub>eq. adicional de emisiones evitada.

### 3.9 Beneficios de la descarbonización

**Las inversiones incrementales necesarias para alcanzar estos escenarios son más que compensadas por los ahorros logrados por la descarbonización.** En el **Escenario 1**, el beneficio neto social para la economía en el período 2016-2050 es de USD 6.4 mil millones de dólares a valor presente. En primer lugar, existe una marcada reducción del costo del consumo de las fuentes primarias de energía. Esto es, el ahorro por el menor consumo de combustibles fósiles es mayor que las inversiones en generación eléctrica, transporte y el costo de suministro necesario para su reemplazo. En segundo lugar, siguen los ahorros por la mayor eficiencia energética de los sectores residenciales, comercial y servicios. En cambio, en los sectores productivos, salvo residencial y transporte, existe un costo neto, aunque como se muestra, inferior a los beneficios esperados de implementar los vectores de descarbonización.

**Como resultado podemos concluir que un mayor esfuerzo económico permite a su vez alcanzar mayores beneficios netos totales.**

**Figura 46: Valor presente neto (miles de millones de USD)**



**Figura 47: tCO2eq. evitadas**



- (1) Los valores positivos indican beneficios netos y los negativos costos netos resultantes de las medidas por sector, a valor presente neto descontado a una tasa del 10%.
- (2) Definido como la pérdida económica futura estimada causada por la emisión de 1 tonelada métrica (2.204 lb, o 1.000 kg) de carbono hoy. Calculado a USD 44 la tCO2eq.

Fuente: análisis Deloitte

### El camino hacia una transición justa

**En el Acuerdo de París se reconoce la necesidad de que la transición sea rápida y equitativa para los trabajadores y para la comunidad. La transición aumentará la prosperidad y puede ser un motor clave en la creación de empleo.** Implica tanto al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°8 de la ONU que busca promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo el trabajo decente para todos, como al ODS N°13 centrado en adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Alcanzar el Objetivo N°8 implica la creación de +600 millones de nuevos empleos para 2030, siguiendo el ritmo de crecimiento de la población mundial en edad de trabajar. El cambio climático incontrolado podría revertir los logros en prosperidad económica, progreso social y reducción de la pobreza.

La reducción de emisiones de GEI implica cambios dentro y entre sectores económicos, así como cambios entre las diferentes regiones a nivel global. Una transición mundial hacia una economía sostenible y con bajas emisiones de carbono tiene efectos positivos y negativos en el empleo. A nivel general, en las industrias y servicios descarbonizadas la producción y el empleo crecerán, mientras que los sectores intensivos en energía y recursos probablemente se estancarán o contraerán. Esto resultará en:

- **Creación de empleos** dada por la expansión de productos, servicios e infraestructura de bajo consumo de carbono
- **Sustitución de empleos** como resultado de cambios en la economía en cuanto a eficientización, menor contaminación en procesos de producción y descarbonización.
- **Eliminación de empleos** cuando las actividades económicas contaminantes y de uso intensivo de energía y materiales se reducen o se eliminan por completo.
- **Transformación y redefinición de empleos** cuando se respeten las prácticas laborales cotidianas, los conjuntos de habilidades, los métodos de trabajo y los perfiles laborales.

Otra dimensión que es importante tener en cuenta junto con el cambio en el número de puestos de trabajo es la calidad del empleo. Los empleos creados en la transición deben ser “decentes”, es decir que deben proporcionar ingresos adecuados y protección social, condiciones de trabajo seguras, respeto de los derechos en el trabajo y dialogo social. Además, los derechos de los trabajadores deben garantizar que tanto hombres como mujeres tengan igualdad de oportunidades, estén protegidos contra la discriminación, y tengan acceso a la política de licencias de maternidad y paternidad.

La escala y el alcance de estos cambios dependen de la velocidad y amplitud de los cambios tecnológicos y de mercado en la transformación verde. Tales impactos deben ser suavizados a través de la creación de políticas de transición justa para trabajadores afectados y su comunidad<sup>47</sup>.

En América Latina la descarbonización puede generar 15 millones de puestos de trabajo netos en la región para 2030: resultado de 22.5 millones de puestos de trabajo creados y 7.5 millones de empleos eliminados.<sup>48</sup>

Como resultado de la transición energética de Guatemala se estima que se crearán 631,085 puestos de trabajo netos provenientes de la creación de 941,918 nuevos puestos de trabajo para el 2050 de los cuales 658,400 pertenecerán al sector de la construcción, 141,193 al de minería de cobre, otros 94,240 estarán relacionados a las energías renovables y los 48,085 restantes pertenecerán a la manufactura de insumos eléctricos. Por otro lado, 310,833 puestos de trabajo, relacionados especialmente al sector de refinería y extracción de petróleo (267,316 puestos) y a la minería y generación de electricidad por carbón (43,517), se verán amenazados<sup>49</sup>.

En el camino hacia una transición justa se deben identificar las mejores prácticas impuestas a nivel global. Se debe abordar el problema de la competitividad internacional a través de los precios del carbono y los ajustes fiscales en la frontera.

Cuatro recomendaciones que llevan a una transición energética justa para todos<sup>50</sup>:

1. **Apoyar la intromisión de tecnologías eléctricas** a través de Bonos de Inversión de Transición Energética, Clusters Energéticos Nacionales sobre tecnologías de electrificación, Esquemas financieros innovadores para tecnologías maduras, Concientización.
2. **Gestionar el empleo y las oportunidades** a través de medidas sociales para los trabajadores (ej.: jubilación anticipada), nuevos programas educativos (ej.: economía circular) y el desarrollo e implementación de programas de capacitación.
3. **Abordar la pobreza energética** mediante la creación de un índice para medir la pobreza energética, la creación de subsidios/planes de protección social para hogares de bajos ingresos y/o la introducción progresiva de reformas de precios.
4. **Promover una redistribución justa de los costos de transición**, revisando los componentes de costos dentro de la factura de electricidad y/o eliminando impuestos/gravámenes indebidos de la factura de electricidad.

<sup>47</sup> “Just Transition of the Workforce, and the Creation of Decent Work and Quality Jobs”, Technical Paper, United Nations.

<sup>48</sup> “El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe”, Organización Internacional del Trabajo

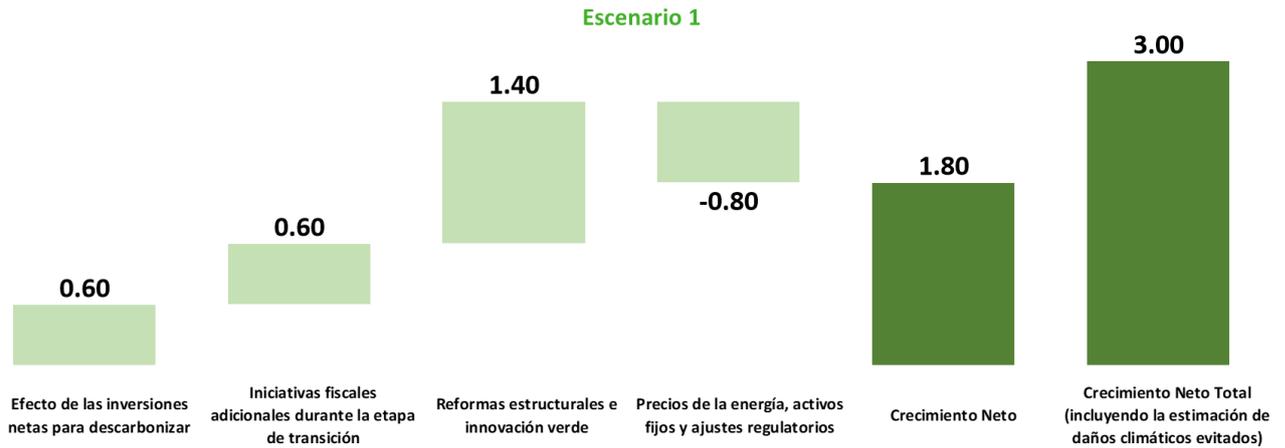
<sup>50</sup> Análisis Deloitte en base a “Just E-volution 2030” Study; Enel, Enel Foundation, The European House – Ambrosetti, 2019

Una transición justa hace hincapié en un enfoque participativo de la sostenibilidad ambiental y social. El diálogo social que da voz a las preocupaciones y necesidades de trabajadores, empleadores y comunidades, afectados por la transición hacia cero emisiones netas, ayuda a crear confianza y forja el consenso.

### Impacto en el PBI de las medidas de mitigación

La combinación de reformas económicas con políticas ambiciosas sobre el clima puede estimular el crecimiento económico al tiempo que moviliza la inversión necesaria para lograr objetivos climáticos a largo plazo. **Los resultados sugieren que una "transición decisiva" colectiva puede propiciar un crecimiento económico de hasta un 3% si se considera el impacto de los daños climáticos evitados.**

**Figura 48: Efectos positivos sobre el GDP en Guatemala a 2050 (diferencia vs. REF)**



Fuente: análisis Deloitte en base a Organización Internacional del Trabajo - "El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe", OECD "Investing in Climate, Investing in Growth" y "Just E-volution 2030 Study; Enel, Enel Foundation, The European House – Ambrosetti, 2019

# Conclusiones



# 4. Conclusiones

**El NDC de Guatemala, estimula la reducción de GEI por parte del sector público y privado, además de brindar flexibilidad e incentivos para promover la transición hacia una economía baja en carbono. Se requiere de apoyo financiero para encaminar al país a un desarrollo resiliente al cambio climático y bajo en emisiones.**

## Medidas NDC actualizada vs resultados del modelo TIMES

### Energía

Al 2030, se ha reducido el 41% (21.85 MtCO<sub>2</sub>eq.) de las emisiones totales de GEI con respecto al escenario de Referencia, lo cual representa un potencial de mejora en los niveles de ambición planteados en la NDC para el escenario condicional del 79% (9.66 MtCO<sub>2</sub>eq. de mitigación adicional). Por otro lado, al 2050, se ha reducido el 100% de las emisiones de GEI con respecto al escenario de Referencia, alcanzando la carbono-neutralidad.

**Según los resultados del modelo TIMES, en relación con la contribución en términos de emisión de GEI, para el 2050, Guatemala reducirá sus emisiones en 100% y al menos 41% para 2030 en comparación con el BAU. Lo que representa una reducción de alrededor de 39 MtCO<sub>2</sub>eq. entre 2022-2050 y hasta 7 MtCO<sub>2</sub>eq. entre 2022-2030.**

En cuanto a la promoción del uso de otros tipos fuentes de energía renovables, al 2050, el 75% de la capacidad instalada de la matriz eléctrica deberá provenir de otros tipos de fuentes de energías renovables.

**Según los resultados del modelo TIMES, al 2050, el 99.6% de la capacidad instalada de la matriz eléctrica deberá provenir de otros tipos de fuentes de energías renovables**

### Uso de la Tierra Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura

En relación con la contribución en términos de emisiones GEI, se llevará a cabo la restauración forestal de 81,776 hectáreas, contribuyendo con aproximadamente 4.6 MtCO<sub>2</sub>eq. absorbido en 2050.

En cuanto a la reforestación de zonas degradadas, de acuerdo con la Contribución Unilateral, se producirá un incremento en la capacidad de absorción de Carbono en un 10 % con respecto al Escenario de Referencia al 2050. De acuerdo con la Contribución Apoyada, se producirá un incremento en la capacidad de absorción de Carbono en un 80 % con respecto al Escenario de Referencia al 2050.

**Según los resultados de la modelización de escenarios, se llevará a cabo la restauración forestal de 87 mil hectáreas, contribuyendo con aproximadamente 4.6 MtCO<sub>2</sub>eq. absorbido en 2050.**

### Comparativa con las NDC nacionales

Las NDC de Guatemala, estimulan la reducción de GEI por parte del sector público y privado, además de brindar flexibilidad e incentivos para promover la transición hacia una economía baja en carbono. Para lograr este objetivo, se requerirá de apoyo financiero para encaminar al país a un desarrollo resiliente al cambio climático y bajo en emisiones.

A través de sus NDC, Guatemala se compromete al 2030, a reducir el 11.2% (6.04 MtCO<sub>2</sub>eq.) de las emisiones de GEI con respecto al escenario tendencial como meta no condicionada al apoyo internacional y a reducir el

22.6% (12.19 MtCO<sub>2</sub>eq.) de las emisiones de GEI con respecto al escenario tendencial para el mismo periodo como meta condicionada al apoyo internacional. Por su parte, el presente estudio se deriva que **una mayor ambición en términos de reducción de emisiones es posible**. En tal sentido, al implementar las medidas de mitigación contempladas en la modelización del **Escenario 1**, Guatemala podrá reducir sus emisiones en al menos 41% para 2030 en comparación al escenario de referencia y alcanzaría el objetivo de carbono neutralidad a 2050. Esto representa una reducción de hasta 21.85 MtCO<sub>2</sub>eq. entre 2022-2030 y de alrededor de 79.38 MtCO<sub>2</sub>eq. entre 2022-2050.

# Recomendaciones de política energética para una descarbonización sostenible



# 5. Recomendaciones de política energética para una descarbonización sostenible

A partir del análisis de la visión a largo plazo del modelo energético de Guatemala a 2050 y del período de transición, se plantean un conjunto de políticas a considerarse para direccionar a Guatemala hacia una descarbonización eficiente.

En primer lugar, se propone determinar objetivos vinculantes de descarbonización de cara a 2030 y a 2050 en todas las áreas que impacten en los niveles de demanda energética, las industrias relacionadas con la generación y transformación de energía, y sobre lo que respecta al sector no energético. Dentro de cada categoría, se debería apuntar a nivel de cada subsector con políticas concretas que modifiquen y alteren las condiciones, funcionamiento y niveles de eficiencia, entre otras cuestiones, para lograr los objetivos planteados en el marco de reducción de gases de efecto invernadero (GEI).

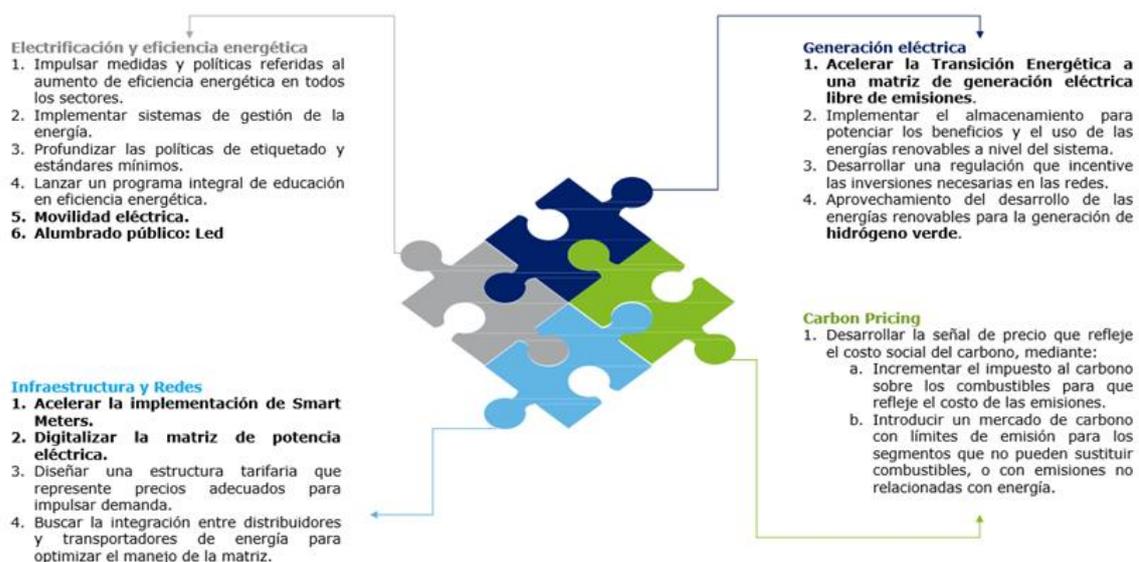
“Se propone determinar objetivos vinculantes de descarbonización de cara a 2030 y a 2050”

Se espera que estos objetivos y las políticas relacionadas sirvan de guía para entidades reguladoras con el fin de incentivar la descarbonización a nivel nacional, contando con el aporte de los distintos agentes económicos y los consumidores de energía.

Históricamente el país ha tenido un aumento sostenido en los niveles de emisión de GEI, siendo la Energía, Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra los sectores que mayor participación en las emisiones totales poseen. Por lo tanto, estas recomendaciones encuentran su origen y fundamento en la necesidad y en la potencialidad de Guatemala para imponer metas y definir medidas en materia de eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

A continuación, se puede observar un resumen de las recomendaciones incluidas en la presente sección.

**Figura 49: Recomendaciones de política energética para direccionar nuestro modelo energético hacia la descarbonización**



Fuente: análisis Deloitte

## 5.1. Recomendaciones para la generación eléctrica a partir de una matriz verde

En el marco del Acuerdo de París, se propone una mayor utilización de la energía eléctrica como fuente de energía, dado el potencial que Guatemala tiene para el desarrollo de dicho recurso. De hecho, cuenta con las condiciones necesarias para convertirse en uno de los mercados de energías renovables más atractivos de América Latina. La amplia variedad y disponibilidad de recursos naturales y la amplitud del territorio proporciona una diversidad de características geográficas y microclimas que pueden favorecer el desarrollo de distintos tipos de tecnologías.

El cumplimiento de los objetivos planteados en el **Escenario 1** para el año 2050 buscando alcanzar la carbono neutralidad representa un esfuerzo en términos de reconversión de la matriz, respaldando la generación requerida para satisfacer las nuevas demandas (sean las mismas producto del crecimiento demográfico, del mayor nivel de actividad económica o de una mayor participación de la energía eléctrica en el consumo energético total) con el desarrollo, en especial, de las energías renovables no convencionales.

En materia de transformación de la matriz energética, el objetivo al que debe apuntar Guatemala para propuestos en el **Escenario 1** es lograr una **penetración de las energías renovables tal que permita sustentar un 100% de la generación de energía eléctrica a 2050, apalancado principalmente por el desarrollo de energías renovables no convencionales.**

**Total Eólico + Solar (2030) = 46%**

**Total Eólico + Solar (2050) = 55%**

En definitiva, para poder llevar adelante todas estas transformaciones, se recomienda trabajar sobre los siguientes pilares:

### **Recomendación 1: Acelerar la Transición Energética a una matriz de generación eléctrica libre de emisiones.**

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA 25 Efficiency Policies), la eficiencia energética es la forma más rápida y barata de alcanzar seguridad energética, además de afrontar los desafíos medioambientales y económicos de países en vías de desarrollo como Guatemala.

El gobierno de Guatemala tiene un papel crucial en establecer el marco de trabajo para la eficiencia energética en todo el sistema energético nacional, y debe estimular la inversión en proyectos de este tipo además de acelerar la implementación a través de estrategias nacionales de eficiencia energética. Las metas y estrategias propuestas en los siguientes documentos deben monitorearse en búsqueda de alcanzar el principal objetivo de un uso eficiente de los recursos energéticos y la tecnificación de la infraestructura, siendo responsables con la conservación y **cumplimiento de los compromisos ambientales.**

**Plan Nacional de Energía:** Se plantean tres ejes estratégicos, 1) Aprovechamiento de los Recursos Renovables, 2) Eficiencia y Ahorro Energético y 3) Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, cada uno de estos ejes indican acciones para todos los subsectores y actores que componen el sector energético.

**Plan Nacional de Eficiencia Energética:** El mismo busca caracterizar los sectores de demanda de energía del país, tales como el sector residencial, industrial, transporte, comercio y servicios; buscando demostrar los puntos de mayor demanda de energía y de la misma forma identificar los mayores índices de crecimiento de ésta.

En Guatemala a 2016, 60% de emisiones de sector energético corresponden a electricidad según cifras del Ministerio de Energía y Minas. A partir de los escenarios de planificación, se deben establecer las políticas e incentivos para satisfacer la nueva demanda de cara a 2050, cuáles proyectos y en qué fecha se espera incorporar el potencial hídrico relevado, cuál es la penetración de la generación renovable variable considerando la introducción de almacenamiento, el respaldo térmico compatible con el escenario planteado y el retiro de activos de generación térmica de baja eficiencia.

Esta planificación deberá considerar el mínimo costo para el usuario, tomando en cuenta además el costo social de la emisión de carbono. Para esto resultará necesario monitorear y actualizar periódicamente el plan elaborado en base a la evolución de los costos de las tecnologías.

La configuración esperada de la matriz debe dar lugar a una reforma del mercado eléctrico mayorista para que remunere de forma competitiva la generación de energía como el respaldo de potencia, diseñando un mercado de capacidad compatible con la alta penetración esperada de energía renovable variable. Entre las reformas se debe analizar si el costo marginal de corto plazo sigue siendo una señal de precio eficiente no solo para el despacho de la generación a mínimo costo, sino para expandir la oferta, e introducir nuevos mercados de negociación o licitación de energía acorde a los cambios en el funcionamiento del mercado mayorista.

Actualizar y simplificar los instrumentos normativos que incentivan la generación de energías renovables en el país, que faciliten su aplicabilidad y motiven el desarrollo de energías limpias en el país.

### **Recomendación 2: Impulsar el desarrollo de técnicas de almacenamiento de energía como soporte del desarrollo de las energías renovables, la mejora de la calidad de servicio y reducción de costos.**

Los avances en la reducción del costo de almacenamiento con baterías han sido importantes en los últimos años y se espera que a partir de 2030 sean competitivos, o antes dependiendo el precio de los combustibles fósiles. Se debe considerar su utilización junto con la generación solar como capacidad firme para la satisfacción del pico de demanda anual. Igualmente, se deben explorar otras alternativas como las centrales hidroeléctricas de bombeo, que hagan compatible esta recomendación con el objetivo de minimizar el costo para el usuario.

El uso de este tipo de baterías, muchas de ellas modulares y portátiles, deberá impulsarse para lo siguiente:

- En centrales del tipo renovable, para mitigar los efectos de la variabilidad de los recursos solares y eólicos sobre la variación de producción de este tipo de centrales (mitigando por lo tanto los efectos de la alternancia sobre la calidad de servicio eléctrico y la necesidad de utilización de reserva rotante de origen fósil como alternativa). Para este efecto se debe destacar también los avances en electrónica de potencia que permiten resolver desbalances de suministro prácticamente en tiempo real (de manera automática). Esta práctica permitirá a este tipo de centrales ofrecer mayor firmeza en su producción, favoreciendo temas contractuales e incrementando seriamente el factor de uso de las mismas.
- En la transmisión, remplazando el uso de generación forzada ineficiente debido a restricciones en las redes de AT, por la disponibilidad de energía almacenada equivalente y de rápida respuesta dado el uso de la electrónica de poder.
- En la demanda final, permitiendo al usuario hacer uso de la energía almacenada ante variaciones en la red y poder participar de servicio de "respuesta de demanda" (ver más adelante).
- En este sector, se recomienda que la legislación contemple que los vehículos eléctricos puedan devolver energía a la red en el momento que el sistema lo requiera (o en horarios preestablecidos) con una tarifa diferencial por bandas horarias y/o emergencia. Será necesario el impulso de medición inteligente y de sistemas electrónicos que permitan esta operación.

Estas prácticas tienden a reducir los costos operativos generales del sistema, pero se deberá tener en cuenta que:

- La autonomía del uso de baterías es limitada, por lo que la regulación deberá impulsar la reducción de los tiempos de interrupción y fomentar la eliminación de las restricciones de transporte, mediante políticas tarifarias que apunten en ese sentido, de otra manera el rendimiento técnico/económico analizado en base a estas prácticas no se alcanzará.
- Para que estas prácticas sean sustentables, se debe impulsar el objetivo de lograr una matriz energética la más descarbonizada posible, dado que en los momentos de "carga" de los recursos de almacenamiento, esta no se realice en base al uso de carbón o equivalente fósil.

Por lo tanto, deberá impulsarse una regulación que no contemple solamente disponer de un nivel de remuneración para aquel usuario que disponga de sistemas de almacenamiento que permita el desarrollo, si no también que analice la evolución del sistema y su inserción.

Deberá hacerse foco en que el desarrollo de los sistemas de almacenamiento requerirá de estudios técnicos y económicos para la definición de los mejores módulos de almacenamiento y tecnologías, pero debe ser coordinado con el desarrollo de la matriz de generación.

De acuerdo a los resultados de nuestro estudio, **el uso de baterías cumplirá un rol fundamental en el cubrimiento del pico de la demanda, es por ello que se requerirá una fuerte inversión en el desarrollo de tecnologías que permitan una penetración más agresiva en el período 2040-2050, considerando que de los 0.3 GW de capacidad instalada en 2030 se espera que den un salto del 50% en solo 10 años, alcanzando una capacidad instalada de 0.48 GW a 2040 y de 0.5 GW a 2050 (lo cual implica otro salto del 5.3% en los últimos 10 años de la proyección).**

**Recomendación 3: Impulsar técnicas de Gestión de Demanda (Respuesta de Demanda o Demand Response) y otros programas relacionados actualizando los valores de remuneración de estos servicios.**

La "Respuesta de Demanda", forma parte de la denominada gestión de energía y en términos simplificado representa las acciones que un usuario del sistema eléctrico puede realizar en beneficio del sistema de abastecimiento en su conjunto (históricamente la primera acción a tener en cuenta es auto cortar su propia demanda para evitar colapsos mayores en el sistema), y por esta acción el usuario recibe un beneficio económico.

El desarrollo de los sistemas de almacenamiento (inclusive a nivel de usuario final) permite hoy día que la gestión de demanda pueda participar adicionalmente aportando energía a la red (es decir no solo participar reduciendo demanda cuando se necesite, sino también aportando al sistema cuando este lo requiera).

Esta capacidad permitiría al agente (pudiendo este ser un Transportista, un Distribuidor o un usuario final, si la futura regulación lo permite) participar de otros servicios (regulación primaria y secundaria de frecuencia, recorte de punta de carga, generación forzada y en definitiva los servicios equivalentes de un generador).

Estos servicios requerirán de una remuneración acorde al nivel de inversión necesaria, teniendo en cuenta que no solamente deberá disponerse de un sistema de almacenamiento, sino también de sistemas de comunicaciones acordes a la operación, equipamiento electrónico de potencia que permita dicha operación, etc.)

Será necesario por lo tanto una revisión de los valores de remuneración, por ejemplo, de regulación primaria, secundaria, y los correspondientes a la gestión de reservas operativas (incluido arranque y parada) dado que la gestión de demanda podría tomar estos valores como referencia.

La incorporación del almacenamiento en batería en temas técnicos como la regulación de frecuencia y reservas operativas deberán contemplar marcos normativos que incentiven a la contratación de servicios eficientes de flexibilidad para el parque térmico.

**Recomendación 4: Propender a la integración energética con los países limítrofes.**

La mayor variabilidad de la generación renovable no convencional (eólica y solar) requiere de una mayor integración regional para gestionar los excedentes o déficits de generación local. Se requiere coordinar los sistemas de transmisión a nivel país con el objetivo de minimizar la reducción forzada de generación (curtailment) a nivel regional, permitiendo mayores intercambios. No obstante, es importante comprender que no solo alcanza con coordinar los sistemas de transmisión (parte técnica), dado que ya existen interconexiones, pero con bajo factor de uso como consecuencia de cuestiones políticas o criterios de auto seguridad del país. Un ejemplo de ello es el Sistema de Interconexión Eléctrica para Países de América Central (SIEPAC), cuya red incluye una línea de transmisión a lo largo de 1.790 kilómetros con una tensión de 230 mil voltios y una capacidad de transmisión de 300 megavatios entre Guatemala y Panamá, un total de 15 estaciones de transmisión. En este sentido la apuesta del gobierno actual con México y la línea más robusta de Guatemala de 400kV es un complemento fundamental para la consolidación de la visión de integración regional. Construir dicha interconexión, y eventualmente de SIEPAC con el SINEA, permitirá a los países aprovechar la complementariedad de los recursos renovables que existen entre estas dos regiones, con el consecuente beneficio en términos de ahorro de combustible, reducción de emisiones y aumento de la confiabilidad y seguridad de los sistemas.

## **Recomendación 5: Desarrollar una regulación que incentive las inversiones necesarias en las redes.**

Varios corredores del país se encuentran saturados, son insuficientes, y no garantizan en nivel de confiabilidad y por lo tanto son una limitación gravitante para el desarrollo económico del país. Además, se debe considerar que el Sistema de Transporte define la máxima calidad a ser percibida por los usuarios. Es decir, las Distribuidoras no pueden “mejorar” la calidad recibida del Transporte. El desarrollo de las nuevas centrales de generación requiere de infraestructura de transporte que deberá ser acompañado por un nuevo marco regulatorio. Pero no debe olvidarse que el objetivo último es atender el crecimiento de la demanda de potencia en los centros de consumo.

La expansión del sistema de transmisión debe planificarse de modo tal que permita atender el pico de demanda del sistema y la integración regional. Esta inversión debe analizarse considerando los beneficios incrementales de todo el transporte energético.

**Se debe trabajar en el diseño de lineamientos para el desarrollo de una Estrategia Nacional de Redes Inteligentes con una visión de corto y mediano plazo**, a fin de definir líneas de acción para atender las inversiones necesarias para el desarrollo de una matriz energética que pueda atender la creciente demanda del consumidor derivada de:

- I. Una gran electrificación de dos usos finales.
- II. Crecimiento de la población.
- III. Un mayor nivel de actividad económica.
- IV. Una mayor potencia de consumo por habitante.

Inversiones que pueden llevarse a cabo mediante licitaciones públicas que vayan de acuerdo con la planificación por parte del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

## **Recomendación 6: Potenciar los beneficios de la energía distribuida logrando la instrumentación completa de los beneficios de la ley de promoción de la energía distribuida, la adhesión de todas las regiones y una normalización de los precios de energía.**

La regulación debería generar las condiciones necesarias para poder incentivar la conversión de usuarios a usuarios-generadores logrando así beneficios no solo para ellos mismos sino también para las empresas distribuidoras y el mercado eléctrico en general dado que el ingreso de generación distribuida operando en horas de punta de demanda descarga la transmisión y la distribución, permitiendo mayor flexibilidad de las redes eléctricas en conjunto con la mayor penetración de energías renovables.

Actualmente, el país cuenta con una Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía, cuyo objetivo es establecer las disposiciones que deben cumplir los Distribuidores, los Generadores Distribuidos Renovables y los Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía, para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables.

**Extrapolándolo a la generación a 2050, la capacidad instalada de generación distribuida debería alcanzar 2.43 TWh en el sector industrial, apalancado principalmente por fuentes de energía solar. En este sentido, se deberán incrementar las inversiones con el objetivo de generar un esfuerzo adicional de cara al cumplimiento de los objetivos fijados en nuestra Hoja de Ruta de Transición Energética.**

## **Recomendación 7: Acelerar la implementación de medidores inteligentes acompañado de un plan de comunicación por parte del gobierno sobre los beneficios de la tecnología**

Actualmente los consumidores del mercado eléctrico guatemalteco están clasificados en dos tipos de usuarios: aquellos con una demanda máxima menor a 100 kW los cuales entran dentro de un mercado regulado donde el precio de la energía es definido por la CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica) y que se conocen como **usuarios regulados**; y aquellos con una demanda mayor o igual a 100 kW los cuales reciben el nombre de **grandes usuarios**. Estos últimos tienen la potestad de comprar su energía ya sea con un distribuidor de energía eléctrica dentro del mercado regulado o bien a través del mercado mayorista, en donde pueden optar por comprar la energía con un comercializador de energía o directamente con un generador. Actualmente existen tres empresas distribuidoras de energía eléctrica registradas en el Mercado Mayorista del país: Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA) que atiende a los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez; Distribuidora de Oriente, S.A. (DEORSA) en el oriente del país, y Distribuidora de Occidente, S.A. (DEOCSA) en el occidente; todas estas con más de quince mil usuarios cada una. Además, existen también 17 empresas eléctricas municipales ubicadas en distintos departamentos del país.

Dentro de las normativas nacionales para los medidores de estos usuarios se encuentran el reglamento de la Ley general de Electricidad, las Normas técnicas del servicio de distribución (NTSD), Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable -NTGDR- y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía. **Actualmente en Guatemala no existe ninguna normativa que regule el uso específico de medidores inteligentes para usuarios regulados** más que las indicadas anteriormente, que solo hacen referencia a la exactitud, propiedad y parámetros de medición de los medidores, más no a la tecnología de fabricación de estos.

La red eléctrica es una infraestructura clave en toda sociedad, y lo será aún más en la transición energética. Una red moderna e inteligente que incorpore las tecnologías de información y el internet de las cosas permitirá obtener mayores beneficios por cada peso invertido. Los medidores inteligentes son el corazón de las redes inteligentes que permite la medición del flujo bidireccional de la energía y son condición habilitante de la energía distribuida, del manejo eficiente de la demanda y de los servicios que brinde la electromovilidad mediante cargadores bidireccionales a la red. Modernizar la red para hacerla más "inteligente" y más resiliente mediante el uso de tecnologías, equipos y controles de vanguardia que se comuniquen y trabajen en conjunto para suministrar electricidad de manera más confiable y eficiente redundando en mejores servicios a los usuarios, entre otros, reducir en gran medida la frecuencia y duración de los cortes de energía, y restaurar el servicio más rápido cuando ocurren interrupciones.

El consumo de energía no es homogéneo a lo largo del tiempo. La red de distribución debe expandirse atendiendo la demanda máxima que se espera en el futuro. Este diseño tradicionalmente se ha realizado en base a la experiencia pasada de consumo. No obstante, a futuro se esperan cambios sustanciales en el perfil de consumo de los usuarios, que resulta fundamental poder anticipar para optimizar las inversiones. La implementación inmediata de un plan de introducción de medidores inteligentes tiene como objetivo proveer esa información.

Los medidores inteligentes además permiten obtener beneficios inmediatos. Entre ellos se destacan minimizar las pérdidas de la red y la reducción del costo operativo de los servicios públicos (costo de lectura del medidor). Los consumidores podrán administrar mejor sus propios costos y consumo de energía porque tienen un acceso más fácil a sus propios datos con un acceso a la información de consumo en tiempo real y nuevas herramientas para auto gestión del consumo, permitiendo la mejora en los hábitos de consumo. Las empresas de servicios también se benefician de una red modernizada que incluya seguridad mejorada, cargas máximas reducidas, mayor integración de las energías renovables y menores costos operacionales. La implementación de los medidores inteligentes permitirá la implementación de tarifas horarias/diferenciadas. Adicionalmente, permitirá a las distribuidoras mejorar la calidad del servicio, disminuir tiempos de atención de reclamos (servicio y comerciales), agilizar la atención de solicitudes (corte y reconexión), realizar medición remota, detectar oportunamente fraudes, y realizar servicios de gestión de la demanda. Una implementación masiva permitirá la incorporación de los beneficios relevantes de la tecnología y el desarrollo de nuevos perfiles y competencias en los proveedores de servicio, para la instalación, configuración y mantenimiento de los equipos y finalmente crearía la necesidad para realizar la producción de equipos en el País. Adicionalmente, se mejorará la calidad de servicio ya que las empresas distribuidoras podrán acceder a diferentes estrategias para limitar la potencia consumida por cada cliente conectado a un CT que en ese momento se encuentre saturado. De esa forma se evitará la salida de servicio de un CT por sobrecarga.

Propuesta regulatoria:

- Se propone el reemplazo masivo de los medidores tradicionales existentes por medidores inteligentes en un periodo de 8-10 años financiado a través de un cargo específico a la demanda.
- Para los nuevos edificios se propone que se instalen únicamente medidores inteligentes en las unidades funcionales pagando el costo de conexión equivalente al "costo de conexión especial" que podrá ser financiado en cuotas por el distribuidor.

### **Recomendación 8: Digitalizar la matriz de potencia eléctrica reconociendo el rol que cumple en la transición energética**

La transformación digital, junto con la electrificación, favorece la transición de todo el sector de la energía, de la gestión de las centrales de generación eléctrica a los nuevos servicios para los consumidores, pasando por las redes inteligentes.

Uno de los aspectos más importantes, junto a la descarbonización de la matriz de generación eléctrica, es la digitalización, que debería transformar los procesos de producción, distribución y consumo de energía. La digitalización de la matriz eléctrica debe ser impulsada con prioridad, manteniendo al día el uso de las nuevas tecnologías.

La digitalización apunta principalmente a mejorar la calidad de servicio del sistema de abastecimiento en su totalidad, reduciendo tiempos de desabastecimiento y costos operativos, permitiendo satisfacer los crecimientos de demanda de manera ordenada y previsible, y la mejor utilización de los nuevos recursos de suministro.

La transición energética es un fenómeno que va más allá de la simple generación de electricidad limpia y a través de la digitalización, interesa a todos, tanto productores como consumidores.

La digitalización de la energía debería impulsarse en:

- Centrales de generación no solamente en renovables, sino también en convencionales, impulsando en aquellas que todavía no lo tienen y hasta donde la tecnología lo permita, la operación automatizada.  
Difundir el uso de softwares innovadores que permitan observar eventuales datos anómalos y por lo tanto detectar un riesgo potencial. Maximizar el mantenimiento predictivo e identificar en tiempo real acciones que permite mejorar la eficiencia de las centrales. Los programas para impulsar deberían basarse en algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial.
- Redes de Transmisión. En las redes de EAT y AT las primeras soluciones utilizadas hoy día son los equipamientos de telecontrol, que permiten la operación a distancia de los mismos en condiciones normales o ante una falla, y la automatización de algunas acciones basadas en sistemas inteligentes (Sistemas de DAG, DAD, RAG o RAD, muy difundidos en nuestra red de 138kV y 230kV) adicionalmente muchas estaciones transformadoras en esos niveles de tensión hoy son totalmente automatizadas y operadas a distancia.  
Se deberá recomendar el avance en el uso de sistemas de inteligencia artificial para la operación y mantenimiento de estas redes, uso de realidad virtual y simulación 3D para la operación y control en tiempo real.  
Será necesario revisar la remuneración del transporte para permitir este desarrollo.
- Redes de distribución, impulsar iniciativas que generan un alto impacto en el incremento de la resiliencia de la red frente a las consecuencias de eventos climáticos; el telemando en redes de MT y BT, mejoran de forma significativa a la calidad del servicio prestado a los clientes; el empleo de drones para la inspección de las redes, la aplicación de realidad aumentada en tareas presenciales, la elaboración de los gemelos digitales de la red (réplica digital 3D), que entre otras iniciativas contribuyen a la aceleración de los tiempos a la hora de realizar y planificar tareas de reparación, ampliación y renovación dentro de las mismas, aportando al mismo tiempo de manera relevante a la seguridad de los trabajadores en la ejecución de las dichas actividades.
- Consumidor. La digitalización a nivel usuario favorecerá el proceso de transición energética. Los beneficios que la digitalización brindará a los clientes serán las interfaces digitales gracias a las cuales los nuevos medidores inteligentes facilitarán información casi en tiempo real sobre consumo y producción, y habilitarán los nuevos servicios mencionados como la respuesta a la demanda además de proveer soluciones inteligentes a distancia para gestionar sistemas de seguridad, uso de electrodomésticos, regulación de temperatura, etc.  
Los clientes pasarán de ser usuarios pasivos e inconscientes a protagonistas activos y exigentes del sistema eléctrico, aumentando su propia conciencia energética.  
Para los prosumidores, o sea los clientes que son al mismo tiempo productores y consumidores de energía, gracias a la digitalización se abrirá la oportunidad de contribuir a su vez a crear una matriz eléctrica con menos emisiones.

A través de la incorporación de tecnología y soluciones digitales innovadoras se logrará un sistema de abastecimiento resiliente, participativo y sustentable.

- a) **Resiliente** para que la red sea capaz de soportar los efectos que ya vivimos del cambio climático garantizando un servicio esencial que cada vez será más relevante con la electrificación.
- b) **Participativo** dado que el cliente jugará un rol activo y central. En este nuevo esquema de interacción, los usuarios pasan a convertirse en una componente activa en la que no solo demandan energía proveniente de las redes, sino que también evolucionan para convertirse en protagonistas que aportan al equilibrio consumo-producción, incorporándose como un agente que es capaz de suministrar energía al sistema cada vez que tiene la posibilidad de realizarlo. Mas allá de lo anterior, los usuarios ya no solo demandarán energía eléctrica, sino que al mismo tiempo transitarán hacia requerir nuevos servicios, orientados especialmente hacia la gestión de sus consumos y más importante aún, a la adquisición de datos para la toma de decisiones. Es en este escenario que los DSOs se vuelven actores fundamentales para afrontar los nuevos requerimientos de los usuarios.

- c) **Sustentable** aumentando los esfuerzos para garantizar 100% de acceso a la energía en condiciones de calidad y seguridad, y a su vez generando condiciones de generación de empleo, desarrollo socio económico y mejorando su calidad y aplicando un enfoque industrial circular.
- Las actualizaciones de la matriz también permitirán un uso mayor y más eficiente de los recursos, reducirán la pérdida de electricidad debido a la transmisión a largas distancias y aumentarán el uso localizado de nuevos tipos de generación y almacenamiento de electricidad. En general, la creación de una matriz eléctrica más inteligente dará como resultado un mejor sistema eléctrico.

**Recomendación 9: Promover la estructura tarifaria con el objetivo de representar precios adecuados para impulsar una respuesta activa por parte de la demanda.**

- Deben establecerse medidas específicas que garanticen la disponibilidad de redes de telecomunicaciones de alto rendimiento a un precio adecuado para permitir plenamente redes eléctricas inteligentes. Un requisito previo es tener una amplia disponibilidad en el territorio, a costos adecuados, de redes de telecomunicaciones con características de baja latencia y omnipresencia. Deben promoverse los servicios de conexión ad hoc a precios 'atractivos' por parte de las empresas de telecomunicaciones.
- Deberían considerarse procedimientos basados en incentivos y simplificados para la adopción de tecnologías inteligentes por parte de los consumidores a fin de involucrarlos activamente en el sector de la energía. A través de tales tecnologías, los consumidores deberían poder leer fácilmente datos e información sobre el consumo y tomar sus decisiones de consumo en consecuencia. La adopción tecnológica debe incentivarse al menos en las primeras etapas de despliegue de redes inteligentes. El procedimiento para vincular dispositivos inteligentes y dispositivos con medidores inteligentes debe ser simple y no discriminatorio para los consumidores. Una toma más rápida de electrodomésticos inteligentes por parte de los consumidores debería ser impulsada por medidas destinadas a superar barreras no económicas. Las iniciativas de financiación (por ejemplo, distribución de riesgos y líneas de crédito dedicadas), respaldadas efectivamente por campañas de información, podrían permitir a los operadores promover tecnologías inteligentes y que los consumidores las utilicen para responder a la demanda.
- La estructura tarifaria debe diseñarse de modo que envíe señales de precios adecuadas que puedan impulsar la gestión de la demanda y los comportamientos energéticos eficientes. Continuar con la promoción de tarifas dinámicas y tarifas de tiempo de uso para dar la señal de precio correcta a los consumidores, pasando el costo real de la energía del mercado mayorista al minorista. Con respecto a las tarifas de red, considerando que los costos subyacentes asumidos por los operadores de red están relacionados con la capacidad, debería existir una mayor proporción de componentes relacionados con la capacidad. Además, los costos que no están directamente relacionados con el costo industrial de servir, como los costos de la política energética, impuestos y gravámenes, deben eliminarse de las facturas de electricidad para evitar la introducción de sesgos tecnológicos.
- Guatemala actualmente cuenta con una tarifa horaria, cuyo objetivo es estimular el uso eficiente de la energía eléctrica en el país. De esta manera, los guatemaltecos pueden crear un horario que les permita ahorrar más consumo de energía eléctrica que, además, se vea reflejado en la factura. Por ello, se establecieron tres horarios distintos a lo largo del día. Banda valle - establecido de 10:00 de la noche a 6:00 de la mañana, se le conoce como las horas en donde el consumo de energía es menor. Las personas que usen este período para realizar sus actividades alcanzarán un mayor ahorro por consumo el kilovatio. Banda punta - colocado a partir de las 6:00 de la tarde a 10:00 de la noche. Son horarios en donde las actividades con mayor demanda de electricidad se mantienen activas. Coincide con ser horarios con ausencia de luz, por lo que se usan más interruptores en el hogar. Banda intermedia - situada desde las 6:00 de la mañana a 6:00 de la tarde. Es el espacio en donde mayor cantidad de actividades existen, coincidiendo con las idas al trabajo, al colegio o universidades.
- Si cualquier usuario sobrepasa la potencia contratada en cualquiera de las bandas, se aplicará una penalización por exceso de demanda, generando incentivos a participar en las bandas.
- Existe un portal de consumo inteligente que permite a los usuarios llevar un mejor control del uso de su energía eléctrica. Permitiendo al usuario optimizar su consumo energético y permitiendo al regulador tomar decisiones.

## **Recomendación 10: Buscar la integración entre distribuidores y transportadores de energía para optimizar el manejo de la matriz**

Una regulación que aproveche el rol de los distribuidores y promueva una interacción bien diseñada entre éstos y la **Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (INDE)** es fundamental para optimizar la asignación de recursos en las comunidades locales. Los municipios, las empresas proveedoras de servicios públicos y los distribuidores pueden cooperar para optimizar el desarrollo de la infraestructura mientras se aprovechan las posibles sinergias y se evitan las duplicaciones. Esto incluye, por ejemplo, sinergias entre los sectores energéticos, como la medición múltiple, el transporte o las sinergias entre la electricidad y las infraestructuras de privadas (por ejemplo, alojamiento/alquiler). Con el objetivo de reducir los costos generales para los clientes finales y evitar pérdidas de energía, las intervenciones de los distribuidores deben permitirse e incentivarse económicamente. Además, como actores regulados encargados del mantenimiento de la infraestructura energética, las distribuidoras podrían desempeñar un papel estratégico para acelerar el despegue de una infraestructura de recarga interoperable para la movilidad eléctrica en espacios públicos, en particular desarrollando un nivel óptimo de puntos de recarga, accesibles a terceros sobre una base no discriminatoria.

## **Recomendación 11: Establecer a la Eficiencia Energética como política de Estado, para lo cual se promueve la sanción de una Ley de Eficiencia Energética integral**

Guatemala cuenta con un ante proyecto de ley de eficiencia energética que tiene por objeto promover el uso racional y eficiente de la energía, para garantizar el suministro energético al menor costo posible, asegurar un óptimo desempeño de la economía, mejorar la calidad de vida de la población, orientar y defender los derechos del consumidor de energía y proteger el medio ambiente. El proyecto además de buscar de convertirse en ley podría realizar una profundización en los siguientes aspectos:

- Impulsar medidas y políticas ambiciosas referidas al aumento de eficiencia energética en todos los sectores, reduciendo el impacto sobre el medio ambiente y asegurando el suministro de energía para un país en crecimiento.
- Implementar sistemas de gestión de la energía.
- Crear la figura del usuario con capacidad de gestión: la gestión energética debería ser llevada a cabo por el propio usuario, en el caso de que se tratase de grandes usuarios, o por el distribuidor, para el caso de usuarios chicos como residencias, por ejemplo.
- Implementar y promover el etiquetado y los estándares mínimos (para establecer niveles máximos de consumo energético y mínimos de eficiencia energética de todo equipo consumidor).
- Desarrollar una regulación específica para construcciones, aplicada tanto a nuevas como existentes, que establezca estándares de cumplimiento mínimo y obligatorio en eficiencia energética, referidos particularmente a la construcción (aislamiento térmico y climatización mediante aberturas y cerramientos, iluminación natural, etc.).
- Lanzar un programa de educación en eficiencia energética, dirigido a los niveles escolar y superior, y que involucre cursos, seminarios, capacitaciones, y autodiagnósticos.
- Fomentar la investigación y desarrollo (I&D) en eficiencia energética, brindando incentivos fiscales a las empresas que inviertan en I&D en eficiencia energética (internet de las cosas y la investigación en ciudades inteligentes).

## **Recomendación 12: Satisfacer la creciente demanda de energía, abordando el cambio climático y los impactos sociales y de género**

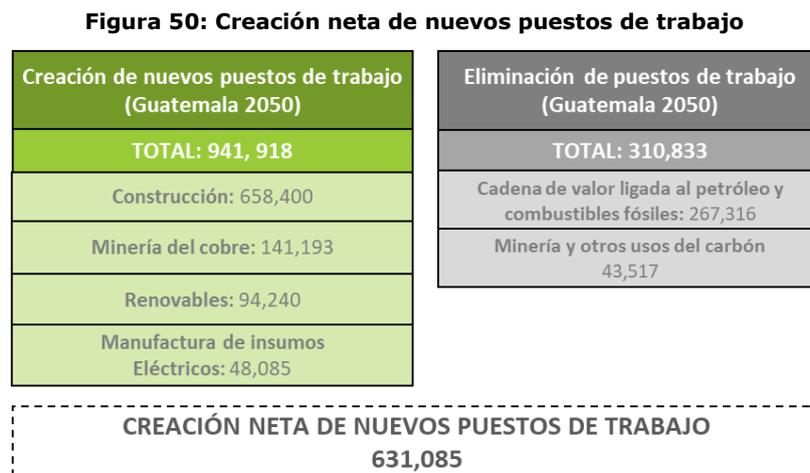
En el Acuerdo de París se reconoce la necesidad de que la transición sea rápida y equitativa para los trabajadores y para la comunidad. La transición aumentará la prosperidad y puede ser un motor clave en la creación de empleo.

Considerando que en algunos países de Centroamérica la proporción de hogares que no poseen acceso a servicio energético es mayor que el resto de la región (en el caso de Guatemala es del 16.5%), resulta fundamental analizar los impactos de la transición energética en la pobreza energética.

En este sentido, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones para lograr que los beneficios lleguen a los más necesitados y se materialicen en la generación de empleo:

- Apoyar la intromisión de tecnologías eléctricas.
- Gestionar el empleo y las oportunidades utilizando técnicas de upskilling (enseñar a un trabajador nuevas competencias para optimizar su desempeño generando mayor especialización) y reskilling o reciclaje profesional (formar a un empleado para adaptarlo a un nuevo puesto generando mayor versatilidad).
- Abordar la pobreza energética: Es fundamental identificarla y medirla correctamente, para poder determinar las variables estructurales que la provocan. En la mayoría de los casos la pobreza energética está relacionada con una falta de infraestructura por parte de la oferta, dificultades económicas de los hogares, limitaciones estructurales de la demanda o una combinación de estas. La pobreza energética es de naturaleza pluridimensional y su resolución debe, por lo tanto, aproximarse desde distintas ópticas. En este sentido, la eficiencia energética debe posicionarse como un elemento de alta relevancia en un contexto de pobreza energética.
- Mediante la promoción una redistribución justa de los costos de transición. A través de un acuerdo estratégico integral hacia un desarrollo sostenible entre el Gobierno, sindicatos, empresas y la sociedad civil. Promover las oportunidades que aporta la transición energética y las finanzas sostenibles, aportando disponibilidad fiscal y crediticia, así como definiciones y estabilidad macro a largo plazo. Y desarrollar las estrategias nacionales para potenciar las oportunidades en materia de economía circular, bioeconomía, turismo sostenible, integración comercial y de creación de empleos verdes.

Respecto a esta área de oportunidad, el resultado de este estudio muestra que, si se aplicaran las medidas descritas a lo largo de este documento para lograr la carbono neutralidad al 2050, se lograría una generación neta de 631,085 nuevos puestos de trabajo en el período bajo análisis.



## 5.2 Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en los sectores residencial, comercial y de servicios públicos

Las medidas de mitigación relacionadas a los sectores residencial, comercial y de servicio público refieren a la necesidad de adoptar el cambio tecnológico para lograr un uso más eficiente de la energía. Asimismo, se busca el reemplazo de tecnologías generadoras de emisiones de gases de efecto invernadero por tecnologías eléctricas (de cero emisiones directas), de acuerdo con las metas fijadas en términos de electrificación de usos finales.

Implementar estas medidas requerirán por supuesto, que se definan códigos de edificación que sean consistentes con la introducción de estas nuevas tecnologías y que se readecúen las edificaciones existentes con el mismo fin.

A efectos de lograr estos impactos positivos se propone:

### **Recomendación 13: Promover la reducción de emisiones de los sectores residencial y comercial.**

En el sector residencial, comercial y de servicios públicos se optimiza la transición por medio de electrificación de usos finales y una estabilización del uso de biomasa. En Guatemala la leña es utilizada por un gran porcentaje de la población, principalmente en el área rural, según la demanda de recursos energéticos a nivel nacional (que consta en balance energético nacional) se estima que la fuente más utilizada en el país es la leña, con un 88%, principalmente para la cocción de alimentos y como combustible para calentar sus viviendas en las zonas frías conllevando otro factor implícito, el cultural, ya que es alrededor de los fuegos abiertos que las familias se reúnen para transmitir una serie de conocimientos, costumbres y tradiciones útiles para las generaciones venideras.

La oferta anual de leña en Guatemala proviene de bosques naturales (85%), plantaciones forestales (14%) y residuos de la industria (1%). La demanda anual se estima en 27.98 millones de metros cúbicos y proviene de la demanda doméstica rural (85%), demanda doméstica urbana (13%) y demanda industrial (2%). E históricamente se extrae más leña de lo que crece en el bosque, por lo tanto, **el consumo de leña a nivel nacional no es sostenible.**

Ante la creciente tasa de deforestación se presenta la “**Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013-2024**” como uno de los ejes de trabajo de alta importancia para la transición energética. Con la finalidad de promover el establecimiento de plantaciones energéticas a través de los programas de incentivos forestales para facilitar la adopción de tecnologías apropiadas que garanticen la producción y uso sostenible de la leña en Guatemala. El objetivo principal de la estrategia nacional es garantizar el abastecimiento de leña para la población, desarrollando instrumentos, medios y capacidades a nivel local que permitan producir leña en forma sostenible y facilitar la adopción de tecnología apropiada para el uso eficiente de la leña; generar fuentes de empleo rural no agrícola, reduciendo los efectos adversos del humo para la salud de las personas y favoreciendo la conservación de los bosques.

A pesar de vislumbrarse un escenario con una mayor penetración de tecnologías eléctricas, el consumo de leña sigue siendo clave en este sector, no obstante para que esta tendencia sea compatible con el objetivo de carbono neutralidad a 2050 se requiere que este consumo sea sustentable, esto se logra mediante políticas que refieren a la proyección de bosques nativos y a medidas de reforestación (las cuales se detallan más adelante en el presente capítulo) que permiten lograr que la tasa de consumo de leña sea menor a la tasa de reforestación anual, alcanzado una ratio de captura de carbono positivo.

Medidas adicionales que pueden acompañar al actual del país esfuerzo pueden ser:

- Lanzar campañas de información que remarquen las ventajas de la electrificación y recambio tecnológico hacia dispositivos más eficientes en materia de reducción de emisiones y que propongan medidas para lograrla, y promover la adhesión a este programa de cambio con incentivos económicos y financiamiento. Se busca de esta manera:
  - Reemplazar tecnologías existentes por eficientes en el rubro “refrigeración”.
  - Reemplazar luminarias tradicionales por luminarias LED, siguiendo las tendencias del mercado que apuntan a que se dejen de comercializar las lámparas halógenas.
- Asegurar que la tarifa eléctrica sea una señal de precio que recoja los costos reales del suministro, eliminando aquellos sobrecostos derivados de políticas que distorsionen la señal de precio.
- Desarrollar también campañas de concientización sobre emisiones en edificios y equipamiento.
- En lo que respecta al sector comercial, se deberían establecer obligaciones, sujetas a revisión e inspección, de realizar inversiones en eficiencia energética, al mismo tiempo en que se crean incentivos (beneficios fiscales, por ejemplo) y se facilita el acceso al financiamiento para que se desarrollen proyectos atractivos.

### **Recomendación 14: Promover la reducción de emisiones del sector público.**

- Definir un plan de adaptación de los edificios públicos que se vayan inaugurando a futuro (tales como colegios y hospitales), para que se encuentren aptos para la utilización de artefactos eléctricos.

- Reemplazar paulatinamente los artefactos no eléctricos por eléctricos en los establecimientos públicos existentes.
- Incorporar un plan de traspaso de luminarias tradicionales a tecnología LED a través de programas de licitación pública para efectuar dichos reemplazos.

### 5.3 Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en el sector transporte

**El desarrollo del Vehículo Eléctrico a Batería (VEB) es la apuesta más importante para descarbonizar el sector de transporte. Para lograr una curva acelerada de adopción del VEB, se debe seguir una política de fomento del vehículo eléctrico, con incentivos a la adopción de tecnología y restricción de la circulación de automóviles de combustión interna y, en particular, fomento de la electromovilidad en el transporte público de pasajeros, así como como el uso de vehículos no motorizados.** Como consecuencia, en el **Escenario 1** Se logró una curva de penetración de mercado acelerada, alcanzando una participación de mercado del 25% al 2030 y una participación del 77% al 2050. Un mecanismo de crédito que vincula a los fabricantes de automóviles con un cierto nivel de créditos para vehículos de cero emisiones, como los que se proporcionan en China, California y Canadá, puede ser muy eficaz para aumentar la movilidad sostenible. Otras posibilidades incluyen la introducción de requisitos para la instalación de puntos de recarga en edificios nuevos y existentes.

#### **Recomendación 15: Fomentar la movilidad sostenible en el transporte ligero**

Guatemala por medio del **Decreto 40-2022** aprobó la **Ley de Incentivos a la Movilidad Eléctrica** que tiene como objeto facilitar y promover la importación, compraventa y uso de vehículos eléctricos, híbridos, hidrógeno y sistemas de transporte eléctrico. En la que se contempla la exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA), sobre la importación de equipos y dispositivos eléctricos utilizados exclusivamente para el centro de carga o punto de carga para vehículos eléctricos, vehículos de hidrógeno o sistema de transporte.

Adicionalmente se puede trabajar en profundizar los siguientes puntos:

- Acelerar el cronograma de introducción de normativas que limiten la contaminación ambiental y de consumo de combustible proveniente de automotores con motores de combustión interna. Guatemala, en línea con los cambios internacionales que se producen en el sector, debe avanzar rápidamente a la convergencia de las normas internacionales más exigentes, estableciendo plazos claros y perentorios para su cumplimiento.
- Introducir en el marco de las normas antes mencionadas, un objetivo de emisión de dióxido de carbono a nivel flota por fabricante o importador, con límites crecientes a la emisión de GEI y/o mecanismos tipo súper-créditos. Incluir una meta mínima a 2030 y 2050 de participación en las ventas al mercado interno de vehículos híbridos o eléctricos a batería, estableciendo suficientes los incentivos necesarios para alcanzar las metas establecidas.
- Las metas e instrumentos deben ser planificadas con suficiente tiempo de antelación y discusión para que sea la futura base de la configuración de la industria automotriz.
- El desincentivo a la adquisición del auto a combustión interna deberá lograrse a través de mayores impuestos tanto a su adquisición como en el uso de este, incluyendo los impuestos en el combustible.
- Profundizar los objetivos de penetración de vehículos eléctricos, ampliando los incentivos a su adquisición o reemplazo de vehículos a combustión con alta antigüedad, expandiendo la exención a impuestos internos y montos mayores en la desgravación en el impuesto al valor agregado y el impuesto a la renta. **Los resultados del estudio nos muestran que, para lograr la descarbonización del sector transporte, se requerirá que a 2030, el 25% de la flota de automóviles sea eléctrica, mientras que para el 2050, esta participación deberá llegar al 77% de la flota**
- Establecer medidas que reduzcan el tráfico de vehículos convencionales, restringiendo su circulación, especialmente en los centros urbanos, promocionando el auto eléctrico otorgando beneficios en el estacionamiento en la vía pública, o fomentando los esquemas de movilidad alternativa al vehículo, como bicicleta y transporte público.
- Incentivar la electrificación del total del transporte público urbano. La primera medida es completar la electrificación de los buses que circulan a Diésel.

- Desarrollar la infraestructura de recarga en las zonas urbanas de forma coordinada entre los sectores públicos y privado para cubrir progresivamente de manera eficiente y completa la disponibilidad suficiente de puntos de recarga, por ejemplo, incluyendo requisitos de puntos de recarga en nueva construcción y edificaciones existentes. Esta planificación deberá considerar también la infraestructura mínima necesaria en las rutas nacionales. **Se estima que para el tamaño proyectado de la flota eléctrica a 2050, se requerirán 102 mil puntos de recarga pública en Guatemala.**
- Resulta necesario establecer un marco normativo específico a esta nueva realidad, estableciendo claramente los roles entre las distribuidoras de electricidad, agentes de recarga, y usuarios que incentive la inversión privada en la infraestructura de recarga. Algunos aspectos normativos/regulatorios a definir son:
  - El Ente Regulador, deberá establecer tarifas horarias específicas para la recarga (valle, pico, resto) para brindar señales de precio que promuevan la eficiencia.
  - Se deberá asegurar un despliegue de medidores inteligentes dado que son necesarios para recopilar la información y mediciones de energía hacia los vehículos eléctricos y desde los vehículos eléctricos al hogar o la red; permitiendo así la incorporación de tarifas horarias o específicas para este sector para incentivar al usuario la recarga eficiente a través de señales de precio.
  - Definición de normas/estandarización de conectores, niveles de tensión en base al tipo de recarga, protocolos de comunicación y demás parámetros para permitir la interoperabilidad y maximizar los beneficios de la electromovilidad.

#### 5.4 Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en el sector agricultura

Si bien las emisiones reportadas en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) vinculadas al uso de la energía para la actividad agrícola no resultan relevantes, entendemos que la transición energética constituye un esfuerzo que debemos realizar entre todos y que abarca a su vez a todas las cadenas de valor.

Es por ello que las recomendaciones ligadas al sector energético del rubro "agricultura", refieren principalmente a la renovación de tecnología y electrificación de usos finales.

#### **Recomendación 16: Promover la reducción de emisiones del sector agricultura.**

- Crear un programa de incentivos económicos para el desarrollo, promoción e implementación de maquinarias agrícolas eléctricas:
  - Programas de financiamiento a través de líneas de crédito que el gobierno otorgue específicamente para estos fines.
  - Otorgamiento de garantías que permitan a las compañías del rubro obtener financiamiento a un costo más bajo.
- Promover buenas prácticas como la promoción de rotaciones equilibradas de cultivos de cardamomo, el aceite de palma, caña, y café. Promoción del uso de fijadores biológicos, libres y simbióticos, de nitrógeno atmosférico en los cultivos de aceite de palma y en praderas consorciadas. La opción genera un impacto sobre las emisiones de GEI a través del reemplazo relativo de fertilizantes sintéticos, incrementando la productividad. Promoción de estrategias de fertilización variable para ajuste de dosis de N. Prevenir la quema de caña de azúcar mediante el uso de la cosecha integral de caña en verde y aprovechar el potencial de cogeneración de energía utilizando los residuos de cosecha (RAC) y molienda (bagazo) de la caña.
- Promover la incorporación de generación renovable distribuida que permita la expansión del riego, y de esta forma mejorar los rendimientos de los cultivos, con lo cual, permitirá tanto incrementar la producción como la frontera agrícola sin incrementar las emisiones. Conjuntamente con el aprovechamiento energético de las importantes cantidades de biomasa producidas por dichas actividades.

## 5.5. Recomendaciones sobre sectores no energéticos

**Dado su potencial de captura, el sector no energético permite compensar las emisiones generadas por el resto de los sectores.** Tal como se mencionó en el capítulo anterior, en el **Escenario 1**, a partir de la incorporación de medidas disruptivas se puede incrementar el potencial de captura de carbono, logrando una reducción de 36.00 MtCO<sub>2</sub>eq. con respecto a los niveles de emisiones del escenario de referencia a 2050.

**Recomendación 17: Promover la reducción de emisiones de los sectores ganadería, silvicultura, y en lo que respecta a otros usos de los suelos.**

Guatemala cuenta con una **estrategia nacional de ganadería sostenible con bajas emisiones** la cual busca lograr la sostenibilidad económica y ambiental, así como mitigar los efectos ambientales de la ganadería bovina a nivel nacional, además de lograr un avance progresivo y permanente en la calidad de vida de los habitantes de los territorios rurales, a través del acceso equitativo y uso sostenible de los recursos productivos, medios de producción, bienes naturales y servicios ambientales, para alcanzar el desarrollo humano integral sostenible en el área rural. A nivel de cambio climático, actualmente se cuenta con un marco jurídico, de políticas e institucional suficiente para emprender esfuerzos encaminados a la mitigación y la adaptación al cambio climático.

Adicionalmente se pueden profundizar temas relacionados a:

- Desarrollar buenas prácticas en el desarrollo y manejo del ganado:
  - Promoción de campañas de vacunación para el ganado contra bacterias metanogénicas a fin de reducir las emisiones de gas metano.
  - Campañas para la promoción de buenas prácticas en el manejo de ganado en lo que respecta a alimentos y suplementos dietarios para ganado.
  - Implementación de prácticas de ganadería sustentable ligadas a mecanismos de pastoreo rotativo de corta duración y alta densidad, que permita una regeneración óptima de pastizales (que funcionan como sumideros de carbono y permiten compensar las emisiones de gas metano).

**En nuestro estudio se estima un 80% de porcentaje de adopción de estas prácticas, permitiendo una reducción total de 8.73 MtCO<sub>2</sub>eq. a 2050 con respecto al escenario de referencia.**

- Reducir las emisiones causadas por el uso indebido e irresponsable de la tierra.
  - Impulsar medidas que prevengan la deforestación, tales como:
    - ✓ Ofrecer incentivos a los propietarios de tierras forestales para facilitar la conservación de los bosques y la adopción de actividades de bajo impacto.
    - ✓ Fomentar el uso responsable de la pulpa de madera.
  - Incentivar la aforestación de pastizales, incorporando de esta manera sumideros de carbono forestal que sirvan para la captación de dióxido de carbono. Determinar con antelación la existencia y disponibilidad de los terrenos a aforestar, que dependerá de la necesidad de suministrar alimentos para la población creciente.
  - Desarrollar un plan de reforestación de tierras degradadas.
- Definir un plan para incentivar y desarrollar el manejo eficiente y consiente de pastizales, cultivos y ganado, e impulsar la restauración de la tierra.
  - Aumentar la productividad de pastizales, implementando sistemas de riego eficientes y aumentando intensidad de pastoreo.
  - Promoción de mejores prácticas agronómicas, rotando cultivos, aplicando sistemas de cultivo menos intensivos y mejorando el manejo de nutrientes.

- Desarrollo de planes de revegetación y la conserva de agua con el fin de lograr la restauración de tierras.

**A partir de la implementación de este paquete de medidas, al año 2050 permite un potencial de captura de carbono de 10.56 MtCO<sub>2</sub>eq.**

**Recomendación 18: Promover la reducción de emisiones del sector residuos y promover la economía circular en todos los sectores como acelerador transversal.**

Guatemala cuenta con el **Acuerdo Gubernativo N° 164-2021 – Reglamento para la gestión integral de los residuos y desechos sólidos comunes**. El reglamento regula la elaboración de los planes municipales para la gestión integral de residuos y desechos sólidos; la obligación de separar y clasificar los residuos o desechos sólidos comunes; la recolección y transporte de desechos; su recuperación y reciclaje; la disposición final de desechos sólidos comunes; etc. La ley tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país (art. 1º). Para los efectos de la ley el medio ambiente comprende: los sistemas atmosféricos (aire), hídrico (agua), lítico (roca y minerales), edáfico (suelos), biótico (animales y plantas), elementos audiovisuales y recursos naturales y culturales (art. 13). El artículo 20 crea la Comisión Nacional de Medio Ambiente que dependerá directamente de la Presidencia de la República, cuya función será asesorar y coordinar todas las acciones a la formulación y aplicación de la política nacional, para la protección y mejoramiento del medio ambiente.

Aun así, pueden profundizar las estrategias en materia de manejo de residuos y economía circular a través de:

- Acelerar la transición mediante la inclusión de esta temática en la Agenda Política construida colectivamente y la adopción de modelos de economía circular en todos los sectores y modelos de urbanización circular, en todos los sectores involucrados en el desarrollo sostenible de las ciudades, promoviendo la competitividad económica, la innovación tecnológica, la sostenibilidad ambiental y la inclusión social.
- Implementación de mecanismos compensatorios a través de beneficios fiscales que promuevan el cambio hacia un modelo de economía circular y la adopción de mecanismos punitivos a través de multas que penalicen incumplimientos de metas/objetivos establecidos.
- Implementación de leyes de REP (responsabilidad extendida del productor), más allá de los envases fitosanitarios y las pilas. Contar con una normativa de REP permitiría que todos los actores involucrados comiencen a trabajar de manera conjunta para que el sistema de gestión de envases funcione. Esto se debe a que las legislaciones de este tipo pueden abarcan a toda la cadena de manera diferenciada: productores, autoridades, recuperadores, recicladores y consumidores.
- Mejorar la calidad y eficiencia de la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos a partir de las siguientes medidas:
  - **Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** Construcción de rellenos sanitarios con captura de gas de rellenos sanitarios (GRS), generación de energía eléctrica a partir de la captura de biogás de relleno sanitario, generación de energía térmica a partir de la captura de biogás de relleno sanitario, promover entre los generadores la separación de los RSU (la separación puede ser sólo entre residuos reciclables y no reciclables y/o involucrar la separación de los residuos reciclables por categorías preseleccionadas: vidrio, envases, diarios, cartón y plásticos, entre otros).
  - **Aguas Residuales Domésticas/Comerciales (ARD):** Construcción y puesta en funcionamiento de plantas de tratamiento de efluentes domésticos con captura de biogás.
  - **Aguas Residuales Industriales (ARI):** Construcción y puesta en funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales con captura de biogás.
- Incorporar los conceptos de economía circular en el proceso de abastecimiento

El crecimiento de las tecnologías de energías renovables presenta grandes desafíos en términos de abastecimiento de los materiales, producción y gestión de fin de vida. Si no son abarcados desde la perspectiva de economía circular, podrían crearse nuevos problemas ambientales en el futuro.

Por ejemplo, el crecimiento de residuos de paneles fotovoltaicos (cuya vida útil media es de unos 30 años) implica un nuevo desafío ambiental a nivel global, pero a la vez presenta oportunidades para crear valor y promover nuevas actividades económicas relacionadas a la recuperación de materiales de los paneles y el desarrollo de nuevas industrias de reciclaje. Los principales componentes de los paneles de silicio, incluyendo vidrio, aluminio y cobre, pueden ser recuperados a porcentajes mayores a 85%. La gestión de la cadena de suministro de paneles solares desde una perspectiva circular requiere un enfoque de dos partes. En primer lugar, es necesario asegurarse de que los paneles actualmente instalados se recuperen al final de su ciclo de vida de una manera que maximice el valor recuperado y, en segundo lugar, es necesario aplicar el concepto circular desde el inicio de la fase de diseño para el nuevo.

En el caso de la energía eólica la mayoría de los componentes de un aerogenerador (que tiene una vida útil media de unos 20 años) también son reciclables, ya que está compuesto por piezas metálicas; sin embargo, las palas representan los componentes más difíciles de recuperar por los materiales compuestos con que están hechas, principalmente, resinas reforzadas con fibra de vidrio y, en los parques eólicos más recientes, con fibra de carbono. En este sentido, en los países con un estado de implementación de la tecnología más maduro, se están estudiando alternativas de reutilización y reciclaje de las palas. Se han realizado pruebas demostrando que, al sinterizar y extruir los materiales de las palas de la turbina, se pueden producir ladrillos para su uso en el sector de la construcción, también se están evaluando posibles soluciones de economía circular para incorporar pellets de fibra de vidrio provenientes de palas en desuso en la producción de otros productos reciclados para el sector de la construcción.

Este reto también se dará con la penetración del auto eléctrico y el reciclaje de su batería.

Para hacer frente al desafío del reciclaje se requiere un enfoque multidisciplinario y multisectorial que integre la innovación tecnológica y la creación de modelos de negocio con el desarrollo de un marco regulatorio y la definición de nuevos estándares.

Asimismo, entre los materiales de los componentes para las energías renovables y almacenamiento hay muchas sustancias incluidas en la lista de materias primas críticas de la Unión Europea. Es necesaria una visión amplia y estratégica, compatible con la conservación de los recursos, vinculada a la economía circular y a la responsabilidad social de los países que permita dar respuesta a la demanda creciente que estos minerales experimentarán en los próximos años. Todo esto plantea un escenario donde el reciclaje y la correcta gestión de residuos pueden permitir un ahorro económico y ambiental, reduciendo el consumo de materias primas escasas.

**A partir de la implementación de este paquete de medidas, se espera reducir el nivel de emisiones en lo que respecta a generación y tratamiento de residuos en 0.4 MtCO<sub>2</sub>eq. a 2050 con respecto al volumen de emisiones del escenario tendencial.**

## 5.6. Recomendaciones sobre instrumentos económicos y políticas de Carbon Pricing

**Recomendación 19: Introducir una regulación específica para desarrollar una señal de precio efectiva del coste de las emisiones.**

- A Nivel internacional y de acuerdo con el Banco Mundial, existen 68 iniciativas de precio de carbón que cubren el 23% de las emisiones de GEI. Ante el menor avance al esperado, ciertos países o regiones, como Europa, tienen previsto incorporar un impuesto de igualación en frontera, en el cual las importaciones deberán pagar en función de su nivel de emisión y los impuestos equivalentes que existan en su país.
- La recomendación internacional es avanzar en la incorporación de señales de precio para incentivar la transición energética. Si bien se reconoce que cada país debe adoptar su propia política, sin que exista un criterio de homogenización.
- La introducción de señales de precio efectivas en el país debe hacerse con atención a los avances internacionales y en los sectores que tengan mayor probabilidad de estar sujetos a igual precio en los mercados de exportación.
- Los dos instrumentos más utilizados son un impuesto aplicado sobre la emisión de CO<sub>2</sub> (impuesto al carbono) o estableciendo un mercado de negociación de certificados de emisiones. Una desventaja del

impuesto al carbono es que el mismo se traslada a todos los consumidores en precio causando en una pérdida del poder adquisitivo con mayor impacto a aquellos más vulnerables. Sugerimos que se desarrollen medidas que permitan reducir el impacto en tarifas a partir de la incorporación de subsidios de acuerdo con el nivel de ingresos de sus consumidores.

- Promover el mercado de carbono, comenzando con aquellas industrias o sectores que más se pueden ver afectados por los impuestos de igualación de frontera establecidos por Europa y otros países que se implemente. El objetivo es internalizar en el país los recursos que de otra manera serían capturados por los consumidores de los países importadores.
- Realizar un estudio que pueda cuantificar el costo social del carbono en Guatemala. Esto es, los impactos derivados de la emisión de GEI en términos de actividad, salud y daño al medio ambiente, como criterio general para ser incluido en los análisis de costo beneficio de las inversiones públicas y valor objetivo de las señales de precio necesario para incentivar la transición energética.

### 5.7. Introducción del hidrógeno verde como vector de descarbonización de los segmentos denominados "difíciles de descarbonizar"

#### **Recomendación 20: Avanzar en la promoción del desarrollo de hidrógeno verde para acelerar la transición energética.**

**El hidrógeno verde representa una oportunidad para acelerar la transición energética.** De esta manera, para poder fomentar el crecimiento y el desarrollo productivo del país y un aprovechamiento de las capacidades y recursos nacionales se deben implementar las siguientes medidas:

- Llevar a cabo una planificación energética para la formulación de políticas públicas acertadas. Se deben emprender estudios, análisis y consultas para poder recabar evidencia empírica sólida y con ella formular las correspondientes políticas públicas. Estas comprenden las proyecciones nacionales, las diversas tecnologías disponibles y necesarias para la producción, el almacenamiento, la conversión y el transporte del hidrógeno. También el análisis de los costos, tanto de producción como de logística, y los posibles precios que se van a suscitar fruto de la demanda esperada; Fomentar la producción local a través de un marco regulatorio que contribuya a apoyar a las industrias y sectores intensivos en hidrógeno, los cuales serán los actores catalizadores en esta transición.
- Se debe construir estrategias con objetivos de descarbonización específicos por sector para migrar a un hidrógeno verde con un marco regulatorio robusto, con reglas claras y de largo plazo, junto a un financiamiento competitivo. Como por ejemplo el **Acuerdo Gubernativo 180-2022** que califica al hidrógeno verde como recurso renovable, permitirá que impulsores de nuevos emprendimientos con este vector energético accedan a los beneficios contemplados en la Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable
- Se deben realizar esfuerzos para posicionar a Guatemala como país de relevancia para el desarrollo del hidrógeno verde promoviendo generar demanda local y global, para exportar atendiendo la demanda de los países del mundo que tienen objetivos de hidrógeno verde y derivados. Los principales usos del hidrógeno verde son: Refinado, Amoniaco para fertilizantes metanol, hierro (Hierro de Reducción Directa), entre otros. Los e-fuels deben promoverse por su relevancia en la descarbonización del sector transporte dado que alcanzarán en poco tiempo niveles competitivos.
- Hasta que el precio del hidrógeno verde (que depende en gran medida del costo de la energía renovable y el costo de los electrolizadores) no sea competitivo, se requerirán incentivos (temporales) por parte de los gobiernos para promover la demanda y así dar señales que permitan aumentar la capacidad de fabricación y cadena de suministro.
- Serán necesarios incentivos progresivos para que la industria se mueva en esa dirección (para que sea económicamente viable el hidrógeno verde requiere escala), y de esa manera todos los sectores a través de señales e incentivos hagan que avance la industria del hidrógeno verde.

Parte de una política de promoción para el desarrollo, producción y uso de una industria del H2V implica estructurar sistemas de incentivos tributarios, arancelarios, financieros y de fomento de la demanda; así

como la adopción de una ley de promoción del H2V.

Se espera que a partir del año 2035 Guatemala ya cuente con la capacidad de generar hidrógeno, en primera instancia, para autoconsumo en el sector transporte, empleándose a partir de 2036 también en procesos industriales. **Hacia 2050, se espera que el país cuente con una capacidad de generación de 2.44 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP)**, de las cuales, 1.70 millones de TEP estarán destinados al uso en transporte de cargas pesadas, 0.33 millones de TEP irán dirigidos a la descarbonización del sector industrial, y los 0.41 millones de TEP restantes serán exportados generándole a Guatemala un ingreso de divisas producto de esta actividad.

# Contactos



# Contactos



## **Cristian Serricchio**

Socio de Finanzas Sostenibles, FA  
Deloitte Spanish Latin America  
[cserricchio@deloitte.com](mailto:cserricchio@deloitte.com)



## **Damián Grignaffini**

Gerente de Finanzas Sostenibles, FA  
Deloitte Spanish Latin America  
[dgrignaffini@deloitte.com](mailto:dgrignaffini@deloitte.com)



## **Tomás Cardozo Etcheverry**

Senior de Finanzas Sostenibles, FA  
Deloitte Spanish Latin America  
[tcardozoetcheverry@deloitte.com](mailto:tcardozoetcheverry@deloitte.com)



## **Sebastián Yopez**

Senior de Finanzas Sostenibles, FA  
Deloitte Spanish Latin America  
[syopez@deloitte.com](mailto:syopez@deloitte.com)



## **Clara Mackey**

Senior de Finanzas Sostenibles, FA  
Deloitte Spanish Latin America  
[cmackey@deloitte.com](mailto:cmackey@deloitte.com)



# Deloitte.

Deloitte se refiere a una o más de las firmas miembros de Deloitte Touche Tohmatsu Limited, una compañía privada del Reino Unido limitada por garantía, y su red de firmas miembros, cada una como una entidad única e independiente y legalmente separada. Una descripción detallada de la estructura legal de Deloitte Touche Tohmatsu Limited y sus firmas miembros puede verse en el sitio web [www.deloitte.com/about](http://www.deloitte.com/about)