



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

**Low Emission
Development**

ESTRATEGIA DE DESARROLLO CON BAJAS EMISIONES PARA GUATEMALA

CONTRATO NO.AID-520-C-14-0003

Junio 2019

Esta publicación es posible gracias al apoyo del Pueblo de los Estados Unidos a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés). Fue preparado por Centro de Estrategias para el Clima (CCS), bajo subcontrato con RTI International, para el proyecto de USAID Desarrollo de Bajas Emisiones.

ESTRATEGIA DE DESARROLLO CON BAJAS EMISIONES PARA GUATEMALA

Junio 2019

RTI Internatonal

701 13th Street NW, Suite 750
Washington, DC 20005

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Este documento fue posible gracias al apoyo del Pueblo de los Estados Unidos a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés), bajo los términos del contrato no. AID-520-C-14-00003. Los contenidos de este documento no reflejan necesariamente las opiniones de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	I
CONCEPTOS Y TERMINOS CLAVE	II
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	V
RESUMEN EJECUTIVO	I
A. Introducción	i
B. Metodología del Proceso de la EDBE y participación de las partes interesadas.....	i
C. energía, recursos y Líneas base de emisiones de la edbe para guatemala	iv
D. Opciones de la EDBE para Guatemala	v
E. Impactos de Opciones de la EDBE para Guatemala	vii
I. INTRODUCCION	I-1
II. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE LA EDBE Y PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS	II-2
A. Metodología y principios de implementación adaptable.....	II-2
B. Participacion de las partes interesadas	II-5
III. LÍNEAS BASE DE ACTIVIDAD ECONÓMICA, USO Y PRODUCCIÓN DE ENERGÍA, CONSUMO/GESTIÓN DE RECURSOS Y EMISIONES	III-1
A. Línea base socioeconómica de la EDBE para Guatemala	III-2
B. Línea base de energía de la EDBE para Guatemala	III-7
C. Línea base de recursos de la EDBE para Guatemala	III-10
D. Línea base de emisiones de la EDBE para Guatemala	III-11
IV. EXAMEN, SELECCIÓN Y DISEÑO DE OPCIONES DE LA EDBE PARA GUATEMALA	IV-1
V. ENFOQUE DE ANÁLISIS DE IMPACTOS	V-1
E. Impactos directos (microeconómicos)	V-1
F. Impactos indirectos (macroeconómicos)	V-5
VI. RESULTADOS DE IMPACTO DE LA EDBE PARA GUATEMALA A NIVEL DE SECTOR	VI-1
A. Demanda y suministro de energía.....	VI-1
B. Industria.....	VI-17
C. Transporte	VI-28
D. Agricultura y ganadería	VI-44

E.	Silvicultura y otro uso de la tierra.....	VI-57
F.	Manejo de desechos.....	VI-68
VII.	IMPACTOS DE LA EDBE PARA GUATEMALA EN EL CONJUNTO DE LA ECONOMÍA (TODOS LOS SECTORES).....	VII-1
A.	Energía.....	VII-1
B.	Recursos.....	VII-3
C.	Emisiones de GEI y Costos directos y ahorros.....	VII-4
D.	Desempeño macroeconómico.....	VII-16
E.	Otros beneficios del Plan de la EDBE.....	VII-19
	ANEXO A. LISTADO DE PARTICIPANTES DEL PROCESO DE LA EDBE.....	1
	ANEXO B. INFORME DE LINEA BASE DE LA EDBE PARA GUATEMALA.....	1
	ANEXO C. MEMORANDUM DE CUANTIFICACIÓN DE LA EDBE PARA GUATEMALA Y METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE SUMINISTRO-DEMANDA DE ELECTRICIDAD	1
	ANEXO D. OPCIONES DE DEMANDA Y SUMINISTRO DE ENERGIA.....	1
	ANEXO E. OPCIONES DE INDUSTRIA.....	1
	ANEXO F. OPCIONES DE TRANSPORTE.....	1
	ANEXO G. AGRICULTURA & GANADERIA.....	1
	ANEXO H. OPCIONES DE SILVICULTURA Y OTRO USO DE LA TIERRA.....	1
	ANEXO I. OPCIONES DE MANEJO DE DESECHOS.....	1

AGRADECIMIENTOS

La Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones (EDBE) para Guatemala fue desarrollada con la asistencia del Centro de Estrategias para el Clima (*Center for Climate Strategies* CCS) a través de una colaboración de representantes del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Ministerio de Economía (MINECO), la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), el Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), *Research Triangle Institute* (RTI) y el proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones.

Se agradece mucho a los miembros de los seis grupos de trabajo (GT) a nivel sectorial dirigidos por los ministerios y agencias antes mencionados que proporcionaron conocimiento y tiempo valiosos en la revisión del trabajo que condujo al desarrollo de este informe. Se proporciona un listado de participantes de los GTs en el Anexo A.

El proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones funcionó como coordinador y experto técnico en el desarrollo del Plan de la EDBE y de este informe con el equipo de dedicados profesionales: Jonathan Schwarz, Ricardo Roca, Xiomara Lima, Amauri Molina, José Furlan, Jerson Quevedo, Ingrid Schreuel, Luis Alberto Castañeda, Janet de Esquivel, Luis Pedro Utrera, Alejandro Arriola, Silvia Coronado, Milton Díaz y Darlín Sagastume.

Se agradece especialmente a CCS como un socio clave y experto del proyecto de USAID Desarrollo con Bajas Emisiones y a su equipo de profesionales, incluyendo Tom Peterson, Stephen Roe, Arianna Ugliano, Holly Lindquist, Scott Williamson y Fan Zhang, quienes contribuyeron con extraordinarias cantidades de tiempo, energía y experiencia al proveer análisis técnico, manejo del proyecto y servicios de facilitación para el desarrollo del Plan de la EDBE y su informe.

También se agradece a los siguientes miembros adicionales del equipo de la EDBE por su aporte técnico y revisión, facilitación de grupos de trabajo y apoyo en comunicación: Oscar Villagrán, Jorge Plauchú, José Manuel Tay, Jean-Roch Lebeau, Alex Guerra, Hugo Vargas, Mario Buch, César Barrientos, Carmina López, José Miguel Miranda, Luis Lepe, Jorge Cabrera, Daniel Manzo, María José Leiva, Raúl Hernández, Pablo Jiménez y Ana María Palomo; y a los miembros del Comité Editorial encargado de la planificación y revisión de la versión resumen de la EDBE para legisladores: David Barrera (MARN), Pablo Pineda (MINECO) y Silvia Montepeque (SEGEPLAN).

CONCEPTOS Y TÉRMINOS CLAVE

TÉRMINO	SIGNIFICADO
<i>Business as usual (BAU)</i>	En planificación activa, se refiere a la operación de actividad normal de la sociedad en el tiempo en términos de crecimiento económico, uso de energía, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros factores relacionados en la ausencia de cualquier intervención.
<i>Costo marginal de abatimiento</i>	El costo marginal de abatimiento (MAC) mide el costo de reducir una unidad más de emisiones de GEI con relación a una línea base. Los costos marginales de abatimiento de GEI están representados generalmente en una curva MAC, donde el costo de reducción de emisión de GEI siguiente más alto se lista de izquierda a derecha.
<i>Costos fijos de operaciones y mantenimiento (O&M)</i>	Consiste principalmente en los costos laborales, pero también podrían incluir impuestos y otros costos fijos. Se incurre en los costos fijos de O&M a pesar de la energía producida por un proceso y se evalúan usualmente por unidad de capacidad.
<i>Costos variables de O&M</i>	Incluyen inspección periódica, reemplazo y reparación de componentes y consumibles del sistema, tales como agua y materiales de control de contaminación. Los costos variables de O&M varían dependiendo de la cantidad de energía (u otro producto) generada.
<i>Emisiones de GEI</i>	Estas incluyen los siete GEI reconocidos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): dióxido de carbono, óxido nitroso, metano, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre y trifluoruro de nitrógeno. Para la EDBE, el enfoque es en los primeros tres de estos los cuales se representan en la línea base de GEI.
<i>Emisiones del ciclo de vida</i>	Involucra una vista de la cuna a la tumba de las emisiones de GEI asociadas con una actividad (p.e., conducir) o el uso de un producto (p.e., botella plástica). Dicha evaluación incluye la extracción y transporte de materia prima, fabricación, empaque, flete, uso y reciclaje o disposición final. Generalmente también incluye las emisiones de GEI de la construcción de todas instalaciones dentro de la cadena de valor.
<i>Emisiones directas de GEI</i>	Emisiones de GEI que ocurren en la fuente de emisión, por ejemplo, escape del vehículo o pila de planta de energía. En algunos protocolos de informes, se refieren a estas como las emisiones de Alcance 1.
<i>Emisiones indirectas de GEI</i>	Emisiones de GEI atribuidas a una actividad (uso de combustible, proceso industrial, etc.) pero que no ocurren en la misma ubicación (i.e. no son emisiones directas de GEI). Estas incluyen emisiones de GEI incorporadas en un combustible, producto o material de desecho (ver emisiones preliminares). En contabilidad de GEI corporativa, se refieren a estas como de Alcance 2 (Emisiones de GEI que ocurren como consecuencia del uso de electricidad, calor, vapor

TÉRMINO	SIGNIFICADO
	y/o enfriamiento suministrados por la red dentro de los límites del estudio) y las emisiones del alcance 3 (todas las otras emisiones de GEI que ocurren fuera de los límites del estudio como resultado de actividades que suceden dentro de los límites del estudio).
<i>Emisiones preliminares</i>	Emisiones indirectas de GEI que ocurren antes de que un producto sea utilizado para su propósito planeado; por ejemplo, perforación, refinado y transporte de petróleo utilizado como combustible para vehículo; emisiones de GEI durante la fabricación de un producto (lata metálica, botella de vidrio, viga de acero, etc.), así como la extracción, procesamiento y transporte de la materia prima.
<i>Energía renovable</i>	Energía de fuentes que son perpetuas o que se reponen tan rápido como se usan. La energía renovable incluye la solar, eólica, por ondas, por marea, geotérmica, de gas de relleno sanitario, digestión anaeróbica de biomasa y otras formas de biomasa de fuentes sostenibles e hidroeléctricas.
<i>Evaluación macroeconómica</i>	Aborda los impactos económicos indirectos o secundarios en empleos, ingresos, crecimiento económico, productividad y precios que surgen de o en asociación con los costos directos microeconómicos y ahorros. Tal análisis es útil para abordar <i>impactos distribucionales</i> , incluyendo impactos diferenciales relacionados con tamaño, ubicación y carácter socioeconómico de las viviendas, entidades y comunidades afectadas (a menudo enmarcados como <i>imparcialidad y equidad</i>).
<i>Mezcla de recurso marginal</i>	Se refiere al grupo de instalaciones de generación de energía que son las primeras en incrementarse durante periodos de demanda incrementada de la red o en reducirse durante periodos de demanda reducida de la red. Este grupo de instalaciones típicamente excluye renovables (debido a sus costos de energía gratuitos) y plantas que son difíciles de incrementar o reducir (p.e. nuclear).
<i>Nivelación</i>	El proceso de desarrollar un pago único que se ha dividido en cantidades iguales en un periodo de tiempo específico.
<i>Tasa de descuento nominal</i>	En general, una tasa de descuento es un valor usado para determinar el valor en unidades monetarias de dinero hoy pagadas o recibidas en algún tiempo futuro. La tasa de descuento nominal seleccionada se aplica a flujos netos de costos o ahorros durante el horizonte de planificación del Plan de la EDBE (2019 – 2050) para presentar esos costos/ahorros en el valor actual neto (VAN); vea el memo de cuantificación de la EDBE en el Anexo C para más detalles.
<i>Tasa de descuento real</i>	Se refiere a la tasa de descuento después de que la tasa de inflación se haya factorizado. Por ejemplo, cuando la tasa de descuento nominal es 6% y existe un 2% de tasa de inflación, entonces la tasa de descuento real es $1.06/1.02 = 1.0392$ o 3.92%.
<i>Valor actual neto (VAN)</i>	Bajo el método del valor actual neto, el valor actual de los flujos entrantes de efectivo de un proyecto se compara con el valor actual

TÉRMINO	SIGNIFICADO
	de los flujos salientes de efectivo del proyecto. La diferencia entre el valor actual de estos flujos de efectivo se llama "el valor actual neto". Este valor actual neto determina si el proyecto es una inversión aceptable. El mismo concepto se puede aplicar al análisis de alternativas de opciones.

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

%	por ciento
\$	dólar (es) estadounidenses
AC	año calendario
AFOLU	Agricultura, Silvicultura y Otro Uso de la Tierra, por sus siglas en inglés
AG	Agricultura
AMCG	Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala
AR	agua residual
AR5	Quinto Informe de Evaluación del IPCC, por sus siglas en inglés
BAU	<i>business as usual</i> , actividad normal
BANGUAT	Banco de Guatemala
BM	Banco Mundial
BOE	barril (EUA) equivalente de petróleo
BRT	tránsito rápido de bus, por sus siglas en inglés
Btu	unidad térmica británica
C	(grados) Celsius
CCS	<i>Center for Climate Strategies</i>
CE	rentabilidad, por sus siglas en inglés
cf	pies cúbicos
CH ₄	metano
CHP	calor y energía combinados, por sus siglas en inglés
CI	industria a la medida
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO ₂	dióxido de carbono
CO _{2e}	dióxido de carbono equivalente
CONAP	Consejo Nacional de Áreas protegidas
COP	Conferencia de las Partes
COV	Compuesto orgánico volátil
D-E	desecho a energía
DGT	Dirección General de Transporte, Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda
DO	Documento de opción (EDBE para Guatemala)

DSM	desechos sólidos municipales
EDBE	Estrategia de Desarrollo de Bajas Emisiones para Guatemala
EO	Escenario de opción (EDBE para Guatemala)
EOB	excedente de operación bruto
EPA	Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos de América)
EUA	Estados Unidos de América
FOLU	Silvicultura y Otro Uso de la Tierra, por sus siglas en inglés
ft	pie
gal	galón
GD	Generación distribuida
GDG	Gobierno de Guatemala
GEI	gas de efecto invernadero
Gg	gigagramo (un millón de kilogramos)
Gj	gigajulio (un mil millones de julios)
GLN	gas licuado natural
GLP	gas licuado de petróleo
GN	gas natural
GNC	gas natural comprimido
GREET	Gases de efecto invernadero, emisiones reguladas y uso de energía en Transporte (modelo)
GRS	gas de relleno sanitario
GRSTE	gas de relleno sanitario a energía
GT	Grupo de Trabajo (EDBE para Guatemala)
GTM	Guatemala
GWh	gigavatio-hora (un millón de kilovatios-hora)
H'	Índice de diversidad Shannon (energía)
ha	hectárea
HFC	hidrofluorocarbono
I	Industria
I&F	Inventario y Pronóstico
IMB	ingreso mixto bruto
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INB	ingreso nacional bruto
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, por sus siglas en inglés

J	julio
kg	kilogramo
km	kilómetro
km/L	kilómetro por litro
kV	kilovoltio
kW	kilovatio
kWh	kilovatio-hora
KVV	Kilómetros por vehículo viajados
lb	libra
LULC	Uso/cobertura del suelo, por sus siglas en inglés
m ²	metro cuadrado
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MD	Manejo de desechos
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MICIVI	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda
MINECO	Ministerio de Economía
MJ	megajulio (un millón de julios)
MM	millones
MW	megavatio (un mil kilovatios)
MWh	megavatio-hora (un mil kilovatio-horas)
N	nitrógeno
N ₂ O	óxido nitroso
N/A	no aplica
NDC	Contribución Determinada Nacionalmente, por sus siglas en inglés
NF ₃	trifluoruro de nitrógeno
NO _x	óxidos de nitrógeno
OECD	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
PCG	potencial de calentamiento global
PFC	perfluorocarbono
PIB	producto interno bruto
PJ	petajulio (10 ¹⁵ julios)
PM	material particulado
PM10	material particulado menos de 10 micrones

ppm	partes por millón
Q	Quetzal(es) guatemalteco (s)
RCI	Residencial, Comercial e Institucional
RCP	Camino de Concentración Representativo, por sus siglas en inglés
SC	Suministro de combustible
SDO	sustancia que destruye el ozono
SE	suministro de energía
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia
SF ₆	hexafluoruro de azufre
SO ₂	dióxido de azufre
SO _x	óxidos de azufre
t	tonelada métrica
Tg	teragramo (un millón de toneladas métricas)
TgCO _{2e}	teragramos de dióxido de carbono equivalente
T&D	transmisión y distribución
tC	toneladas métricas de carbono
tCO ₂	toneladas métricas de dióxido de carbono
tCO _{2e}	toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente
tCO _{2e} /MWh	toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente por megavatio-hora
TJ	terajulio (10 ¹² julios)
Ton métrica	1,000 kilogramos o 2,205 libras
UE	Unión Europea
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
USD	Dólar (es) estadounidense (s)
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América
VSL	vehículo de servicio ligero
VSP	vehículo de servicio pesado

RESUMEN EJECUTIVO

A. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta el Plan de la Estrategia de Desarrollo de Bajas Emisiones (EDBE) para Guatemala, una cartera de **43 opciones de mitigación altamente específicas y oportunidades de inversión para Guatemala que pueden ayudar al país a reducir emisiones de GEI y simultáneamente alcanzar sus prioridades económicas, energéticas y ambientales/de gestión de recursos naturales**. El Plan de la EDBE contiene el diseño de cada opción y la evaluación de sus impactos directos e indirectos frente al escenario de la actividad normal (*BAU* por sus siglas en inglés).

Como tal, el Plan de la EDBE apoya **la mejora e implementación de varios planes de desarrollo nacionales y políticas relacionadas con el cambio climático, tales como K'atun Nuestra Guatemala 2032, la Ley Nacional de Cambio Climático y la Contribución Determinada Nacionalmente de Guatemala (NDC por sus siglas en inglés)** en cumplimiento con el Acuerdo de París en la 21a Conferencia de las Partes (COP21) bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el logro de las metas de reducción de emisiones de GEI del 11% ó 22% con apoyo de la cooperación internacional para 2030 allí estipuladas. El Plan de la EDBE es el resultado de **un proceso de planificación, desarrollo y análisis orientados a la implementación, con base en hechos, participativo, dirigido por las partes interesadas, con objetivos múltiples, gradual y plurianual juntamente con la construcción de capacidad local (proceso de la EDBE) y procedimientos de aprender haciendo**.

El proceso de la EDBE inició en julio de 2016 y fue dirigido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Ministerio de Economía (MINECO) y la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) con apoyo técnico de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés). El proceso de la EDBE implicó la participación activa del Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Además del gobierno de Guatemala (GDG), instituciones del sector privado, asociaciones, empresas, academia, ONGs y organizaciones indígenas fueron actores clave en el proceso de la EDBE. **Un total de 590 partes interesadas participaron activamente en toda la implementación del proceso de la EDBE.**

B. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE LA EDBE Y PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS

El proceso de la EDBE fue planificado, diseñado e implementado usando el **proceso de planificación activa de 10 pasos desarrollado y ampliamente aplicado por el Centro de Estrategias del Clima (CCS por sus siglas en inglés)**. El proceso de planificación activa de 10 pasos es una serie de pasos consecutivos relacionados, cada uno incluye una serie de conceptos, técnicas, herramientas y decisiones que permiten un proceso comprensivo, participativo y basado en hechos para desarrollar acuerdos grupales formales facilitados en un grupo de opciones altamente específicas para su implementación. El proceso de planificación activa de 10 pasos se resume en la Figura RE.B-1 a continuación.

Figura RE.B-1. Proceso de planificación activa de CCS



El proceso de planificación activa de 10 pasos se basa en los **principios clave de transparencia, inclusión, construcción bajo acuerdo y exhaustividad**, y fue altamente **personalizado y adaptado para la aplicación e implementación óptima dentro del contexto guatemalteco (metodología de implementación adaptable)**. Tomó en cuenta el cambiante escenario político del país, metas y prioridades, así como las condiciones locales que más facilitaron un **compromiso significativo de las partes interesadas y un progreso exitoso hasta su finalización**. Los esfuerzos de adaptación y personalización clave y los resultados se resaltan a continuación:

- **Difusión y compromiso dirigido** para reunir la participación y apoyo de líderes políticos; **un esfuerzo concertado para involucrar a múltiples ministerios en papeles de convocación y participación**, la **decisión de integrar consultores** con la experiencia sectorial dentro de cada uno de los ministerios participantes para proporcionar experiencia y construir simultáneamente la capacidad institucional y facilitar el diálogo y la cooperación.
- Para equilibrar el deseo de un compromiso significativo de las partes interesadas con las limitaciones de tiempo disponible, falta de conocimiento y confianza inicial en una nueva metodología y enfoque de planificación de política, se tomaron los siguientes pasos:
 - **Un régimen definido de reuniones presenciales para cada grupo de trabajo, junto con una duración definida del proceso y una duración limitada de cada reunión** para garantizar la comprensión de los participantes o garantizar la comprensión de los participantes acerca de a lo que se estaban comprometiendo.
 - **Reuniones intermedias y revisión de productos previstos y un proceso iterativo** en el cual se buscaban aportes para cada paso y cada producto previsto del proceso de la EDBE y **las decisiones se hicieron abiertamente por las partes interesadas**.
 - A medida que el conocimiento, la confianza y el interés en el proceso incrementaron, **el número de partes interesadas aumentó, especialmente del sector privado el cual al final creció y jugó un papel clave en la realización del proceso de la EDBE**.

- Consultas en los departamentos del interior de Guatemala con representantes de municipalidades, organizaciones de agricultores, organizaciones de mujeres y pueblos indígenas.
- Series de datos específicas para el país y metodología hecha a medida para una evaluación multifacética de las perspectivas de cada opción de la EDBE para mejora de toda la economía guatemalteca para hacer a medida el trabajo analítico para llenar vacíos en la capacidad técnica local, información y modelos analíticos.

La clave del éxito del proceso de la EDBE fue la **extensa y activa participación de más de 500 partes interesadas de los sectores público y privado, incluyendo sociedad civil, instituciones académicas, organizaciones de productores y organizaciones de pueblos indígenas** que se comprometieron a lo largo de la implementación del proceso. Se proporciona el listado completo de las partes interesadas en el Anexo A.

Para facilitar la participación de las partes interesadas, se formaron los siguientes **seis grupos de trabajo (GTs) sectoriales** de acuerdo con los **seis sectores económicos** cubiertos bajo el Plan de la EDBE:

- Grupo de trabajo de Energía, dirigido por MEM
- Grupo de trabajo de Industria, dirigido por MINECO
- Grupo de trabajo de Transporte, dirigido por MICIVI
- Grupo de trabajo de Agricultura, dirigido por MAGA
- Grupo de trabajo de Silvicultura y Otro uso de la tierra, dirigido por INAB y CONAP
- Grupo de trabajo de Manejo de Desechos, dirigido por MARN

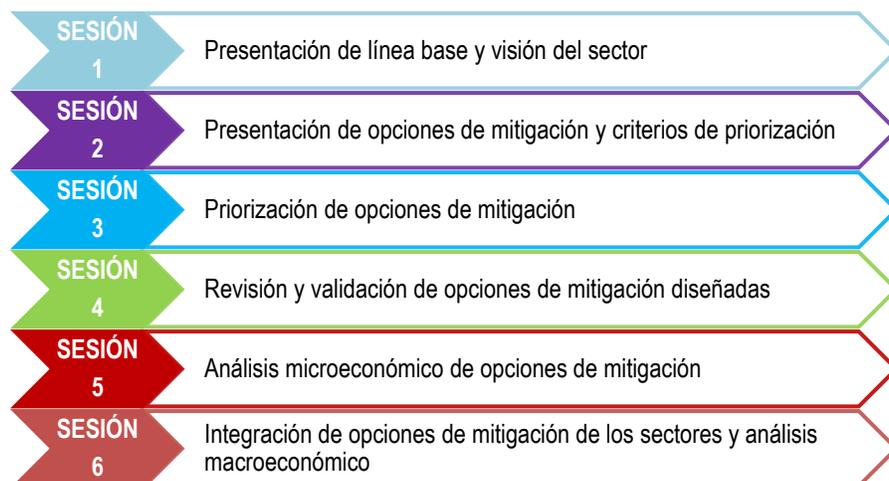
El grupo de trabajo de agricultura celebró dos sesiones separadas – una para Agricultura (producción de cultivos) y la otra para ganadería – ya que las fuentes de emisión de GEI y opciones de mitigación relacionadas requirieron conocimiento especializado en cada campo. Adicional a estos seis GTs sectoriales, se estableció un grupo de trabajo de desarrollo urbano con el propósito de reunirse periódicamente para evaluar consideraciones urbanas específicas e impactos de las opciones de la EDBE. Sirvió como espacio de diálogo y compromiso de las partes interesadas urbanas que a menudo tratan con temas que son transversales entre energía, transporte, espacios verdes y desarrollo urbano.

La participación de diferentes grupos de la población en el desarrollo del Plan de la EDBE ha sido un pilar importante desde el inicio del proceso de la EDBE. En la construcción de la composición de varios GTs, se puso especial atención para garantizar la participación de representantes masculinos y femeninos de grupos más vulnerables, particularmente representantes de pueblos indígenas y pequeños productores.

Los miembros de los GTs participaron en el proceso de la EDBE a través de **sesiones de grupos de trabajo** celebradas durante los dos años de desarrollo del Plan de la EDBE. Por cada GT, se llevaron a cabo cinco sesiones de trabajo a nivel sectorial y una sexta sesión de trabajo y plenaria final para revisar, discutir y validar abiertamente la línea base de la EDBE, para seleccionar y priorizar las opciones de la EDBE y para revisar el diseño de las opciones de la EDBE y los resultados de evaluación de los impactos.

La Figura RE.B-2 a continuación ilustra las seis sesiones de trabajo realizadas por cada GT.

Figura RE.B-2. Seis sesiones de los Grupos de Trabajo de la EDBE para Guatemala



C. ENERGÍA, RECURSOS Y LÍNEAS BASE DE EMISIONES DE LA EDBE PARA GUATEMALA

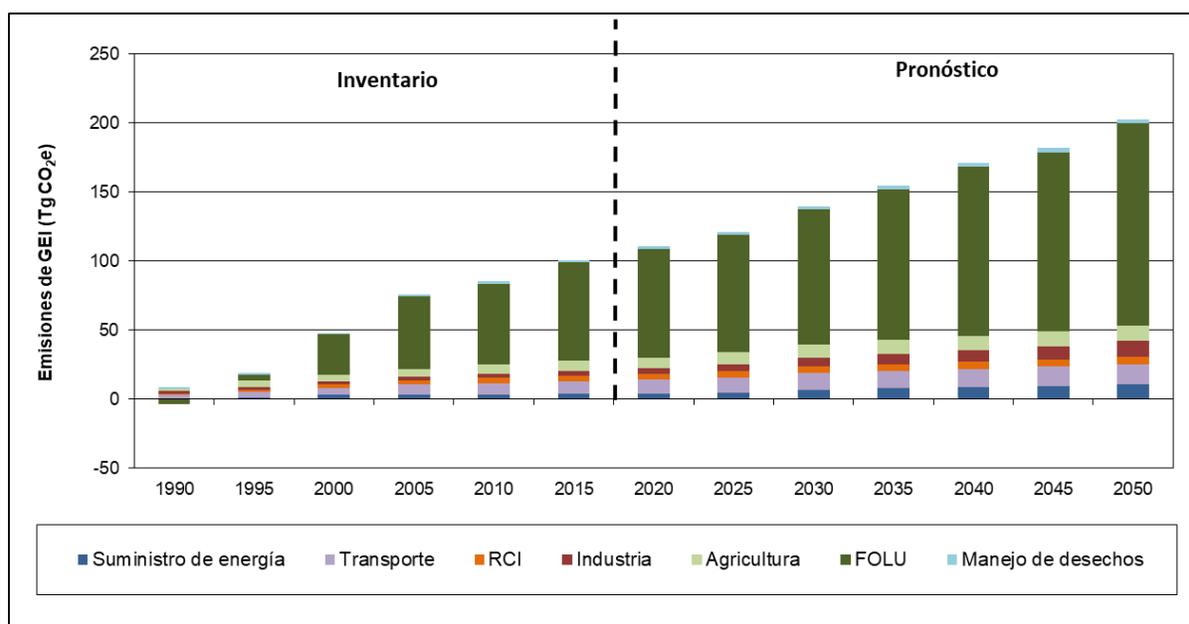
El Plan de la EDBE se desarrolló con base en la energía, recursos y líneas base de emisión (inventario histórico y pronóstico de actividad normal) de Guatemala desarrollado como parte del proceso de la EDBE.

La Figura RE.C-1 proporciona una contabilidad de las emisiones de GEI del conjunto de la economía para Guatemala. Esta figura indica que la fase histórica (inventario) de la línea base es hasta el año 2015. Esto significa que la información histórica estaba disponible para la mayoría de los sectores hasta 2015 con el fin de estimar las emisiones de GEI. El periodo de pronóstico de actividad normal (*BAU*) comienza en 2016 y continúa hasta el periodo de planificación de la EDBE en 2050. **Se espera que las emisiones netas de GEI incrementen de 99 teragramos de dióxido de carbono equivalente (TgCO_{2e}) en 2015 a 138 TgCO_{2e} para 2030 y 201 TgCO_{2e} para 2050.** Un teragramo (Tg) es igual a un millón de toneladas métricas. Se muestran las emisiones “netas”, lo que significa que se incluyen fuentes y sumideros de emisiones.

Las emisiones de GEI históricas y pronosticadas para el sector Silvicultura y Otro Uso de la Tierra (FOLU por sus siglas en inglés) dominan la línea base. El Cuadro RE.C-1 proporciona algunos de los valores anuales utilizados para construir la Figura ES.C-1. **Para 2015, el sector FOLU estaba contribuyendo con casi el 72% del total de las emisiones de GEI del conjunto de la economía (71 TgCO_{2e}).** Esto proviene de una combinación de aprovechamientos no sostenibles (para leña y productos maderables durables) y conversión de la tierra (principalmente para apoyar la base agrícola que se amplía). Para 2050, bajo el uso normal de la tierra (*BAU*), se espera que las emisiones incrementen a más del doble a 147 TgCO_{2e}.

El capítulo III y el anexo B proporcionan detalles adicionales de la construcción de la línea base de la EDBE. Esto incluye no solo las emisiones de GEI, sino también la producción/consumo de energía subyacente, el consumo/gestión de los recursos naturales y las líneas base socioeconómicas.

Figura RE.C-1. Línea base de emisiones netas de GEI del conjunto de la economía



Cuadro RE.C-1. Línea base de emisiones netas de GEI del conjunto de la economía

Sector	Emisiones netas (TgCO ₂ e)							
	1990	2000	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Suministro de energía	0.32	2.9	3.2	3.6	3.6	6.8	8.5	10
Transporte	2.6	5.3	8.1	9.4	10	12	13	15
RCI	0.72	1.4	2.3	2.4	2.6	2.9	3.2	3.4
Industria	1.7	2.1	2.7	3.5	4.2	5.8	8.1	11
Agricultura	1.9	5.2	6.8	7.3	7.6	10	10	11
FOLU	(3.7)	29	59	71	79	98	123	147
Manejo de desechos	0.87	1.2	1.7	1.7	1.9	2.3	2.7	3.1
TOTAL Emisiones netas	4.4	47	83	99	109	138	169	201

D. OPCIONES DE LA EDBE PARA GUATEMALA

Las 43 opciones de la EDBE finalmente seleccionadas y diseñadas con revisiones y comentarios de los GTs y recomendadas para su adopción por parte del gobierno se listan en el Cuadro RE.D-1 a continuación.

Cuadro RE.D-1. Opciones de la EDBE para Guatemala

SECTOR ENERGÍA Y URBANO U-3/U-4	
*E-1	Manejo de permisos y ubicaciones para incrementar el potencial de plantas hidroeléctricas existentes
E-2	Desarrollo de plantas mini y micro-hidroeléctricas
E-3	Ampliar el uso de generación solar
E-4	Ampliar el uso de energía geotérmica
E-5	Nueva generación renovable para reducir pérdidas en el sistema
E-6	Códigos de eficiencia energética para edificios existentes
E-7	Estándares de eficiencia energética para equipos y electrodomésticos
E-8	Auditorías energéticas
E-9	Introducción de estufas de leña eficientes
U-3	Alumbrado público LED en Ciudad de Guatemala
U-4	Añadir estándares de eficiencia energética al Código Nacional de Construcción
SECTOR INDUSTRIA	
I-1	Eficiencia energética para hornos
I-2	Programas de eficiencia energética - calderas y calentadores de procesos
I-3	Incentivos para energía renovable
I-4	Mejoras a la eficiencia de energía eléctrica
I-5	Reciclado incrementado y/o sustitución de materiales
I-6	Mejorar la recuperación de calor
SECTOR TRANSPORTE Y URBANO U-1/U-2	
T-1	Construir la ruta del tren ligero MetroRiel en Ciudad de Guatemala
T-2	Modernizar la flota privada de buses suburbanos/extra-urbanos
T-3	Mejorar el tránsito regular, modernizar la flota y ampliar el tránsito rápido de bus (BRT) en Ciudad de Guatemala
T-4	Construcción de libramientos en autopistas alrededor de Chimaltenango (departamento de Chimaltenango) y Barberena (departamento de Santa Rosa)
T-5	Modernizar la flota vehicular privada de servicio ligero
T-6	Promover el uso de etanol en gasolina
U-1	Establecer un componente de uso de tierra urbano en la Política Nacional de Desarrollo Urbano
U-2	Plan de Movilidad Urbana Sostenible para Ciudad de Guatemala
SECTOR AGRICULTURA Y GANADERÍA	
Agricultura	
AG-1	Manejo sostenible de suelos
AG-2	Establecimiento y mejora de sistemas agroforestales
AG-3	Establecimiento de plantaciones frutales
AG-4	Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados
Ganadería	
GAN-1	Gestión del pasto mejorado a través de pastoreo rotacional
GAN-2	Promoción de sistemas silvopastoriles
GAN-3	Promover el manejo integrado de estiércol en sistemas intensivos de producción animal
SECTOR SILVICULTURA Y OTRO USO DE LA TIERRA Y URBANO U-5	
FOLU-1	Establecimiento de plantaciones forestales sostenibles

FOLU-2	Conservación y gestión de bosques naturales sostenibles
FOLU-3	Reforestación de tierras degradadas con especies nativas
FOLU-4	Fortalecer la capacidad de respuesta institucional en la prevención y control de incendios forestales
U-5	Sistema de espacios verdes urbanos
SECTOR MANEJO DE DESECHOS	
Desechos sólidos	
DS-1	Expansión de colecta de desechos y mejora de la eficiencia de separación
DS-2	Reutilización y reciclaje de desechos sólidos inorgánicos
DS-3	Compostaje avanzado
DS-4	Captura y uso de gas de relleno sanitario
Aguas residuales	
DL-1	Medidas de ahorro de agua en los sectores Residencial, Comercial, Institucional e Industrial
DL-2	Tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales

Se realizó el examen y selección de las 43 opciones de la EDBE por los miembros de los GTs a través de un Análisis Multi-criterio (AMC) facilitado en línea con base en criterios de desempeño esperados tales como reducción de emisión de GEI, crecimiento económico, competitividad, creación de nuevos mercados, viabilidad técnica, viabilidad política, co-beneficios. Además, se condujo un análisis de género en doce de las opciones de la EDBE, para garantizar acceso equitativo para hombres y mujeres y que las opciones no afecten de forma negativa y amplíen brechas de género existentes.

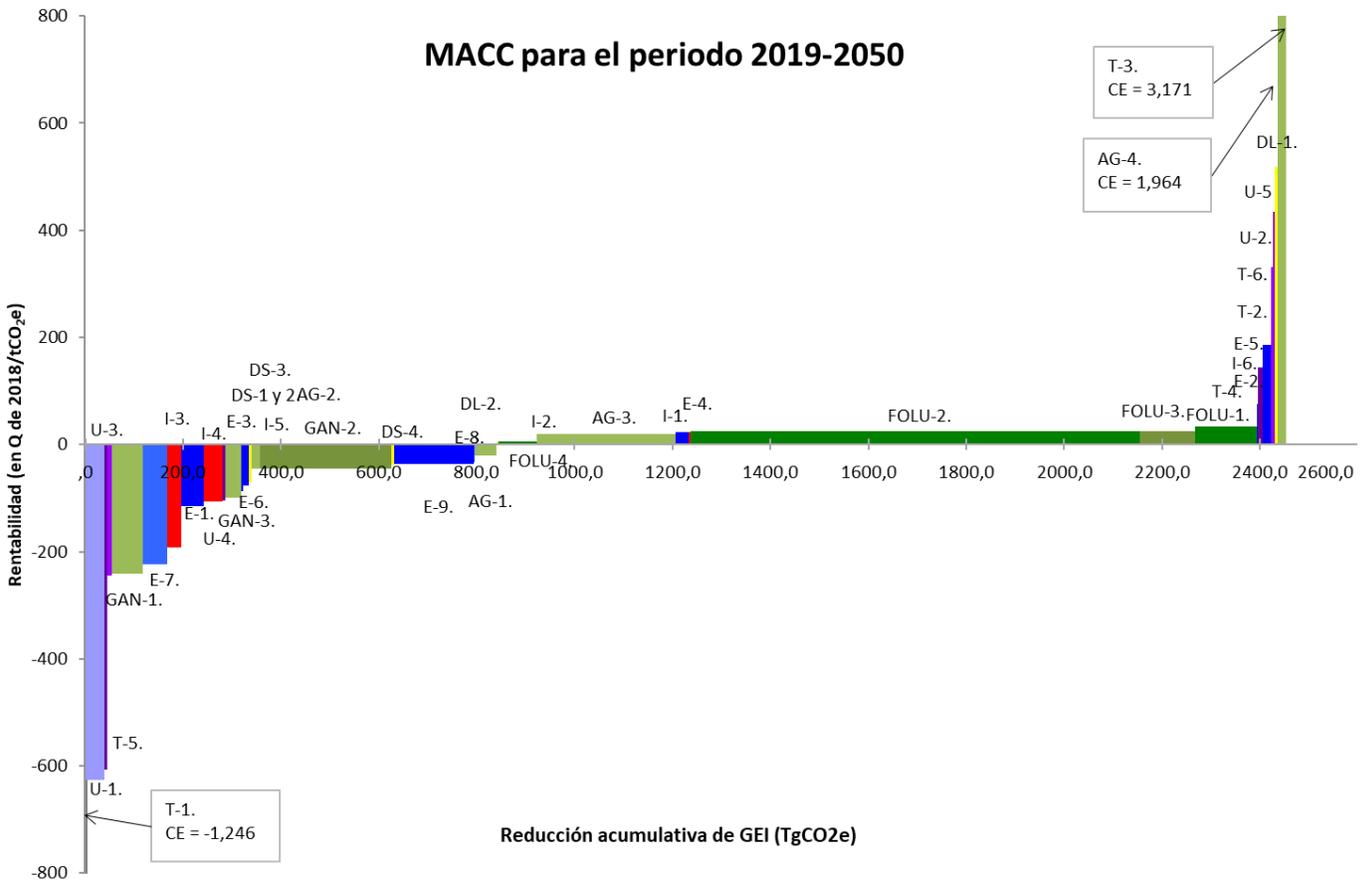
E. IMPACTOS DE OPCIONES DE LA EDBE PARA GUATEMALA

Se evaluaron los impactos directos e indirectos de cada opción de la EDBE. Los impactos directos o microeconómicos que pueden ser atribuidos a la implementación de una opción incluyen cambios en la producción y consumo de energía, reducciones de emisiones de GEI y costos asociados con la implementación de las opciones tales como costos de equipo, costos de mantenimiento, etc. Los impactos indirectos o macroeconómicos incluyen impactos en el empleo que resulta de un cambio en la demanda inducida por productos o servicios, un aumento o una disminución en el producto interno bruto (PIB) y otros impactos indirectos (cambios en el precio de la energía, cambio en los ingresos). Para el Plan de la EDBE, se desarrolló y aplicó un enfoque cualitativo para abordar los impactos indirectos.

Se llevó a cabo un análisis de impactos directos (microeconómicos) para cada una de las 43 opciones de la EDBE. La evaluación de cada opción identificó cambios esperados sobre producción/uso de energía, gestión de recursos y emisiones de GEI de actividad normal *BAU*, y luego cuantificó cada uno de estos a lo largo del periodo de planificación de la EDBE (2019-2050). El análisis de impactos directos también cuantificó los costos de implementación esperados para cada opción. Estos incluían los siguientes tipos de costos: inversiones iniciales, financiamiento, energía, materiales, operaciones y mantenimiento y costos de apoyo gubernamental. Se cuantificaron los impactos directos con base en la implementación de una sola opción de la EDBE (“análisis independiente”), así como integrados dentro y a través de los sectores para remover doble contabilidad y adaptar otras interacciones. Un resumen de todo este trabajo se muestra en la curva de costo marginal de abatimiento (MACC por sus siglas en inglés) de la EDBE en la Figura RE.E-1 a continuación. Los resultados totalmente integrados para el Plan de la EDBE indican que, **si todas las opciones se implementan totalmente como fueron diseñadas, las reducciones totales de GEI en el país para 2050 serán 120 TgCO_{2e} y las reducciones acumuladas dentro del país para el periodo 2019-20150 serán 2,454 TgCO_{2e}. Se espera que los costos totales de implementación directos resulten en más de 41 mil millones de Q de 2018 ahorrados en toda la sociedad** (aproximadamente

US\$5,400 Millones; un valor de costo negativo en el cuadro indica ahorros netos para la sociedad guatemalteca), mientras que la rentabilidad estimada para el Plan completo de la EDBE es -17Q/tCO₂e (aproximadamente US\$ 2.21/tCO₂e).

Figura RE.E-1. Curva de costo marginal de abatimiento acumulada de GEI 2019-2050



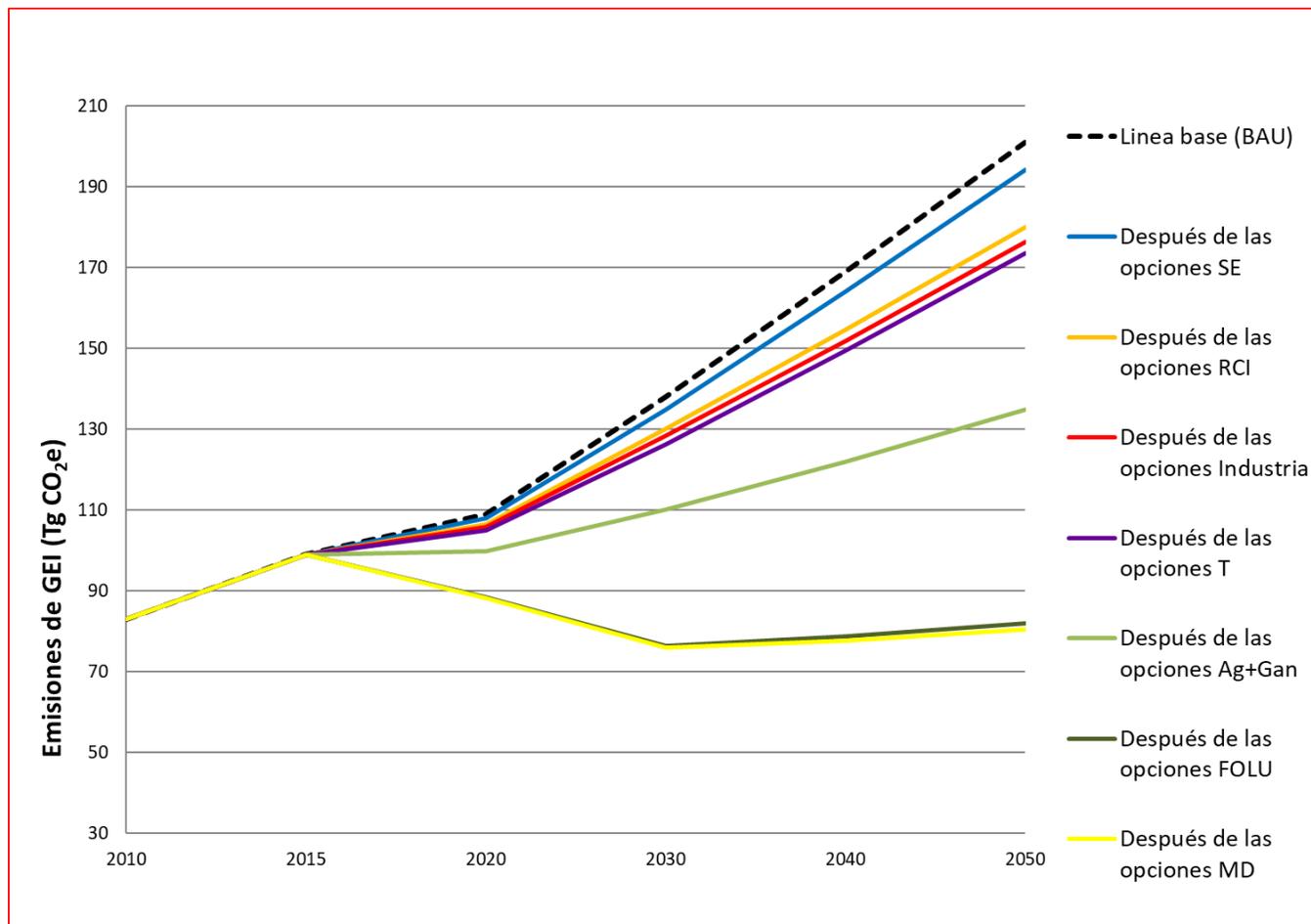
Nota: Una versión más grande de esta gráfica puede encontrarse en el Capítulo VII (Figura VII.C-4).

Se muestran las reducciones totales acumuladas esperadas de la implementación completa del Plan de la EDBE en el eje x de la MACC (más de 2,400 TgCO₂e del 2019-2050). Las opciones de la EDBE están ordenadas de la más rentable (CE por sus siglas en inglés) a la menos rentable. Se determina la CE dividiendo los costos de implementación totales por las reducciones de GEI acumuladas. Por ejemplo, la opción U-1 podría ser implementada a más de -600 Q/tCO₂e reducidos. Los valores negativos indican un ahorro neto para la sociedad.

La Figura RE.E-2 proporciona un **resumen de las reducciones esperadas contra las emisiones de la línea base para implementar las opciones de la EDBE**. Cada línea coloreada indica el nivel de reducciones esperadas para cada sector. Por lo tanto, las reducciones para las opciones de Suministro de energía (SE) se sustrajeron primero de las emisiones netas *BAU*. Luego, las opciones del sector Residencial/Comercial/Institucional (RCI) se sustrajeron de la línea SE, etc. La línea amarilla indica las emisiones restantes luego de sustraer las reducciones de la opción del sector Manejo de Desechos (MD). Como se muestra, se espera que la implementación completa del Plan de la EDBE produzca reducciones

significativas contra la línea base. En especial, las reducciones de los sectores Agricultura (AG), Ganadería (GAN) y Silvicultura y otro uso de la tierra (FOLU) son sustanciales.

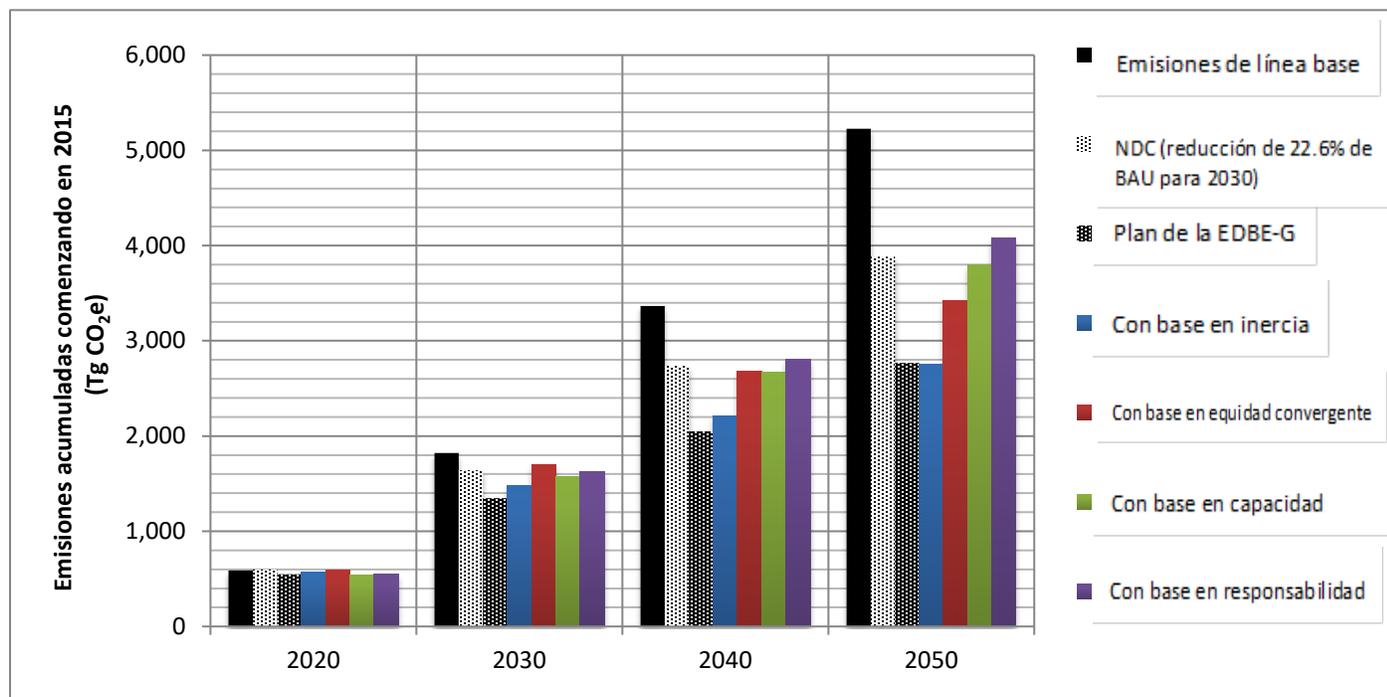
Figura RE.E-2. Reducciones esperadas de GEI de la implementación de opciones de la EDBE para Guatemala



Para cumplir los compromisos nacionales adquiridos a raíz del Acuerdo de París, muchos gobiernos, incluyendo el de Guatemala, han enmarcado su Contribución Determinada Nacionalmente (NDC por sus siglas en inglés) en términos de reducciones en % de emisiones de GEI durante un año pronóstico clave. Para Guatemala, las metas de reducción de la NDC son 11% ó 22% con apoyo de la cooperación internacional, por debajo de las emisiones de actividad normal *BAU* para 2030. Otra medida clave para evaluar los compromisos de Guatemala frente a los programas internacionales, como el Acuerdo de París, no son las emisiones anuales, sino las emisiones acumuladas de un año histórico reciente hasta el año 2050. Mientras que los presupuestos de emisiones a nivel de país no hayan sido determinados, el informe de la línea base de la EDBE (Anexo B) ofreció algunos posibles escenarios de presupuesto. Esos posibles presupuestos se compararon con emisiones de actividad normal *BAU*, niveles de emisión consistentes con la implementación de la NDC de Guatemala y el escenario del Plan de la EDBE en la Figura RE.E-3 a continuación. **El escenario del Plan de la EDBE se muestra para lograr todos los posibles presupuestos hasta 2050, con la única excepción de que sea ligeramente más alto que el presupuesto con base en la inercia.** Vea el Anexo B para más detalles sobre el significado y la derivación

de estos posibles presupuestos de emisión. Su contexto puede apoyar a los legisladores guatemaltecos en futuras negociaciones y acuerdos internacionales sobre cambio climático.

Figura RE.E-3. Asignación inferida de Presupuesto de GEI para un calentamiento de 2 grados C comparado con la NDC y Emisiones del Plan de la EDBE



El Plan de la EDBE proporciona más beneficios que solo las reducciones de GEI. Se esperan reducciones significativas en las importaciones de combustible y materiales (p.e. fertilizantes nitrogenados) e impactos benéficos en el uso de la tierra. El Cuadro RE.E-1 a continuación resume las áreas de bosques protegidas o ampliadas como resultado de las opciones de la EDBE. Como se indica, se ganarán casi 2.5 millones de hectáreas (Ha) de tierra boscosa a través de la combinación de preservación y expansión de la base de tierra forestal.

Cuadro RE.E-1. Impactos del Plan de la EDBE sobre el Uso/cobertura del suelo (LULC por sus siglas en inglés)

IMPACTO LULC (MILES HA)	2020	2030	2040	2050
Bosque natural preservado	61	595	1,122	1,233
Expansión de bosque natural	13	148	262	526
Nuevas plantaciones forestales	28	227	471	715
Total	102	970	1,855	2,474

Nota: Los impactos son como los comparados con el escenario esperado (de actividad normal) de cambio de LULC.

La evaluación macroeconómica identificó algunos efectos netos sobre toda la colección de opciones de la EDBE:

- **Los ahorros generales superan a los costos de implementación.** Se proyecta que las 43 opciones producen aproximadamente Q500 mil millones (US\$65,700 millones) más en ahorros y en nueva productividad que en costos de implementación de las opciones. Esto representa un promedio de ahorros netos para la economía de casi Q16 mil millones (US\$ 2,100 Millones) por año. Esto indica que mientras la implementación requiere inversión por adelantado y otros costos, el retorno potencial en esas inversiones es significativamente mayor que los costos involucrados. A cambio, esto actúa para estimular la macroeconomía liberando fondos para la reinversión.
- **El consumo y gasto en combustibles cae significativamente.** Las 43 opciones ofrecen en conjunto una reducción neta de gasto de energía de más de Q325 mil millones (US\$ 42,800) – o Q10 mil millones (US\$ 1,300 millones) por año. Esto representa una significativa cantidad de dinero liberada para otros usos en hogares, empresas y gobierno. Dado que tanta energía proviene de combustibles fósiles importados (ya sean crudos o refinados), esta también es una oportunidad para reducir las importaciones. Esto también actúa como un estímulo macroeconómico liberando fondos para la reinversión.
- **El balance de importaciones y exportaciones mejora.** Se proyecta que las 43 opciones de la EDBE reduzcan importaciones netas totales por aproximadamente Q40-60 mil millones (US\$ 5,200 – 7,900 millones) durante el periodo 2019-2050, principalmente se debe a las reducciones sustanciales de la necesidad de importación de combustibles y fertilizantes. Esto ocurre a pesar del incremento significativo (más de Q400 mil millones, equivalentes a US\$ 52,600 millones) en el gasto de importación de maquinaria, equipo, nuevos vehículos y otras contribuciones especializadas. Esta reducción neta en las importaciones cambia una parte del consumo guatemalteco de vuelta a los proveedores y cadenas de suministro locales. Esto se traduce en beneficios económicos para la economía guatemalteca.
- **Las opciones presentan oportunidades para estimular más empleos.** Casi todas las opciones de la EDBE anticipan algunos costos asociados de implementación futura bajo la forma de supervisión ampliada, gestión, mantenimiento o implementación. Las actividades intensivas en mano de obra como éstas están asociadas con incrementos en el empleo total en el conjunto de la economía– reflejando la contratación directa para llevar a cabo estas actividades y la expansión del mercado laboral que resulta ya que este nuevo ingreso en el hogar se gasta en bienes y servicios. Esto cambia las actividades hacia la creación de trabajos. Además, las opciones de la EDBE que apoyan mayores niveles de innovación tecnológica, contribuyen a trabajos con mayores ingresos y desarrollo futuro de industrias asociadas.
- **Casi la mitad de las opciones estimulan los sectores locales; sin embargo, casi 20% busca reducciones en escala en algunas actividades sectoriales locales.** En general, las 43 opciones de la EDBE proporcionan un estímulo neto a los sectores y cadenas de suministro locales dentro de la economía guatemalteca. Se proyecta que el sector de construcción se beneficie ya que las opciones contemplan construir nuevas infraestructuras o edificios. Se proyecta que el crecimiento en el sector de utilidades de actividad normal se reduzca a medida que la generación de energía de actividad normal y las actividades que lo apoyan se vean afectadas por cambios hacia renovables, ganancias en eficiencia u otras metas. El cambio a cadenas de suministro locales también cambia los beneficios económicos para Guatemala.

En general, las opciones de la EDBE ofrecen una base significativa para ser optimistas sobre la capacidad de opciones de bajas emisiones para estimular, en lugar de suprimir, la actividad económica en Guatemala. Aunque no todas las opciones ofrecen los mismos prospectos para el estímulo económico, muchas opciones ofrecen ahorros o retornos de productividad mayores a su costo de implementación, gastos significativos de dinero en actividades intensivas en mano de obra, reducción en

importaciones netas, dirección de la adopción de tecnologías avanzadas y estímulo de la actividad en sectores locales clave.

I. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta el Plan de la Estrategia de Desarrollo de Bajas Emisiones (EDBE) para Guatemala, una cartera de **43 opciones de mitigación altamente específicas y oportunidades de inversión para Guatemala que pueden ayudar al país a reducir emisiones de GEI y simultáneamente alcanzar sus prioridades económicas, energéticas y ambientales/de gestión de recursos naturales**. El Plan de la EDBE contiene el diseño de cada opción y la evaluación de sus impactos directos e indirectos frente al escenario de actividad normal (*BAU*).

Como tal, el Plan de la EDBE apoya **la mejora e implementación de varios planes de desarrollo nacionales y políticas relacionadas con el cambio climático, tales como K'atun Nuestra Guatemala 2032, la Ley Nacional de Cambio Climático y la Contribución Determinada Nacionalmente de Guatemala (NDC)** en cumplimiento con el Acuerdo de París de la 21a Conferencia de las Partes (COP21) bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el logro de las metas de reducción de emisiones de GEI de 11% ó 22% con apoyo de la cooperación internacional, para 2030 allí estipuladas. El Plan de la EDBE es el resultado de **un proceso de planificación, desarrollo y análisis orientados a la implementación, con base en hechos, participativo, dirigido por las partes interesadas, con objetivos múltiples, gradual y plurianual juntamente con la construcción de capacidad local y de procedimientos de aprender haciendo** (proceso de la EDBE).

El proceso de la EDBE inició en julio de 2016 y fue dirigido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Ministerio de Economía (MINECO) y la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) con apoyo técnico de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El proceso de la EDBE implicó la participación activa del Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Además del gobierno de Guatemala (GDG), instituciones del sector privado, asociaciones, empresas, academia, ONGs, y organizaciones indígenas fueron actores clave en el proceso de la EDBE. **Un total de 590 partes interesadas participaron activamente en toda la implementación del proceso de la EDBE.**

El proceso de la EDBE cubrió los siguientes sectores económicos clave en Guatemala:

- Energía, incluyendo suministro (producción de calor y energía) y demanda a través de las actividades residencial, comercial e institucional (RCI)
- Industria, procesos industriales (I)
- Transporte (T)
- Agricultura y ganadería (AG)
- Silvicultura y Otro uso de la tierra (FOLU)
- Manejo de Desechos (MD), incluyendo desechos sólidos y aguas residuales

El periodo de planificación de la EDBE iniciará con la implementación en 2019 y continuará hasta 2050.

II. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE LA EDBE Y PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS

A. METODOLOGÍA Y PRINCIPIOS DE IMPLEMENTACIÓN ADAPTABLE

El proceso de la EDBE fue planificado, diseñado e implementado usando el proceso de planificación activa de 10 pasos **desarrollado y ampliamente aplicado por el Centro de Estrategias del Clima (CCS por sus siglas en inglés)**. El proceso de planificación activa de 10 pasos es una serie de pasos consecutivos relacionados, cada uno incluye una serie de conceptos, técnicas, herramientas y decisiones que permiten un proceso comprensivo, participativo y basado en hechos para desarrollar un grupo de opciones altamente específicas para su implementación.

El proceso de planificación activa de 10 pasos se resume en la Figura II-1 a continuación:

Figura II-1. Proceso de Planificación Activa de CCS



Este proceso de planificación activa de 10 pasos— altamente adaptado al contexto guatemalteco como se describe más a detalle a continuación — se aplicó para guiar a los participantes de la planificación del Plan de la EDBE a través de un proceso para identificar la mitigación de GEI, el gestión de recursos naturales y otros objetivos de desarrollo; construir líneas base de planificación; examinar, evaluar y priorizar las opciones de la EDBE; desarrollar los diseños de opciones de la EDBE; analizar los impactos directos y costos o ahorros de implementar cada opción de la EDBE; evaluar la integración y el traslape entre opciones de la EDBE; evaluar los impactos indirectos macroeconómicos de las opciones de la EDBE; evaluar el impacto y costo general del grupo completo de opciones de la EDBE; y entregar y documentar una serie final de opciones de la EDBE al GDG para su adopción.

El proceso de planificación activa de 10 pasos permitió que se implementara el proceso de la EDBE tomando como base los siguientes principios clave:

- **Transparencia** en el diseño de la opción, puntos de vista de los participantes y análisis técnico (parámetros, fuentes de información, métodos, suposiciones clave e incertidumbres)
- **Inclusión** a través de la participación de un grupo diverso de partes interesadas guatemaltecas que representan un amplio espectro de intereses y experiencia en Guatemala
- **Construcción bajo acuerdo** a través de una validación formal y facilitada de los productos previstos y los resultados por parte de las partes interesadas en etapas fundamentales clave en el proceso para avanzar a los siguientes pasos. Se alentó a cada participante a expresar cualquier duda, objeción o preguntas durante el proceso y se adoptaron las modificaciones cuando fueron necesarias para mejorar los productos previstos
- **Exhaustividad** para cubrir todos los sectores, niveles de gobierno, métodos potenciales de implementación y parámetros de impacto de interés
- **Orientado a la implementación** para proporcionar al GDG el nivel de detalles en la especificación del diseño, análisis y acuerdo de las partes interesadas para cada opción para apoyar los siguientes pasos sobre el análisis técnico, reglamentación, legislación, financiamiento, monitoreo, presentación de informes y verificación, u otras necesidades.

Manteniendo un enfoque fuerte en los principios citados anteriormente, el proceso de planificación activa de 10 pasos fue **hecho a medida y adaptado** para su óptima aplicación e implementación bajo el contexto guatemalteco y tomó en cuenta los cambios del país en la escena política, metas y prioridades, así como las condiciones locales que más facilitaron un compromiso significativo de las partes interesadas y un progreso exitoso hasta su finalización. Los esfuerzos de adaptación y personalización clave y los resultados se resaltan a continuación:

- El primer paso, con respecto a la organización y las metas, tomó en cuenta la necesidad de garantizar armonizar con las nuevas iniciativas de política de Guatemala. Estas incluyen la NDC así como la Ley Nacional de Cambio Climático, aprobada en 2013, que encomendaba un enfoque sobre la mitigación, así como la adaptación y por múltiples ministerios en lugar de solo el MARN. Además, la planificación e inicio del proceso de la EDBE coincidió con una etapa de cambios políticos significativos tanto en oficinas electas como liderazgo en ministerios previo a y después de la elección presidencial de 2015. Estas condiciones requirieron **difusión y compromiso dirigido** para reunir la participación y apoyo de líderes políticos; **un esfuerzo concertado para involucrar a múltiples ministerios en papeles de convocación y participación**, para añadir experiencia, visión y aceptación al proceso de la EDBE y sus resultados; la **decisión de integrar consultores** con la experiencia sectorial dentro de cada uno de los ministerios participantes para proporcionar experiencia y mayor capacidad de trabajo con el fin de participar eficazmente en el proceso de la EDBE, así como para construir simultáneamente la capacidad institucional y facilitar el diálogo y la cooperación.
- La clave para el éxito del proceso de la EDBE fue una amplia y activa participación de las partes interesadas como se describe en la Sección II.B a continuación. Para equilibrar el deseo de un compromiso significativo de las partes interesadas con las limitaciones de tiempo disponible, falta de conocimiento y confianza inicial en una nueva metodología y enfoque de planificación de política, se tomaron los siguientes pasos:

- **Se estableció un régimen definido de reuniones presenciales para cada grupo de trabajo sectorial junto con una duración definida del proceso y una duración limitada de cada reunión.** Establecer un calendario definido y objetivos claros en cada sesión para cada GT ayudó a garantizar la participación de los miembros del GT, ya que los participantes comprendían a qué se comprometían.
- Se llevaron a cabo **reuniones intermedias y revisión de productos previstos** para facilitar la comprensión y la construcción de capacidades. Se organizó la mayor parte de las reuniones intermedias para acomodar peticiones para mayor claridad o revisión por parte de los participantes de los GTs.
- **Se utilizó un proceso iterativo** (apoyado con herramientas en línea cuando se requería atender necesidades locales) en donde se buscaban aportes para cada paso y cada producto previsto del proceso de la EDBE y **se realizaron decisiones abiertas por las partes interesadas.** Este enfoque permitió a las partes interesadas ser actores clave y tomadores de decisión en el proceso de la EDBE en lugar de estar confinados a un simple papel de consulta.
- A medida que el conocimiento, la confianza y el interés en el proceso incrementaron, **el número de partes interesadas aumentó, especialmente del sector privado el cual al final creció y jugó un papel clave en la realización del proceso de la EDBE.**
- Para incentivar retroalimentación y participación también de grupos fuera de la ciudad capital, se llevaron a cabo tres **consultas en los departamentos del interior de Guatemala con representantes de municipalidades, organizaciones de agricultores, organizaciones de mujeres y pueblos indígenas y con apoyo de las Redes Regionales de Cambio Climático.** Estas incluyeron: 1) una consulta con diferentes representantes de Petén, Izabal y Las Verapaces; 2) una consulta con representantes de Zacapa, Chiquimula, Izabal, Jutiapa, El Progreso y Jalapa; y 3) una consulta con representantes de Huehuetenango, San Marcos, Sololá, Totonicapán y Quetzaltenango.
- El trabajo analítico realizado para desarrollar una línea base exhaustiva para el país (como se detalla en el Capítulo III) y para evaluar el impacto de cada opción de la EDBE (como se detalla en los Capítulos V y VI) fue también significativamente hecho a medida para llenar los vacíos en la capacidad técnica, información y modelos analíticos locales:
 - **Se construyeron las series de datos específicas para el país** con la mayor cantidad de fuentes específicas posibles para Guatemala, una metodología exhaustivamente detallada y suposiciones transparentes cuando era necesario.
 - Debido a la ausencia de modelos macroeconómicos completos de entrada-salida o de equilibrio general calculable apropiados para uso bajo el contexto guatemalteco o funcionales al nivel de detalle necesario para evaluar las opciones individuales de la EDBE, **se desarrolló una metodología hecha a medida para una evaluación multifacética de las perspectivas de cada opción para mejora de toda la economía guatemalteca.** La metodología explicada en la Sección IV a continuación aplicó un enfoque con base en la literatura para la cuantificación rigurosa de las series de costos directos esperados, ahorros, cambios en la productividad, actividades de

importación o exportación y otros impactos directos en flujos financieros de cada opción.

B. PARTICIPACION DE LAS PARTES INTERESADAS

La extensiva y activa participación de más de 500 partes interesadas de los sectores público y privado, incluyendo sociedad civil, instituciones académicas, organizaciones de productores y organizaciones de pueblos indígenas que se comprometieron a lo largo de la implementación del proceso, fue clave para el éxito del proceso de la EDBE. Se proporciona el listado completo de las partes interesadas en el Anexo A.

Para facilitar la participación de las partes interesadas, se formaron los siguientes **seis grupos de trabajo sectoriales (GTs)**:

- Grupo de trabajo de Energía, dirigido por MEM
- Grupo de trabajo de Industria, dirigido por MINECO
- Grupo de trabajo de Transporte, dirigido por MICIVI
- Grupo de trabajo de Agricultura, dirigido por MAGA
- Grupo de trabajo FOLU, dirigido por INAB y CONAP
- Grupo de trabajo de Manejo de Desechos, dirigido por MARN

El grupo de trabajo de agricultura realizó sesiones separadas para agricultura (producción de cultivos) y para ganadería respectivamente, ya que las fuentes de emisiones y opciones de mitigación requirieron experiencia específica de cada campo. Adicional a estos seis GT sectoriales, se estableció también un grupo de trabajo de desarrollo urbano con el propósito de reunirse periódicamente para evaluar consideraciones urbanas específicas e impactos de las opciones de la EDBE. Sirvió como espacio de diálogo y compromiso de las partes interesadas que a menudo tratan temas que son transversales entre energía, transporte, espacios verdes y desarrollo urbano.

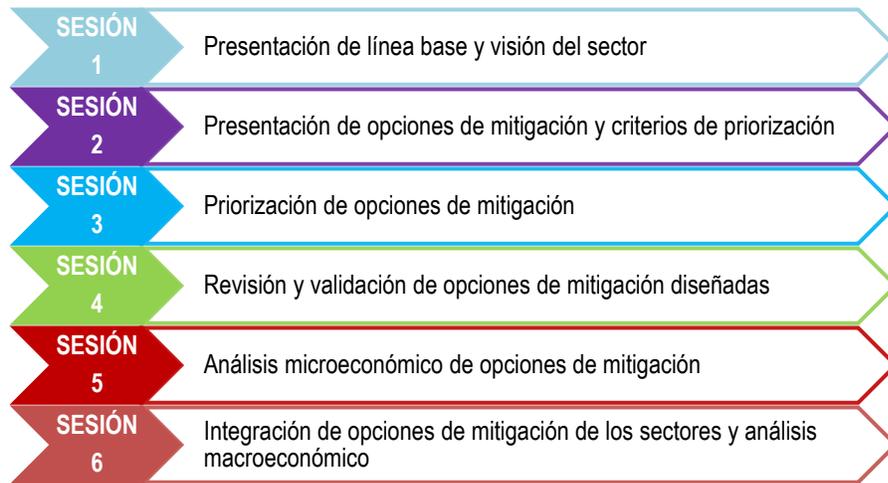
Los GTs sectoriales incluyeron representación completa de representantes institucionales de alto nivel y expertos técnicos sectoriales de agencias gubernamentales, sector privado y organizaciones no gubernamentales, así como representantes de los diferentes pueblos indígenas en Guatemala. Proporcionaron aportes, revisaron y aprobaron productos previstos clave del proceso de la EDBE e hicieron elecciones y decisiones clave a través de un proceso abierto, transparente, con base en hechos y de toma de decisión incluyente.

Los miembros de los GTs participaron en el proceso de la EDBE a través de sesiones de grupo de trabajo realizadas durante los dos años de desarrollo del plan de la EDBE. Por cada GT, se llevaron a cabo cinco sesiones de trabajo a nivel sectorial y una sexta sesión de trabajo y plenaria final para revisar abiertamente, discutir y validar la línea base de la EDBE, para seleccionar y priorizar las opciones de la EDBE para su desarrollo, para revisar el diseño de las opciones de la EDBE y los resultados de evaluación de los impactos.

La Figura II-2 a continuación ilustra las seis sesiones de trabajo realizadas para cada GT. En la primera sesión, cada GT revisó la línea base de energía, recursos y emisiones de GEI de la EDBE y proporcionó comentarios al equipo técnico. Durante la segunda sesión, se presentó a cada GT catálogos de opciones de mitigación para su sector (los miembros de los GTs proporcionaron comentarios sobre el catálogo de cada sector). Durante la tercera sesión, los GTs revisaron y comentaron sobre el listado de opciones priorizadas para su inclusión en el Plan de la EDBE como resultado del proceso participativo en línea

de análisis multi-criterios (AMC) que las partes interesadas realizaron como se describió en el Capítulo IV. La sesión cuatro se enfocó en la revisión del diseño de cada una de las opciones de la EDBE priorizadas (se solicitó a los miembros de los GTs proporcionar sus aportes en el diseño inicial de cada opción). Durante la sesión cinco, se revisaron los resultados de los impactos directos (microeconómicos) de cada opción de la EDBE con cada GT (los miembros de los GTs proporcionaron aportes en métodos, entradas y resultados clave incluyendo costos de implementación, energía/recursos/impactos de emisiones). Finalmente, durante la sesión seis, se llevó cabo una revisión sobre los impactos macroeconómicos anticipados para las opciones de la EDBE. Asimismo, se revisaron los impactos de todas las opciones de la EDBE en el conjunto de la economía.

Figura II-2. Seis sesiones de los Grupos de Trabajo de la EDBE para Guatemala



La participación de diferentes grupos de la población en el desarrollo del Plan de la EDBE ha sido un pilar importante desde el inicio del proceso de la EDBE. Cuando se conformó la membresía de varios GTs, se puso especial atención en garantizar la participación de representantes masculinos y femeninos de grupos más vulnerables, particularmente representantes de pueblos indígenas y pequeños productores.

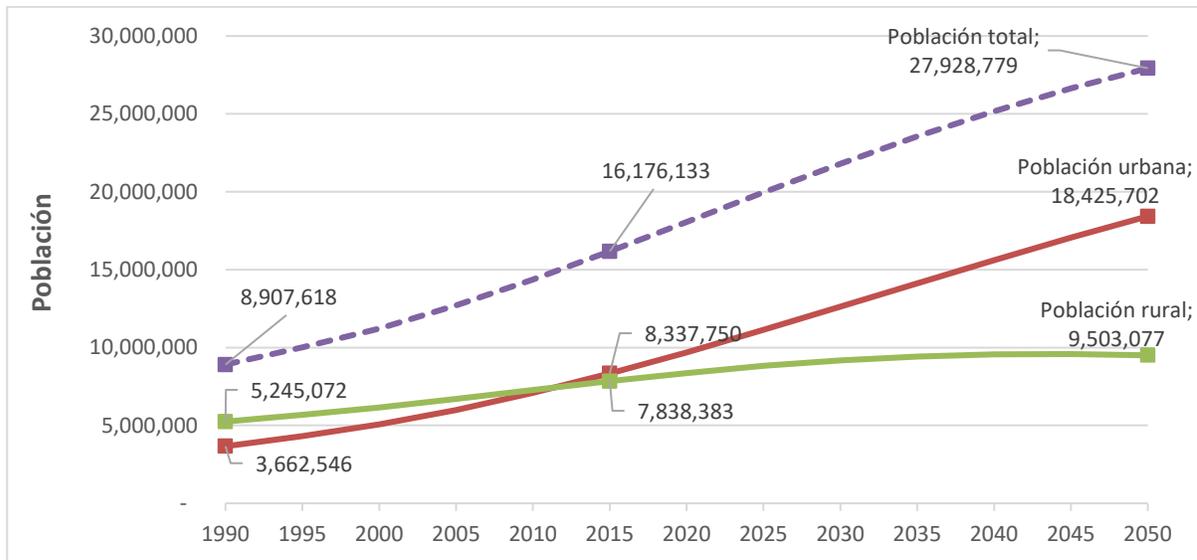
III. LÍNEAS BASE DE ACTIVIDAD ECONÓMICA, USO Y PRODUCCIÓN DE ENERGÍA, CONSUMO/GESTIÓN DE RECURSOS Y EMISIONES

Esta sección presenta un resumen de la línea base de la EDBE. El informe completo de la línea base de la EDBE se proporciona en el Anexo B. El informe aborda **la actividad socioeconómica histórica y esperada de actividad normal *BAU* para Guatemala, así como la producción y consumo de energía, consumo/gestión de recursos y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados.** Por favor toma nota del uso de la palabra “línea base” durante este informe se refiere a un resumen completo de información histórica (medida) y pronosticada de actividad normal *BAU* (modelada). La información histórica medida varía por fuente en términos del periodo medido; sin embargo, estas generalmente van de 1990 – 2015. En algunos casos, a la información histórica que no se extendió hasta 1990 se le aplicó una regresión usando un análisis de tendencia simple para derivar el periodo histórico completo.

A. LÍNEA BASE SOCIOECONÓMICA DE LA EDBE PARA GUATEMALA

Comenzando con el crecimiento poblacional, la Figura III.A-1 proporciona la línea base de la EDBE. Se estimó que la población total es de más de 16 millones en 2015, y se espera que crezca a casi 28 millones para 2050. Se espera que el crecimiento en las poblaciones urbanas represente la mayor parte de este crecimiento.¹

Figura III.A-1. Crecimiento esperado de la población de Guatemala



La Figura III.A-2 proporciona la línea base de la EDBE por actividad económica en general (producto interno bruto o PIB) e ingreso nacional bruto (INB). Las unidades son en Quetzales (Q) constantes al 2015. Se extrajo la información histórica a través de 2015 de la base de datos de Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial (BM).² Los valores mostrados para el PIB son “PIB a precios de consumidor”. Esta es la suma del valor bruto acumulado por todos los productores residentes en la economía más los impuestos de los productos y menos los subsidios no incluidos en el valor de los productos. Se calcula sin hacer las deducciones por depreciación de los activos fabricados o por la disminución y degradación de recursos naturales. **Tomando como base la información del BM de 2005 hasta 2015, la tasa de crecimiento anual promedio del PIB ha sido de 3.7%.** El Ingreso Nacional Bruto (INB) sigue muy de cerca al PIB para Guatemala.³

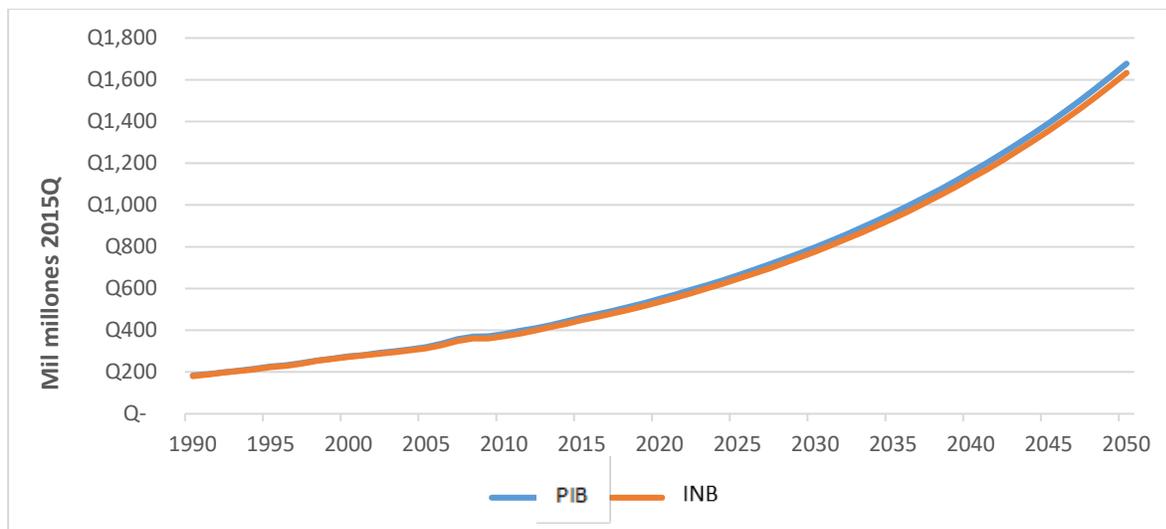
¹ Población Total: INE, *XI Censo de Población y VI de Habitación 2002*. Los desgloses de las poblaciones rural y urbana fueron tomados de los Indicadores del Banco Mundial consultados el 17 de febrero, 2016. <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>.

² Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial, consultados en octubre de 2016: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&country=GTM&series=&period=#>. Tomar nota que mientras esta información se obtenía del BM, procedían de las agencias gubernamentales guatemaltecas. Los valores históricos del PIB concuerdan con los reportados por el Banco de Guatemala.

³ Debido a la cercana relación histórica entre el PIB y el Ingreso Nacional Bruto (INB), INB se pronosticó con base en el crecimiento anual del PIB. INB (antes PNB) es la suma del valor añadido por todos los productores residentes más cualquier impuesto a productos (menos

Se tomaron los pronósticos del PIB para 2016 - 2018 de la base de datos de Prospectos Económicos Mundiales del BM (3.5%/año -3.6%/año).⁴ El crecimiento del PIB a largo plazo (2019 - 2050) se basó en la tasa promedio de crecimiento anual de 2016 al 2021 del Informe Económico Mundial del Fondo Monetario Internacional (3.8%/año).⁵ Una comprensión más profunda del desarrollo económico de actividad normal (*BAU*) de Guatemala podría obtenerse con información más detallada sobre niveles esperados de empleo futuro y el desglose del PIB pronosticado por sector económico. Sin embargo, estas estimaciones no estaban disponibles en el BM o el Banco de Guatemala (BANGUAT). Ver el informe de la línea base de la EDBE para más información histórica de la composición de la economía de Guatemala.

Figura III.A-2. Crecimiento económico esperado de Guatemala



El PIB total se deriva de la siguiente ecuación:

$$\text{PIB} = \text{FBC} + \text{CF} + \text{E} - \text{I}$$

donde:

FBC = formación bruta de capital

CF = consumo final

E = exportaciones

I = importaciones

La Figura III.A-3 proporciona un desglose del PIB histórico de Guatemala por categoría de gasto tomando como base información del BANGUAT. La formación bruta de capital (también conocida como “inversión nacional bruta”) consiste en erogaciones sobre adiciones a los activos fijos de la economía más cambios netos en el nivel de inventarios. Los activos fijos incluyen mejoras a la tierra (cercados, cunetas, drenajes, etc); compras de plantas, maquinaria y equipo; y la construcción de

subsidios) no incluidos en la valoración de producción más recibos netos de ingreso primario (compensación de empleados e ingreso de propiedades) del extranjero.

⁴ Perspectivas Económicas Mundiales del Banco Mundial, consultado en octubre de 2016: <http://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects#data>.

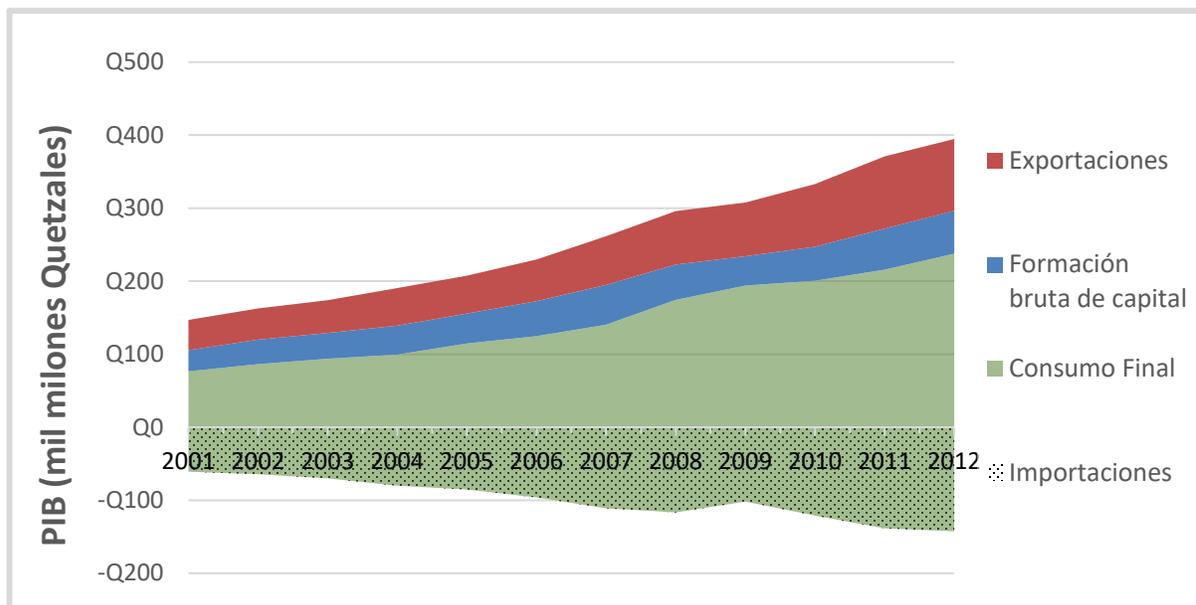
⁵ Perspectivas Económicas Mundiales del Fondo Monetario Internacional, consultado en octubre de 2016: <http://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects#data>.

caminos, vías ferroviarias y otras similares, incluyendo escuelas, oficinas, hospitales, viviendas residenciales privadas y construcciones comerciales e industriales. Los inventarios son reservas de bienes mantenidas por empresas para atender fluctuaciones temporales o inesperadas en la producción o ventas y "trabajo en progreso". Los gastos de consumo final (también denominados “consumo total”) es la suma de los gastos de consumo final del hogar (consumo privado) y los gastos generales gubernamentales de consumo final (consumo general gubernamental).

Como se muestra en la Figura III.A-3, los valores de importación se muestran como valores negativos. La parte del consumo final de la gráfica se mueve esencialmente hacia abajo sobre la cima de las importaciones por lo que el PIB neto se representa en el eje Y. Esta gráfica indica un incremento sustancial en el gasto durante el periodo por los hogares y el gobierno lo cual empujó al PIB hacia arriba de cerca de 150 mil millones quetzales en 2001 a casi 400 mil millones en 2012. Esto equivale a una tasa de crecimiento promedio anual de 9.7%.

Un incremento promedio anual en la formación bruta de capital de 6.7% y de exportaciones en 8.2% se combinaron para incrementar el PIB durante el periodo de 2001-2012. Al mismo tiempo, las importaciones también aumentaron sustancialmente (8.1% anualmente), lo cual sirvió como un ligero arrastre en la economía en general. Las importaciones se multiplicaron por más de dos durante este periodo, lo cual en 2011 **redujo el PIB por casi 150 mil millones de quetzales anualmente**.

Figura III.A-3. Composición del PIB por Categoría de gasto



La Figura III.A-4 proporciona un desglose reciente de las importaciones de Guatemala por categoría. Como se indica en la parte baja de la figura, los productos refinados de petróleo, parte de la categoría de productos minerales (principalmente los combustibles gasolina y diésel), componen una parte significativa de las importaciones en 2016 (11% de 16.8 mil millones dólares estadounidenses).⁶ Un

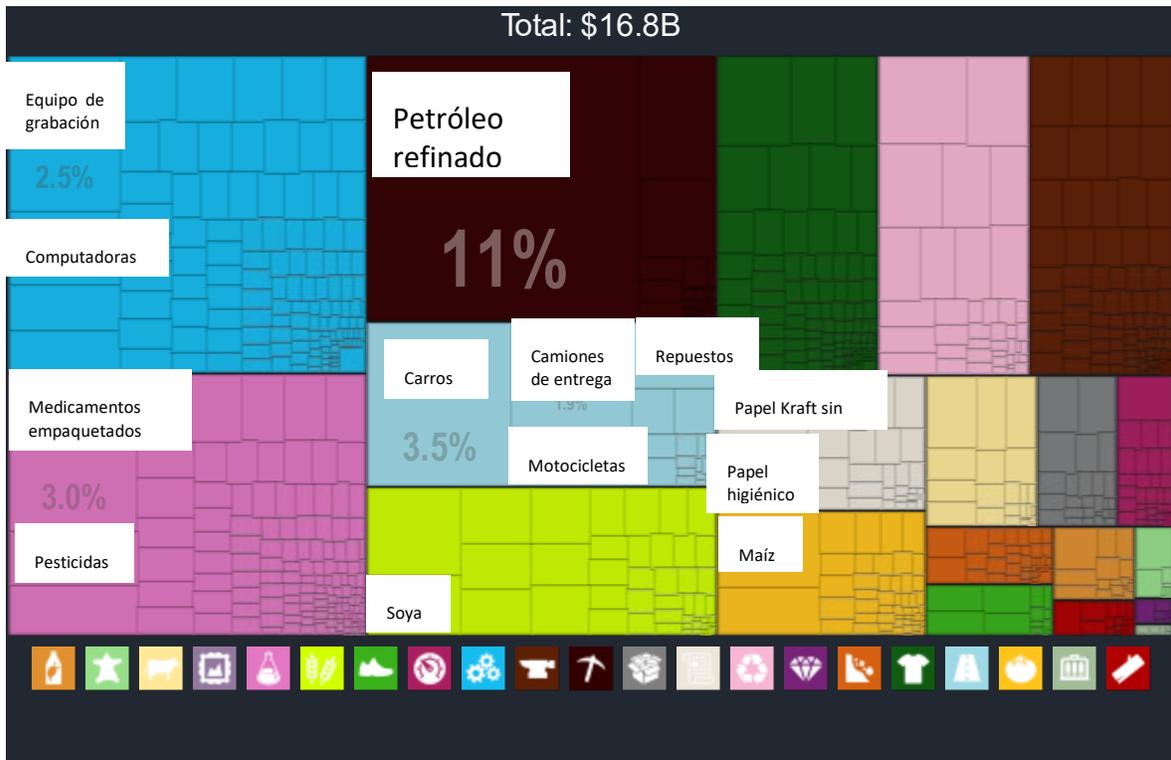
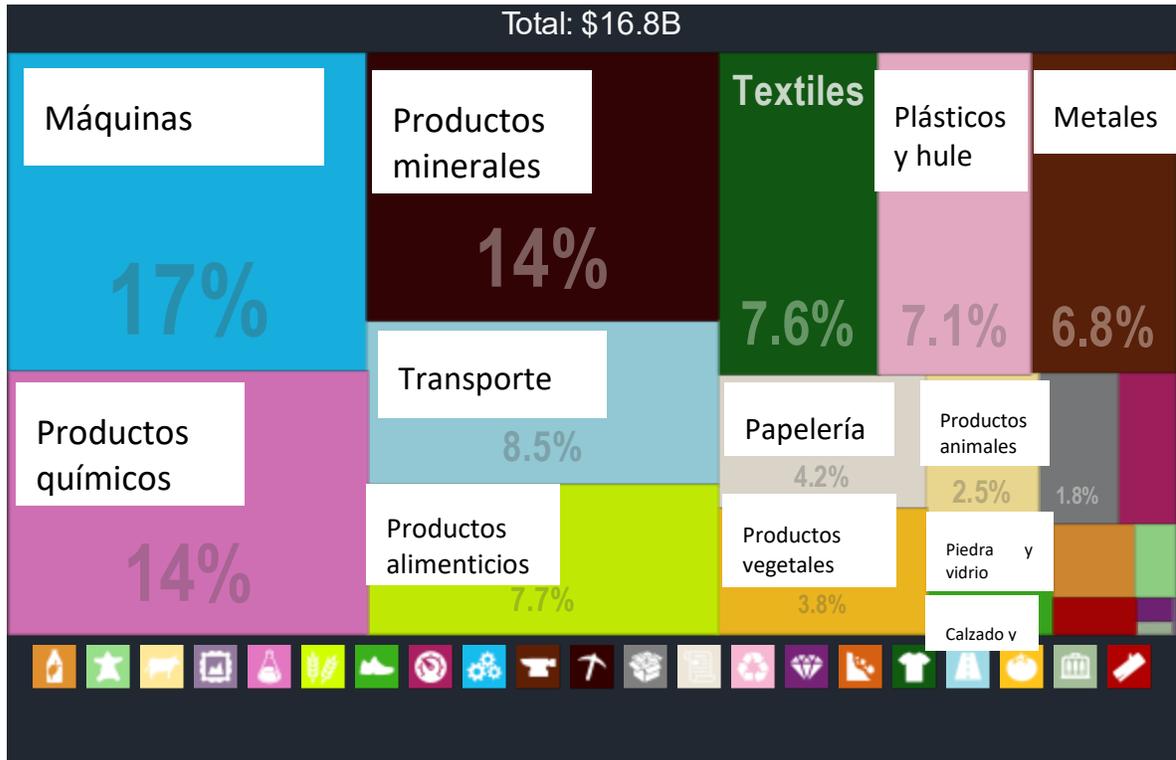
⁶ Fuente: Observatorio de Complejidad Económica (OCE); <https://atlas.media.mit.edu/en/profile/country/gtm/>. Esta información se tomó de la base de datos Database2 de Comercio Internacional BACI. La información original viene de la División de Estadística de las Naciones

desglose más detallado de los costos de importación de productos refinados de petróleo se proporciona en la sección siguiente.

Otra importación considerable para el proceso de la EDBE en la categoría de productos químicos son los fertilizantes nitrogenados. Si bien el valor de importación no puede observarse en la Figura III.A-4, contribuyó en más de medio por ciento en las importaciones de 2016 (un valor que no es insignificante; más de 90 millones dólares estadounidenses). Se pueden encontrar detalles adicionales sobre las importaciones del país explorando la página web del Observatorio de Complejidad Económica.

Unidas (COMTRADE), pero se limpia a través del equipo de BACI (Banque de France y CEPII) utilizando su propia metodología de armonización. CEPII es el Centro Francés de Estudios Prospectivos y de Informaciones Internacionales.

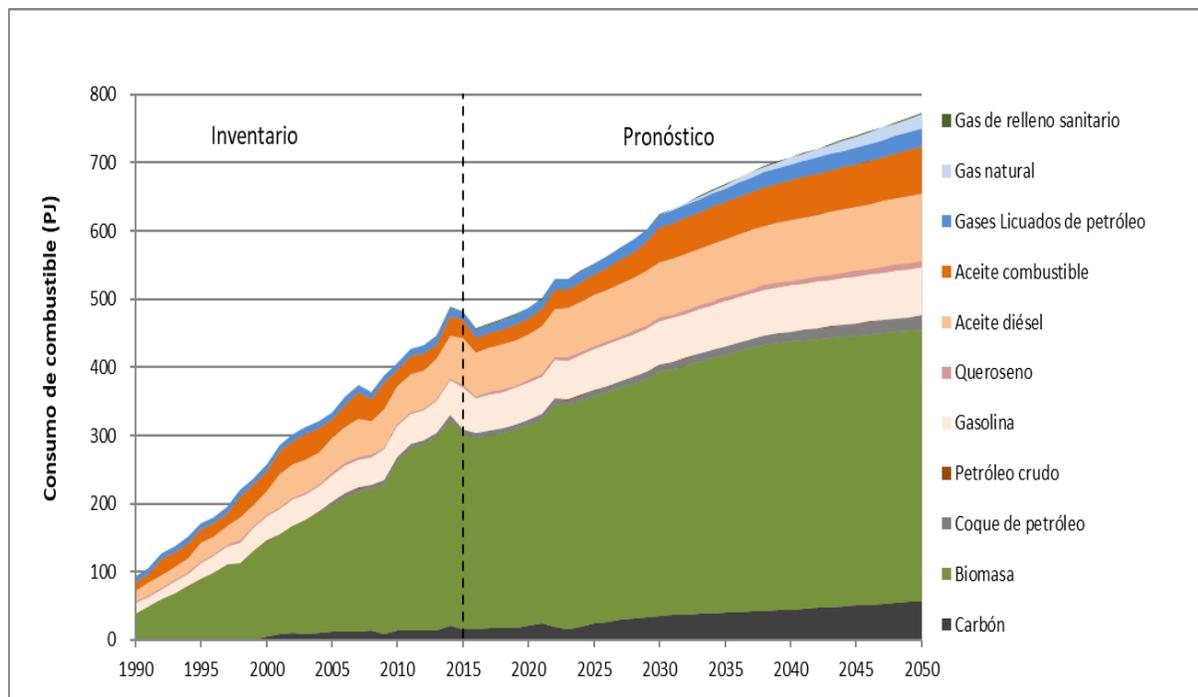
Figura III.A-4. Composición de Importaciones de 2016



B. LÍNEA BASE DE ENERGÍA DE LA EDBE PARA GUATEMALA

Para apoyar el nivel de crecimiento socioeconómico anticipado y deseado descrito anteriormente, la economía de Guatemala requerirá energía y otros recursos. Las cantidades estimadas de energía primaria necesaria para apoyar el crecimiento económico se resumen en la Figura III.B-1 a continuación. En 2015, la economía de Guatemala consumió un total de casi 450 petajulios (PJ) de energía primaria.⁷ Para 2050, se espera que las necesidades de energía primaria para el país sean alrededor de 775 PJ. **Los combustibles fósiles importantes consumidos en el pronóstico de actividad normal BAU al 2050 son carbón, aceite diésel y aceite combustible.**⁸ El consumo de biomasa, principalmente en el sector residencial, ha sido una fuente de energía dominante y se espera que permanezca así hasta 2050.

Figura III.B-1. Línea base de consumo de energía primaria de la EDBE para Guatemala



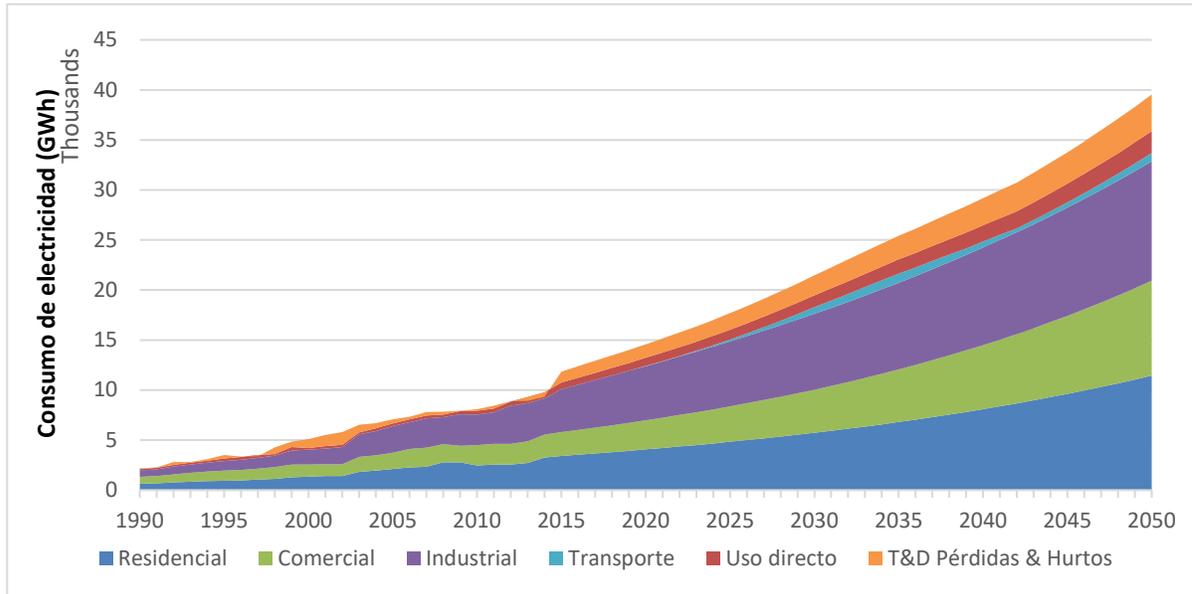
Además de su uso como combustibles de transporte y para llevar a cabo procesos industriales, algunos de los combustibles fósiles mostrados en la figura anterior también son necesarios para generar energía para la creciente economía y población. La Figura III.B-2 proporciona la línea base para la demanda de electricidad por sector y también incluye las pérdidas de energía esperadas durante la transmisión y distribución (T&D)⁹.

⁷ Un PJ es 10^{12} julios. Un PJ es también igual a 1,000 terajulios (TJ; 10^9 julios), que son las unidades de energía más comunes utilizadas en el proyecto de la EDBE.

⁸ Aceite de combustible aquí se refiere a petróleo residual, a lo cual se refiere también como petróleo pesado o fuelóleo.

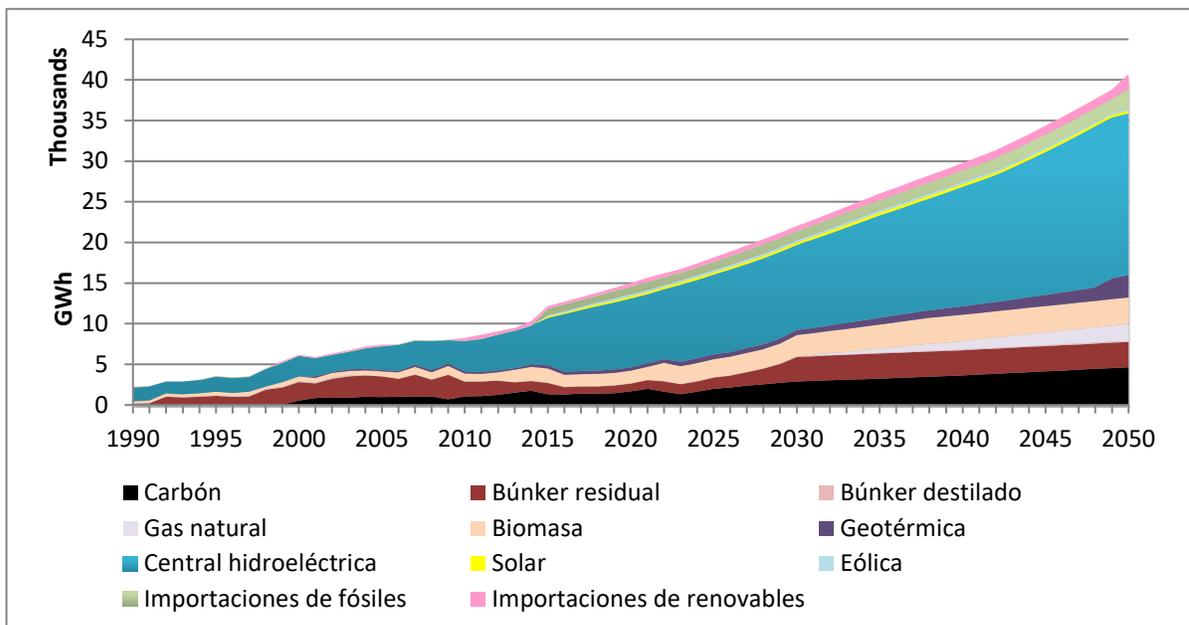
⁹ Las pérdidas de T&D incluyen pérdidas técnicas y no técnicas. Las pérdidas son una consecuencia inherente de la operación de cualquier red eléctrica y surgen como flujos de energía a través de equipo tales como cables, líneas eléctricas aéreas y transformadores. Las pérdidas no técnicas incluyen robo, falta de pago de usuarios y errores en la contabilidad y registro.

Figura III.B-2. Línea base de la demanda de electricidad de la EDBE para Guatemala



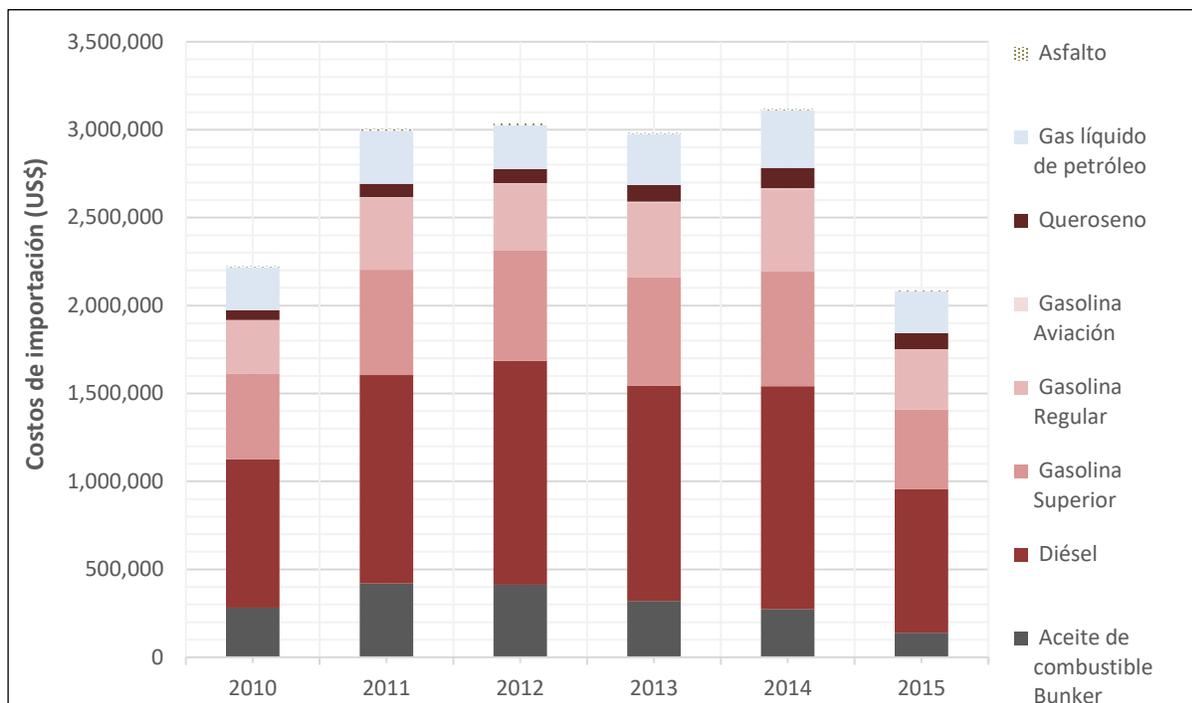
La Figura III.B-3 a continuación proporciona un resumen de la generación de energía neta histórica y pronosticada de actividad normal necesaria para atender la demanda, la cual incluye combustibles fósiles y fuentes de energía renovable (ER). Los recursos de generación de ER más importantes en Guatemala son por mucho las hidro-eléctricas de gran escala. Contribuciones adicionales importantes provienen de la generación de energía de biomasa (bagazo de caña de azúcar). La generación geotérmica, importaciones de ER, gas de relleno sanitario, generación solar y eólica tienen pequeñas contribuciones a la generación neta en el pronóstico de actividad normal *BAU*.

Figura III.B-3. Línea Base de generación neta de electricidad de la EDBE para Guatemala



La generación con base en combustibles fósiles crece en el pronóstico de actividad normal *BAU*. La generación con base en carbón crece en su contribución, especialmente después de 2025. Se espera que el gas natural también contribuya con la mezcla de generación de energía empezando a partir de 2030. Se espera que la generación con base en el aceite destilado permanezca como parte de la mezcla de generación hasta 2050; sin embargo, no se espera que sus contribuciones crezcan después de 2030. Como se describe más adelante en el informe de la línea base de la EDBE (Anexo B), **el país importa carbón y productos terminados de petróleo y se espera que continúe importando estos combustibles junto al gas natural en el futuro.** El costo de solo las importaciones de productos de petróleo de 2010-2015 se presentan en la Figura III.B-4. **Ya que las importaciones de energía crean un arrastre en la actividad económica en general (p.e. PIB), estas necesidades crecientes de importación son otro tema importante para abordar en las opciones de la EDBE presentadas en el próximo capítulo.**

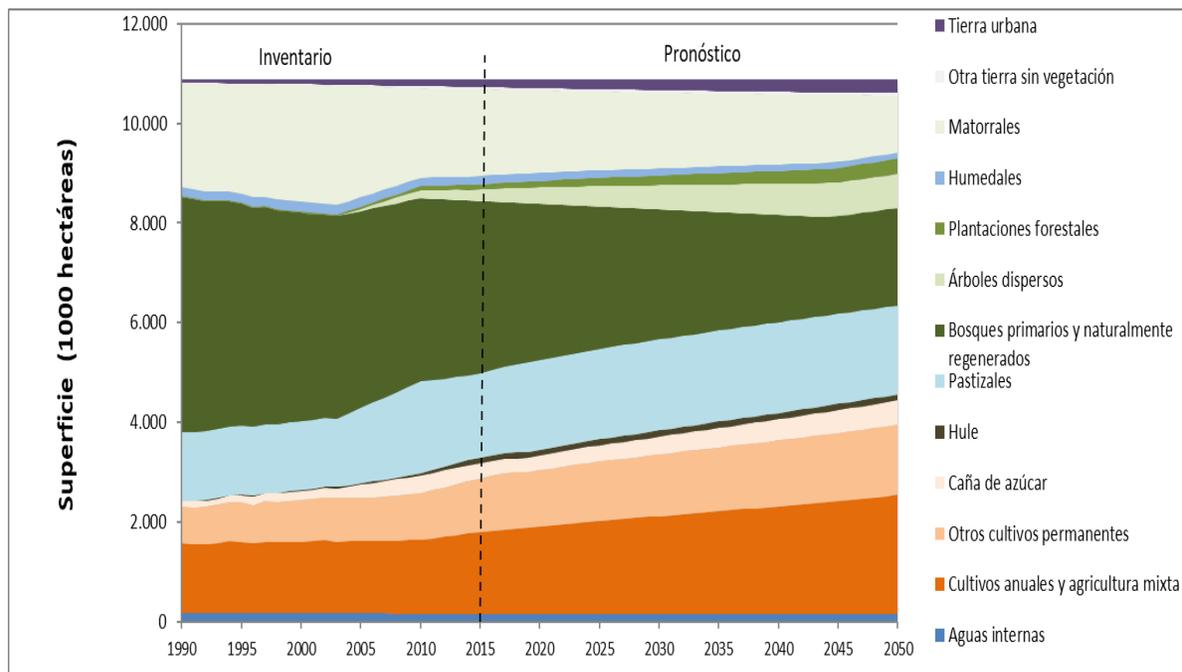
Figura III.B-4. Costo de las importaciones de productos de petróleo



C. LÍNEA BASE DE RECURSOS DE LA EDBE PARA GUATEMALA

Otro recurso clave ligado al crecimiento socioeconómico en Guatemala es la tierra. La Figura III.C-1 proporciona la línea base de la EDBE para el uso /cobertura del suelo. Esta gráfica indica que **cambios dramáticos han ocurrido en la historia reciente para sostener a la población y al crecimiento económico y se espera que éstos continúen hasta 2050**. Lo que es más notable en esta gráfica es la fuerte contracción en área de los bosques naturales y regenerados. **Las tierras boscosas han sido y continuarán a ser convertidas en otro uso de la tierra, sobre todo para apoyar el incremento en cultivos y ganadería y, en menor extensión, la expansión urbana**. El área de “árboles dispersos”, aunque es también un uso de la tierra forestado, indica un área creciente de bosque degradado que resulta de prácticas de aprovechamiento no sostenibles (incluyendo el uso como leña).

Figura III.C-1. Línea base de Uso /Cobertura del suelo de la EDBE para Guatemala¹⁰

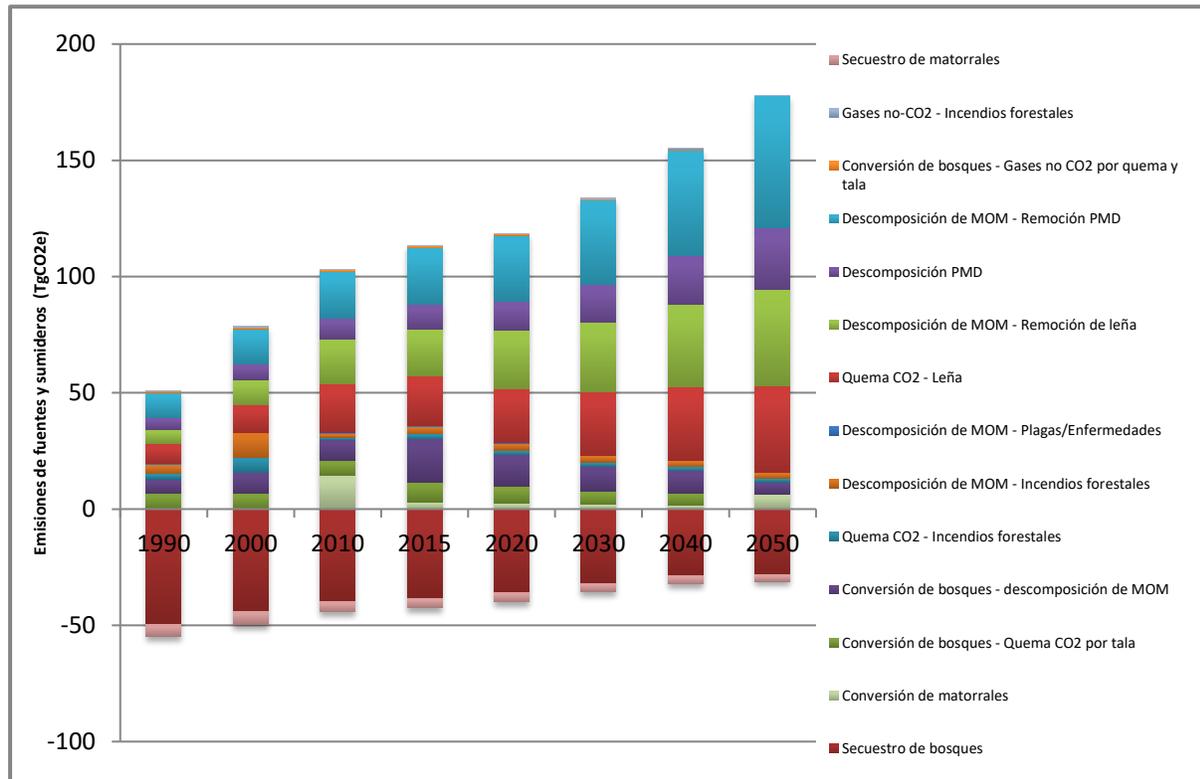


Los impactos de GEI que resultan de la pérdida del área boscosa a través de la conversión de la tierra y aprovechamientos no sostenibles de biomasa se resumen claramente en la Figura III.C-2. Esta figura proporciona estimaciones de secuestro de carbono (acumulación) y pérdida de carbono (emisión). Aunque se realizó un esfuerzo menor para estimar el periodo histórico temprano (1990-2000) que los

¹⁰ Tomar nota que, con base en el tamaño de impresión de esta figura, algunas categorías tales como “Otra tierra sin vegetación”, “Matorrales”, “Árboles dispersos” y “Caña de azúcar” son ya sea invisibles o poco visibles. También, los términos “Chaparral” y “Matorrales” son utilizados indistintamente en este informe y ambos se refieren a una comunidad vegetal caracterizado por vegetación dominada por árboles pequeños y arbustos, y a menudo también incluyen pastos, hierbas y geofitas.

posteriores periodos de la línea base, es muy probable que los bosques del país fueran sumideros netos de carbono de la atmósfera previo al periodo de tiempo 1990-1995.

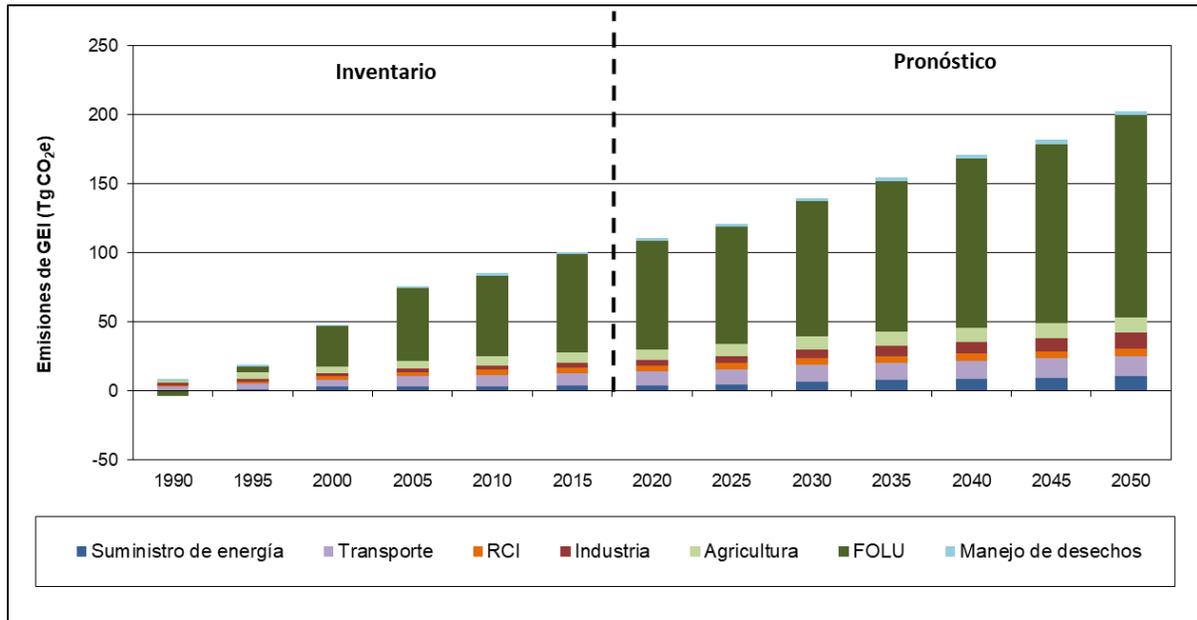
Figura III.C-2. Emisiones netas de GEI de carbono forestal



D. LÍNEA BASE DE EMISIONES DE LA EDBE PARA GUATEMALA

La Figura III.D-1 proporciona una contabilidad completa de las emisiones de GEI del conjunto de la economía. Esta figura indica que la fase histórica (inventario) de la línea base es hasta 2015. Esto significa que la información histórica estaba disponible para la mayoría de los sectores hasta 2015 con el fin de estimar las emisiones. El periodo de pronóstico de actividad normal *BAU* comienza en 2016 y continúa hasta el periodo de planificación de la EDBE en 2050. **Se espera que las emisiones netas incrementen de 99 teragramos de dióxido de carbono equivalente (TgCO₂e) en 2015 a 138 TgCO₂e para 2030 y 201 TgCO₂e para 2050.** Un teragramo (Tg) es igual a un millón de toneladas métricas. Se muestran las emisiones netas, lo que significa que se incluyen fuentes y sumideros de emisiones. El Cuadro III.D-1 proporciona la información de las emisiones en un formato tabular para emisiones netas y emisiones “brutas” (las emisiones brutas excluyen sumideros de carbono).

Figura III.D-1. Línea base de las emisiones netas de GEI del conjunto de la economía



Cuadro III.D-1. Línea base de las emisiones de GEI del conjunto de la economía, Netas y Brutas¹¹

Sector	Emisiones netas (Tg CO ₂ e)									
	1990	2000	2010	2015	2020	2030	2040	2050		
Suministro de energía	0.32	2.9	3.2	3.6	3.6	6.8	8.5	10		
Transporte	2.6	5.3	8.1	9.4	10	12	13	15		
RCI	0.72	1.4	2.3	2.4	2.6	2.9	3.2	3.4		
Industria	1.7	2.1	2.7	3.5	4.2	5.8	8.1	11		
Agricultura	1.9	5.2	6.8	7.3	7.6	9.8	10	11		
FOLU	(3.7)	29	59	71	79	98	123	147		
Gestión de residuos	0.87	1.2	1.7	1.7	1.9	2.3	2.7	3.1		
Emisiones netas totales	4.4	47	83	99	109	138	169	201		

Sector	Bruto de emisiones (Tg CO ₂ e)								
	1990	2000	2010	2015	2020	2030	2040	2050	
Suministro de energía	0.32	2.9	3.2	3.6	3.6	6.8	8.5	10	
Transporte	2.6	5.3	8.1	9.4	10	12	13	15	
RCI	0.72	1.4	2.3	2.4	2.6	2.9	3.2	3.4	
Industria	1.7	2.1	2.7	3.5	4.2	5.8	8.1	11	
Agricultura	5.0	6.3	8.4	8.5	9.2	10	11	12	
FOLU	41	76	88	110	116	132	153	171	
Gestión de residuos	1.0	1.4	2.0	2.0	2.3	2.9	3.5	4.1	
Emisiones brutas totales	53	96	114	139	148	172	201	228	

¹¹ Nota: la costumbre general para informar los resultados con un número apropiado de dígitos significativos durante este plan son reportar resultados mayores a 10 sin dígitos después del punto decimal; los valores entre 1 y 10 se reportan con un dígito después del punto decimal; los valores menores a uno se reportan con dos dígitos después del punto decimal.

Finalmente, el Cuadro III.D-2 resume la contribución de cada sector económico al crecimiento en general de las emisiones para el pronóstico de actividad normal *BAU* de emisiones. Se muestran dos horizontes diferentes de planificación. El primero termina en 2030 para indicar crecimiento y comparaciones de corto plazo con la NDC del país; y el segundo termina en 2050, que es el horizonte completo de planificación de la EDBE. La segunda y tercera columnas del cuadro muestran la contribución de cada sector al crecimiento de emisiones de GEI en el conjunto de la economía de 2015-2030 y 2015-2050, respectivamente. Las últimas dos columnas proporcionan la tasa de crecimiento de emisiones anuales para cada sector. **El sector FOLU es el contribuyente clave aquí. Se espera que cerca del 74% del crecimiento de emisiones durante el periodo de planificación de la EDBE proceda del sector FOLU como resultado de conversión de tierra forestal y de prácticas de aprovechamiento no sostenibles.** La Figura III.D-1 presentada anteriormente proporciona detalles sobre la base de tierra forestal que se contrae para el secuestro de carbono durante el periodo de pronóstico y también proporciona una idea del tamaño de las remociones estimadas de madera para combustible pasadas y futuras. **El suministro de energía (generación de energía), el transporte (vehículos de carretera) y la industria también son sectores importantes que contribuyen al crecimiento de emisiones.** El informe de la línea base de la EDBE en el Anexo B proporciona detalles sobre los pronósticos para cada sector.

Cuadro III.D-2. Contribuciones sectoriales al crecimiento de las emisiones netas de GEI

Sector	Contribución al crecimiento del conjunto de la economía		Crecimiento sectorial anual	
	2015 - 2030 (%)	2015 - 2050 (%)	2015 - 2030 (%/año)	2015 - 2050 (%/año)
Suministro de energía	8.3%	6.6%	4.3%	3.0%
Transporte	6.8%	5.6%	1.7%	1.4%
RCI	1.4%	1.0%	1.4%	1.1%
Industria	5.9%	7.6%	3.4%	3.4%
Agricultura	6.5%	3.6%	2.0%	1.2%
FOLU	69%	74%	2.2%	2.1%
Manejo de desechos	1.6%	1.4%	2.1%	1.8%

IV. EXAMEN, SELECCIÓN Y DISEÑO DE OPCIONES DE LA EDBE PARA GUATEMALA

Las 43 opciones de la EDBE fueron examinadas y seleccionadas por los miembros de los seis GTs de los catálogos sectoriales que contenían varios cientos de opciones potenciales en todos los sectores (el “Catálogo), con la asistencia de CCS. Se desarrolló el Catálogo en colaboración cercana entre el Proyecto de Desarrollo de Bajas Emisiones de USAID y los participantes de los seis GTs e incluye opciones en los seis sectores económicos que fueron considerados para tener un potencial en Guatemala.

Se realizó el examen y la selección de las 43 opciones de la EDBE por los miembros de los GTs a través de un proceso de Análisis Multi-criterio (AMC) facilitado en línea. Como primer paso en el proceso AMC, los miembros de los GTs seleccionaron un grupo de criterios para clasificar cada opción. Estos criterios fueron:

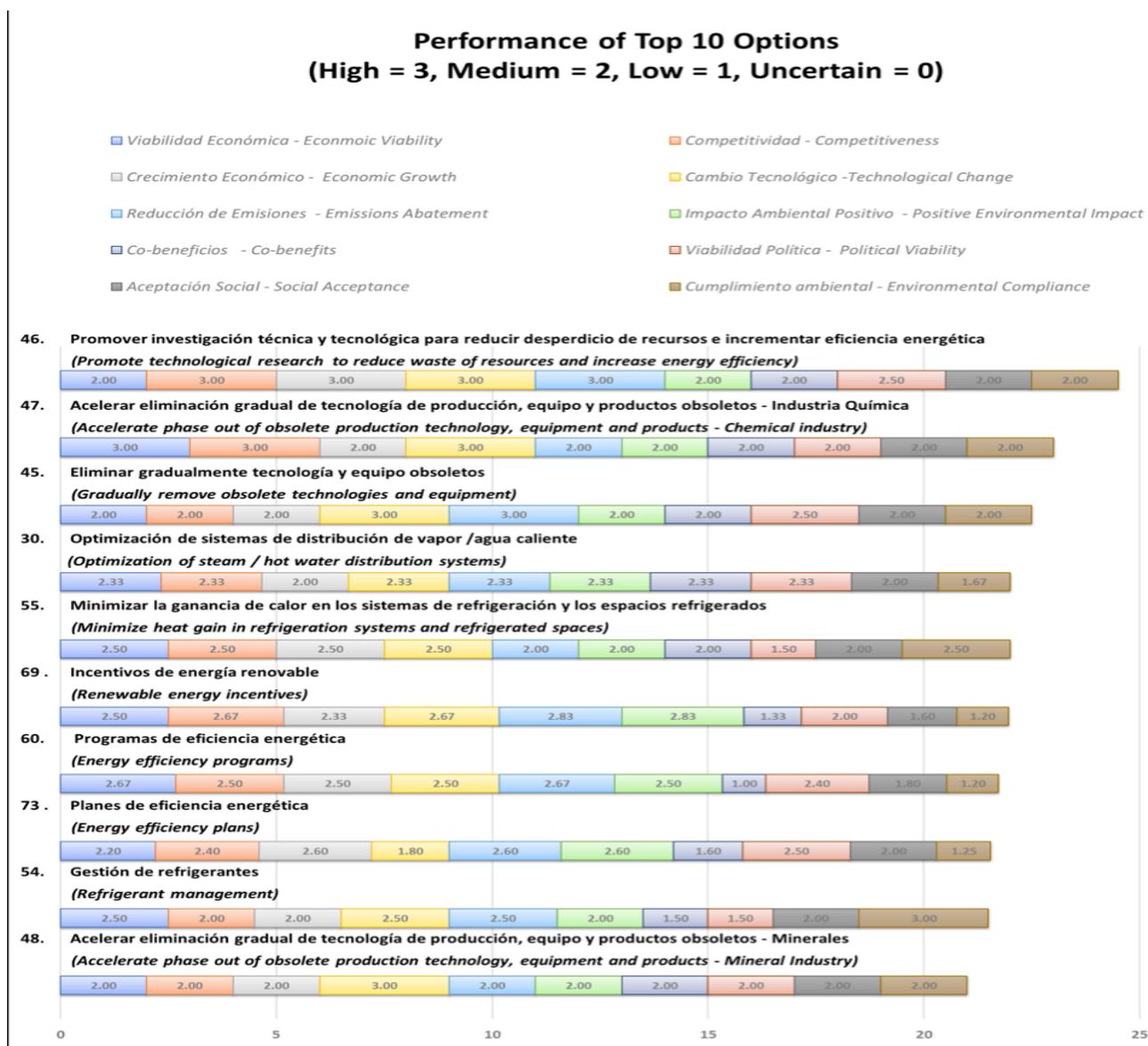
- Reducción de emisión de GEI
- Crecimiento económico
- Competitividad
- Creación de nuevos mercados
- Viabilidad técnica
- Viabilidad política
- Co-beneficios

Con base en su juicio experto y la mejor información disponible para cada opción en el catálogo del sector, cada criterio fue clasificado como “alto, medio o bajo” en términos de su desempeño esperado. La clasificación se llevó a cabo a través de un sistema de encuesta en línea con asistencia de CCS y **luego se compartieron y discutieron los resultados con los GTs para facilitar la selección, a través de un proceso abierto e incluyente, de las primeras diez opciones en cada sector.** En algunos casos, algunas de las opciones seleccionadas fueron agrupadas con otras para evitar traslape en cobertura o análisis.

Un ejemplo de los resultados del proceso AMC para las primeras diez opciones de industria que se clasificaron más alto en todos los criterios del examen se muestra en la Figura IV.A-1 a continuación.

Figura IV.A-1. Muestra de resultados del análisis AMC para el sector industria

Desempeño de las primeras 10 opciones
(Alto=3, Medio=2, Bajo=1, Incierto=0)



Tras la encuesta AMC, con la asistencia técnica de CCS, los GT's empaquetaron los resultados en opciones individuales para un posterior diseño y análisis de impactos. En algunos casos, empaquetar los resultados del AMC involucraba agrupar opciones individuales de los resultados de la encuesta en una sola opción para su subsiguiente diseño y análisis. El Cuadro IV.A-1 a continuación proporciona el listado de las 43 opciones prioritarias de la EDBE seleccionadas por los GT's para mayor desarrollo.

Cuadro IV.A-1. Listado final de las opciones prioritarias de la EDBE para Guatemala

SECTOR ENERGÍA Y URBANO U-3/U-4	
E-1	Manejo de permisos y ubicaciones para incrementar el potencial de plantas hidroeléctricas existentes
E-2	Desarrollo de plantas mini y micro-hidroeléctricas
E-3	Ampliar el uso de generación solar
E-4	Ampliar el uso de energía geotérmica
E-5	Nueva generación renovable para reducir pérdidas en el sistema
E-6	Códigos de eficiencia energética para edificios existentes
E-7	Estándares de eficiencia energética para equipos y electrodomésticos
E-8	Auditorías energéticas
E-9	Introducción de estufas de leña eficientes
U-3	Alumbrado público LED en Ciudad de Guatemala
U-4	Añadir estándares de eficiencia energética al Código Nacional de Construcción
SECTOR INDUSTRIA	
I-1	Eficiencia energética para hornos
I-2	Programas de eficiencia energética - calderas y calentadores de procesos
I-3	Incentivos para energía renovable
I-4	Mejoras a la eficiencia de energía eléctrica
I-5	Reciclado incrementado y/o sustitución de materiales
I-6	Mejorar la recuperación de calor
SECTOR TRANSPORTE Y URBANO U-1/U-2	
T-1	Construir la ruta del tren ligero MetroRiel en Ciudad de Guatemala
T-2	Modernizar la flota privada de buses suburbanos/extra-urbanos
T-3	Mejorar el tránsito regular, modernizar la flota y ampliar el BRT en Ciudad de Guatemala
T-4	Construcción de libramientos en autopistas alrededor de Chimaltenango (departamento de Chimaltenango) y Barberena (departamento de Santa Rosa)
T-5	Modernizar la flota vehicular privada de servicio ligero
T-6	Promover el uso de etanol en gasolina
U-1	Establecer un componente de uso de tierra urbano en la Política Nacional de Desarrollo Urbano
U-2	Plan de Movilidad Urbana Sostenible para Ciudad de Guatemala
SECTOR AGRICULTURA Y GANADERÍA	
Agricultura	
AG-1	Manejo sostenible de suelos
AG-2	Establecimiento y mejora de sistemas agroforestales
AG-3	Establecimiento de plantaciones frutales
AG-4	Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados
Ganadería	
GAN-1	Gestión del pasto mejorado a través de pastoreo rotacional
GAN-2	Promoción de sistemas silvopastoriles
GAN-3	Promover el manejo integrado de estiércol en sistemas intensivos de producción animal
SECTOR SILVICULTURA Y OTRO USO DE LA TIERRA Y URBANO U-5	
FOLU-1	Establecimiento de plantaciones forestales sostenibles
FOLU-2	Conservación y gestión de bosques naturales sostenibles

FOLU-3	Reforestación de tierras degradadas con especies nativas
FOLU-4	Fortalecer la capacidad de respuesta institucional en la prevención y control de incendios forestales
U-5	Sistema de espacios verdes urbanos
SECTOR MANEJO DE DESECHOS	
Desechos sólidos	
DS-1	Expansión de colecta de desechos y mejora de la eficiencia de separación
DS-2	Reutilización y reciclaje de desechos sólidos inorgánicos
DS-3	Compostaje avanzado
DS-4	Captura y uso de gas de relleno sanitario
Aguas residuales	
DL-1	Medidas de ahorro de agua en los sectores Residencial, Comercial, Institucional e Industrial
DL-2	Tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales

Para cada opción prioritaria de la EDBE, se desarrollaron parámetros de diseño. Estos incluyeron un grupo de metas de desempeño para cada opción, así como los mecanismos de implementación necesarios, los cuales fueron utilizados en la evaluación de sus impactos. Los parámetros de diseño fueron revisados y discutidos por los GTs para su aprobación final. Para cada opción, se incluye:

- *Descripción:* descripción introductoria de la opción y su impacto previsto en líneas base de uso de energía, consumo/gestión de recursos y/o emisiones de GEI
- *Nivel de esfuerzo:* metas cuantitativas
- *Tiempo:* fechas de inicio y terminación de la opción propuesta, así como cualquier programación de introducción gradual o de aceleración o desaceleración
- *Cobertura de las partes implementadoras o afectadas:* esto incluye límites geográficos y los tipos específicos de entidades o grupos que se requerirán para implementar la opción
- *Instrumentos o mecanismos utilizados para implementar la opción* definida, por lo menos en términos generales, para esclarecer caminos de implementación y abordar la viabilidad
- *Cadenas causales de impactos:* ellas identifican los impactos previstos y no previstos de la opción e incluyen consumo/producción de energía, recursos naturales, prácticas de gestión, efectos de seguimiento de GEIs (aumento o disminución), costo monetario directo y ahorros esperados durante la implementación de la opción.

Para cada opción, se desarrolló una plantilla de documento de opción (DO) para documentar y determinar los enfoques específicos utilizados para el diseño, análisis e implementación. Esta herramienta permitió hacer a medida cada opción, así como tener consistencia a través de las opciones y los sectores.

Se llevó a cabo un análisis de género para 12 opciones de mitigación en los sectores energético, agrícola, de cambio de uso de la tierra y silvicultura y transporte/urbanismo (uso eficiente de fertilizantes, gestión del suelo, plantaciones de árboles frutales, sistemas agroforestales y silvo-pastoriles, reforestación de áreas degradadas con especies nativas, energía solar, uso de estufas de leña eficientes, modelo para la estructura urbana territorial con bajas emisiones y transporte). El análisis de género se llevó a cabo para definir: si la voz (intereses, problemas, soluciones) de la población guatemalteca, en particular de los grupos e individuos más vulnerable a los efectos del cambio climático, era considerada en la definición de las

diferentes opciones de mitigación que son la parte medular de la Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones; ya sea que estas opciones de mitigación no tuvieran efectos negativos en esta población; y si tendrían acceso equitativo a los beneficios de las opciones de mitigación que se incluyen en la Estrategia de Desarrollo con Bajas Emisiones. Una vez que el análisis se completó, se incorporaron los resultados en los 12 Documentos de Opción y se presentaron en la sesión sobre análisis microeconómico a los Grupos de Trabajo de la EDBE. A través del ejercicio de análisis de género de las 12 opciones de mitigación, fue posible identificar varios co-beneficios que las tecnologías y prácticas de mitigación podrían tener para hombres y mujeres (generación de empleo; reducción de problemas de salud; aumento en actividades productivas debido al acceso a la electricidad; reducción de los costos de producción; aumento en la productividad y competitividad y aumento en la seguridad alimentaria), la cual podría ser una guía adicional para decidir cuáles opciones de mitigación podrían escogerse. Finalmente, es importante mencionar que consideraciones específicas con respecto a poblaciones indígenas también se incluyeron en estos doce Documentos de Opción.

Todos los DO han sido incluidos en los anexos a nivel de sector de este informe (Anexos D – I).

V. ENFOQUE DE ANÁLISIS DE IMPACTOS

Se evaluaron los impactos directos e indirectos de cada opción de la EDBE. **Los impactos directos o microeconómicos que pueden ser atribuidos a la implementación de una opción incluyen cambios en la producción y consumo de energía, reducciones de emisiones de GEI y costos asociados con la implementación de las opciones tales como costos de equipo, costos de mantenimiento, etc.** Estos costos y otros impactos ocurren en el momento de la implementación de la opción, así como en momentos posteriores en la cadena de valor de suministros (p.e. reducción de emisión de GEIs ocurren en las instalaciones de producción de combustible fósil como resultado de la reducción en la demanda del combustible por parte de un sector de uso final).

Los impactos indirectos o macroeconómicos incluyen impactos en el empleo que resultan de un cambio en la demanda inducida por productos o servicios, un aumento o una disminución en el producto interno bruto (PIB) y otros impactos indirectos (cambios en el precio de la energía, cambio en los ingresos). Para el proceso de la EDBE, se desarrolló y aplicó un enfoque cualitativo para abordar los impactos indirectos. Ese enfoque se detalla a continuación.

Se proporciona una descripción detallada de los métodos utilizados para llevar a cabo el análisis de los impactos de implementación de las opciones de la EDBE en el Anexo C. Mucha de la atención en el Anexo C es en el enfoque utilizado para llevar a cabo los impactos directos. Sin embargo, ya que los resultados del análisis de impactos directos fueron usados directamente como contribución en la evaluación de impactos indirectos, la información que aquí se proporciona aborda ambos.

E. IMPACTOS DIRECTOS (MICROECONÓMICOS)

Los impactos directos de las opciones de la EDBE pueden tomar muchas formas dependiendo del diseño y la implementación de una opción. Estos incluyen: un aumento en la producción de energía renovable (ER) y baja en carbono; una disminución en la demanda de electricidad o recursos; una disminución en la conversión o degradación del uso de la tierra; una disminución en el uso de combustible fósil; una disminución en la generación de desechos o un incremento en la reutilización; una disminución o un aumento resultante en las emisiones de GEI, y muchos otros. Los costos directos de implementación de una opción pueden tomar también varias formas diferentes. Comúnmente, involucra una inversión inicial, por ejemplo, para comprar nueva tecnología, adquirir tierra, etc. Estas inversiones iniciales podrían realizarse totalmente utilizando fondos públicos o privados existentes o podrían necesitar financiamiento con programas que son consistentes con el préstamo o el ambiente de inversión para ese sector de la economía. Otros costos directos en curso incluyen costos de operaciones y mantenimiento para nueva tecnología o cambios en prácticas (incluyendo costos laborales); costos de energía; costos de materiales; y apoyo de fuentes gubernamentales o internacionales (p.e. subvenciones, créditos de producción, créditos de compensación de emisiones, etc.). Los costos pueden ser fijos o variables, dependiendo de necesidades específicas.

Para cualquier impacto o costo directo, se utiliza la siguiente ecuación general para estimar un impacto neto durante cada año del periodo de planificación de la EDBE (2019 – 2050):

$$\text{Impacto anual (cambio neto)} = \text{OS} - \text{BAU}$$

donde:

OS = valor del parámetro para el escenario de la nueva opción de la EDBE

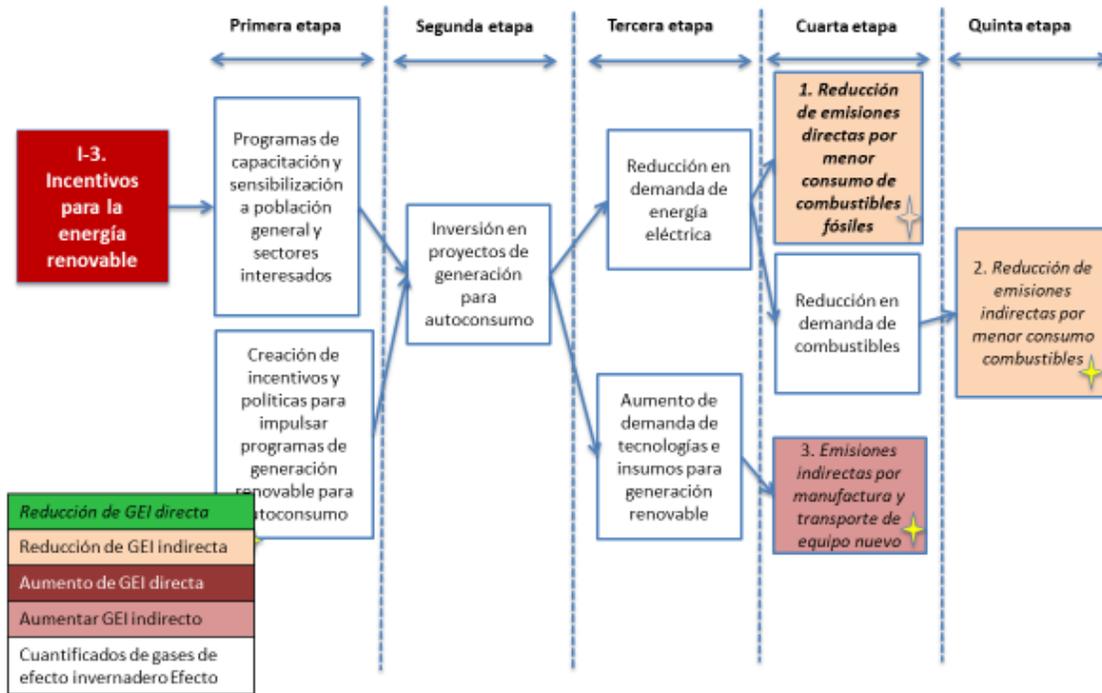
BAU = valor del parámetro para el escenario de pronóstico de actividad normal (línea base).

Por lo tanto, **el enfoque general para analizar es estimar flujos anuales de impactos en energía, recursos, emisiones o costos esperados como resultado de implementar la opción (OS); y luego hacer lo mismo para lo que ocurre sin la opción (BAU). Cuando el valor BAU se sustrae del valor OS, un cambio neto ocurre.** Por ejemplo, si el consumo de energía es menor en el escenario OS, el resultado neto será un valor negativo. Esto funciona también para los costos. Si los costos son menores bajo el escenario OS, entonces el valor del cambio neto será negativo. Este valor negativo representa un ahorro de costos para la sociedad.

Se han utilizado las cadenas causales de impactos y costos para ilustrar gráficamente los impactos y costos previstos y no previstos que resultan de la implementación de una opción. La Figura V.A-1 a continuación proporciona un ejemplo de cadena causal de energía, recursos y GEI. La cadena causal comienza con una identificación de impactos previstos de la opción para el uso/producción de energía o consumo/gestión de recursos y luego identifica el tipo de impacto de GEI resultante para cada una (cada impacto de emisiones de GEI es identificado en una caja coloreada). Los impactos de GEI pueden ser positivos (un aumento en emisiones por arriba de las condiciones de actividad normal *BAU*) o negativos (una reducción comparada con las condiciones de actividad normal *BAU*) y pueden ser directos (ocurren en el lugar de implementación de una opción) o indirectos (ocurren en una ubicación diferente; p.e. en una ubicación preliminar en la producción de energía). El ejemplo a continuación tiene 3 impactos de GEI identificados. Dos de ellos tienen un símbolo de estrella asociado a ellos lo cual indica que serán cuantificados en el análisis de impactos. Aquellos sin el símbolo de estrella no son cuantificados ya sea porque no está previsto que sean significativos o los métodos/información no existen para analizarlos.

En resumen para este ejemplo, el primer impacto de GEI es para reducciones de emisiones en plantas de energía conectadas a la matriz, cuya demanda se ha reducido como resultado de nuevas fuentes de generación renovable instaladas en instalaciones industriales (este es un impacto indirecto porque no ocurre en el lugar de implementación de una opción, i.e. la instalación industrial). El segundo impacto es otro impacto indirecto. Este corresponde a reducciones de GEI que ocurren en la cadena de suministro de combustible para las instalaciones de generación de energía, como resultado de menor demanda de combustible para esas plantas de energía (p.e. extracción, refinería y transporte de aceite residual).

Figura V.A-1. Ejemplo de cadena causal de energía, recursos y emisiones de GEI. (I-3. Incentivos para energía renovable)

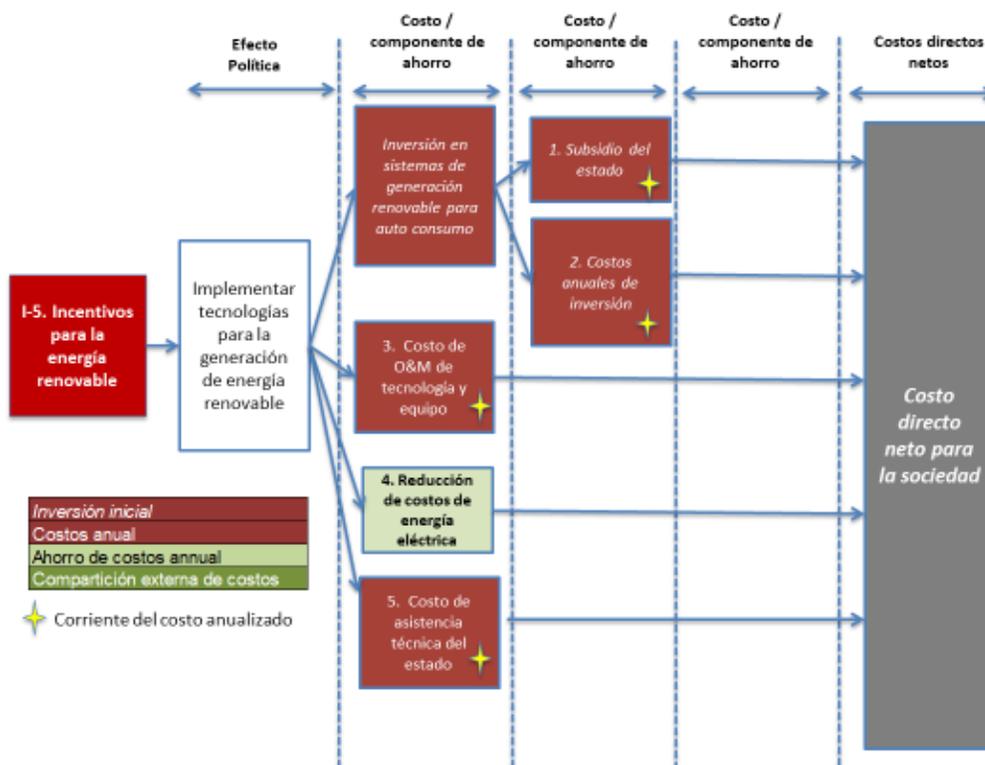


La figura V.A-2 proporciona un ejemplo de cadena de costos sociales netos para la misma opción. En una cadena de costos sociales netos, se identifican y se analizan anualmente cada uno de los componentes de costos de implementación de la opción para obtener flujos separados de costos/ahorros los cuales serán sumados para lograr una estimación de costos sociales netos. Como se desarrollará más a profundidad a continuación, se requiere suficiente separación de estos componentes de costos para apoyar la evaluación macroeconómica. Los componentes de costos comunes son costos de inversión inicial para nuevas tecnologías, costos de operaciones y mantenimiento, costos de energía, costos de materiales, costos de asistencia técnica y subsidios gubernamentales. Comúnmente, grandes costos de inversión inicial se analizarán anualmente para tomar en cuenta la forma en la que estos son financiados por la entidad implementadora. Las cajas rojas indican un costo comparado con las condiciones de actividad normal *BAU*, mientras que las cajas verdes indican un ahorro comparado a la actividad normal *BAU*. Como los impactos de GEI arriba citados, cada componente de costos es numerado para que se pueda dar seguimiento a través del análisis de impactos que le sigue. Un símbolo de estrella indica una corriente de costo anual que formará parte de la estimación del costo social neto para la opción.

El ejemplo de cadena de costos sociales netos tiene cinco componentes de costos. Los primeros dos se relacionan con los costos de inversión inicial necesarios para implementar proyectos de energía renovable en el sector industrial. La primera caja indica que hay un subsidio gubernamental previsto para compensar algunos de esos costos iniciales para la industria. La segunda caja indica los costos de inversión inicial remanentes que se han analizado anualmente para las suposiciones de financiamiento de la opción. El componente de costos número 3 aborda los costos de operación y mantenimiento para nuevo equipo de ER. El componente de costos número 4 representa el ahorro para la industria de las compras reducidas de electricidad de la matriz eléctrica. El componente de costos número 5 cubre los costos de asistencia técnica para el gobierno necesarios durante la implementación de una opción.

Se identificó cada impacto directo en energía, recursos y emisiones que se analiza en el análisis de impactos directos en la cadena causal de energía /recursos/emisiones en los documentos de opción (DO). De igual forma, se identificó cada componente de los costos de implementación en las cadenas de costos sociales netos presentados en cada DO. Además del cuadro resumen de impactos directos proporcionado en cada DO (sección “Cuantificación de Impactos Estimados”), se presentó un resumen de los impactos netos (energía, recursos, emisiones y costos) en incrementos de cinco años en el anexo de cada DO.

Figura V.A-2. Un ejemplo de cadena de costos sociales netos. (I-3. Incentivos para energía renovable)



F. IMPACTOS INDIRECTOS (MACROECONÓMICOS)

La evaluación indirecta (macro-) es diferente al análisis directo (o micro-) de las opciones, porque su propósito es identificar y estimar los efectos *indirectos* de los cambios provocados por una opción en la economía como un todo, así como impactos en diferentes sectores económicos, grupos de personas, tipos y tamaños de empresas. Los resultados típicos de dichos análisis estiman cambios en empleo (trabajos) a nivel sectorial y en el conjunto de la economía, producto interno bruto (PIB o crecimiento económico), ingreso personal, gastos de consumo personales, e incluso cambios en la población ya que las personas responden a cambios en el ingreso, costos de vida y la disponibilidad de trabajo. Estos y otros productos del análisis macroeconómico pueden también ofrecer perspectivas en los impactos en competitividad de cada opción individual. Las evaluaciones de todos estos impactos también se pueden producir para grupos combinados de opciones, dentro y a través de sectores.

Se puede realizar esta evaluación de forma cuantitativa y/o cualitativa y en distintos grados. Un enfoque cuantitativo requiere una herramienta analítica especializada que describe la operación de la economía en cuestión, la interacción de varios sectores de forma interna y con el mundo exterior y el perfil único de la economía de equilibrios clave tales como suministro, demanda y precios. **La falta de un modelo analítico macroeconómico completo (ya sea que se base en cuadros de**

entradas-salidas o funcionalidades generales de equilibrio) para la economía guatemalteca hizo no viable realizar un análisis cuantitativo en el número absoluto de empleos que una opción estimula, el volumen específico del PIB que promueve o desestimula, o la escala exacta en la cual sectores específicos de la economía se benefician o son agobiados cuando una opción es implementada.

Sin embargo, tomando como base los flujos financieros identificados en el análisis microeconómico (impacto directo) de las opciones de la EDBE, se llevó a cabo una evaluación macroeconómica con base en factores de estas opciones para relacionar impactos sobre empleos potenciales, ingreso y crecimiento económico.¹² Esta evaluación se concentra en seis factores los cuales han mostrado tener un efecto significativo en el crecimiento estimado en el PIB y el empleo y como cada opción se desempeña frente a cada uno de ellos. **Los seis factores son:**

1. **Costo neto de opción general vs. de actividad normal** (la colección total de costos y ahorros de la opción supera el costo neto esperado del escenario de actividad normal sin la opción)
2. **Gasto de energía evitado** (cambio a eficiencia neta o mayores ahorros de energía que uso)
3. **Cambio en fuentes locales de energía** (cambiar de fuentes y producción de energía importadas a locales)
4. **Cambio en cadenas de suministro locales** (amplía actividad en sectores que compran insumos para producción de otros sectores locales)
5. **Cambio en el potencial de creación de empleos** (cambio a actividades más intensivas en mano de obra comparadas con la línea base)
6. **Cambio en las importaciones** (reducción neta en las importaciones)

La presencia de cualquiera de estos factores como consecuencia de la implementación de una opción es asociada de forma positiva con el crecimiento en el PIB, con la excepción del quinto factor el cual está estadísticamente asociado con el crecimiento del empleo en el conjunto de la economía en lugar del PIB. La presencia del inverso de cualquiera de estos factores está identificada como un motivo de inquietud con respecto al impacto potencial de la opción en la economía si se implementa como se ha diseñado. Por ejemplo, una opción que visualiza gasto adicional o sustituido en una actividad intensiva en mano de obra como instalación de equipo estaría asociada de forma positiva con el factor de “creación de empleos”, mientras una opción que logre ahorros a través de la reducción de una actividad existente intensa en mano de obra estaría asociada de forma negativa con el mismo factor, y eso se identificaría como un motivo de inquietud. Cada uno de los seis factores es independiente, una opción proyectada para tener múltiples flujos de gastos y ahorros puede tener influencias múltiples y distintas en la economía. Cada uno de los seis factores es independiente para que determinada opción tenga múltiples efectos macroeconómicos. Los factores también pueden interactuar.

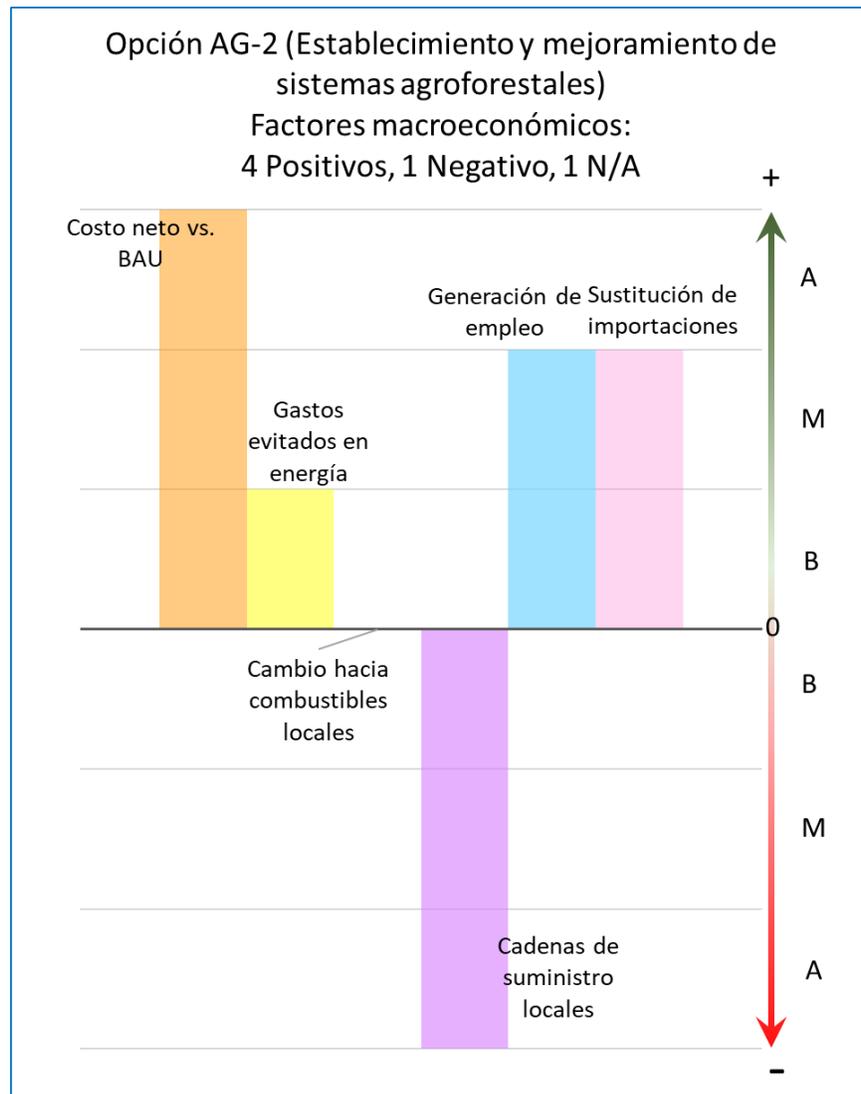
La escala de un flujo financiero específico estimado en el análisis microeconómico puede proporcionar una escala general de impacto macroeconómico positivo o negativo que impulsa,

¹² La evaluación macroeconómica con base en factor está con base en el estudio titulado “Resumen de factores clave que contribuyen a los impactos macroeconómicos de las opciones de mitigación de GEI”, por Dan Wei, Adam Rose y Noah Dormady de la Escuela de Política Pública de USC Sol Price.
www.climatestrategies.us/library/library/download/905.

pero la cantidad de dinero implicada sigue siendo informativa como la escala probable de estímulo o riesgo económico que el flujo financiero pueda provocar. Como resultado, con base en todos los flujos financieros en el análisis de impactos microeconómicos de las 43 opciones de la EDBE, cada flujo financiero se asignó a un tercio más alto, tercio medio, o tercio bajo.

Los resultados de la evaluación macroeconómica se muestran gráficamente para cada opción, con los seis factores mostrados lado a lado para cada opción. El tamaño del impacto relacionado con cada factor se muestra a través del tamaño de la columna ya sea alto, medio o bajo, y la incidencia positiva o negativa de cada factor se muestra por la dirección (hacia arriba o hacia abajo) de la columna desde el punto medio. Se muestra un ejemplo en la Figura V.A-3 a continuación para la Opción AG-2 (Establecimiento y mejora de sistemas agroforestales). En este caso, 4 de los seis factores están asociados con efectos macroeconómicos positivos, uno es negativo, y el último no es aplicable (cambio en el consumo local de combustibles). Se pueden encontrar los detalles de cómo estos factores fueron evaluados e interpretados para cada opción en los DOs para cada sector (Anexos D-I).

Figura V.A-3. Ejemplo de resultados de la evaluación macroeconómica cualitativa



Evaluando cada componente de costos y ahorros identificados en el análisis de impactos directos (microeconómicos) para la presencia de uno o más de estos seis factores, e identificando si el costo o ahorro está asociado de forma positiva o negativa con el factor identificado, este proceso de clasificación basado en los factores desarrolla una evaluación estratégica multifacética de cada opción, probablemente su impacto único en la economía, para las decisiones de diseño e implementación. Sin embargo, no estima el nivel absoluto de cambio en el PIB, empleos, ingreso, importaciones o exportaciones provocados o perdidos como resultado de la implementación de una opción.

VI. RESULTADOS DE IMPACTO DE LA EDBE PARA GUATEMALA A NIVEL DE SECTOR

Este capítulo presenta descripciones de las opciones de la EDBE y resúmenes de sus impactos previstos. Las opciones y los resultados de análisis se presentan por separado por sector económico.

A. DEMANDA Y SUMINISTRO DE ENERGÍA

I. Sinopsis del sector

Este sector aborda el subsector suministro de energía (SE) - en particular suministro de electricidad con base en la red – y demanda de energía para el subsector residencial, comercial e institucional [(RCI) - incluyendo demandas de electricidad y combustibles, algunas veces se refiere a este comúnmente como el subsector de los “edificios”]. Tomar nota que el consumo de energía en industria y transporte se abordan en sectores separados. Las Figuras VI.A-1 y VI.A-2 proporcionan las líneas base de emisiones de GEI para cada subsector, SE y RCI.

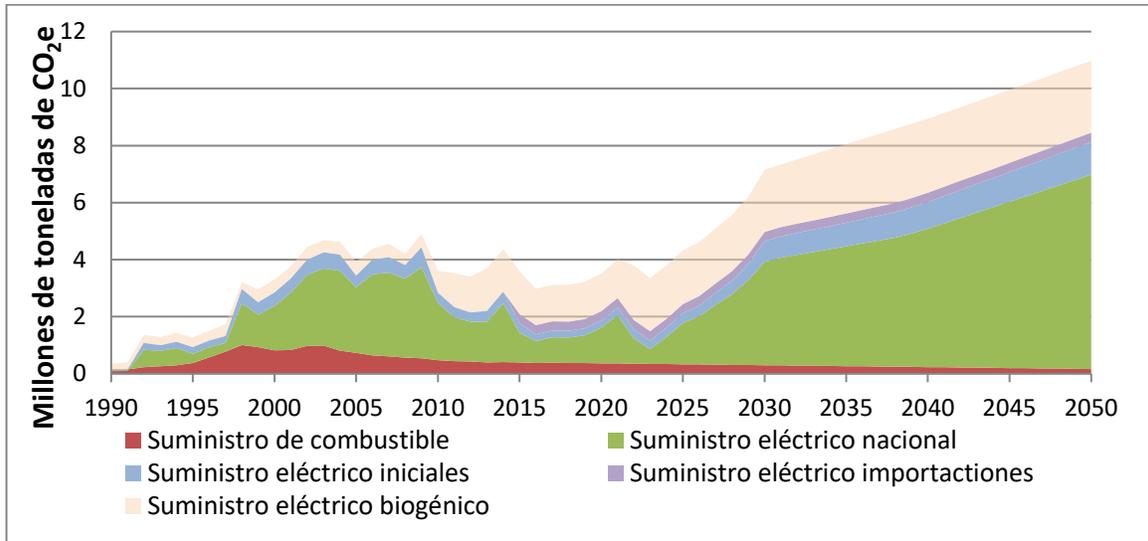
Para suministro de energía, se espera que las emisiones de GEI generales crezcan dramáticamente durante el periodo de planificación de la EDBE. Excluyendo el suministro de electricidad biogénico, se espera que las emisiones de GEI (incluyendo aquellas de la electricidad importada) incrementen por un factor de 4 entre 2015 (cerca de 2 TgCO_{2e}) y 2050 (más de 8 TgCO_{2e}). Ese incremento es impulsado por una combinación de crecimiento en demanda de electricidad y una confianza futura mayor en la generación a base de fósiles (vea el informe de la línea base de la EDBE en el Anexo B para más detalles).

Tomar nota que el “suministro de energía biogénico” en la Figura VI.A-1 a continuación se refiere a la generación de electricidad del bagazo de caña de azúcar (residuo de biomasa producido durante el refinado del azúcar). Las emisiones de CO₂ de esta fuente se consideran biogénicas (carbono neutral¹³) y están representada en una porción transparente para comprensión adicional de todas las fuentes de generación. “Preliminar del suministro de energía” se refiere a las emisiones en la cadena de suministro de combustible fósil (carbón, aceite y gas natural) para los generadores de energía. Se espera que estos ocurran en su mayoría fuera del país y por lo tanto se muestran en porciones transparentes. Guatemala también importa algo de electricidad (porción con patrón), y se piensa que estas importaciones son procedentes de las instalaciones de generación a base de

¹³ Para el Plan de la EDBE, se trató a la biomasa derivada de aprovechamientos sostenibles como una fuente de energía carbono neutral. Esto significa que las emisiones de CO₂ no se contabilizaron dentro de un estimado de emisiones de dióxido de carbono equivalente. Para una fuente de biomasa sostenible para quema de energía, solamente se incluyeron las emisiones de CH₄ y N₂O en los resultados de emisión de CO_{2e} de GEI. Las formas sostenibles de biomasa en el Plan de la EDBE incluyen bagazo de caña de azúcar (lo cual es utilizado para producir energía eléctrica para uso de energía en el ingenio y como una fuente de energía de la red eléctrica). Por otra parte, toda la biomasa derivada de los bosques de Guatemala no se considera carbono neutral. Esto se debe a que las remociones anuales de biomasa del bosque para energía y otras necesidades exceden la cantidad de biomasa anual capturada de la atmósfera. Así, en todos los casos, las emisiones de CO₂ se incluyen sin CH₄ y N₂O en los resultados de emisión de CO_{2e} de GEI.

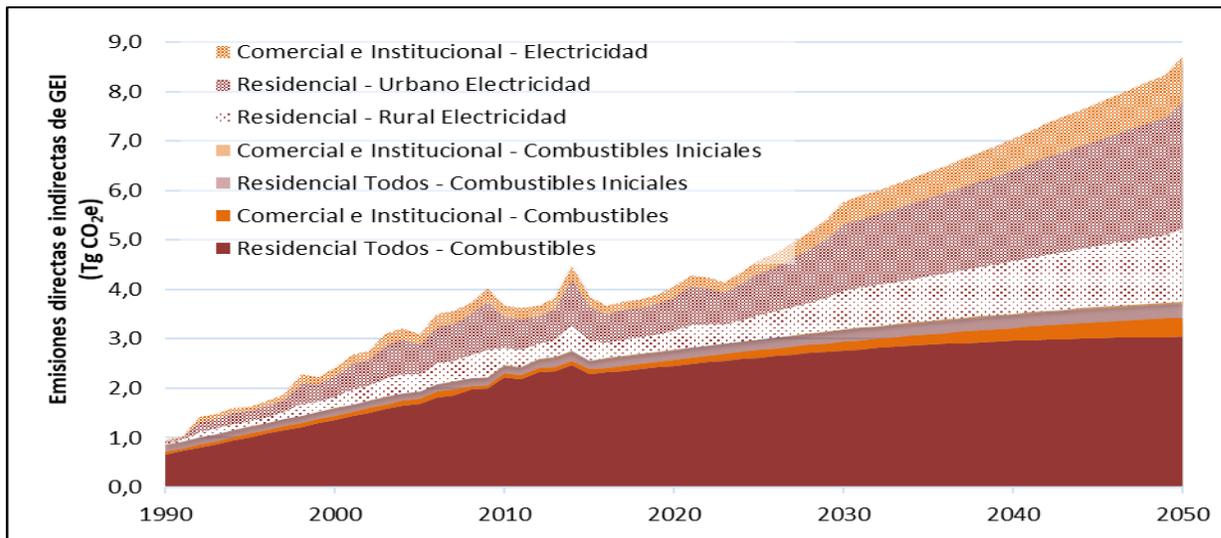
carbón. La porción de “Suministro de combustible” representa las emisiones de GEI que ocurren en el país por la extracción y refinado.

Figura VI.A-1. Línea base de GEI para Suministro de energía



Como se indica en la Figura VI.A-2 a continuación, **las fuentes dominantes de las emisiones de GEI en el subsector RCI son consumos de combustible residencial y comercial/institucional (cerca de 2.5 TgCO₂e en 2015 que aumentó a cerca de 3 TgCO₂e para 2050)**. De estas, el sector residencial es mucho más grande y se espera que siga contribuyendo con la mitad de las emisiones de GEI para el final del periodo de planificación de la EDBE. Las emisiones del sector RCI asociadas con el consumo de energía también se muestran en esta gráfica para proporcionar el contexto y una panorámica más completa de la huella de GEI para el sector. Estas se muestran en porciones con patrones y se excluyen de cualquier gráfica que combine emisiones de los sectores SE y RCI. Como se muestra en esta gráfica, **mucho del crecimiento después de 2025 viene del crecimiento esperado en el consumo eléctrico en lugar de combustibles**.

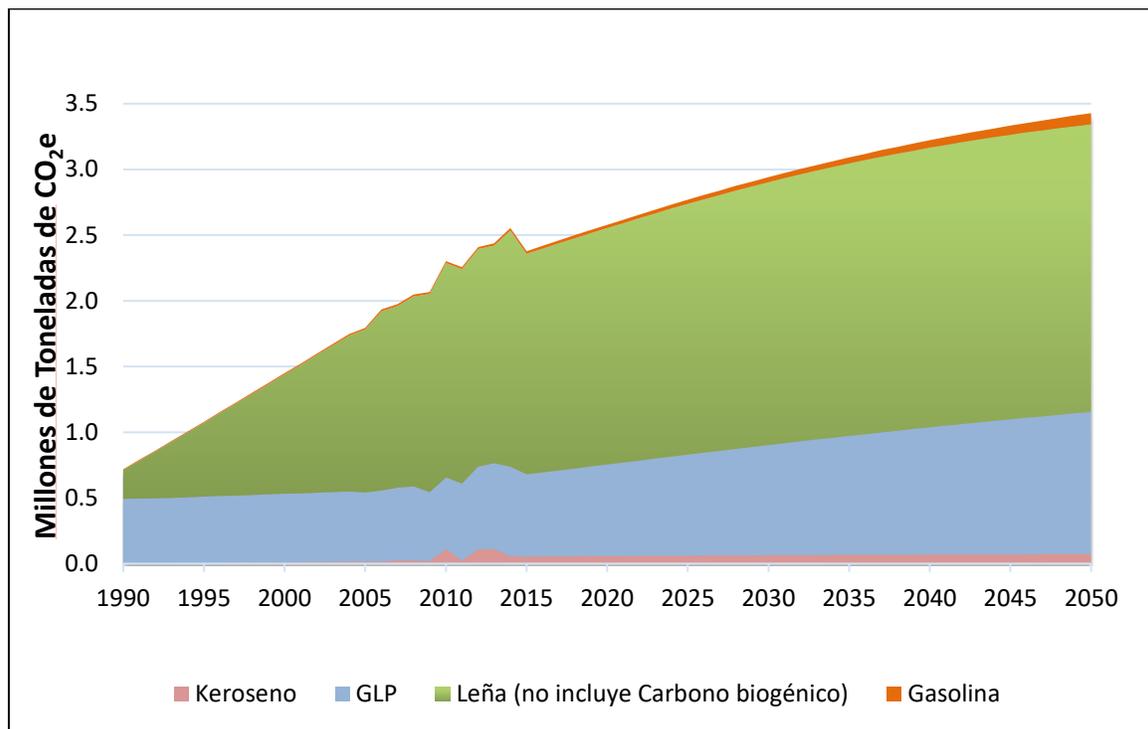
Figura VI.A-2. Línea base de GEI para el sector Residencial, Comercial e Institucional



Para ofrecer una mejor comprensión de la importancia del consumo de leña como combustible en el sector RCI, la Figura VI.A-3 a continuación proporciona un desglose de las emisiones de GEI para cada uno de los combustibles primarios consumidos. El gas licuado de petróleo (GLP) y la leña son los dos combustibles principales. Las emisiones de CO₂ de la leña en este caso no se consideran carbono neutrales, porque esta biomasa no proviene de fuentes sostenibles en Guatemala (las extracciones anuales de madera del bosque exceden el crecimiento anual de la biomasa forestal).

Los anexos del informe de la línea base de la EDBE (Anexo B) proporcionan más detalles y desgloses de las emisiones para los sectores SE y RCI. **Los impulsores clave de emisiones futuras de GEI son el crecimiento esperado en la demanda de electricidad, la cual a cambio es el resultado de electricidad necesaria para apoyar a una población, ingresos y actividad económica crecientes en los sectores residencial y comercial.** También, para la generación futura bajo condiciones de actividad normal *BAU*, especialmente después de 2030, se espera que sea una generación a base de carbón y gas natural.

Figura VI.A-3. Emisiones de GEI del consumo de combustibles de la línea base para el sector RCI



2. Resumen de las opciones de energía de la EDBE para Guatemala

Hay once opciones de la EDBE para el sector de energía, incluyendo cinco relacionadas al Suministro de energía, cuatro relacionadas a RCI y dos otras opciones que fueron desarrolladas por un subgrupo que cubre temas urbanos (ambas abordan eficiencia energética, una para alumbrado público y una para edificios urbanos). Cada una de las opciones se resume brevemente a continuación y se describe con mayor detalle en el Anexo E de este informe.

E – 1. Manejo de permisos y ubicaciones para incrementar el potencial de plantas hidroeléctricas existentes

Esta opción se concentra en el **proceso de repotenciar, rehabilitar y modernizar plantas de energía hidroeléctricas que operan actualmente**. La opción está diseñada para motivar a emprendedores y operadores de estas plantas para llevar a cabo estas prácticas en sus instalaciones con el fin de incrementar generación y capacidad de la planta, mejorar confiabilidad, reducir costos de operación y de mantenimiento, extender la vida útil de la planta y cumplir con regulaciones ambientales y de seguridad. Como tal, la opción ofrece la oportunidad de incrementar la capacidad de generación de energía eléctrica y mejorar su eficiencia sin la necesidad de instalar o construir nuevas plantas hidroeléctricas, las cuales en algunos casos pueden presentar dificultades debido a temas sociales y ambientales. **La meta de esta opción es incrementar la capacidad hidroeléctrica y los productos en plantas existentes en un total de 285 megavatios (MW) en el transcurso de diez años, con adiciones en aproximadamente la misma tasa promedio anual a partir de entonces.**

E – 2. Desarrollo de plantas de energía mini- y micro-hidroeléctricas

La opción E-2 promueve inversión en plantas mini- y micro hidroeléctricas para apoyar proyectos de desarrollo de red local que benefician a las poblaciones rurales que están aisladas del sistema nacional de electricidad. Como tal, la opción busca proporcionar provisión sostenible de servicios energéticos, la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones de GEI de la quema de combustibles fósiles (candelas, queroseno) y algunas veces combustibles biomásicos para alumbrar y/o para el uso de sistemas de energía que usan diésel en áreas remotas y, por tanto, reduce el uso de recursos fósiles escasos. Los beneficios adicionales incluyen mejorar el conocimiento científico y técnico en las repercusiones del uso de electricidad en actividades productivas, ahorros en costos del uso de generación hídrica cuando se desarrollan proyectos locales, reducciones en costos de importación de energía y mejoras en la tasa a la cual el acceso a energía eléctrica puede ser ofrecido en áreas aisladas. Además de reducir las emisiones de GEI, relacionadas con el diésel y otros sistemas que de otra forma serían utilizados para ofrecer energía a los poblados remotos, los sistemas mini y micro hídricos proporcionan oportunidades para el desarrollo económico local, reducen los costos de combustibles comprados para iluminación de viviendas y permiten cargar las baterías de los electrónicos tales como teléfonos celulares y aparatos de entretenimiento. Esta opción tiene una meta de 0.9 MW de mini- y micro-capacidad hídrica añadida anualmente hasta 2050.

E – 3. Ampliar el uso de generación solar

Esta opción incluye la instalación de tres tipos de sistemas de generación fotovoltaica solar: sistemas grandes (con capacidad mayor a 5 MW) conectados a la red nacional, instalaciones más pequeñas conectadas a y apoyando a las redes de distribución local e instalaciones que sirvan en áreas rurales. Gracias a sus características geográficas, Guatemala

tiene una radiación solar significativa durante la mayor parte del año, lo cual hace que el país sea ideal para el uso de esta forma de energía. El potencial promedio del país es de 5.3 kWh/m²-día de radiación solar.

El desarrollo de generación a través del uso de recursos naturales—en este caso energía solar—es parte de la política energética para los años 2013-2027 como se publicó por el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala y apoya los objetivos de diversificación del plan de fuentes de electricidad en red, desarrollo rural sostenible y la reducción de emisiones de GEI. **Las metas de esta opción son un promedio por debajo de una capacidad desplegada de 17 MW de forma anual, 93 por ciento de la cual será en instalaciones grandes, y todo lo cual se supone desplaza la generación de plantas de energía con base en combustibles fósiles de la estación central.**

E – 4. Ampliar el uso de energía geotérmica

La meta de esta opción es incrementar el potencial de generación geotérmica instalado en 300 MW, con respecto a la línea base, de los años 2026 hasta 2036, con adiciones más pequeñas de 5 MW anualmente a partir de entonces. Con el fin de permitir este crecimiento más rápido en capacidad geotérmica, la opción apoyará un proceso que permite redefinir reglas relacionadas al acceso a concesiones en las áreas de explotación del recurso geotérmico, por lo que esos recursos pueden ser explotados a través de iniciativas públicas y privadas. Redefinir un tiempo límite de no menos de 10 años para la concesión de áreas de exploración para estudios de pre-factibilidad llevados a cabo por inversores interesados es parte de estos cambios en las regulaciones. Otros elementos de la opción incluyen compilar y divulgar información sobre el potencial nacional geotérmico para hacer que dicha información esté disponible para atraer inversión en el uso de reservorios geotérmicos para producción de electricidad y uso térmico.

E – 5. Nueva generación renovable para reducir pérdidas en el sistema

Esta opción promueve la instalación de sistemas de energía renovable en ubicaciones meta en la red de transmisión y distribución (T&D) para apoyar la red local de T&D. Añadir tales generadores puede ayudar para apoyar el voltaje y la frecuencia en redes locales y para reducir la carga en líneas clave de T&D, reduciendo así las pérdidas. Bajo la opción, las plantas de generación de energía con recursos renovables (alimentadas por agua pequeña y mini hidroeléctricas, viento, sol y biomasa) se localizarán cerca de los puntos de conexión con las líneas de transmisión principales. **Los objetivos para la opción son desplegar un promedio de cerca de 13 MW anualmente hasta 2050 para apoyo de la red, con cerca de dos tercios de la nueva capacidad en hidroeléctricas y la mayor parte del resto en generación eólica.**

E – 6. Códigos de eficiencia energética para edificios existentes

Como resultado del alto crecimiento de la construcción de edificios para uso residencial, comercial e institucional en Guatemala, el sector de edificios será un factor clave en el consumo de electricidad y otros combustibles para 2032. Aunque otras opciones de la EDBE apunten la

implementación de códigos de energía de edificios para nuevos edificios (ver U-4, a continuación), **edificios existentes desde 2020** seguirán utilizando una gran parte de los combustibles usados por el sector RCI por décadas. Como resultado, los edificios energéticamente eficientes tienen un gran potencial para reducir emisiones de GEI en el sector RCI indirectamente (vía una reducción en requisitos de electricidad). Las mejoras en eficiencia pueden apuntar a los sistemas de aire acondicionado, calefacción del agua y otro consumo eléctrico. **La meta de esta opción es ahorrar cerca de 1.8 por ciento del uso de electricidad en RCI cuando la opción esté totalmente integrada.**

E – 7. Estándares de eficiencia energética para equipos y electrodomésticos

A medida que la economía de Guatemala crece, se compran y usan más y más aparatos eléctricos. Muchos de estos aparatos son importados a Guatemala. **Los objetivos primarios de esta opción son garantizar que los consumidores tengan la información para elegir electrodomésticos y equipos energéticamente eficientes y que los estándares nacionales y/o regionales (países múltiples) para eficiencia energética sean suficientemente rigurosos.** La tendencia regional y global creciente de usar sistemas de etiquetado de energía para equipo de electrodomésticos eléctricos, si se adopta completamente en Guatemala, permitirá el mejor uso de los recursos energéticos del país. Sin un sistema de etiquetado, el mercado del país podría convertirse rápidamente en un foco de atracción y concentración de equipo energéticamente ineficiente que no sería aceptado en mercados de naciones vecinas. Para apoyar un sistema de estándares y etiquetado para electrodomésticos y equipos, es necesario llevar a cabo un estudio de mercado para identificar los rangos de consumo del equipo eléctrico más ampliamente utilizado en el país, y proporcionar información para que la población en general conozca sobre los sistemas de etiquetas de energía disponibles para apoyar buenas tomas de decisiones cuando se compran electrodomésticos y equipo eléctricos en los servicios residencial y comercial /sectores institucional /mercados para esos electrodomésticos y tipos de equipos más ampliamente usados en Guatemala. **La meta de esta opción es ahorrar 18 por ciento del uso de electricidad de RCI cuando la opción esté totalmente integrada.**

E– 8. Auditorías energéticas

La opción E-8 establece un programa de auditorías energéticas bianuales para consumidores comerciales e institucionales que usen grandes volúmenes de electricidad. Estos usuarios son generalmente relativamente fáciles de identificar ya que son consumidores de energía eléctrica que están registrados en la categoría de grandes usuarios, con demanda mayor a 100 kW. Bajo esta opción, todas las instituciones públicas y privadas con demanda de electricidad sobre el límite de 100 kW se someten a auditorías energéticas cada dos años para verificar su consumo de energía (particularmente, electricidad) y proporcionar guía en las medidas que podrían implementarse para reducir el uso de energía. Siguiendo la auditoría, los consumidores realizarán acciones de eficiencia energética para garantizar el uso correcto de las fuentes de energía y para mejorar el manejo del uso de energía, promoviendo la reducción de pérdidas e identificando oportunidades de ahorros de energía. Las emisiones de GEI se reducen al reducir los requisitos para electricidad y los consumidores realizan ahorros económicos a través de reducciones en sus

recibos de electricidad. **Esta opción apunta a ahorros de 25 por ciento por cada consumidor que recibe una auditoría y sigue la aplicación de las recomendaciones de la auditoría.**

E – 9. Estufas de leña eficientes

E-9 está diseñada para aumentar la tasa de difusión de estufas de leña de alta eficiencia en viviendas rurales en Guatemala. Como tal, la opción está diseñada para promover y proporcionar mecanismos de implementación que incrementan la tasa a la cual las viviendas rurales obtienen y usan estufas ahorradoras de leña en hogares que usan leña para la cocción de alimentos. Las familias que adoptan estas estufas de alta eficiencia reducen el consumo anual de leña, reducen emisiones contaminantes locales en interiores, toman ventaja de los beneficios económicos, de salud, de deforestación reducida y otros (tal como una reducción en el tiempo necesario para reunir combustible) asociado con el permanente uso de las estufas más eficientes.

La opción requiere el desarrollo de educación, promoción, divulgación e instalaciones de compra (incluyendo financiamiento) para proporcionar condiciones para el desarrollo de demanda constante para estufas de alta eficiencia y apoyar actividades para los fabricantes, comerciantes y promotores de las estufas para tener suficiente suministro de estufas para atender la demanda.

Actualmente en Guatemala, un total de cerca de dos millones de viviendas usan leña para la cocción de alimentos, consumen más de 13 millones de toneladas métricas de leña y otra biomasa anualmente. Con el cambio a estufas más eficientes, se puede reducir el uso del combustible al 50 por ciento. **Esta opción tiene como meta la difusión de 100,000 estufas en la primera etapa de 10 años aumentando a más de 600,000 estufas, o 25 por ciento de viviendas rurales para 2050.**

Los beneficios clave de la opción son la reducción del consumo de leña, reducción de emisiones de GEI, mejoras en la salud de los miembros de la vivienda rural, especialmente mujeres y otros que cocinen y atiendan el fuego, conservación de recursos forestales, mejores actitudes de familias relacionadas con mejoras en la calidad de vida, la generación de empleos directos en la fabricación y comercialización de estufas. Además, la opción puede cambiar las actitudes de familias usuarias a través del mantenimiento de una relación constante entre los usuarios y los promotores del programa, supervisores y personal de asistencia.

U – 3. Alumbrado público LED en Ciudad de Guatemala

Esta opción involucra la instalación de tecnologías LED (diodo emisor de luz por sus siglas en inglés) en los sistemas de alumbrado público de Guatemala, empezando con 6 municipalidades del “AMCG”, Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala (Santa Catarina Pinula, San José Pinula, Chinautla, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa) y, después, ampliando en Guatemala. Las instalaciones de sistemas de alumbrado público LED reducirán el uso de electricidad y consiguientes emisiones de GEI de la generación de electricidad, así como reducirán costos de mantenimiento. Por lo tanto, esta opción se adapta al enfoque existente de Guatemala de “Ciudad Inteligente”, ofreciendo mitigación del clima en el contexto de un grupo de acciones estratégicas a ser desarrolladas para fortalecer gobiernos locales en la gestión de sus redes y servicios públicos. Las acciones propuestas integrarán la Política

Nacional de Desarrollo Urbano, actualmente en proceso de formulación por el Vice-Ministerio de Vivienda.

Dentro del marco de implementación de una Ciudad Inteligente, hay programas que tienen por objetivo reducir directamente el consumo de energía en la provisión de servicios e infraestructuras urbanas. En diferentes ciudades, se ha identificado el alumbrado público como un área con amplio potencial para mejora de eficiencia energética. La instalación de LED en el alumbrado público significa ahorros de hasta 70% en los costos de las municipalidades y una reducción en la huella de carbono de las ciudades. El uso de LED tiene grandes beneficios, ya que amplía el espectro de iluminación, debido a que es una luz blanca de alta calidad con proyección uniforme. Las lámparas tienen tiempos de vida muy largos; así, sus requisitos de mantenimiento son mucho más bajos que los de los bulbos estándares de corta vida de otras tecnologías que los LED reemplazan. Los sistemas LED también ofrecen a las autoridades la posibilidad de optimizar la iluminación de algunas áreas de una ciudad. **Bajo la opción, los sistemas de alumbrado público LED reemplazarán otros tipos de alumbrado público para 2030 en las seis municipalidades listadas anteriormente, para 2040 en el resto del área AMCG, y para 2050 el área restante de Guatemala.**

U- 4. Añadir estándares de eficiencia energética al Código Nacional de Construcción

Esta opción de mitigación incluye la promoción y facilitación de la actualización, discusión y adopción de un grupo de códigos de eficiencia energética para edificios y construcciones afines, como parte del Código Nacional de Construcción que actualmente se discute en Guatemala. Los requisitos del código serán con base en los manuales existentes del Consejo de Construcción Verde de Guatemala (GGBC por sus siglas en inglés) y el Consejo de Arquitectura Verde. La adopción del Código Nacional de Construcción como una ley del Congreso requerirá cumplimiento de código por los constructores y desarrolladores. La implementación y puesta en práctica de códigos de energía de construcción mejorados y más rigurosos resultará en la instalación de cubiertas de construcción (paredes, ventanas y puertas) más eficientes energéticamente, así como sistemas de iluminación, enfriamiento, ventilación y calefacción de agua más eficientes. Estas mejoras en uso de energía en estos edificios reducen el uso de electricidad y GLP (gas licuado de petróleo) en nuevos y recién renovados edificios urbanos existentes, lo que resulta en emisiones de GEI más bajas, costos de energía reducidos y en muchos casos, reducciones en otros costos operativos también.

Esta opción por lo tanto toma ventaja de la gran oportunidad para países en el proceso de urbanización con demanda creciente por vivienda y espacio comercial, para sentar las bases de un sector de construcción que puede contribuir decisivamente con la reducción de GEI y las emisiones relacionadas en décadas futuras. Para lograr esto, una herramienta común y efectiva es los códigos locales de construcción, los cuales ponen estándares de eficiencia energética en el tipo de materiales, diseño y equipo de edificios residencial y comercial. Los códigos pueden ser particularmente útiles en los nuevos edificios, donde el monitoreo es muy fácil y los costos de implementación se reducen. Además de tomar ventaja del diseño y tecnología verdes, los nuevos edificios deben integrarse en un esquema de planificación urbana orientada hacia la reducción mundial de demanda de energía. Esto se traduce en mejoras de eficiencia en sistemas de aire acondicionado, calefacción de agua y en general consumo de energía eléctrica y GLP.

3. Resultados directos a nivel de opción y sector (Energía, recursos, GEI, costos y ahorros)

El Cuadro VI.A-1 a continuación proporciona un resumen de los resultados de los análisis microeconómicos realizados para cada una de las opciones E, así como U-3 y U-4. Los valores negativos se muestran en rojo (por ejemplo, emisiones de GEI por debajo de los niveles de línea base), mientras que los valores positivos se muestran en negro (por ejemplo, costos netos de implementación que están por encima de los costos de actividad normal). Estos resultados se muestran de forma independiente, lo que quiere decir que fueron evaluados contra las condiciones de actividad normal *BAU* suponiendo que ninguna otra opción sea implementada. **Si todos los impactos se suman, estos resultados individuales sugieren que las reducciones anuales de GEI en el país para 2050 serían de 25 TgCO_{2e} y las reducciones acumuladas para 2019-2050 serían de 386 TgCO_{2e}.** Hay también algunas reducciones de GEI que ocurren en las emisiones fuera del país para las opciones del sector E (y U-3/U-4) como resultado de menor demanda de combustibles fósiles, particularmente para la generación de electricidad. Se supone que las reducciones de GEI por los suministros de combustible fósil ocurren fuera de Guatemala. Incluyendo estas reducciones adicionales resultan en un impacto total de reducción de GEI acumulada (dentro y fuera del país) de 446 TgCO_{2e}.

Si todos los resultados de los impactos individuales se suman, se estima que el valor actual neto (VAN) de los costos directos de implementación para la sociedad es de -Q39,244 millones (en Q de 2018; -US\$5,164 millones), lo que significa que la sociedad guatemalteca obtiene ahorros netos considerables por implementar estas opciones. Todas las opciones excepto la opción E-5, proporciona ahorros netos para la sociedad, con E-1 y E-7 proporcionando la mayor figura de los ahorros ofrecidos por todas las opciones combinadas como resultado de implementar medidas de adaptación hidroeléctrica relativamente de bajo costo (en E-1) y el bajo costo de mejoras de eficiencia energética incluidas en E-7. **En general, la rentabilidad de la serie sumada de estas 11 opciones [-88 Q/tCO_{2e} (en Q de 2018); -US\$12/tCO_{2e}] indica un potencial para grandes ahorros generales para la sociedad.**

Cuadro VI.A-1. Impactos directos individuales para el sector E (incluyendo U-3/U-4)

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país		Impactos totales de GEI		Costo directo	
		Impactos anuales CO ₂ e	Acumulados 2050	Acumulados 2050	Acumulados 2050	VAN	Rentabilidad
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	2019-2050	QMillones
E-1.	Manejo de permisos y ubicaciones para incrementar el potencial de plantas hidroeléctricas existentes	(1.4)	(4.1)	(64)	(79)	-Q10,285	-Q130
E-2.	Desarrollo de plantas mini y micro-hidroeléctricas	(0.028)	(0.10)	(1.4)	(1.8)	-Q80	-Q44
E-3.	Ampliar el uso de generación solar	(0.26)	(0.79)	(12)	(15)	-Q1,536	-Q102
E-4.	Ampliar el uso de energía geotérmica	(0.78)	(2.1)	(36)	(44)	-Q1,499	-Q34
E-5.	Nueva generación renovable para reducir pérdidas en el sistema	(0.51)	(1.6)	(24)	(28)	Q2,822	Q101
E-6.	Códigos de eficiencia energética para edificios existentes	(0.15)	(0.35)	(6.0)	(7.4)	-Q816	-Q111
E-7.	Estándares de eficiencia energética para equipo y electrodomésticos	(1.8)	(3.6)	(64)	(80)	-Q16,881	-Q212
E-8.	Auditorías energéticas	(0.12)	(0.28)	(4.7)	(5.8)	-Q410	-Q71
E-9.	Introducción de estufas de leña eficientes	(2.7)	(11)	(162)	(162)	-Q5,895	-Q36
U-3.	Alumbrado público LED en Ciudad de Guatemala	(0.17)	(0.64)	(8.8)	(11)	-Q3,190	-Q291
U-4.	Añadir estándares de eficiencia energética al Código Nacional de Construcción	(0.17)	(0.80)	(2.4)	(12)	-Q1,473	-Q119
Total		(8.1)	(26)	(386)	(446)	-Q39,244	-Q88

Los resultados del resumen arriba citado se presentaron con base en el análisis independiente. Esto significa que se analizó cada opción de forma independiente contra las condiciones de actividad normal *BAU* (eso es, suponiendo que fuera la única opción que sea implementada). Estos resultados no reflejan traslapes u otras interacciones identificados con otras opciones. Los resultados que se ajustaron para tomar en consideración los traslapes / interacciones en este sector se brindan en el siguiente cuadro.

US\$ 1.00 = Q.7.60

El Cuadro VI.A-2 proporciona un resumen de los impactos directos con ajustes hechos para tomar en cuenta interacciones o traslapes entre las opciones en el sector E, incluyendo U-3 y U-4. Estos resultados proporcionan un panorama más preciso de los impactos de la opción de la EDBE si todas las opciones se implementan como fueron diseñadas, aunque en el caso de las opciones que se incluyen aquí, los traslapes son mínimos. Las tres opciones que se traslapan ligeramente dentro del sector son E-6, E-7 y E-8, así como algunas de las medidas de las auditorías incluidas en E-8 podrían traslaparse con E-6 y E-7, pero el alcance relativamente limitado de estas opciones (particularmente E-6 y E-8) significa que los traslapes deberían ser mínimos y se podrían evitar en general durante la implementación.

Como se muestra en el Cuadro VI.A-2, debido a que existe un pequeño traslape entre las políticas, los resultados son muy similares a los valores individuales en el Cuadro VI.A-1 (385 TgCO₂e comparados con 386 TgCO₂e por reducciones de GEI acumuladas). Los ahorros totales para la sociedad de las opciones incluyendo también traslapes son casi iguales a los resultados individuales en -Q39,203 millones. La rentabilidad estimada de todas las opciones E (con U-3/U-4) permanece en -88 Q/tCO₂e (en Q de 2018).

Cuadro VI-A-2. Impactos directos intra-sectoriales integrados para el sector E

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país		Impactos totales de GEI		Costo directo (Año base en Q de 2018)	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados 2050	Acumulados 2050	VAN 2019-2050	Rentabilidad
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	Millones	Q/tCO ₂ e
E-1.	Manejo de permisos y ubicaciones para incrementar el potencial de plantas hidroeléctricas existentes	(1.4)	(4.1)	(64)	(79)	-Q10,285	-Q130
E-2.	Desarrollo de plantas mini y micro-hidroeléctricas	(0.028)	(0.10)	(1.4)	(1.8)	-Q80	-Q44
E-3.	Ampliar el uso de generación solar	(0.26)	(0.79)	(12)	(15)	-Q1,536	-Q102
E-4.	Ampliar el uso de energía geotérmica	(0.78)	(2.1)	(36)	(44)	-Q1,499	-Q34
E-5.	Nueva generación renovable para reducir pérdidas en el sistema	(0.51)	(1.6)	(24)	(28)	Q2,822	Q101
E-6.	Códigos de eficiencia energética para edificios existentes	(0.15)	(0.35)	(6.0)	(7.4)	-Q816	-Q111
E-7.	Estándares de eficiencia energética para equipo y electrodomésticos	(1.8)	(3.6)	(64)	(80)	-Q16,881	-Q212
E-8.	Auditorías energéticas	(0.11)	(0.25)	(4.2)	(5.2)	-Q369	-Q71
E-9.	Introducción de estufas de leña eficientes	(2.7)	(11)	(162)	(162)	-Q5,895	-Q36
U-3.	Alumbrado público LED en Ciudad de Guatemala	(0.17)	(0.64)	(8.8)	(11)	-Q3,190	-Q291
U-4.	Añadir estándares de eficiencia energética al Código Nacional de Construcción	(0.17)	(0.80)	(2.4)	(12)	-Q1,473	-Q119
Total después de interacciones/traslapes intra-sectoriales		(8.1)	(26)	(385)	(446)	-Q39,203	-Q88

US\$ 1.00 = Q.7.60

Los resultados mostrados en este cuadro se han ajustado para superposiciones u otras interacciones entre políticas en este sector. Ver las notas junto al grupo de resultados de la política para una descripción de los traslapes / interacciones que fueron identificados y abordados.

E-1: Con base en el traslape con el que se estiman otras opciones SE, así que por definición, sin traslape.

E-2: E-1 cubre hídrico grande y conectado a la red, así que sin traslape con E-1.

E-3: E-3 es energía solar, así que sin traslape con E-1 o E-2.

E-4: E-4 es energía geotérmica, así que sin traslape con E-1 hasta E-3.

E-5: la generación hidroeléctrica de E-5 está conectada con la red, así que sin traslape con E-2, y es para plantas más pequeñas, así que sin traslape con E-1. E-5 no incluye energía geotérmica, así que sin traslape con E-4, e incluye muy poca energía solar fotovoltaica que combinado con la relativamente baja tasa de capacidad de E-3, los traslapes de E-5 con E-3 se consideraron insignificantes.

E-6: Con base en el traslape con el que se estiman otras opciones RCI, así que por definición, sin traslape.

E-7: E-6 sería (o debería ser) por definición para mejoras de eficiencia por encima de los estándares, así que sin traslape con E-7.

E-8: E-8 también debería ser ampliamente con fines de mejoras por encima de los estándares, así que debería traslaparse relativamente poco con E-7 y el alcance relativamente limitado de E-6 y E-8 sugiere que estas opciones podrían ser implementadas de tal forma que se limite el traslape. Suponemos que 10 por ciento del costo y ahorros de E-8 se traslapa con otras opciones RCI.

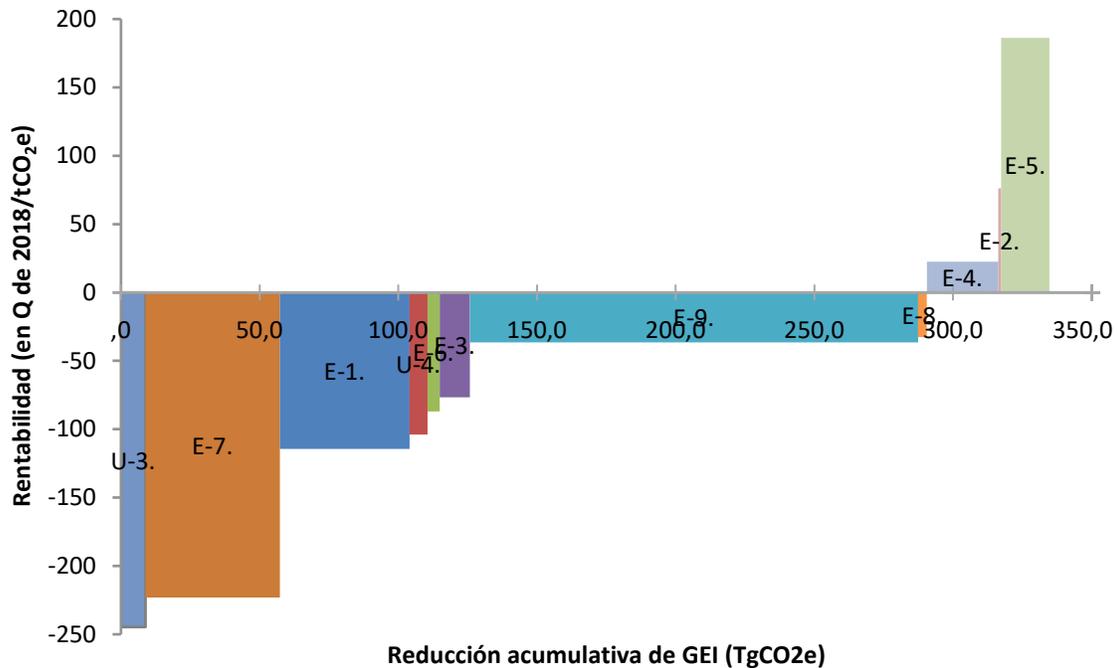
E-9: E-9 implica ahorros en el uso de leña, no electricidad, así que sin traslape con otras opciones energéticas.

U-3: Esta opción implica una aceleración del reemplazo de tecnologías de iluminación menos eficientes con LED, pero no debería traslaparse con ninguna de las opciones RCI porque es el sector de alumbrado público y por tanto pareciera que no está cubierto por E-7 (RCI-3).

U-4: Como esta opción incluirá mejoras encomendadas por el código y aplica a nuevos edificios (o renovaciones sustanciales), es improbable que se traslape con cualquiera de las opciones RCI.

La Figura VI.A-4 es la curva de costo marginal de abatimiento (MACC) para el sector de energía. La curva de costo traza las reducciones acumuladas de emisiones (2019-2050) para cada opción en el orden de más a menos rentable. Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”) presentados en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6). Si todas las opciones se implementan totalmente, se estima que las reducciones acumuladas son cerca de 330 TgCO₂e. Se espera que las opciones con valores negativos para rentabilidad (CE por sus siglas en inglés) resulten en ahorros netos para la sociedad.

Figura VI.A-4. MACC de GEI acumulados del sector Energía 2019 – 2050

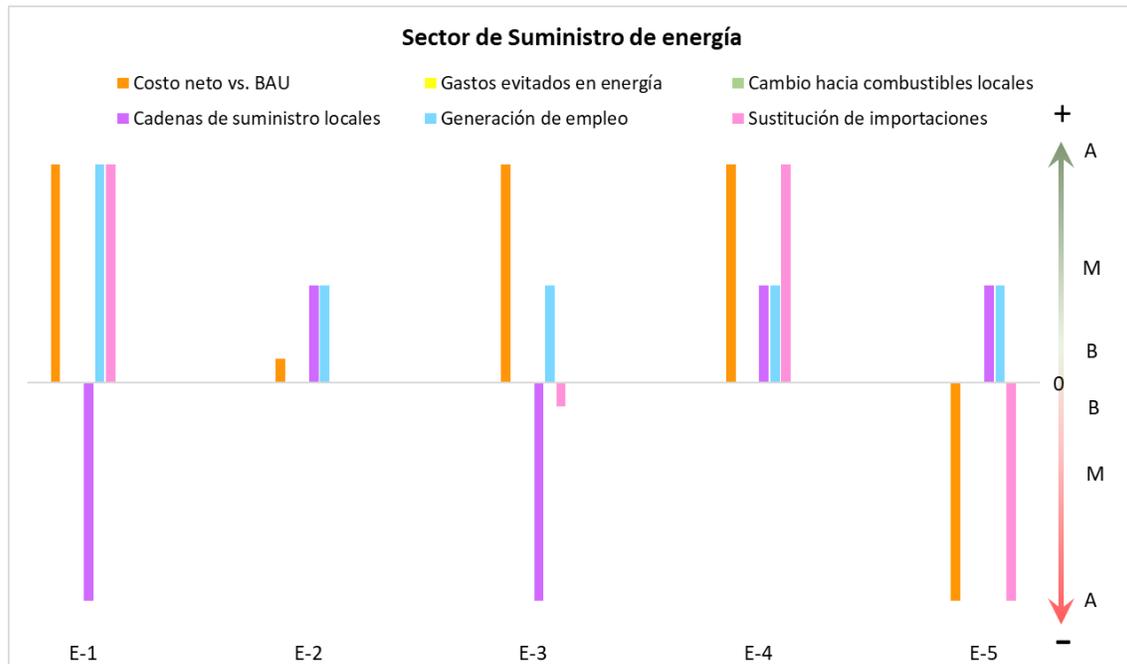


Nota: Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”). Estos resultados se presentan en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6).

4. Desempeño macroeconómico a nivel de opción y de sector

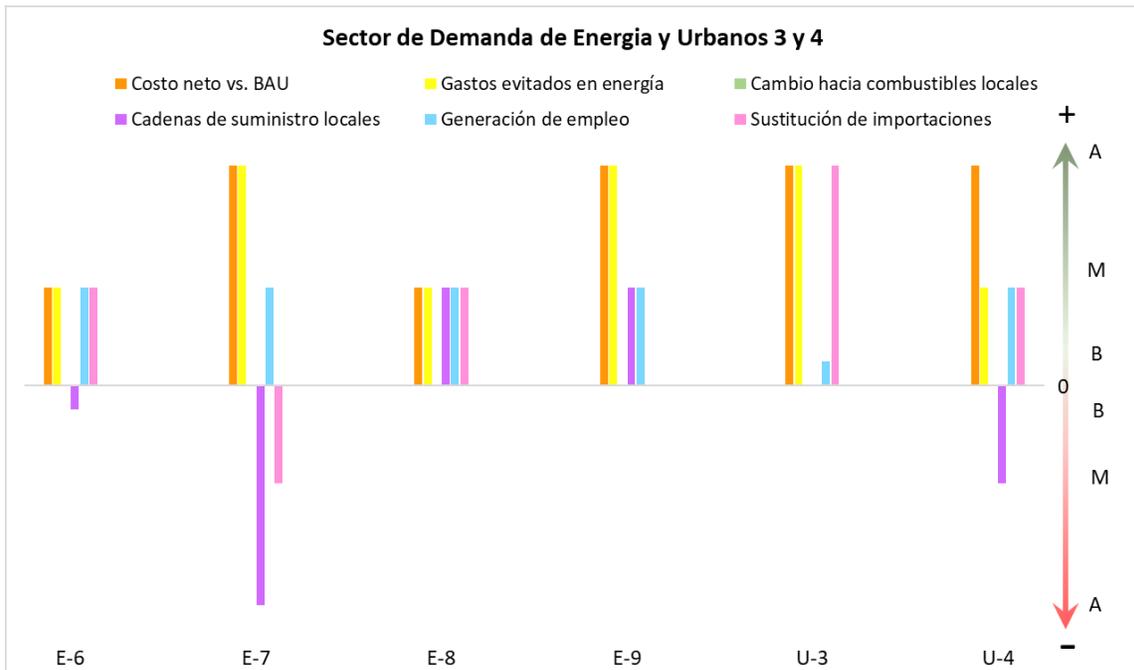
Las Figuras VI.A-5 y VI.A-6 a continuación proporcionan un resumen de los resultados de las evaluaciones de impacto macroeconómico realizadas para cada una de las opciones E, así como U-3 y U-4. La primera figura cubre las opciones asociadas con el suministro de energía (E-1 a E-5), mientras que la segunda figura cubre todas aquellas asociadas con la reducción o el cambio de demanda de energía (E-6 a E-9, U-3 y U-4). Estos resultados se muestran de forma independiente, lo que quiere decir que fueron evaluados contra las condiciones de actividad normal de forma aislada, i.e. sin considerar influencias que pudieran deberse a la implementación de otras opciones.

Figura VI.A-5. Evaluación de impacto macroeconómico de las opciones E-1 a E-5 (Suministro de energía)



En general, la evaluación macroeconómica identifica razones para ser optimista sobre el potencial de estas opciones para motivar, en lugar de ser una carga para la economía de Guatemala. **E-1 a E-4 logran más ahorros que costos y estimulan la demanda por mano de obra directa, siendo las únicas causas reales de inquietud, la contracción de la cadena de suministro para producción de actividad normal de electricidad en E-1 y E-3, y un incremento neto en los gastos de importación en E-3 por el equipo especializado. E-5 lucha con costos generales vs. ahorros e incrementa importaciones netas (ambas causas de inquietud), pero aún involucra mano de obra directa significativa y estimula sectores locales.** Como resultado, mientras el costo de implementación (particularmente las inversiones de capital necesarias) es significativo, estas opciones deberían considerarse prometedoras en términos de impacto económico potencial, particularmente si pueden lograr la reducción en gastos de materias primas de combustibles fósiles importados.

Figura VI.A-6. Evaluación de impacto macroeconómico de las opciones E-6 – E-9, U-3 & U-4 (Demanda de energía)



Como se muestra en la gráfica anterior, la evaluación macroeconómica de estas seis opciones (todas previstas para ayudar a gobiernos, empresas y residentes a ahorrar en su uso de energía general) identifica una base significativa para optimismo sobre el potencial para estimular, en lugar de cargar, la economía de Guatemala. **Todas las opciones de demanda de energía producen ahorros mayores que sus costos de implementación con base en el conjunto de la economía, lo cual está asociado con un impacto positivo en la cantidad de actividad total en la economía nacional. Además, se proyecta que todas reduzcan el gasto total en energía (éste es el objetivo de estas opciones en primer lugar), lo cual libera dinero para otros usos y para involucrar por lo menos algún estímulo directo de actividad intensiva en mano de obra, lo cual impulsa gastos en los consumidores y está asociado con ganancias de empleos no solo de la implementación de la opción sino en el conjunto de la economía.**

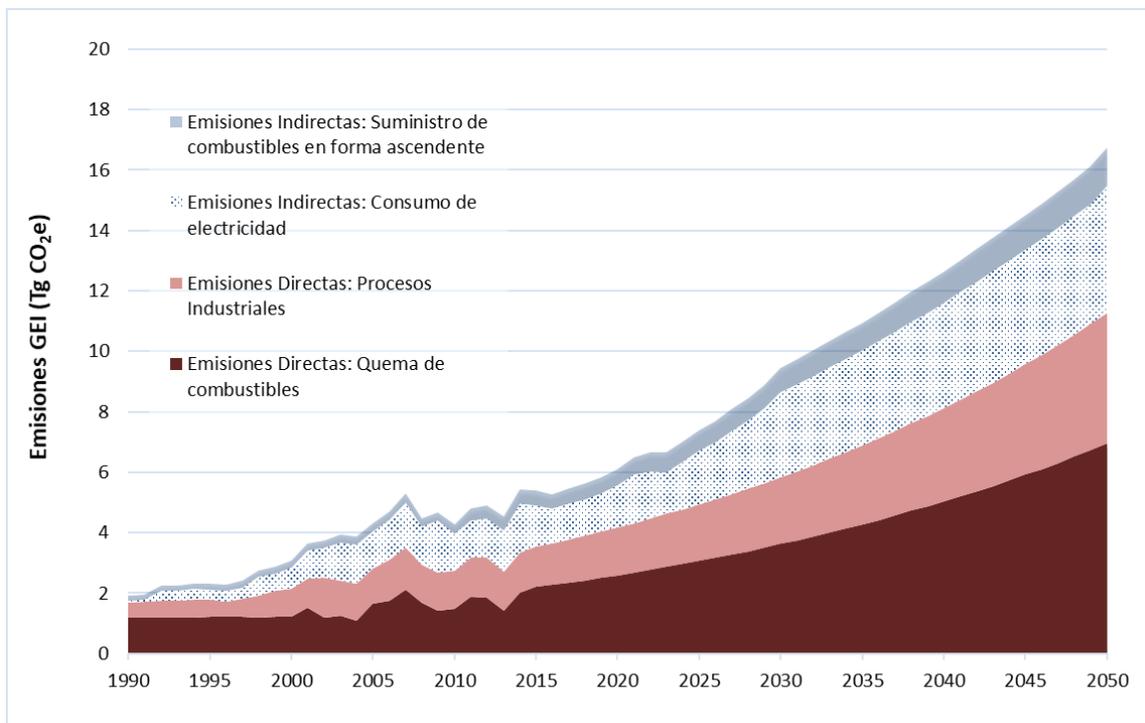
La única variación real a través de estas opciones tiene que ver con el estímulo de los sectores locales (algunas opciones reducen la actividad del sector local, particularmente en los sectores de suministro de energía) y las exportaciones netas (en términos monetarios, algunas opciones requieren más importaciones de equipo especializado de lo que producirían en importaciones reducidas de energía y otros bienes). Como grupo, estas opciones deberían considerarse prometedoras en términos del impacto económico potencial, particularmente si pueden lograr la reducción proyectada en los gastos en energía.

B. INDUSTRIA

I. Sinopsis del sector

El sector Industria (I) cubre el uso de energía en las industrias de Guatemala, así como procesos industriales con emisiones de GEI que no están asociadas con el uso de energía (“GEI no energéticos”). La Figura VI.B-1 a continuación proporciona un resumen de las emisiones de GEI del sector I. Esta figura proporciona un resumen completo del impacto de GEI de las actividades industriales del país, ya que muestra los GEI directos de la quema de combustibles y GEI no energéticos, así como los GEI indirectos del consumo eléctrico de la red y las emisiones asociadas con el suministro de combustibles para la producción de electricidad. Se espera que las emisiones directas del consumo de combustibles y procesos industriales aumenten considerablemente de cerca de 3.5 TgCO₂e en 2015 a cerca de 11 TgCO₂e para 2050. Mucho de este crecimiento es impulsado por la necesidad de materiales de construcción intensivos en GEI, como cemento, acero y vidrio, para satisfacer las necesidades de construcción para la población y el crecimiento económico. Si los GEI del consumo eléctrico se añaden, la huella de carbono para Industria en 2015 es cerca de 5.5 TgCO₂e y crecerá a más de 15 TgCO₂e para 2050. Las emisiones indirectas del suministro de combustible también se muestran para proporcionar una indicación de las emisiones de GEI adicionales asociadas con el suministro de combustibles usados por la industria (la mayoría de estas emisiones ocurren fuera del país y por lo tanto se muestran en una porción transparente).

Figura VI.B-1. Línea base de GEI para el sector I



El informe de línea base de la EDBE en el Anexo B proporciona más detalles y desgloses de las emisiones de GEI para el sector I; sin embargo, los **subsectores clave para las emisiones directas de Guatemala son producción de cemento y cal, así como los GEI preliminares**

del suministro de combustible. Estos incluyen uso de combustible y emisiones de procesos. No se identificaron desgloses por subsector para el consumo eléctrico en la línea base de la EDBE. **Los impulsores clave de emisiones futuras de GEI son el crecimiento esperado en la construcción de edificios y otra infraestructura necesaria para apoyar una creciente población, ingresos y actividad económica.**

2. Resumen de las opciones de la EDBE para Guatemala para industria

Hay seis opciones de la EDBE para el sector Industria descritas con más detalle en el Anexo E.

I-1. Eficiencia energética en hornos

En algunas ramas de la industria, los hornos son una fuente importante de emisiones directas o indirectas de gases de efecto invernadero, porque en su operación queman combustibles fósiles, los cuales producen GEI directos; indirectamente, el suministro de combustible por sí mismo requiere energía y utiliza otros procesos que producen GEI durante la extracción, el procesamiento/refinería y transporte hacia el usuario final. **Una reducción en el uso de combustible en hornos reduciría GEI directos e indirectos.** Hay tipos diferentes de hornos, pero todos con el mismo propósito, el cual es proporcionar calor para desempeñar algún proceso en un espacio cerrado, lo cual permite condiciones controladas y mayor eficiencia comparado con procesos de quema en espacios abiertos. Los hornos industriales se utilizan para cocción, secado, calcinación, procesos de vitrificación y curado, entre otros. Se considera que estas fuentes representan cerca de un tercio de las emisiones totales de GEI del sector en 2015.

Entre las medidas para mejorar la eficiencia en hornos se encuentran: gestión de energía automatizada o controles de proceso para el mejor uso del calor generado, mejoras en la quema de combustibles y la reducción de pérdidas térmicas. Las acciones implementadas bajo esta opción están destinadas a la reducción de emisiones de GEI de la quema de combustibles en hornos industriales, mientras que la opción I-2 aborda el uso de combustible en calderas y calentadores de procesos. **Las metas para la opción son reducir el uso de combustible de actividad normal BAU 10% para 2030 y 25% para 2050.**

I-2. Programas de eficiencia energética – calderas y calentadores de procesos

Además de los hornos abordados por la opción I-1, las instalaciones industriales usan otros tipos de equipo que consumen combustibles, tales como calderas y calentadores de procesos. En lugar de calentar un producto directamente como en un horno, las calderas y los calentadores de procesos se usan para producir y transferir calor a otro medio, usualmente agua o aire, el cual se usa luego en el proceso. Entre las medidas para **mejorar la eficiencia de uso del combustible para calderas/calentadores de procesos** están: sistemas de gestión de energía mejorados/automatizados, reducción de pérdidas térmicas (ya sea en la caldera/calentador de proceso o en las líneas que transfieren calor dentro de la planta) y mejoras en la eficiencia de los quemadores de combustible mismos. Mientras que estas son agrupaciones de tecnologías similares como para hornos en I-1, las tecnologías específicas y sus costos de implementación son bastante diferentes.

Esta opción de mitigación complementa a I-1 (para hornos industriales), I-4 (eficiencia energética eléctrica) y I-6 (recuperación de calor). **Las metas para esta opción son reducir el consumo de combustibles de actividad normal BAU en 15% para 2035 y 25% para 2050.**

I– 3. Incentivos para energía renovable

La matriz energética de Guatemala es bastante diversa y rica en el uso de energía renovable, incluyendo energía hidroeléctrica, solar y eólica. La energía renovable (ER) tiene múltiples beneficios, incluyendo beneficios ambientales, sociales y económicos. Permite a los países diversificar su matriz energética, estimulando también el crecimiento económico y desarrollo atrayendo inversiones para proyectos de generación y distribución. Al mismo tiempo, reduce la necesidad de importar combustibles del exterior del país. La energía renovable reduce las emisiones de GEI y apoya el desacople de emisiones y crecimiento económico.

Esta opción apoya la creación de esquemas que alientan la implementación de sistemas de ER en el sector industrial o la compra de energía renovable por medio de incentivos o facilidades con este propósito. Mientras que la opción está diseñada para apoyar todas las formas de ER (hidro, geotérmica, eólica, solar), con fines de planificación y análisis, **la opción se concentra en la generación eólica y solar.**

Las metas para esta opción son producir suficiente energía de los proyectos de ER en el sector industrial para compensar 20% del consumo de energía de la red del sector de forma de actividad normal BAU en 2035 y 35% para 2050. De esta forma, esta opción pretende reducir emisiones indirectas de GEI por consumo eléctrico, lo cual representaba aproximadamente 30% de las emisiones totales en 2015 para el sector industrial.

I– 4. Mejoras a la eficiencia de energía eléctrica

Esta opción se refiere a la implementación de acciones para incrementar la eficiencia energética en sistemas alimentados por energía eléctrica en el sector industrial. En múltiples estudios y auditorías realizadas en compañías de diferentes tamaños y tipos, se identificaron las condiciones operativas en las que la energía utilizada al interior no se conoce a detalle o con certeza. Las áreas de atención para esta opción son en el fortalecimiento de capacidades técnicas, aplicación de metodologías y procedimientos de gestión energética (tales como ISO 50001) y la creación de programas para facilitar la adquisición de tecnologías de eficiencia energética (EE). La opción está dirigida a procesos industriales en general y no se limita a grandes usuarios de electricidad.

Es importante mencionar que los ahorros energéticos significativos pueden generarse a través de la optimización de energía del equipo manejado por motores eléctricos, resaltando los sistemas de bombeo y también los sistemas de aire acondicionado. Esta opción es complementaria a I-3, la cual propone acciones para incrementar la generación de electricidad para autoabastecimiento a través de fuentes renovables.

Esta opción pretende reducir emisiones indirectas de consumo de energía, la cual representaba aproximadamente 30% de las emisiones totales del sector industrial en 2015.

El objetivo a corto plazo es reducir el consumo de energía en el sector industrial en 12% por año para 2025 por debajo de los niveles de actividad normal *BAU*. Los objetivos a mediano y largo plazo son una reducción de 25% para 2035 y de 40% para 2050.

I-5. Reciclado incrementado y/o sustitución de materiales

La generación de desechos sólidos y sus actuales prácticas de manejo están entre los principales problemas para el ambiente en Guatemala. La cantidad de desechos procedentes específicamente del sector industrial no se ha estudiado a detalle; sin embargo, la línea base de la EDBE para el sector de desechos proporciona un valor de referencia al 2015 de aproximadamente 300,000 toneladas de desechos industriales generados anualmente. Además, se espera que la mayor parte de estos desechos se deposite en rellenos sanitarios, lo que habría generado 120,000 toneladas de CO_{2e} sobre una base anual en 2015.

Algunos desechos industriales pueden ser valorados a través de su introducción como materia prima o material intermedio en otros subsectores industriales dentro de la cadena de producción, o a través de su recuperación de energía. El uso de desechos o productos reciclados disminuye la demanda de energía y las emisiones de GEI “preliminares” derivadas de sus procesos o de la cadena de valor de los productos involucrados. En muchos casos, estas emisiones preliminares ocurren fuera de Guatemala. Tomar nota que estas emisiones preliminares asociadas con la producción y transporte de materiales que terminan en el flujo de desechos sólidos industriales no se incluyen en las emisiones de línea base mostradas en la Figura IV.B-1 arriba descritas (emisiones de línea base para el manejo de desechos sólidos en la industria se incluyen en el sector de manejo de desechos, en lugar del sector de industria).

A pesar de que prácticas de reciclado y de reutilización de materiales están ya siendo implementadas en algunas industrias, se estima que hay un potencial significativo para explotar. Por tanto, **esta opción se concentra en ampliar programas para la reutilización y reciclado de materiales o el reemplazo de algunos materiales utilizados en procesos específicos por otros con menor generación de emisiones de GEI. Como resultado, se descartarán y se enviarán a sitios de disposición final cantidades más pequeñas de desechos de industria. Los objetivos generales de la opción son reducir desechos industriales enviados a rellenos sanitarios en 10% para 2025, 30% para 2035 y 40% para 2050.**

I-6. Mejorar la recuperación de calor

En el sector industrial, el uso eficiente de energía térmica de combustibles fósiles es importante, como se indica en las opciones I-1 e I-2 descritas anteriormente. En algunos procesos industriales, el calor residual del proceso está disponible y podría utilizarse en otros procesos industriales, si se captura y transmite de forma efectiva. **Esta opción se concentra en la recuperación de esta energía desechada de equipo tal como hornos, calderas y calentadores. Si se recupera este calor, el consumo de combustibles fósiles se reduce, lo cual a cambio reduce las emisiones de GEI de la quema en la industria.** La quema industrial de combustibles representaba aproximadamente 33% del total de emisiones de GEI del sector en 2015. Esta opción es complementaria a las opciones I-1 e I-2.

Debido a la naturaleza de los sistemas termales en la industria del país, los sectores en donde se considera que hay un alto potencial para mejorar son aquellos con un alto consumo específico de energía térmica. Hay probablemente oportunidades clave para la industria de Guatemala en el futuro para que se considere la ubicación clave de industrias que requieran calor de proceso (p.e. como vapor de baja presión o agua caliente, construcción de sistemas de cogeneración o tri-generación) que puedan beneficiar de co-ubicación con grandes generadores de calor. Esto podría incluir, por ejemplo, la construcción de parques industriales diseñados para el uso óptimo de calor y materiales entre socios industriales. No se analizó este tipo de enfoque para el proceso de la EDBE.

La meta de esta opción es reducir el consumo de combustibles del sector industrial sector en 20% por medio de recuperación de calor (10% para 2025, 15% para 2035, y 20% para 2050).

3. Resultados directos a nivel de opción y sector (Energía, recursos, GEI, costos y ahorros)

El Cuadro VI.B-1 a continuación proporciona un resumen de los resultados de los análisis microeconómicos realizados para cada una de las opciones I. Los valores negativos se muestran en rojo (por ejemplo, emisiones de GEI por debajo de los niveles de línea base), mientras que los valores positivos se muestran en negro (por ejemplo, costos netos de implementación que están por encima de los costos de actividad normal). Estos resultados se muestran de forma independiente, lo que quiere decir que fueron evaluados contra las condiciones de actividad normal *BAU* suponiendo que ninguna otra opción sea implementada. **Si todos los impactos se suman, estos resultados individuales sugieren que las reducciones anuales de GEI en el país para 2050 serían de 7.2 TgCO_{2e} y las reducciones acumuladas para 2019-2050 serían de 109 TgCO_{2e}.** Hay también algunas reducciones de GEI que ocurren en las emisiones fuera del país para las opciones del sector I como resultado de menor demanda de combustibles fósiles. Se supone que las reducciones de GEI por suministros de combustible fósil ocurren fuera de Guatemala. Estas reducciones adicionales resultan en un impacto de reducción de GEI acumulada total de 149 TgCO_{2e}.

Si todos los resultados de los impactos individuales se suman, se estima que el valor actual neto (VAN) de ahorros directos de implementación para la sociedad es casi de -Q19 mil millones (en Q de 2018; aproximadamente -US\$2,500 millones). Los costos de implementación para el grupo de opciones son impulsados por los grandes ahorros para la sociedad de I-3 e I-4. Estos ahorros resultan de implementar tecnologías de energía renovable (tales como la solar y la eólica) para compensar los costos de electricidad con base en la red, incluyendo la prevención de los costos para construir instalaciones de nueva generación durante las últimas fases del periodo de planificación de la EDBE. La opción I-5 también resulta en ahorros directos para la sociedad, mientras que las opciones I-1, I-2 e I-6 resultan en relativamente pequeños costos directos para la sociedad. **En general, la rentabilidad [-126 Q/tCO_{2e} (en Q de 2018; -US\$16.58/tCO_{2e})] indica un potencial para grandes ahorros generales, en particular si las opciones I-3 e I-4 se acercan a la implementación completa.**

Cuadro VI.B-1. Impactos directos individuales para el sector I

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país		Impactos totales de GEI		Costo directo (Año base en Q de 2018)	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados 2019-2050	Acumulados 2019-2050	VAN 2019-2050	Rentabilidad
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	QMillones	Q/tCO ₂ e
I-1.	Eficiencia energética para hornos	(0.11)	(0.24)	(3.7)	(4.3)	Q101	Q24
I-2.	Programas de eficiencia energética - calderas y calentadores de procesos	(0.031)	(0.099)	(1.6)	(1.8)	Q16	Q9.3
I-3.	Incentivos para energía removable	(1.0)	(3.6)	(52)	(63)	-Q10,869	-Q173
I-4.	Mejoras a la eficiencia de energía eléctrica	(1.0)	(3.1)	(51)	(63)	-Q6,943	-Q111
I-5.	Reciclado incrementado y/o sustitución de materiales	(0.00076)	(0.062)	(0.52)	(17)	-Q1,105	-Q65
I-6.	Mejorar la recuperación de calor	(0.0044)	(0.026)	(0.36)	(0.39)	Q42	Q106
Total		(2.1)	(7.2)	(109)	(149)	-Q18,759	-Q126

Los resultados del resumen arriba citado se presentaron con base en el análisis independiente. Esto significa que se analizó cada opción de forma independiente contra las condiciones de actividad normal *BAU* (eso es, suponiendo que fuera la única opción que sea implementada). Estos resultados no reflejan traslapes u otras interacciones identificados con otras opciones. Los resultados que se ajustaron para tomar en consideración los traslapes / interacciones en este sector se brindan en el siguiente cuadro.

El Cuadro VI.B-2 proporciona un resumen de los impactos directos con ajustes hechos para tomar en cuenta interacciones o traslapes entre las opciones en el sector I. Estos resultados proporcionan un panorama más preciso de los impactos de la opción de la EDBE si todas las opciones se implementan como fueron diseñadas. Las dos opciones que se traslapan en el sector son I-3 e I-4. Las metas para la producción de energía renovable en la opción I-3 se especifican con base en el consumo de energía. La implementación de la opción I-4 reducirá el consumo futuro de energía. Como resultado, la cantidad de energía renovable necesaria para satisfacer las metas de I-3 será menor cuando ambas opciones sean implementadas. Por lo tanto, los impactos de I-3 han sido ajustados para tomar en cuenta los niveles más bajos de energía renovable necesaria.

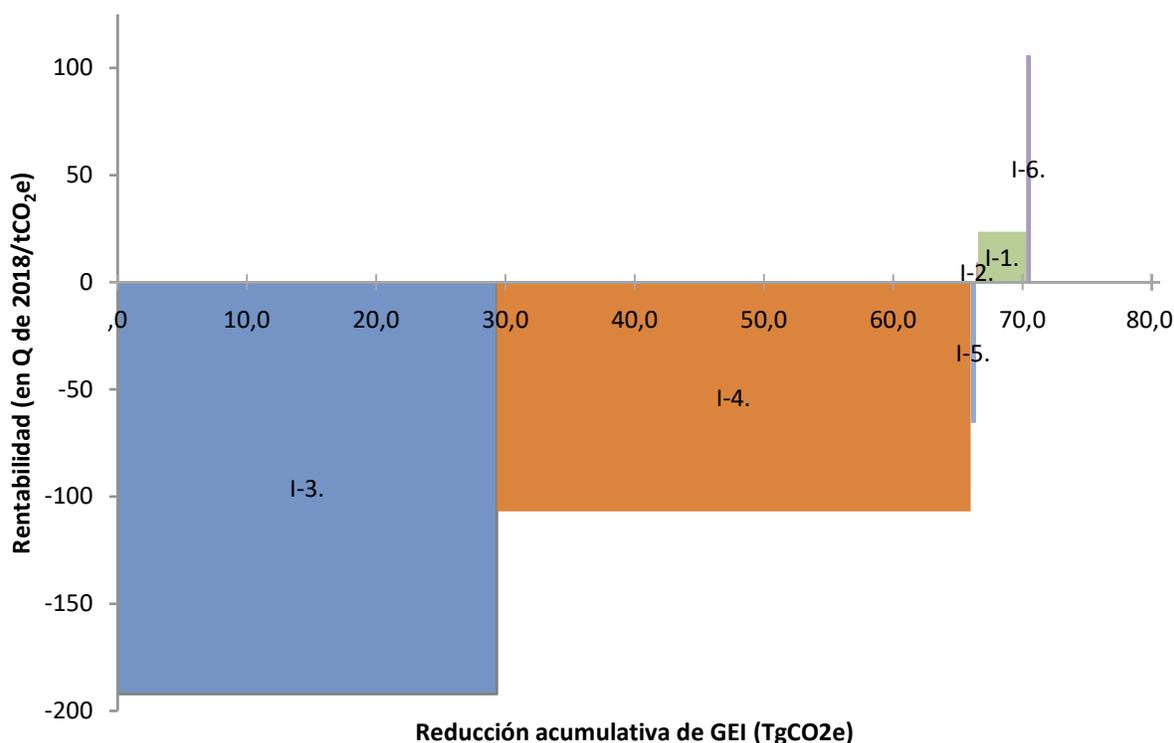
Como se muestra en el Cuadro VI.B-2, **las reducciones de GEI inter-sectoriales integradas en el país para 2050 disminuyeron hasta 5.8 TgCO₂e (las reducciones acumuladas 2019-2050 son 93 TgCO₂e). Allí los ahorros totales para la sociedad son aún significativos con más de -Q16 mil millones. La rentabilidad estimada de todas las opciones I permanece aproximadamente igual en -125Q/tCO₂e (en Q de 2018).**

Cuadro VI.B-2. Impactos directos intra-sectoriales integrados para el sector I

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país		Impactos totales de GEI	Costo directo (Año base en Q de 2018)	Rentabilidad Q/tCO ₂ e	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados 2019-2050	Acumulados 2019-2050		VAN 2019-2050
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e		QMillones
I-1.	Eficiencia energética para hornos	(0.11)	(0.24)	(3.7)	(4.3)	Q101	Q24
I-2.	Programas de eficiencia energética - calderas y calentadores de procesos	(0.031)	(0.099)	(1.6)	(1.8)	Q16	Q9.3
I-3.	Incentivos para energía renovable	(0.89)	(2.3)	(36)	(44)	-Q8,312	-Q190
I-4.	Mejoras a la eficiencia de energía eléctrica	(1.0)	(3.1)	(51)	(63)	-Q6,943	-Q111
I-5.	Reciclado incrementado y/o sustitución de materiales	(0.00076)	(0.062)	(0.52)	(17)	-Q1,105	-Q65
I-6.	Mejorar la recuperación de calor	(0.0044)	(0.026)	(0.36)	(0.39)	Q42	Q106
Total después de interacciones/traslapes intra-sectoriales		(2.0)	(5.8)	(93)	(130)	-Q16,202	-Q125
<p>Los resultados mostrados en este cuadro se han ajustado para traslapes u otras interacciones entre opciones en este sector. Ver las notas junto a cada grupo de resultados de la opción para una descripción de los traslapes / interacciones que fueron identificados y abordados.</p> <p>I-1: Esta opción solamente aborda la eficiencia del uso de combustible para hornos, así que no existe traslape con I-2, lo cual está dirigido a calderas y calentadores de proceso.</p> <p>I-2: Ver la nota para I-1 arriba mencionada.</p> <p>I-3: Este análisis de traslape aborda la reducción en la nueva energía renovable necesaria para I-3 como resultado de la implementación de I-4 que resulta en reducciones de energía eléctrica a través de las medidas de eficiencia energética en la industria. Los objetivos de I-3 se presentaron en términos de reducciones de demanda, así que habrá menos demanda como resultado de la implementación de I-4.</p> <p>I-4: Ver la nota para I-3 arriba mencionada.</p> <p>I-6: Existe la posibilidad de algún traslape entre esta opción e I-1 e I-2 en la medida que los sistemas térmicos (por ejemplo, vapor) se vuelvan más eficientes (dejando menos calor residual por unidad de combustible consumido). Estos traslapes podrían ocurrir solamente en situaciones donde los elementos de ambas políticas apliquen al mismo proceso y se espere que sean insignificantes.</p>							

La Figura VI.B-2 es la curva de costo marginal de abatimiento (MACC) para el sector industria. La curva de costo traza las reducciones acumuladas de emisiones (2019-2050) para cada opción en el orden de más a menos rentable. Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”) presentados en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6). Si todas las opciones se implementan totalmente, se estima que las reducciones acumuladas son más de 70 TgCO_{2e}. Se espera que las opciones con valores negativos para CE resulten en ahorros netos para la sociedad.

Figura VI.B-2. MACC de GEI acumulados del sector Industria 2019 – 2050



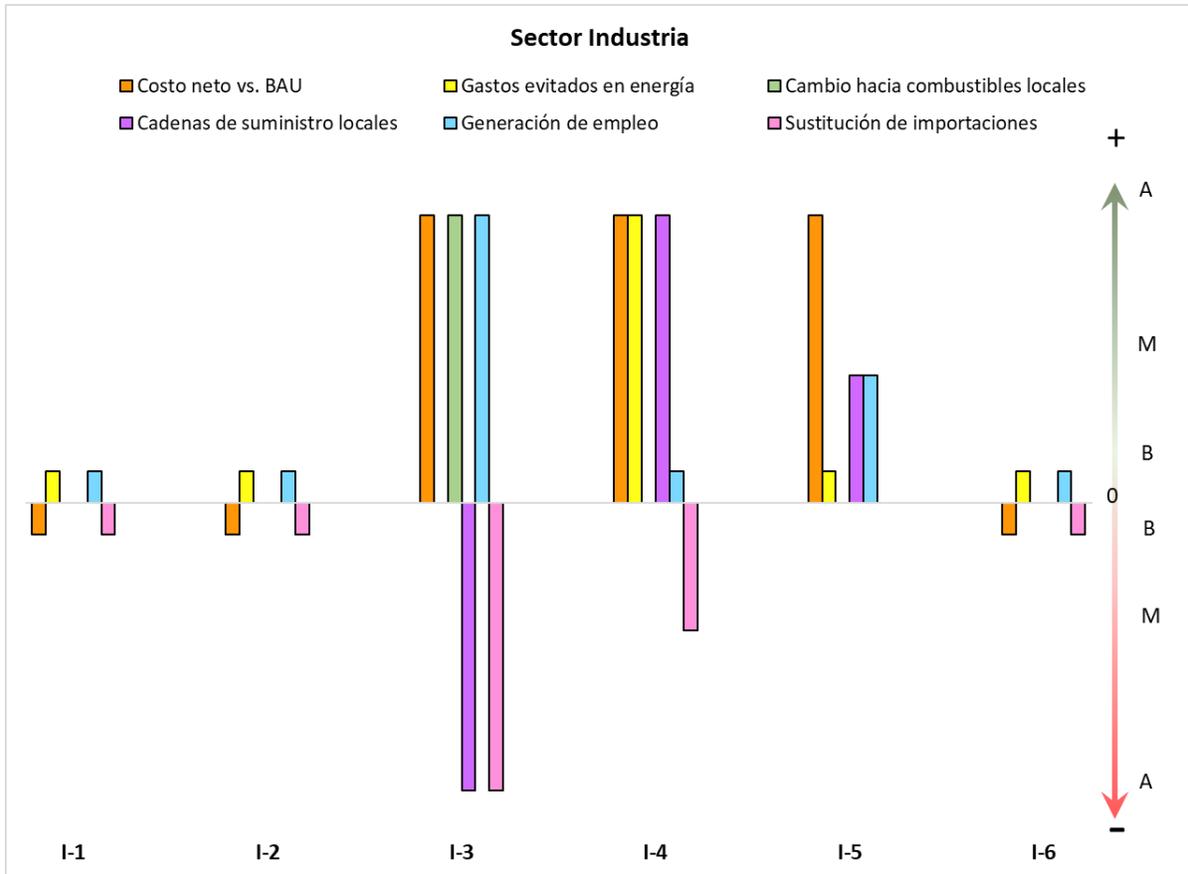
Nota: Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”). Estos resultados se presentan en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6).

4. Desempeño macroeconómico a nivel de opción y de sector

La Figura VI.B-3 a continuación resume los resultados de la evaluación macroeconómica de las opciones I. La figura muestra que se evaluó que las seis opciones I tienen impactos muy diferentes en los factores macroeconómicos clave relacionados con el crecimiento económico. Todas las opciones tienen una mezcla de asociaciones positivas y negativas, pero algunas opciones tienen efectos significativos mientras que otras se limitan a impactos menores. Estos resultados se muestran de forma independiente, lo que quiere decir que fueron evaluados contra las condiciones de actividad normal de

forma aislada, i.e. sin considerar influencias que pudieran deberse a la implementación de otras opciones.

Figura VI.B-3. Evaluación de impacto macroeconómico de las opciones I-1 – I-6 (Industria)



Las opciones I-1, I-2 e I-6 – que se enfocan principalmente en programas industriales para recapturar o hacer más eficiente el uso de energía de calefacción– producen perfiles de evaluación macroeconómica muy similares. Cada una logra ahorros de energía modestos e implica una actividad intensiva en mano de obra, aunque en pequeña medida (ya sea vía operaciones de programas gubernamentales u operaciones de sector privado) para llevar a cabo su propósito. Ambas son observaciones positivas de factores que están estadísticamente asociadas con el PIB y el crecimiento de empleo. Sin embargo, las tres opciones han proyectado tener costos de implementación que son mayores que la energía u otros ahorros que pueden crear. También están proyectadas para desencadenar pequeños incrementos en la salida total de dinero de Guatemala para comprar importaciones. Ambas son observaciones negativas de los factores identificados como impulsores de la economía local. Pero en general, los impactos de todos los factores para estas tres opciones son pequeños en todos sentidos, y la observación más destacada sobre estas tres opciones es que **su potencial – y su riesgo– para el crecimiento o pérdida económicos debería considerarse muy pequeño.**

Las opciones I-3, I-4 e I-5 se caracterizan por flujos financieros a gran escala (midiendo decenas de miles de millones de Quetzales durante el periodo 2019-2050). Se espera que las tres produzcan ahorros netos que son miles de millones de Q mayores que sus costos de implementación, lo cual es una

expresión positiva fuerte de un factor asociado con el crecimiento económico. Después de eso, presentan diferentes perfiles de impacto económico.

I-5, que tiene que ver con el reciclado de materiales industriales, muestra el grupo consistentemente más positivo de factores asociados con el PIB y el crecimiento de empleo. Un pequeño ahorro neto en energía mientras que se suma a los gastos en los esfuerzos de reciclaje y en mano de obra directa implicado en estos esfuerzos son todas observaciones positivas de factores estadísticamente asociados con el PIB y el crecimiento de empleo.

I-4, que se concentra en eficiencia energética eléctrica en ubicaciones industriales, tiene principalmente observaciones positivas, pero requiere una inversión significativa de equipo importado—lo que aumenta el volumen de gastos en importaciones de la economía en general. La construcción local estimulada y los significativos ahorros de energía proyectados parecen ofrecer influencias positivas que son mayores en escala que el potencial retroceso causado por la necesidad de importaciones.

I-3 ofrece la mezcla más dramática de expresiones positivas y negativas de factores, con importaciones de equipo de gran escala y una reducción significativa en la actividad de utilidad del sector que ofrece aspectos de precaución para compensar los fuertes beneficios de ahorros de energía y de gastos en la actividad intensiva en mano de obra.

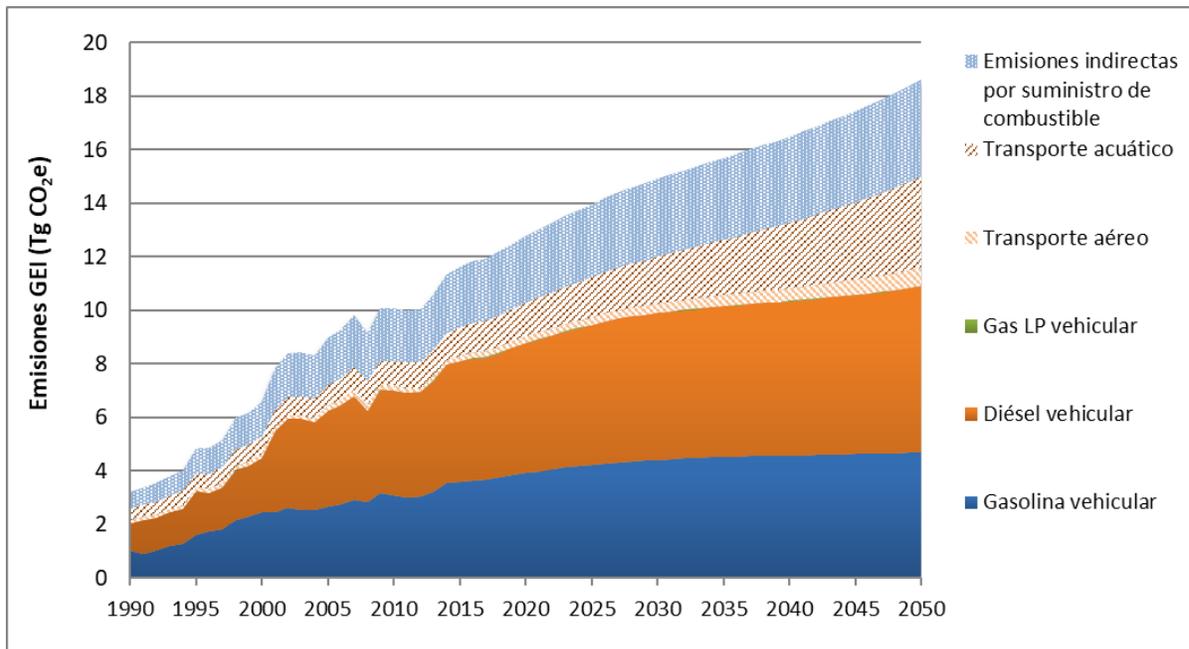
C. TRANSPORTE

I. Sinopsis del sector

El sector Transporte (T) aborda el uso de energía en vehículos de carretera, así como de transporte aéreo y acuático. Debería mencionarse también que el uso de combustible en vehículos todo terreno también se incluyó en la información disponible del consumo de combustibles durante el desarrollo de la línea base. Estos usos todo terreno son probablemente pequeños en relación con los vehículos de carretera, pero incluyen vehículos como equipo agrícola y de construcción (mucho de eso es uso de combustible diésel y GLP).

La Figura VI.C-1 a continuación proporciona un resumen de las emisiones de GEI de línea base del sector T. **En general, se espera que las emisiones aumenten cerca de 50% para 2050.** Se espera que las emisiones directas para vehículos de carretera aumenten de cerca de 8 TgCO₂e en 2015 a más de 10 TgCO₂e para 2050. El uso de electricidad para alimentar vehículos de carretera empieza a entrar en la línea base tarde durante el periodo de planificación; sin embargo, comparado con gasolina y diésel, el nivel de emisiones de GEI es pequeño (demasiado pequeño para que se muestre en esta gráfica). **Las emisiones de GEI están dominadas por el uso de combustible para vehículo de carretera, incluyendo las emisiones que podrían ser atribuidas a procesos preliminares en el suministro de combustible (extracción, procesamiento y transporte de combustibles).** Las emisiones de GEI de transporte aéreo y acuático se muestran en porciones con patrones, ya que las emisiones, aunque sean atribuidas a Guatemala, podrían ocurrir fuera de los límites geográficos del país.

Figura VI.C-1. Línea base de GEI para el sector transporte



2. Resumen de las opciones de la EDBE para Guatemala para Transporte y Uso urbano de la tierra

Hay ocho opciones de la EDBE para el sector T incluyendo U-1 y U-2 descritas con mayor detalle en el Anexo F.

T- 1. Construir la ruta de tren ligero del metroriel en Ciudad de Guatemala

Esta opción de mitigación visualiza la implementación de un tren interurbano ferroviario ligero ("MetroRiel") en el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala. El AMCG enfrenta una crisis sin precedentes en su sistema de transporte urbano. Entre 1990 y 2010 el parque en carretera se duplicó, y en años recientes ha continuado incrementando, por encima de la capacidad de la red de carreteras de la región (Ciudad de Guatemala tiene una capacidad de 350 mil vehículos y ya excede 900 mil). Cada día cerca de 1.2 millones de vehículos entran la ciudad, la cual es un número mucho mayor a la capacidad que la ciudad puede soportar. Esto causa congestión la cual es tan severa en muchas áreas que las velocidades de viaje caen por debajo de los 10 kilómetros por hora. Se espera que este patrón de crecimiento continúe: el parque vehicular aumentará a una tasa de 7% para vehículos y 20% para motocicletas cada año.

De acuerdo con estimaciones del IPCC, el transporte contribuye aproximadamente con 13% de las emisiones mundiales de GEI, y para 2010 se estimó que alcanzó 23%. Este número está creciendo rápidamente comparado con otros sectores. Se estima que para 2050 la contribución de emisiones de GEI mundiales por transporte podría exceder 30% del total. En Guatemala, las emisiones de GEI por transporte en el AMCG son las mayores en el país.

Esta opción tiene un impacto directo en las emisiones de GEI reduciendo el volumen de carros privados que entran la ciudad. Consiste en la construcción de un sistema de transporte ferroviario de pasajeros que llevará a personas de los límites sur y norte del área metropolitana al centro de la ciudad. Este servicio prestará una forma de tránsito de alta calidad, reducirá los viajes largos en bus y minimizará la congestión del tráfico. El servicio también permitirá seguridad y comodidad para los usuarios.

Las metas de esta opción son modernizar el sistema de transporte público de la Ciudad de Guatemala a través de la construcción de un tren urbano eléctrico de pasajeros e integrar el nuevo sistema de transporte con las líneas existentes (Transmetro y Transurbano). Durante los pocos años posteriores a su finalización prevista y entrada en servicio en 2021, el sistema MetroRiel alcanzará 250,000 viajes de pasajeros por día en un tren eléctrico de norte a sur de la municipalidad de Guatemala. De 2030 a 2050, MetroRiel continuará al nivel de 250,000 viajes de pasajeros por día.

T - 2. Modernizar la flota privada de buses suburbanos/extra-urbanos

Esta opción de mitigación se refiere a las inversiones en capital necesarias para actualizar y modernizar la flota actual de buses que proporcionan servicio entre ciudades. El uso de buses más eficientes es una medida efectiva para mejorar la calidad del aire y reducir las emisiones de GEI.

La importancia del transporte extra-urbano es clara en términos del traslado de personas entre las ciudades, desde una ciudad hasta la capital departamental y desde las municipalidades hasta el centro urbano. La función de buses extra-urbanos tiene una importancia comercial, ya que el "parrillero" es hogar de gran número de pequeñas y medianas empresas comerciales. Estos buses son a menudo los medios de transporte que se usa para llevar los productos diarios a los diferentes mercados tradicionales en todas las ciudades.

El transporte extra-urbano de pasajeros en Guatemala no tiene el apoyo económico del gobierno. Un estimado de 9,000 buses extra-urbanos proporcionan este servicio en Guatemala y son operados por propietarios privados. Los programas de remoción de vehículos y chatarra visualizados en esta opción

(implementados por regulación o incentivos) están destinados a motivar a los operadores de bus para invertir en la renovación de sus flotas. Estos programas pueden proporcionar vehículos más limpios y eficientes.

Los programas de actualización de vehículos permiten la reducción de emisiones de GEI. En general, los buses viejos son más pesados, menos aerodinámicos y consumen más combustible. Por consiguiente, las emisiones por kilómetro son mayores que aquellas de los nuevos. Lo último también puede ser más eficiente cuando se transporta más pasajeros por vehículo. Los buses de tecnología avanzada, tales como buses híbridos o eléctricos, pueden reducir más la contaminación del aire y las emisiones de GEI de actividad normal que resultan de vehículos de tránsito de masas y más viejos.

La meta de esta opción es modernizar el parque de buses extra-urbanos por medio de un incentivo del Estado para el reemplazo de las unidades. Desde 2022, reemplazar la flota de buses extra-urbanos que operan bajo la supervisión de la Dirección General de Transporte (DGT) del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Desde 2030, sustituir 50% de los buses extra-urbanos y comenzar el reemplazo de buses con solo 5 años de edad. En el año 2050, 100% de la flota habrá sido reemplazada y 50% de la flota habrá sido reemplazada dos veces con buses más nuevos y eficientes.

T - 3. Mejorar el tránsito regular, actualizar flota y ampliar el BRT en Ciudad de Guatemala

Un buen transporte público urbano es vital para ciudades modernas que crecen y alcanzan mayor densidad, uso mixto de la tierras y mejores estándares de vida a la vez que reducen la huella de carbono del país. El AMCG enfrenta una crisis sin precedentes en su sistema de transporte urbano. Entre 1990 y 2010, la flota vehicular se duplicó y en años recientes ha continuado a incrementarse (Ciudad de Guatemala tiene una capacidad de 350 mil vehículos, y ya excede los 900 mil). La multitud de actores públicos y privados implicados en la provisión de infraestructura, servicios y regulaciones del AMCG obstaculiza la integración física del sistema de transporte, así como de la integración de las tarifas a través de los servicios de transporte público. Cada municipalidad del AMCG tiene su propio sistema.

Esta opción busca modernizar la flota estándar de buses de tránsito y, para hacerlo de modo que también se optimice la eficiencia del servicio, se reduzcan los tiempos de viaje y se incremente la confiabilidad de los horarios en todas las operaciones e infraestructura y rutas del transporte público. A medida que la ciudad se extiende su servicio de Transmetro BRT, buses regulares y sus rutas pueden optimizarse para mejorar los viajes que se llevan a cabo en ambas modalidades. Garantizando los tipos de vehículos que prestan servicio a todas las ubicaciones y la infraestructura de plataforma a través de un programa de reemplazo vehicular cuyo objetivo son los vehículos de actividad normal que sirven las rutas de tránsito, mejorará la capacidad de los dos sistemas para ofrecer viajes de tránsito más rápidos y sencillos para viajeros en el área del AMCG.

Esta opción conduce a cambios indirectos en la velocidad promedio del tráfico, la congestión y los retrasos, así como mejora la atracción del transporte público y amplía su volumen de pasajeros. También puede conducir al mejoramiento en la flota vehicular, que puede ser evaluado con base en los índices específicos de eficiencia de combustible de los vehículos, de acuerdo con su diferente tipo y edad.

La meta de esta opción es para el año 2030, cambiar los buses viejos de la flota de buses urbanos de la Ciudad de Guatemala en un 100% por nuevos buses más eficientes, gracias a la mejora del sistema de transporte derivada de la ampliación del BRT y de la reorganización de rutas y flotas de transporte público en la ciudad; y entre 2030 y 2050, mantener la flota de buses más avanzada, reemplazando buses cuando sea necesario.

T - 4. Construcción de Libramientos de carretera alrededor de Chimaltenango y Barberena

Esta opción de mitigación se enfoca en planes existentes de ampliar la capacidad de carreteras interurbanas y considera específicamente la construcción planificada de los libramientos alrededor de las capitales departamentales cercanas de Chimaltenango y Barberena.

Los programas de capacidad vial tienen por objetivo reducir la congestión y la contaminación a través de una variedad de técnicas que amplían la capacidad y reducen los embotellamientos, mejorando así el flujo de tráfico motorizado. La construcción de libramientos en centros poblacionales en puntos críticos es parte del Plan de Desarrollo de Carreteras del país. Los objetivos del Plan de Desarrollo de Carreteras 2008 - 2017 buscan lograr la integración regional de la red vial, promover crecimiento económico y social a través del mejoramiento y expansión de la infraestructura terrestre, entre áreas urbanas y rurales, para facilitar la movilización de personas y el acceso a servicios sociales básicos, ampliando y manteniendo en buena condición los trabajos de infraestructura vial, fortaleciendo los vínculos urbano-rural a través de la provisión que incrementa la productividad de áreas rurales por medio de la transitabilidad de caminos rurales y medidas de mitigación apropiadas. La ampliación de la capacidad vial puede mejorar el flujo de tráfico y contribuir a los beneficios de reducción de GEI a corto plazo.

Esta sección de carretera creará una ruta alternativa alrededor, en lugar de a través de, las capitales departamentales de Chimaltenango y Barberena, creando así una ruta rápida para moverse sin ir a través del área urbana. Ambas entregas que están proyectadas tendrán un peaje que será manejado por una compañía concesionaria.

La meta de esta opción comienza en 2019, reduciendo el tiempo promedio de viaje por cuatro en las inmediaciones de Chimaltenango y Barberena. La opción no tiene metas para 2030 y 2050. Busca crear mayor capacidad de viaje durante el periodo completo de análisis. La opción no contempla un cambio en los patrones de desarrollo o usos de la tierra que puedan acompañar las decisiones de ampliar la capacidad a lo largo de las rutas interurbanas, dado que los resultados dependen de acciones de política independientes.

T - 5. Modernizar la flota vehicular privada de servicio liviano

Esta opción de mitigación visualiza un programa para aplicar estándares de mayor eficiencia y de calidad de aire a la flota vehicular privada. Este programa combinará medidas reguladoras (regulación vehicular) con incentivos (créditos de impuestos u otras medidas fiscales) para la compra y el reemplazo de vehículos más eficientes hacia las personas individuales, fomentará la renovación de la flota vehicular, la venta de vehículos híbridos y eléctricos promoverá las instalaciones de puntos de carga para vehículos eléctricos y sensibilizará al público para la adopción de vehículos más limpios.

La eficiencia de combustible de vehículos puede ser mejorada significativamente y las emisiones de GEI pueden reducirse por medio de tecnologías diversas que ya existen. Para vehículos de carretera, estas tecnologías incluyen la reducción del arrastre aerodinámico y la resistencia de rodadura, motores eficientes incluyendo turbo-carga, híbridos, transmisión mejorada, sistemas de encendido-apagado, ralentí del motor, entre otros. También hay oportunidades de mitigación en el cambio de combustibles de más bajo carbono. Los vehículos híbridos de enchufe y los eléctricos reducen las emisiones, particularmente si se cargan cuando la carga de la red eléctrica es baja.

En países desarrollados, las tasas de registro vehicular se perciben anualmente (o dos veces al año). Las tasas de registro pueden cargarse de acuerdo con el tipo de vehículo (automóvil, motocicleta o vehículo comercial), año de fabricación, tamaño y tipo de combustible consumido. También se puede aplicar un impuesto de venta sobre todos los vehículos comprados. Estos impuestos pueden ser utilizados para estimular la compra de vehículos más nuevos y limpios. El consumo eficiente y óptimo de hidrocarburos en la flota vehicular se presenta como una medida de transición, ya que lo que se busca es eliminar los hidrocarburos como una fuente de energía en el sector transporte.

Las metas de esta opción incluyen para 2028, que todos los vehículos en el país cumplan con la norma para calidad del aire Euro 4 y los niveles de emisiones de GEI correspondientes, y 15% de la flota vehicular utilice carros eléctricos; para 2030, instalar puntos de carga para vehículos eléctricos a un nivel que represente 18% de la flota vehicular; para 2050, instalar puntos de carga para vehículos eléctricos a un nivel que represente 30% de la flota vehicular.

T - 6. Promover el uso de etanol en gasolina

Esta opción visualiza la implementación de un programa para promover el uso de etanol avanzado en la gasolina en Guatemala. Para ser considerado como etanol avanzado, debe certificarse que puede reducir por lo menos 70% de gases de efecto invernadero en su ciclo de vida, comparado con combustibles derivados del petróleo. Ese programa combinará medidas reguladoras tales como una nueva ley para reducir emisiones en carros que usen gasolina.

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (MEM), Guatemala tiene una capacidad de 65 millones de galones de etanol, del cual 80% es exportado y el restante 20% es utilizado para bebidas alcohólicas en el país. El etanol se produce a partir de las melazas, un coproducto de la producción de azúcar. Guatemala tiene actualmente la capacidad de producción para abastecer el mercado nacional de etanol con biocombustible en una mezcla de E10 (10% etanol y 90% gasolina).

En 2015, MEM (con el apoyo de la Organización de Estados Americanos) realizó un plan piloto con 25 vehículos y 5 motocicletas representativos de la flota vehicular utilizando mezclas de etanol E5 (5% etanol y 95% gasolina), E7 (7% etanol y 93% gasolina) y E10 (10% etanol y 90% gasolina). Los resultados mostraron que las emisiones en el tubo de escape disminuyeron, la de mayor impacto fue la reducción de monóxido de carbono (CO) con un promedio de reducción de 79%. Al utilizar E10 se encontró que el combustible combinado mejoró el poder y torque del motor de acuerdo con los exámenes realizados. No hubo variación significativa en la eficiencia de combustible por kilómetro, no hubo falla mecánica o en la operación del motor relacionadas con el uso de las mezclas.

El uso de la mezcla hasta la E10 no requiere modificación del motor de los vehículos de carretera existentes o modificaciones en la infraestructura para transportar, almacenar y expedir gasolina en el país. Esta opción puede convertirse en una oportunidad clave para el desarrollo económico, así como tener un impacto positivo en la independencia de energía, el ambiente y la salud de la población.

La meta de esta opción es actualizar la legislación actual para facilitar la introducción del uso de etanol avanzado en gasolinas regular y superiores (hasta una mezcla de E10) como una de las medidas para energía limpia en el sector transporte. En específico, para 2020, todos los vehículos de gasolina en el país usarán la mezcla E10.

U - 1. Establecer un componente de uso urbano de la tierra en la Política Nacional de Desarrollo Urbano

Esta opción de mitigación está relacionada con la definición de un grupo de parámetros e instrumentos de desarrollo urbano que permitirán manejar los procesos de urbanización de ciudades intermedias, bajo un modelo sostenible y bajo en carbono. Las herramientas propuestas integrarán la Política Nacional de Desarrollo Urbano, actualmente en proceso de formulación por el Vice-Ministerio de Vivienda. La adopción de la opción a través de un Acuerdo Gubernativo brindará a estos criterios un carácter vinculante para la formulación de planes de desarrollo urbano a nivel local.

La densidad urbana es uno de los factores que más influye en la demanda de energía de transporte de pasajeros y sus emisiones de GEI. Una densidad urbana menor está asociada con mayor demanda de energía para transporte, porque se usa más el carro y los viajes son más largos. Además, una baja densidad también está asociada con mayor demanda de energía para servicios tales como electricidad, drenaje y agua potable. Las ciudades compactas con menores distancias de desplazamiento de la población para la realización de sus actividades y con un sistema de transporte público eficiente, contribuyen a que la demanda para el transporte individual sea menor que en ciudades extensas. Los efectos de estas medidas pueden ser acelerados en las áreas de crecimiento y pueden contribuir a la reducción de emisiones futuras, por ejemplo, al reducir la apertura de tierra en áreas discontinuas lejos de los límites actuales de la ciudad y fuentes de empleo. Estas opciones deben llevarse a cabo de manera coordinada con las opciones de prestación de viviendas y articuladas con los desarrolladores de bienes raíces, de tal manera que las regulaciones establecidas favorezcan el desarrollo de ciudades compactas, pero no restrinjan el acceso a tierra y vivienda de los estratos de menor ingreso. Finalmente, las ciudades compactas no solo se relacionan con ahorros de energía en el transporte, pero también con una menor demanda de energía por unidad de área construida y ahorros en la prestación de servicios urbanos.

Debido a la aceleración del proceso de transición urbano-rural, las ciudades intermedias del departamento de Guatemala están atravesando un momento clave de su historia para considerarse ciudades verdes, resilientes y justas. Para regular el crecimiento del área de ampliación y un modelo más denso, es necesario definir un grupo de parámetros nacionales que puedan ser aplicados a niveles metropolitano y local en el marco del desarrollo urbano y la planificación territorial.

La meta de esta opción es favorecer modelos de crecimiento urbano o de re-organización urbana más compactos y policéntricos, desarrollar patrones de urbanización de bajo impacto, con cargas y beneficios para los desarrolladores, ordenar la expansión urbana y el nuevo crecimiento en contigüidad con las áreas consolidadas para garantizar el mantenimiento adecuado para el futuro de las áreas construidas, e incorporar evaluación ambiental estratégica en los procesos de planificación urbana. De 2030 a 2050, la meta es reducir 30% del crecimiento de área urbana de las 9 ciudades urbanizadas priorizadas en la Agenda Urbana de Guatemala, en comparación con las estimaciones de crecimiento actual de estas ciudades. La reducción de la expansión urbana descontrolada en las 9 ciudades tendrá implicaciones directas en la reducción de los KVV esperados en esas aglomeraciones en un escenario de actividad normal *BAU*.

U - 2. Plan de movilidad urbana sostenible para Ciudad de Guatemala

Esta opción de mitigación se refiere a la formulación de un plan de movilidad sostenible para el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala (AMCG) que enmarque las acciones de transporte y desarrollo urbano de la Ciudad de Guatemala. El plan articula las soluciones del transporte público con

transporte vehicular, movilidad no motorizada y el modelo de desarrollo urbano de la ciudad entendido como un área metropolitana, destacando el desarrollo de paradas como centros de vecindario.

El papel de la movilidad sostenible en la planificación urbana promueve el desarrollo de corredores de vivienda y comerciales vinculados con nodos de transporte, buscando promover formas alternativas de movilidad (caminar y pedalear) y reducir el número de kilómetros viajados, la contaminación del aire y las emisiones. Las acciones prioritarias tienen una naturaleza y foco estructural en la red vial y los espacios públicos para reducir la intensidad de tráfico privado de vehículos motorizados, la promoción de transporte público y los modos activos de movilidad (peatón y ciclista).

El objetivo principal es conceptualizar un plan de movilidad sostenible del AMCG que incluya opciones, medidas reguladoras, reglamentaciones, incentivos y proyectos de inversión relacionados con el desarrollo y la promoción de transporte público y modos no motorizados, combinado con medidas de gestión de demanda de viajes y uso del suelo, las cuales puedan posibilitar reducir las emisiones de GEI del sector y que estén armonizadas con las prioridades y proyecciones de manejo urbano, socioeconómico y ambiental de la ciudad.

Las metas del diseño de esta opción son reorganizar la movilidad metropolitana urbana y desarrollar planes y regulaciones de movilidad sostenible que regulen todos los modos de transporte, siempre dando prioridad a los peatones y ciclistas, mejorar las condiciones de seguridad del transporte público a través de mejor alumbrado, vigilancia pública, incorporación de tecnología y vagones separados para usuarios vulnerables, crear o adaptar estaciones o paradas de transporte público como centros de vecindario en el marco del desarrollo metropolitano urbano. Para 2030, la meta es reducir en 20% la incidencia de carros privados en la movilidad metropolitana comparado con las tendencias actuales proyectadas, y para 2050, reducir la incidencia de carros privados en 56% en la movilidad metropolitana comparada con tendencias actuales proyectadas.

3. Resultados directos a nivel de opción y sector (Energía, recursos, GEI, costos y ahorros)

El Cuadro VI.C-1 a continuación proporciona un resumen de los resultados de los análisis microeconómicos realizados para cada una de las opciones T así como para U-1 y U-2. Los valores negativos se muestran en rojo (por ejemplo, las emisiones de GEI por debajo de los niveles de línea base), mientras que los valores positivos se muestran en negro (por ejemplo, costos netos de implementación que están por encima de los costos de actividad normal “*business as usual*”). Estos resultados se muestran de forma independiente, lo que quiere decir que fueron evaluados contra las condiciones de actividad normal *BAU* suponiendo que ninguna otra opción sea implementada. **Si todos los impactos se suman, estos resultados individuales sugieren que las reducciones anuales de GEI en el país para 2050 serían de 3.0 TgCO₂e y las reducciones acumuladas para 2019-2050 serían de 68 TgCO₂e.** Hay también algunas reducciones de GEI que ocurren en las emisiones fuera del país para las opciones del sector T como resultado de menor demanda por combustibles fósiles. Se supone que las reducciones de GEI por suministros de combustible fósil ocurren fuera de Guatemala. Estas reducciones adicionales resultan en un impacto total de reducciones de GEI acumuladas de 85 TgCO₂e.

Si todos los resultados de los impactos individuales se suman, se estima que el valor actual neto (VAN) de los ahorros directos de implementación para la sociedad es más de Q28 mil millones (en Q de 2018; US\$3,680 millones). Los costos de implementación para el grupo de opciones son impulsados por el alto ahorro para la sociedad de U-1, el cual por sí mismo ahorró más de Q31 mil millones (US\$4,078 millones), mientras que las otras opciones tienen costos netos que son menores por su orden de magnitud, y las cuales combinadas alcanzan un costo neto de

aproximadamente Q3 mil millones juntos (US\$ 395 millones). Estos ahorros resultan de la prevención de costos por la construcción de nueva infraestructura pública para servir al crecimiento descontrolado mientras que una forma de planificación más densa se afianza durante el periodo de planificación de la EDBE. T-1 y T-5, que tienen que ver con la implementación de la línea ferroviaria ligera planificada para Ciudad de Guatemala y con la necesidad de desempeño con mayor eficiencia y calidad del aire de los vehículos ligeros, también proyectan generar ahorros netos, mientras que se proyecta que las opciones restantes (tránsito de buses, construcción de libramientos, implementación del etanol y movilidad urbana) cuesten más de lo que van a ahorrar en el periodo de la planificación. **La rentabilidad estimada de todas las opciones T es -331Q/tCO₂e (en Q de 2018; -US\$43.55/tCO₂e).**

Cuadro VI.C-1. Impactos directos individuales para el sector T (incluyendo U-1/U-2)

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país		Impactos totales de GEI		Costo directo (Año base en Q de 2018)	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados 2019-2050	Acumulados 2019-2050	VAN 2019-2050	Rentabilidad
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	QMillones	Q/tCO ₂ e
T-1.	Construir la ruta de tren ligero del metroriel en Ciudad de Guatemala	(0.0072)	(0.013)	(0.15)	(0.30)	-Q753	-Q2.505
T-2.	Modernizar la flota privada de buses suburbanos/extra-urbanos	(0.19)	(0.34)	(8.6)	(11)	Q1,527	Q144
T-3.	Mejorar el tránsito regular, actualizar la flota y ampliar el BRT en Ciudad de Guatemala	(0.019)	(0.020)	(0.54)	(0.67)	Q2,118	Q3,171
T-4.	Construcción de libramientos de carretera alrededor de Chimaltenango y Barberena	(0.00063)	(0.0050)	(0.23)	(0.28)	Q666	Q2,383
T-5.	Modernizar la flota vehicular privada de servicio liviano	(0.22)	(0.26)	(4.9)	(6.7)	-Q4,101	-Q613
T-6.	Promover el uso de etanol en gasolina	(0.20)	(0.21)	(6.2)	(7.0)	Q2,208	Q314
U-1.	Establecer un componente de uso urbano de tierra en la Política Nacional de Desarrollo Urbano	(1.5)	(1.6)	(40)	(50)	-Q31,395	-Q625
U-2.	Plan de Movilidad Urbana Sostenible para Ciudad de Guatemala	(0.13)	(0.45)	(6.6)	(8.2)	Q1,664	Q202
Total		(2.3)	(3.0)	(68)	(85)	-Q28,065	-Q331

US\$ 1.00 =Q. 7.60

Los resultados del resumen arriba citado se presentaron con base en el análisis independiente. Esto significa que se analizó cada opción de forma independiente contra las condiciones de actividad normal *BAU* (eso es, suponiendo que fuera la única opción que sea implementada). Estos resultados no reflejan traslapes u otras interacciones identificados con otras opciones. Los resultados que se ajustaron para tomar en consideración los traslapes / interacciones en este sector se brindan en el siguiente cuadro.

El Cuadro VI.C-2 proporciona un resumen de impactos directos con ajustes hechos para tomar en cuenta interacciones o traslapes entre las opciones en el sector T. Estos resultados proporcionan un panorama más preciso de los impactos de la opción de la EDBE si todas las opciones se implementan como fueron diseñadas. El sector transporte produce típicamente opciones que se influyen una a la otra de varias formas. Las opciones que reducen la demanda total de viajes (tales como U-1 y U-2, y también las opciones de tránsito T-1 a T-3) disminuirán las emisiones de GEI de la línea base contra todas las otras opciones de transporte que están trabajando. De la misma manera, las opciones que buscan fomentar el uso de combustibles más limpios (en este caso, T-6 y en menor medida, T-5 con su componente de vehículo eléctrico) también disminuirán las emisiones de línea base contra otras opciones que producen ganancias (y probablemente reducen el potencial de reducción de emisiones de esas opciones también). Las opciones que mejoran la eficiencia del vehículo (T-5 en este caso) cambiarán los perfiles de las emisiones de las opciones que buscan sacar a las personas de los carros (tales como U-1 y U-2, y también las opciones de tránsito T-1 a T-3), y también cambiarán la cantidad de combustibles alternativos demandados (en T-6). Sin embargo, no todas las opciones interactúan: una opción que cambia el comportamiento de viaje intra-urbano puede no tener efecto alguno en viajes entre ciudades o internacional. Una opción que afecta vehículos comerciales y una opción que afecta viajes personales probablemente no interactúen entre ellas.

Como se muestra en el Cuadro VI.C-2, **las reducciones de GEI integradas inter-sectoriales en el país para 2050 aún son de aproximadamente 3.0 TgCO_{2e} (las reducciones acumuladas de 2019-2050 casi no tienen cambios, 84 TgCO_{2e})**. Este es el resultado de compensar cambios de la integración. La mayoría de las opciones es reducida en cuanto a su efectividad (provocando una reducción del 5% en efectividad en todo el sector), mientras que T-1 es realmente más fuerte por la implementación de otras opciones. Esa ganancia en la fuerza de la opción casi compensa totalmente las reducciones en impacto de las otras opciones, y como consecuencia, los resultados integrados son muy similares a la suma de los resultados individuales. **Los ahorros totales para la sociedad aún son significativos con más de -Q27.5 mil millones (-US\$ 3,600 millones). La rentabilidad estimada de todas las opciones T es -328Q/tCO_{2e} (en Q de 2018; -US\$4316/tCO_{2e}).**

Cuadro VI.C-2. Impactos directos intra-sectoriales integrados para el sector T

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país			Impactos totales de GEI	Costo directo (Año base en Q de 2018)	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados 2019-2050	Acumulados 2019-2050	VAN 2019-2050	Rentabilidad
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	QMillones	Q/tCO ₂ e
T-1.	Construir la ruta de tren ligero del metroriel en Ciudad de Guatemala	(0.0044)	(0.015)	(0.15)	(0.27)	-Q526	-Q1,964
T-2.	Modernizar la flota privada de buses suburbanos/extra-urbanos	(0.19)	(0.34)	(8.6)	(11)	Q1,527	Q144
T-3.	Mejorar el tránsito regular, actualizar la flota y ampliar el BRT en Ciudad de Guatemala	(0.019)	(0.020)	(0.54)	(0.67)	Q2,118	Q3,171
T-4.	Construcción de libramientos de carretera alrededor de Chimaltenango y Barberena	(0.023)	(0.035)	(0.93)	(1.1)	Q61	Q54
T-5.	Modernizar la flota vehicular privada de servicio liviano	(0.20)	(0.24)	(4.5)	(6.0)	-Q4,007	-Q671
T-6.	Promover el uso de etanol en gasolina	(0.11)	(0.13)	(4.2)	(4.8)	Q1,576	Q331
U-1.	Establecer un componente de uso urbano de tierra en la Política Nacional de Desarrollo Urbano	(1.4)	(1.6)	(40)	(49)	-Q30,859	-Q626
U-2.	Plan de Movilidad Urbana Sostenible para Ciudad de Guatemala	(0.079)	(0.35)	(4.8)	(6.1)	Q2,654	Q435
Total después de interacciones/traslapes intra-sectoriales		(2.2)	(3.0)	(69)	(84)	-Q27,455	-Q328

US\$ 1.00 = Q.7.60

Los resultados mostrados en este cuadro se han ajustado para traslapes u otras interacciones entre las opciones en este sector. Ver las notas junto a cada grupo de resultados de la opción para una descripción de los traslapes / interacciones que fueron identificados y abordados.

T-1: La flota más eficiente de carros (gracias a T-5) y el uso de petróleo mezclado con etanol (gracias a T-6) cambian las emisiones de carros en la línea base y en el escenario de implementación de una opción. Se reducen los ahorros en petróleo en esta opción por los cambios en T-5 y T-6.

T-2: Esta opción no es influenciada significativamente por otras opciones en el transporte o sectores urbanos. Esta opción trata con otros tipos de vehículos y viajes que las otras opciones. Tampoco cambia el volumen de viajes, solo la eficiencia del bus.

T-3: Esta opción no es influenciada significativamente por otras opciones en el transporte o sectores urbanos. Esta opción trata con otros tipos de vehículos y viajes que las otras opciones. Tampoco cambia el volumen de viajes, solo la eficiencia del bus.

T-4: La flota más eficiente de carros (gracias a T-5) y el uso de petróleo mezclado con etanol (gracias a T-6) cambian las emisiones de carros en la línea base y en el escenario de implementación de una opción. Los ahorros de petróleo crecen un poco en esta opción por los cambios en T-5 y T-6. Pero estas entregas facilitan diferentes viajes de aquellos afectados por U-1 y U-2 y, aunque U-1 y U-2 son opciones fuertes, no se espera una interacción con T-5.

T-5: Los impactos de esta opción se cambian por el impacto de incluir etanol en el combustible y por las reducciones de demanda para viajes gracias a U-1 y U-2 y un poco por T-1. La línea base de viajes, KVV, uso de energía y emisiones disminuye gracias a U-1 y U-2, y las emisiones por km también disminuyen. El impacto de la opción (que mejora la eficiencia por un porcentaje) es más pequeño.

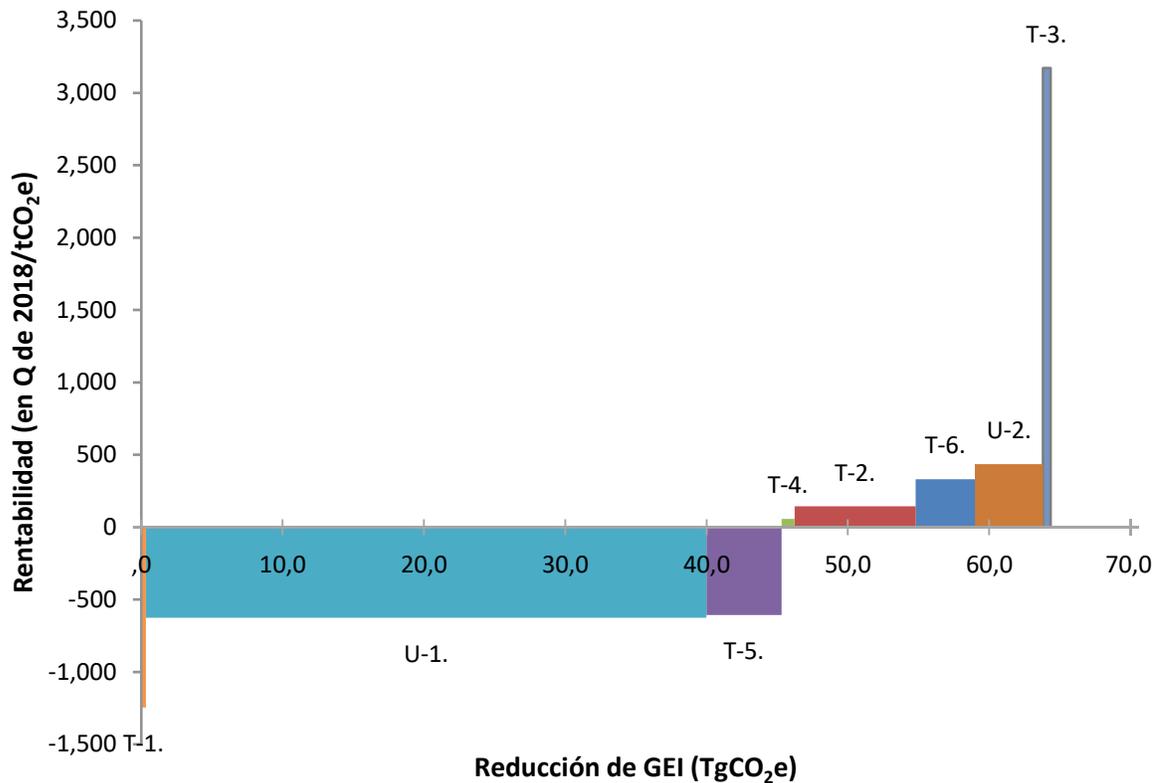
T-6: Esta opción resiente el impacto de vehículos más eficientes (gracias a T-5) y al volumen reducido de viaje (gracias a U-1 y U-2, un poco a T-1). El volumen total de demanda por combustible se reduce y, luego el impacto de mezclar etanol al 10% es más pequeño.

U-1: La línea base y el escenario de la opción disminuyen en emisiones gracias a una mejor eficiencia vehicular y la mezcla de etanol en el combustible (gracias a T-5 y T-6). Esta opción comienza con emisiones más bajas que la línea base y su reducción (medida como un porcentaje de la línea base) es menos importante.

U-2: Esta opción espera que el impacto de U-1 (reducir la expansión urbana descontrolada en general) sea clave para alcanzar grandes reducciones aquí en U-2 y, luego el impacto de U-2 se considera como representativo del impacto combinado de U-1 y U-2 en Ciudad de Guatemala.

La Figura VI.C-2 es la MACC para el sector transporte. La curva de costo traza las reducciones acumuladas de emisiones (2019-2050) para cada opción en el orden de más a menos rentable. Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”) presentados en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6). Si todas las opciones se implementan totalmente, se estima que las reducciones acumuladas son cerca de 64 TgCO₂e. Se espera que las opciones con valores negativos para CE resulten en ahorros netos para la sociedad.

Figura VI.C-2. MACC de GEI acumulados del sector Transporte 2019 – 2050

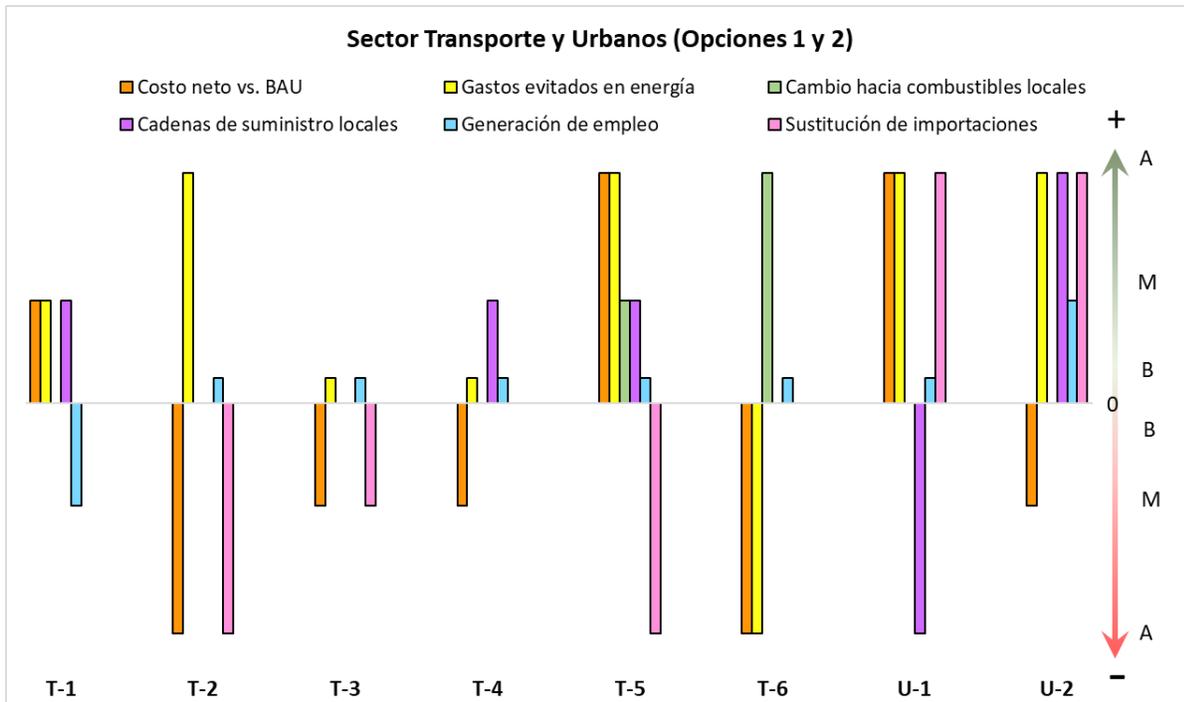


Nota: Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”). Estos resultados se presentan en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6).

4. Desempeño macroeconómico a nivel de opción y de sector

La Figura VI.C-3 a continuación resume los resultados de la evaluación macroeconómica de las opciones T y U-1 y U-2. Se muestran estos resultados de forma independiente, lo que significa que se evaluaron contra condiciones de actividad normal de forma aislada, i.e. sin considerar influencias que pudieran deberse a la implementación de otras opciones.

Figura VI.C-3. Evaluación de impacto macroeconómico de las opciones T-1 – T-6, U-1 & U-2 (Transporte)



Como se muestra en la gráfica anterior, las opciones descritas en el sector T presentan perfiles de evaluación económico y de impacto muy diferentes. Estas opciones son muy diversas, van desde la ampliación del tránsito a las actualizaciones de flotas al cambio de combustible para cambios en uso de la tierra urbanos, así que no sorprende que los impactos en la economía más amplia sean también bastante diversos. Entre esas ocho opciones hay un par de opciones que se enfocan en temas similares y, considerando la evaluación macroeconómica a la luz de esas similitudes, es una forma útil para comprender lo que los resultados muestran.

Las opciones T-5 y T-6 tratan con el aspecto más familiar de cualquier sistema de transporte: carros y la energía que utilizan. T-5 se concentra en solicitar que los vehículos en Guatemala atiendan los estándares de eficiencia y de calidad de aire, mientras que T-6 se concentra en desviar el etanol actualmente producido para exportación para usarlo en carros y camiones locales como parte de una mezcla con gasolina. **T-5 presenta un grupo de observaciones positivas de factores que están estadísticamente asociados con el crecimiento del PIB y del empleo**— la reducción en el uso de energía y la reducción en importaciones de energía más que compensar los costos más altos de vehículos esperados y se espera que el gasto para ampliar la infraestructura de carga de vehículos eléctricos sea estimulante porque la mayoría de ese gasto se concentrará en construcción, la cual es local en lugar de un grupo importada de bienes y servicios. **T-6 presenta un cambio muy positivo de los combustibles importados al abastecimiento nacional**— el cambio más significativo de las 43 opciones consideradas en esta evaluación— pero el precio ligeramente más alto produce

un aumento en el gasto en el conjunto de la economía en energía, la cual es una expresión negativa del factor que se busca (el de ahorros en el gasto de energía). Sin embargo, el potencial para etanol producido localmente para atenuar los choques económicos de subidas y descensos de precios del petróleo no se ha medido con los factores establecidos, entre otros beneficios estratégicos asociados con el hecho de confiar en la energía producida nacionalmente.

Las opciones T-2 y T-3 tratan con la actualización de flotas de buses grandes para pasajeros que operan en y alrededor de las grandes ciudades de Guatemala. T-2 se concentra en flota de buses privados usados para viajes más largos, mientras que T-3 se concentra en la flota de buses municipales utilizados para el servicio de tránsito urbano en la Ciudad de Guatemala. Ambos presentan perfiles similares— se observan los mismos factores y en las mismas direcciones— pero el tamaño de los impactos es diferente. **T-2 (enfocada a buses privados) tiene un mayor costo general, aunque también ahorre más energía como resultado. Los costos involucrados se gastan en importaciones, lo cual es motivo de preocupación con respecto al impacto de la opción en la economía general, pero el gasto administrativo en trabajo y los ahorros de energía alcanzados a través de mayor eficiencia de buses ofrecen compensar estímulos económicos positivos. T-3 tiene el mismo patrón, pero a menor escala:** ahorros de energía modestos y algunos gastos en administración son positivos, pero el costo de los buses y la necesidad de importarlos produce una señal negativa con respecto al crecimiento de las importaciones y un costo neto mayor que los ahorros que puede generar la opción.

U-1 y U-2 tienen que ver con diseños urbanos que mejoran la densidad y reducen el volumen de expansión suburbana descontrolada. Ambas opciones buscan reducir necesidades de energía de transporte relacionados con vivir en y alrededor de ciudades, lo cual por consiguiente reduce el volumen de compras de combustible importado necesario para movilizar ese transporte. Los ahorros de energía **y las reducciones de importación están asociados de forma positiva con ganancias en el PIB. También involucran algún trabajo administrativo, el cual es un trabajo intenso y asociado de forma positiva con las ganancias de empleo en el conjunto de la economía.** Difieren en si la opción busca despertar construcción significativa (como lo hace U-2 – esto estimula a los sectores locales, pero también tiene un costo en la economía en general) o reduce el volumen esperado de construcción, específicamente en carreteras (como se espera en U-1, lo cual reduce la actividad en el sector de construcción, pero produce ahorros en la economía en general). **Su factor común es el ahorro significativo en uso de combustible para auto, lo cual tiene beneficios inmensurables en tiempo ahorrado, calidad del aire mejorada y beneficios en la salud como resultado.**

T-4 se concentra en la construcción de los libramientos para reducir la congestión. La actividad de construcción y la administración de gobierno son costosas, pero involucran **gastos en construcción y trabajo— ambos asociados de forma positiva con crecimiento en el PIB y el empleo en el conjunto de la economía.** Los ahorros netos de energía son menores al volumen de viajes adicionales atraídos por las nuevas carreteras que fluyen libremente.

T-1 se concentra en la construcción de una línea de trenes ligera a través de Ciudad de Guatemala. Como se proyecta, la línea produciría a la larga ahorros netos en el costo de transporte de energía con base en el conjunto de la economía (la electricidad necesaria para mover los trenes costaría menos que los ahorros en combustible de motor ahorrado ya que las personas cambiarían de viajes en carro a tránsito), y el proyecto conduciría sus gastos principalmente a construcción. **Ambos cambios— ahorros de energía y estímulo a los sectores productivos locales— están asociados de forma positiva con ganancias en PIB. Los costos generales de la opción caen por debajo de los ahorros esperados de su implementación, lo cual es un signo positivo también. Sin embargo, se espera que el sector de la economía relacionado con el mantenimiento y reparaciones de carros, un sector que es intenso en trabajo, crezca menos de lo que debería en el escenario que**

no existiera opción. Esta es una observación negativa de un factor – lo opuesto a lo que sería estar asociado con el crecimiento de empleo.

D. AGRICULTURA Y GANADERÍA

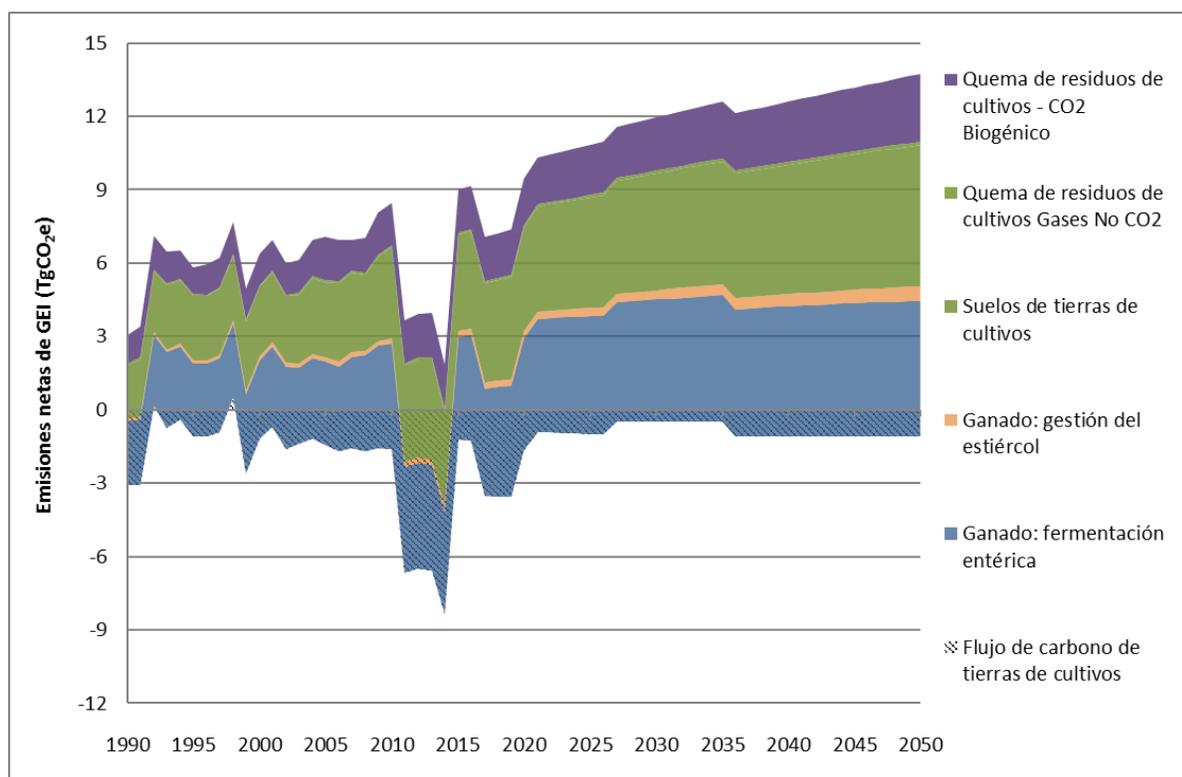
I. Sinopsis del sector

El sector agricultura incluye los subsectores de agricultura (AG), que se refiere a la producción de cultivos y de ganadería (GAN) (en particular, ganado bovino, cerdos y aves de corral). Las emisiones de GEI abordadas en el informe de la línea base de la EDBE en el Anexo B cubren “emisiones no energéticas”. Debido a la disponibilidad de información sobre usos finales específicos, las emisiones por quema de combustibles de prácticas agrícolas, incluyendo combustibles fósiles para mover equipo de cultivo, están incluidas como parte de las estimaciones de consumo de combustibles de los sectores RCI o transporte y no pueden desglosarse. Por lo tanto, las emisiones de GEI reportadas en el sector AG+GAN son principalmente emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) no energéticas de ganado y producción de cultivos. Además, las emisiones y sumideros de dióxido de carbono (CO₂) en suelos agrícolas y cultivos permanentes son parte de este sector. Las estimaciones de secuestro de carbono en la biomasa de cultivos permanentes se realizaron e incluyeron en la línea base de la EDBE; sin embargo, falta información para abordar el secuestro de carbono en suelos de cultivos.

Las fuentes y sumideros de GEI primarios no energéticos para ganadería y producción de cultivos se detallan así: ganadería (emisiones de CH₄ de fermentación entérica); ganadería – manejo del estiércol (emisiones de CH₄ y N₂O del almacenamiento y tratamiento de estiércol de ganado); producción de cultivos, suelos agrícolas (la aplicación de fertilizante nitrogenado produce emisiones de N₂O); suelos de cultivos (otras adiciones de nitrógeno producen emisiones de N₂O incluyendo descomposición de residuos de cultivos y cultivos que fijan nitrógeno de la atmósfera); producción de cultivos – quema de residuos (emisiones de CH₄ y N₂O); carbono de tierras de cultivo - cultivos perennes leñosos (CO₂ es capturado y almacenado en cultivos perennes leñosos tales como hule, café, palma de aceite, y árboles frutales y de nueces).

La Figura VI.D-1 a continuación proporciona un resumen de la línea base de la EDBE para el sector AG+GAN. Este resumen se muestra con base a resultados netos, lo que significa que se incluyen emisiones y sumideros de GEI. **Los contribuyentes clave incluyen la fermentación entérica (emisiones de metano de los sistemas digestivos del ganado, principalmente bovino), suelos de tierras de cultivos (emisiones de óxido nitroso de adiciones de nitrógeno a los suelos, incluyendo fertilizantes químicos), y quema de residuos de cultivos.** Se espera que las emisiones del sector crezcan de menos de 3 TgCO₂e en 2015 a casi 14 TgCO₂e para 2050. Como se notó anteriormente, debido a la falta de información detallada sobre el uso de combustible, el consumo de energía durante el aprovechamiento y ganadería no se muestran en el resumen (estas se incluyen en las estimaciones de consumo total de los sectores RCI y T). Los impulsores clave en emisiones futuras son el crecimiento esperado en ganadería (en particular, emisiones de CH₄ de fermentación entérica en ganado) y producción de cultivos, incluyendo la quema de residuos de cultivos). Esta expansión de la base agrícola es un cambio dirigido por una población creciente con mayor ingreso en el tiempo (lo cual a menudo cambia la dieta hacia una producción más intensiva en GEI).

Figura VI.D-1. Línea base neta de GEI para el sector AG+GAN



2. Resumen de las opciones de la EDBE para Guatemala en Agricultura y Ganadería

Hay siete opciones AG+GAN: las primeras cuatro abordan el subsector de producción de cultivos (AG), mientras que las tres restantes abordan el subsector de ganadería (GAN). Se proporcionan más detalles en el Anexo G.

AG-1. Manejo sostenible de suelos

El manejo sostenible de suelos en esta opción aborda prácticas relacionadas al manejo, conservación y restauración de suelos, así como la eliminación de quemas de residuos de cultivos. El suelo es uno de los sumideros de carbono más importantes en los ecosistemas terrestres, incluyendo la tierra dedicada a varios cultivos. Una fuente significativa de pérdida de carbono del suelo es la erosión hídrica, ya que las capas más expuestas a este fenómeno son las superiores, las cuales tienen el contenido de carbono más alto. La gestión del suelo también incluye el manejo de la fertilización y hay ciertas prácticas que abordan ambos objetivos. Se abordan los enfoques para el manejo de los nutrientes de forma separada en AG-4. Evitar la erosión del suelo y facilitar su recuperación también contribuyen a mantener su fertilidad natural, la cual genera beneficios para los productores. También, reduciendo la erosión, los sedimentos que llegan a los cuerpos de agua disminuyen, lo cual mejora la calidad del agua y reduce el riesgo de desbordamiento de ríos. Por lo tanto, esta opción contribuye a la adaptación al cambio climático además de hacer contribuciones en la mitigación.

A través de la reducción de quema de residuos de cultivos en el campo, algo del carbono contenido en esta biomasa se incorporará en el suelo, lo cual puede entonces incrementar los niveles de carbono del suelo (indirectamente capturando carbono de la atmósfera). También, al reducir la quema de residuos de cultivos, las emisiones de CH₄ y N₂O se reducen.

Los objetivos generales de la opción son que, para el año 2030, por lo menos 400,000 hectáreas estén bajo la implementación de algunas de las prácticas de conservación del suelo y que haya 1,000,000 de hectáreas implementando estas prácticas para 2050. La línea base de la EDBE indica un total de aproximadamente 2,500,000 ha de cultivos que podrían cubrirse con esta opción de mitigación para 2050. Por lo tanto, estos objetivos abordarían 40% del área total. **Los objetivos para una quema reducida de residuos de cultivos son una reducción de 30% de los niveles de actividad normal *BAU* para 2030 y una reducción de 50% para 2050.** Para evaluar los impactos del manejo del carbono del suelo, se asume una combinación de implementación de prácticas de labranza reducida y el uso de rotación de cultivos con cultivos de cobertura.

AG-2. Establecimiento y mejora de sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales pueden ser fuentes o sumideros de gases de efecto invernadero, dependiendo de los usos (árboles, cultivos, cobertura en potreros o áreas de pastoreo), así como de la forma en la cual son establecidos. La selección de prácticas para el establecimiento y manejo de los sistemas agroforestales (SAF) influye el flujo espacial y temporal (emisiones o captura) de las reservas de carbono y nitrógeno en el suelo y la vegetación. Los sistemas agroforestales pueden establecerse y manejarse para incrementar la captura de CO₂ en plantas y suelos, para proporcionar beneficios de nitrógeno del suelo y generar otros beneficios.

Las prácticas que más se han utilizado y que han sido más aceptadas en Guatemala por sus beneficios o servicios son:

- Cultivos en callejones, estos incluyen el uso de árboles para formar filas entre callejones usados generalmente para cultivos anuales. Son usados principalmente para mejorar el suelo (p.ej. fijación de nitrógeno, producción y uso de materia orgánica) y / o reducir su pérdida; son utilizados principalmente en áreas con alta vulnerabilidad a erosión hídrica.
- En el área del corredor seco y específicamente en las municipalidades de Jocotán y Camotán en el departamento de Chiquimula, se ha promovido el uso del sistema llamado Kuxu rum, el cual consiste en un sistema que combina la siembra de cultivos de granos básicos en asociación con madrecaao (*Gliricidia sepium*), este sistema ayuda a mantener la humedad y restaura la fertilidad del suelo en tierras de laderas y sin riego.
- Árboles en línea alrededor de parcelas agrícolas tales como cercas vivas o rompevientos, esta última modalidad ayuda a proteger el suelo en áreas con vulnerabilidad alta a la erosión eólica.
- Árboles de sombra, en plantaciones de cultivos permanentes tales como café, cardamomo y cacao; pueden incluir especies maderables y especies que proporcionen sombra, fijación de nitrógeno y producción de materia orgánica (en estos dos cultivos se promueve el uso de las especies Inga).

Los objetivos para la opción son que para 2030, se han establecido 131,000 hectáreas, y para 2050, se han establecido 220,000 hectáreas en áreas de cultivos anuales y perennes bajo el enfoque de sistemas agroforestales en áreas con potencial nacional. Para propósitos del análisis

de impactos, se consideró la implementación de sistemas agroforestales en dos categorías de cultivos: árboles de sombra en café, cardamomo y cacao y como cultivos en callejones, cercas vivas o cortinas rompevientos en áreas de cultivos anuales.

AG-3. Establecimiento de plantaciones frutales

Dependiendo del uso del suelo de actividad normal *BAU*, las plantaciones de especies frutales maderables tienen el potencial de secuestrar carbono de la atmósfera y almacenar biomasa por arriba y por debajo del suelo. Las ganancias en niveles de carbono del suelo y mejoras en la humedad y fertilidad del suelo también son posibles. En este sentido, se prevé la implementación de esta opción para incrementar los sumideros de CO₂ así como para generar co-beneficios, incluyendo ingresos de la granja.

Es importante indicar que el área propuesta en esta opción corresponde al área que se reporta en el mapa "Áreas apropiadas para el desarrollo de cultivos frutales de los climas tropical y templado", el cual fue preparado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación en 2015. Esta área es a nivel nacional y es usada actualmente para los cultivos agrícolas tradicionales (especialmente granos básicos) y cultivos no tradicionales (tales como caña de azúcar, banano y otros). La opción no debería implementarse en formas que resulte en una conversión de áreas forestales a plantaciones frutales, ya que eso produciría probablemente emisiones netas de GEI.

Las metas para esta opción son establecer por lo menos 109,777 hectáreas de cultivos frutales para 2030 y 548,887 hectáreas para 2050. Para reducir el potencial por el cambio indirecto de uso de la tierra que pudiera ocurrir como resultado de la implementación de una opción (a saber tala de bosques para reemplazar producción perdida de granos u otros cultivos), la implementación de otras opciones de la EDBE (AG-1 y AG-4) es crítica. Las otras opciones de la EDBE pueden producir incrementos en rendimientos que podrían compensar la presión de convertir más tierra a la producción de cultivos.

AG-4. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados

Por lo menos 60% de las emisiones mundiales brutas de N₂O procede de suelos, como resultado de la acción microbiana en la transformación del amonio al nitrato (nitrificación) y de nitrato a amonio (desnitrificación). Por lo tanto, cualquier adición de nitrógeno al suelo, tal como fertilización nitrogenada (orgánica o mineral) o fijación de nitrógeno por plantas leguminosas, tiende a aumentar las emisiones de N₂O. El N₂O tiene cerca de 300 veces el potencial de calentamiento global del CO₂. Como se muestra en la línea base de la EDBE en el Anexo B, las emisiones de N₂O de las adiciones de nitrógeno a los suelos es uno de los contribuyentes más grandes del sector agricultura y ganadería.

Esta opción se enfoca principalmente en la mejora en la aplicación y uso de fertilizantes nitrogenados para que las aplicaciones generales de nitrógeno se reduzcan. La reducción de la aplicación de nitrógeno al suelo conducirá a niveles de emisiones de N₂O más bajos a la atmósfera. El nitrógeno es uno de los elementos que las plantas necesitan más para desarrollar y por eso es uno de los tres componentes básicos de los fertilizantes. Por lo tanto, no se propone evitar la fertilización, pero sí enfocarse en incrementar su eficiencia a través de la mejora de prácticas de aplicación. Una

actividad complementaria es la promoción del uso de cultivos de cobertura que incrementan la materia orgánica, reducen la erosión, regresan diversidad biológica al suelo y fijan nitrógeno (leguminosas).

Esta opción de mitigación está muy relacionada a la opción de manejo sostenible del suelo (AG-1) y hay actividades en ambas opciones que podrían ser las mismas (tales como el uso de cultivos de cobertura). **Las metas de esta opción son incrementar la eficiencia en el uso de fertilizantes nitrogenados en 20% para 2030 y 40% para 2050.**

GAN-1. Gestión del pasto mejorado a través de pastoreo rotacional

Esta opción apunta a reducir la degradación de pasturas, mejorar la productividad animal y, al mismo tiempo, contribuye a la reducción de emisiones de GEI que ocurren durante la producción de leche y carne. Los componentes de esta opción de mitigación son el establecimiento de pasturas mejoradas, incluyendo la asociación de pastos y leguminosas herbáceas y su uso bajo un sistema de pastoreo rotacional intensivo.

El pastoreo rotacional intensivo consiste en el uso de pasto (consumo directo por el ganado) en el punto de equilibrio entre la producción de materia seca y su calidad nutricional. Esto requiere la división del área de pastoreo en potreros pequeños que se utilizan a su capacidad de carga [unidad animal por hectárea (UA / ha)]. Estos potreros son generalmente pastoreados (periodo de ocupación) por un día o una fracción de un día, lo cual proporciona al pasto un periodo de descanso que permite una recuperación total (regreso a un estado óptimo antes de volver a ser pastoreado).

Se alcanzan varios beneficios económicos y ambientales con el pastoreo rotacional intensivo de pasturas mejoradas en sistemas de producción con ganado. Estos incluyen rendimientos de leche y carne por unidad de área incrementados y prevención de degradación de vegetación y suelo. Estos beneficios, entre otros, sirven para reducir la huella de carbono de los sistemas de producción de leche y carne (a saber emisiones de GEI por litro de leche o kilogramo de carne producidos). Cargas animales mayores pueden manejarse bajo sistemas de pastoreo rotacional, lo cual reduce la presión de convertir otros usos de la tierra (especialmente bosques) a pastizales.

Las metas para esta opción son que para 2030, por lo menos 130,000 hectáreas de pasturas mejoradas usando pastoreo rotacional intensivo estén establecidas. Alcanzar este objetivo representa 8 por ciento del área de pasturas total estimado para 2012. La meta para 2050 es 330,000 hectáreas.

GAN-2. Promoción de sistemas silvopastoriles

Los objetivos de esta opción son incrementar la cobertura de árboles en fincas ganaderas, promover la biodiversidad, incrementar la productividad animal, reducir los costos de producción, incrementar el ingreso y reducir emisiones de GEI. Un sistema silvopastoril se define como una combinación natural o una asociación intencional de uno o más componentes leñosos (arbustos y/o árboles) en un pastizal de pastos nativos y cultivados y especies leguminosas herbáceas y su uso con rumiantes y herbívoros en el pastoreo.

Esta opción promueve la introducción de árboles en diferentes arreglos espaciales en fincas ganaderas, incluyendo: i) árboles dispersos en potreros; ii) silvopasturas (pasturas con filas de arbustos forrajeros,

preferiblemente especies leguminosas, y entre esas filas, franjas de pastos solos o alternadas con franjas de leguminosas herbáceas); iii) pastoreo en franjas o corredores (filas de árboles con diferentes arreglos espaciales, dependiendo de si son especies maderables o frutales, y franjas de pastos solos o alternadas con franjas de leguminosas herbáceas); iv) cercas vivas y cortinas rompevientos; v) protección de áreas forestales existentes en fincas ganaderas; y, vi) reforestación en áreas previamente usadas como pastizales.

Las prácticas anteriormente identificadas tienen impactos positivos en la productividad animal (leche/carne por unidad de área) y, como resultado, en el balance de emisiones de GEI por unidad de producción de leche/carne. Además, la introducción de árboles en sistemas pastoriles con ganado, u otros rumiantes, tiene varios co-beneficios, tales como: i) protección de biodiversidad; ii) fertilidad del suelo incrementada; iii) infiltración y retención de agua incrementada; iv) incremento de ingreso y/o ahorros por la venta y/o no compra de madera, postes y leña; y, v) la sombra de árboles reduce el estrés térmico de los animales, los cuales, en conjunto con la mejora de la calidad de dieta debido al consumo de árboles forrajeros, provocan un mejor desempeño productivo del sistema de producción animal.

Las metas para esta opción son que para 2030, por lo menos 65,000 hectáreas de pastizales hayan sido convertidas a sistemas intensivos de manejo silvopastoril; para 2050 por lo menos 165,000 hectáreas habrán sido convertidas.

GAN-3. Promover el manejo integrado de estiércol en sistemas intensivos de producción animal

El manejo integrado de estiércol comprende un grupo de prácticas que apuntan a obtener el mayor beneficio del uso de este recurso en sistemas ganaderos y, al mismo tiempo, mitigar las emisiones de GEI. Se abordan las emisiones de CH₄ y N₂O durante el manejo del estiércol para esta opción; sin embargo, las emisiones de CH₄ son probablemente más afectadas significativamente. Estas emisiones varían dependiendo de la cantidad y la composición del estiércol y del tipo de condiciones de manejo y almacenamiento del estiércol. En general, comparando condiciones anaeróbicas y aeróbicas, las emisiones de N₂O se promueven en condiciones aeróbicas, mientras que las emisiones CH₄ se promueven durante condiciones anaeróbicas.

La aplicación de manejo del estiércol tiene más sentido en los sistemas intensivos de producción en confinamiento, en el cual se acumulan grandes cantidades de estiércol y otros desechos orgánicos de comida brindada a los animales en comederos. Este es el caso de lo que pasa en sistemas lácteos bovinos y de engorde durante la producción de leche y carne, así como fincas porcinas y de aves de corral.

Las metas para la opción son que para 2030, por lo menos 10,000 unidades productivas ya sea sitios de engorde o fincas especializadas o semi-especializadas de ganado bovino lechero, o fincas de aves de corral y/o cerdos, hayan adoptado el compostaje y/o el uso de biodigestores como innovaciones para la adición de valor al estiércol y la mitigación de GEI derivado de ello. Para 2050, si se mantiene el grupo de factores que estimulan la actual innovación, la meta mínima esperada es 20,000 unidades productivas.

En Guatemala, los expertos agrícolas indican que las prácticas con el mayor potencial de adopción son el compostaje y el uso de biodigestores. Ambas reducen el impacto negativo del estiércol en el ambiente y pueden producir energía y enmiendas al suelo como productos para incrementar los ingresos de la finca o compensar costos de producción. Tomando como base la información sobre poblaciones

animales y emisiones en la línea base de la EDBE, el ganado lechero y de engorde ofrece el potencial de reducción de GEI más alto. Por lo tanto, aunque la opción aborde cerdos y aves de corral, el análisis de impactos de la opción estuvo limitado a ganado lechero y de engorde. **Las metas de la opción para 2050 citada anteriormente representarían cerca de 400,000 vacas lecheras y 1,800,000 vacas de engorde (cerca de 24% de la población lechera pronosticada de actividad normal BAU y 72% de la población de ganado de engorde).**

3. Resultados directos a nivel de opción y sector (Energía, recursos, GEI, costos y ahorros)

El Cuadro VI.D-1 a continuación proporciona un resumen de los resultados de los análisis microeconómicos realizados para cada una de las opciones AG+GAN. Se muestran los valores negativos en rojo (por ejemplo, emisiones de GEI por debajo de los niveles de línea base), mientras que los valores positivos se muestran en negro (por ejemplo, costos netos de implementación que están por encima de los costos de actividad normal). Estos resultados se muestran con base a resultados individuales, lo que significa que fueron evaluados contra condiciones de actividad normal BAU suponiendo que ninguna otra opción sea implementada. **Se espera que la implementación de cinco de las siete opciones AG+GAN resulten en ahorros netos para la sociedad (aquellos con estimaciones de VAN que son negativas). En general, los resultados individuales indican que las reducciones anuales de GEI en el país para 2050 serían de 39 TgCO₂e y las reducciones acumuladas para 2019-2050 serían de 725 TgCO₂e.** Hay también una pequeña cantidad de emisiones externas para las opciones del sector AG+GAN como resultado de menor demanda por fertilizantes nitrogenados los cuales se supone son producidos fuera de Guatemala. Estas reducciones adicionales resultan en un impacto acumulado total de reducción de GEI de 753 TgCO₂e.

Los costos netos de implementación para la sociedad se estiman en aproximadamente Q13.4 mil millones (en Q de 2018; US\$1,760 millones). Los costos de implementación para el grupo de opciones son dirigidos por los altos costos de implementación estimados para AG-4 (uso eficiente de fertilizantes nitrogenados). Así, durante la implementación, se debería enfocar en desarrollar y aplicar mecanismos para reducir estos costos (por ejemplo, métodos para incorporar fertilizante nitrogenado al suelo). AG-3 tiene costos de implementación relativamente bajos y las opciones restantes tienen ahorros netos estimados netos para la sociedad. **En general, la rentabilidad [18 Q/tCO₂e (en Q de 2018); US\$2.37/tCO₂e] es bastante baja.**

Cuadro VI.D-1. Impactos directos individuales para el sector AG+GAN

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país		Impactos	Costo directo	Rentabilidad	
		Impactos anuales CO ₂ e		totales de GEI	(Año base en Q de 2018)		
		2030 Tg	2050 Tg	Acumulados 2019-2050 TgCO ₂ e	Acumulados 2019-2050 TgCO ₂ e		VAN 2019-2050 QMillones
AG-1.	Manejo sostenible de suelos	(1.0)	(2.6)	(44)	(45)	-Q946	-Q21
AG-2.	Establecimiento y mejora de sistemas agroforestales	(0.87)	(0.24)	(16)	(16)	-Q747	-Q46
AG-3.	Establecimiento de plantaciones frutales	(4.1)	(21)	(284)	(287)	Q5,877	Q20
AG-4.	Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados	(0.41)	(1.1)	(17)	(21)	Q42,065	Q1,964
GAN-1.	Gestión del pasto mejorado a través de pastoreo rotacional	(1.5)	(3.9)	(65)	(65)	-Q15,589	-Q241
GAN-2.	Promoción de sistemas silvopastoriles	(7.2)	(8.4)	(268)	(268)	-Q12,184	-Q45
GAN-3.	Promover el manejo integrado de estiércol en sistemas intensivos de producción animal	(0.87)	(1.7)	(32)	(51)	-Q5,065	-Q99
Total		(16)	(39)	(725)	(753)	Q13,410	Q18

US\$ 1.00 = Q. 7.60

Los resultados del resumen arriba citado se presentaron con base en el análisis independiente. Esto significa que se analizó cada opción de forma independiente contra las condiciones de actividad normal *BAU* (eso es, suponiendo que fuera la única opción que sea implementada). Estos resultados no reflejan traslapes u otras interacciones identificados con otras opciones. Los resultados que se ajustaron para tomar en consideración los traslapes / interacciones en este sector se brindan en el siguiente cuadro.

AG-2: Las reducciones netas en el país se vuelven positivas al final del periodo de la planificación debido a que los supuestos aprovechamientos de leña exceden otras reducciones de GEI.

El Cuadro VI.D-2 proporciona un resumen de impactos directos que fueron adaptados para interacciones o traslapes entre las opciones AG+GAN. Mientras que hay un potencial de que ocurra algún traslape entre algunas opciones, **los resultados de la evaluación son que no se espera que estos sean significativos o que el traslape se tome en consideración en el análisis inicial independiente descrito anteriormente (así que los resultados son los mismo en ambos cuadros)**. Por ejemplo, AG-1 y AG-4 incluyen el uso de cultivos de cobertura como componentes de implementación (por ejemplo, el secuestro de carbono del suelo y los costos para establecimiento de cultivos de cobertura). Todos los impactos directos y costos se asignaron a AG-1 así como se relacionaron al uso de cultivos de cobertura. GAN-1 y GAN-2 tienen también el potencial de traslape hasta el punto de que algunas prácticas de manejo de pasturas atribuidas a cada una podrían ser aplicadas a la misma área. Para este análisis, se asumió que las prácticas de manejo se aplicaban distintivamente a áreas separadas.

Cuadro VI.D-2. Impactos directos intra-sectoriales integrados para el sector AG+GAN

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país		Impactos totales de GEI		Costo directo (Año base en Q de 2018)	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados 2019-2050	Acumulados 2019-2050	VAN 2019-2050	Rentabilidad
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	QMillones	Q/tCO ₂ e
AG-1.	Manejo sostenible de suelos	(1.0)	(2.6)	(44)	(45)	-Q946	-Q21
AG-2.	Establecimiento y mejora de sistemas agroforestales	(0.87)	(0.24)	(16)	(16)	-Q747	-Q46
AG-3.	Establecimiento de plantaciones frutales	(4.1)	(21)	(284)	(287)	Q5,877	Q20
AG-4.	Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados	(0.41)	(1.1)	(17)	(21)	Q42,065	Q1,964
GAN-1.	Gestión del pasto mejorado a través de pastoreo rotacional	(1.5)	(3.9)	(65)	(65)	-Q15,589	-Q241
GAN-2.	Promoción de sistemas silvopastoriles	(7.2)	(8.4)	(268)	(268)	-Q12,184	-Q45
GAN-3.	Promover manejo integrado de estiércol en sistemas intensivos de producción animal	(0.87)	(1.7)	(32)	(51)	-Q5,065	-Q99
Total después de interacciones/traslapes intra-sectoriales		(16)	(39)	(725)	(753)	Q13,410	Q18

US\$1.00 = Q 7.60

Los resultados mostrados en este cuadro se han ajustado para traslapes u otras interacciones entre las opciones en este sector. Ver las notas junto a cada grupo de resultados de la opción para una descripción de los traslapes / interacciones que fueron identificados y abordados.

AG-1: Existe un traslape potencial entre AG-1 y AG-4 en el que el cultivo de cobertura es un método de manejo aplicable a ambos. Este traslape fue abordado durante el análisis independiente previo adjudicando todos los impactos y costos por el establecimiento de cultivos de cobertura a AG-1 únicamente. Entonces, no hay necesidad de un ajuste adicional.

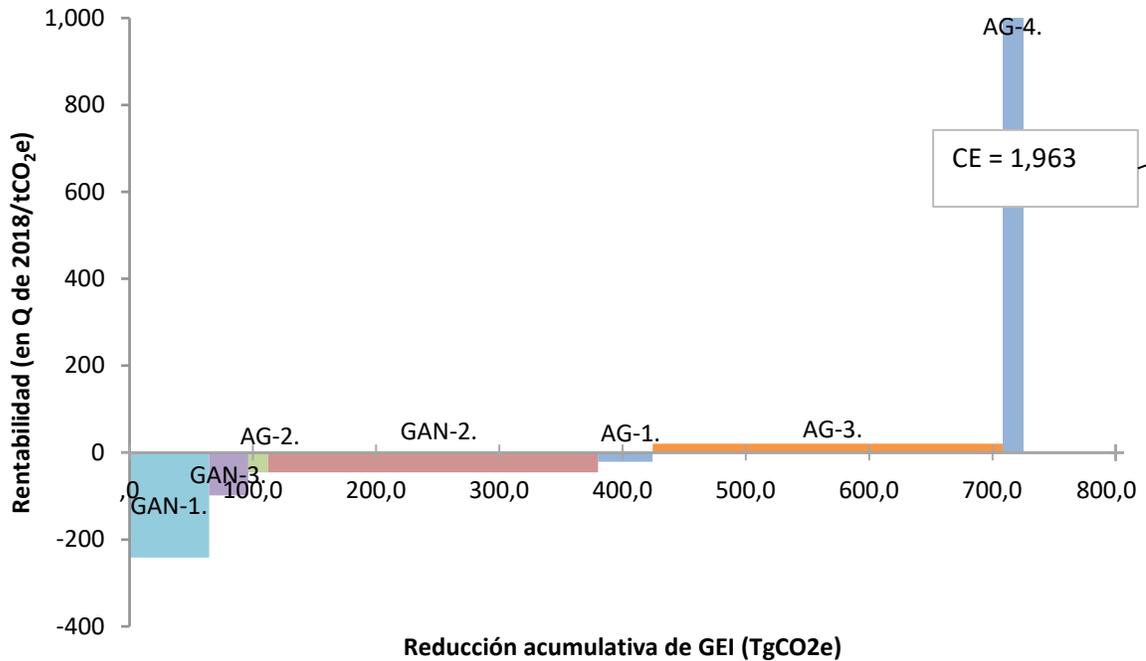
AG-4: Ver nota arriba citada para el traslape potencial con AG-1. Se supone que los impactos directos y costos son acumulativos.

GAN-1: Es posible que GAN-1 y GAN-2 se acerquen en alguna parte del área de pastoreo. Sin embargo, a medida que eso ocurra, los costos directos e impactos aún se consideran acumulativos.

GAN-2: Ver nota para GAN-1 arriba citada.

La Figura VI.D-2 es la MACC para el sector agricultura. La curva de costo traza las reducciones acumuladas de emisiones (2019-2050) para cada opción en el orden de más a menos rentable. Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”) presentados en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6). Si todas las opciones se implementan totalmente, se estima que las reducciones acumuladas son cerca de 725 TgCO₂e. Se espera que las opciones con valores negativos para CE resulten en ahorros netos para la sociedad.

Figura VI.D-2. MACC de GEI acumulados para el sector Agricultura 2019 – 2050

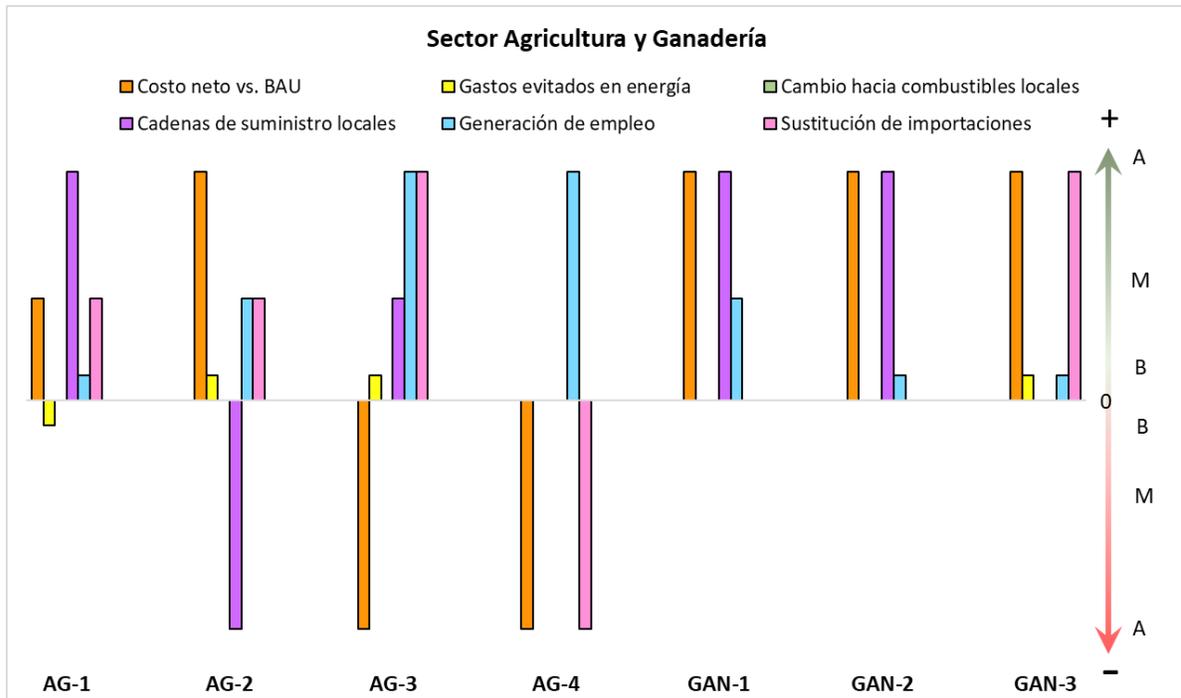


Nota: Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”). Estos resultados se presentan en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6).

4. Desempeño macroeconómico a nivel de opción y de sector

La Figura VI.D-3 a continuación resume los resultados de la evaluación macroeconómica de las opciones de agricultura (subsectores AG y GAN). Se muestran estos resultados de forma independiente, lo que significa que se evaluaron contra condiciones de actividad normal de forma aislada, i.e. sin considerar influencias que pudieran deberse a la implementación de otras opciones.

Figura VI.D-3. Evaluación de impacto macroeconómico de las opciones AG-1 – AG-4, GAN-1 – GAN-3



Mientras que las opciones AG+GAN muestran perfiles diferentes de factores económicos y de impactos asociados, hay algunos puntos comunes. Se proyecta que las cuatro opciones reduzcan significativamente la demanda de fertilizantes nitrogenados – ya sea por mil millones o por decenas de mil millones de quetzales durante el periodo 2019-2050. Esto impulsa observaciones de una reducción de importaciones en el conjunto de la economía en las evaluaciones económicas y de impacto de tres de las cuatro opciones (AG-4 necesita mucho más gasto en importaciones de equipo que lo que ahorra en fertilizantes), y ayuda a **AG-1 y a AG-2 a informar sobre ahorros netos mucho mayores que los costos netos– también asociados de forma positiva con el crecimiento económico. También mostrarán efectos netos positivos para la estimulación de actividades intensivas en trabajo, a niveles variables.**

AG-3 está dominado, más que por sus ahorros significativos en fertilizantes, por una gran inversión para actividades intensivas en mano de obra para llevar a cabo una forma de operaciones más directa. Mientras que esta actividad intensiva en mano de obra es una observación positiva de un factor asociado con las ganancias de empleo en el conjunto de la economía, es también el costo que hace que la opción en general sea un gasto neto significativo para que la economía guatemalteca lo soporte.

GAN-1 y GAN-2 están dominadas por el crecimiento esperado en la productividad de la carne y la leche que proyectan como resultado de la implementación de mejores prácticas de manejo en cuestión. Ambas opciones anticipan la producción de cientos de millones de Quetzales en valor adicional en la carne y la leche en el periodo 2019-2050 y anticipan que ningún otro costo o ahorro sería más que un bajo por ciento del beneficio en escala. Como resultado, ambas opciones **parecen ser muy rentables y estimulantes para los sectores en cuestión. También podrían desplazar las importaciones de alimentos, lo cual podría ser una ganancia adicional, y dirigir gastos adicionales en trabajo para implementar y mantener las prácticas mejoradas en cuestión.** GAN-3 principalmente logra su perfil positivo a través de grandes ahorros en la compra de fertilizantes importados, en una forma similar a las opciones AG. Este ahorro de costos en fertilizante reduce el costo de operación en el sector agricultura y reduce la demanda total de importaciones en la economía. La reducción de importaciones está asociada de forma positiva con el crecimiento en el PIB.

E. SILVICULTURA Y OTRO USO DE LA TIERRA

I. Sinopsis del sector

El sector Silvicultura y Otro Uso de la Tierra (FOLU por sus siglas en inglés) aborda el flujo neto de carbono a través de los diferentes usos de la tierra, excepto para agricultura, incluyendo cambios en reservas de carbono para:

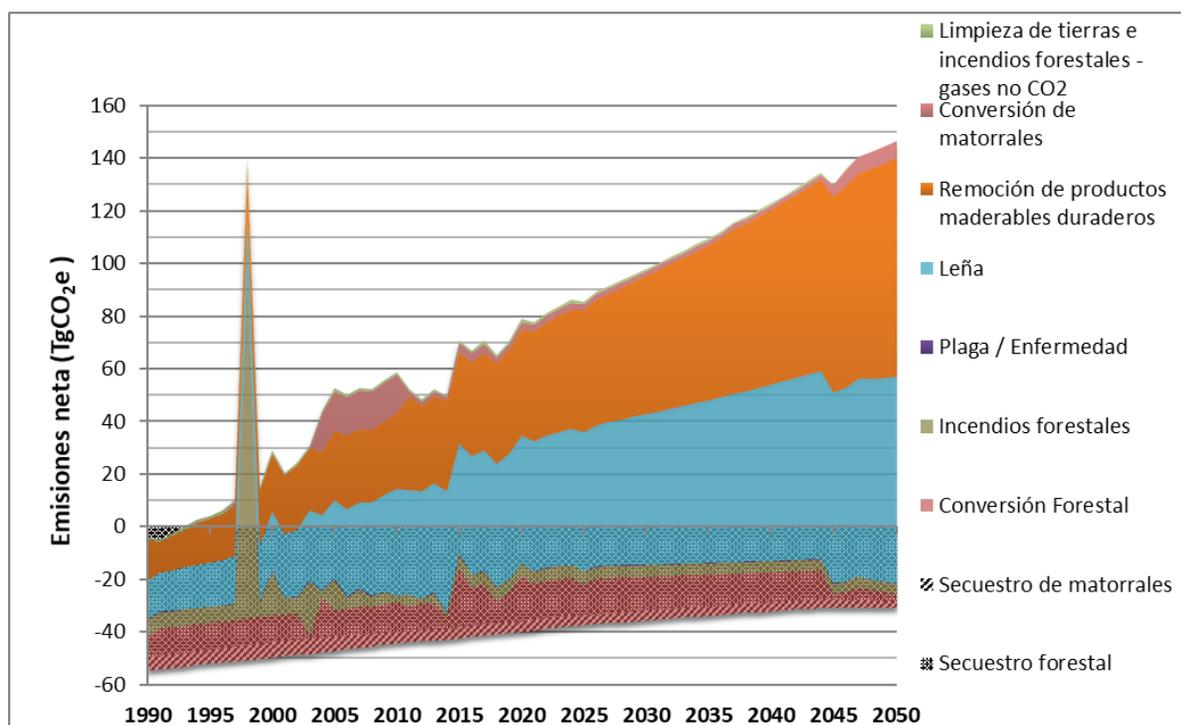
- *Bosques que permanecen bosques:* cambios netos en la reserva de carbono debido al secuestro (crecimiento de la vegetación) y remociones (aprovechamiento de madera y pérdidas por perturbaciones, tales como fuegos y enfermedades);
- *Otro uso de la tierra:* por ejemplo, secuestro de carbono en matorrales;
- *Conversión de uso de la tierra:* cambios en las reservas netas de carbono por tierra convertida de un uso de la tierra a otro, tales como tierras boscosas convertidas a tierras agrícolas o urbanas.

El secuestro de carbono en cultivos permanentes leñosos se contabiliza en el sector agricultura. Sin embargo, cualquier pérdida inicial de carbono terrestre que ocurre cuando el uso de la tierra cambia de bosque a usos agrícolas se contabiliza en el sector FOLU.

Como se describe más adelante en el Anexo B, se estimaron las emisiones netas de GEI del sector FOLU relacionadas con el secuestro/pérdida de carbono usando el “método ganancia -pérdida”, el cual considera estimar la biomasa en cada reservorio de carbono durante cada año y luego calcular el cambio de un año al siguiente. Cuando la biomasa se ha acumulado en un reservorio en el curso de un año, entonces este incremento se contabiliza como secuestro de carbono (un flujo negativo de emisiones). Por otro lado, cuando los niveles de biomasa disminuyen en un reservorio durante un año, entonces esto representa una emisión a la atmósfera, “un flujo positivo de emisiones” (la liberación de CO₂ de la descomposición y la quema de biomasa son ejemplos).

La Figura VI.E-1 a continuación proporciona la línea base neta de GEI del sector FOLU. Esta línea base neta incluye sumideros de CO₂ de la atmósfera, así como fuentes de emisión de GEI. Se estimó que las emisiones netas de GEI en 2015 fueron cerca de 70 TgCO₂e. Se espera que las emisiones dupliquen esta cantidad a más de 140 TgCO₂e para 2050. **La fuente más grande de emisiones de GEI del sector FOLU es por remoción de productos maderables y leña, las cuales incrementan significativamente durante el periodo de pronóstico. La siguiente fuente más grande es la tala de bosques, la cual termina disminuyendo más adelante en el periodo de pronóstico debido a la reducción en tierra boscosa disponible para conversión. El secuestro forestal también disminuye durante el periodo de pronóstico debido a un área forestal disminuida.**

Figura VI.E-1. Línea base de GEI del sector FOLU, Emisiones netas



Notas: El secuestro forestal y el de matorrales son negativos y ocupan el área bajo el eje x que se muestra con un patrón de rayas. Los gases no CO₂ de incendios forestales y la pérdida de biomasa por Plagas/Enfermedad son muy pequeños para ser vistos en la gráfica. El pico en emisiones durante 1998 se debe a una actividad significativa de incendios forestales durante ese año.

2. Resumen de las opciones FOLU de la EDBE para Guatemala

El sector FOLU es la fuente de emisiones de GEI más importante en la línea base de la EDBE; por lo tanto, este sector ofrece muchas oportunidades para reducciones de emisión. Las oportunidades más importantes para las reducciones de emisión incluyen incrementar el secuestro forestal, disminuir la tala de bosques y perturbaciones y disminuir las remociones de madera. Las opciones FOLU-1 y FOLU-3 apuntan al incremento del secuestro a través de la expansión de plantaciones forestales, FOLU-2 aspira incrementar el secuestro y reducir la tala de bosques a través de protección forestal y FOLU-4 apunta a reducir las perturbaciones por incendios forestales. Mientras que FOLU-1 y FOLU-3 aspiran reducir las remociones de bosques naturales cambiando estas remociones a plantaciones forestales y FOLU-2 puede reducir talas ilegales de bosques naturales a través de protección incrementada, ninguna de las opciones del sector FOLU aborda directamente los productos maderables y la demanda de leña. Sin embargo, la opción E-9 en el sector Energía apunta a reducir la demanda de leña incrementando el uso de estufas de leña eficientes. Adicionales a las opciones FOLU, la opción U-5 del sector urbano, la cual apunta a incrementar el secuestro de carbono a través de cobertura forestal urbana ampliada, fue analizada en el sector FOLU.

FOLU - 1. Establecimiento de plantaciones forestales sostenibles.

Esta opción promueve el incremento de biomasa disponible para usos en la industria maderera y para la producción de energía (principalmente leña) incrementando la

productividad forestal a través del establecimiento de plantaciones forestales con fines industriales y energéticos. Se propone el establecimiento de plantaciones de acuerdo con objetivos definidos, entre ellos: producción de madera, producción de leña y producción de semillas. Deberían considerarse las especies de acuerdo con los objetivos de las plantaciones. Para la producción de madera, se deberían considerar las especies de valor comercial y para plantaciones con fines energéticos las especies con rápido crecimiento y resiliencia.

Las plantaciones se someterán a un manejo forestal sostenible, integral y eficiente de acuerdo con el objetivo de su establecimiento. Proveerán materia prima para consumo de la población en términos de madera para industrialización, madera para usos familiares y para pequeñas empresas con productos relacionados con la madera (mueblería rústica, artesanías, etc.). También proveerán leña para uso energético en la población rural. Las plantaciones deberán establecerse en áreas con una vocación forestal productiva, áreas que estén desprovistas de cobertura vegetal y áreas con acceso para extraer leña, las cuales puede ser municipales. Preferiblemente no deberían considerar la remoción de vegetación importante. Las plantaciones se realizan en áreas que no son económicamente productivas (BAU), sino mayoritariamente pastizales naturales o vegetación llamada matorral.

Los objetivos para la opción son que, para 2030, la cobertura forestal muestre una ganancia en su análisis comparativo con respecto al cambio en el uso de la tierra, en relación con los parámetros estimados para el año 2017 (3,364,000 ha). Se espera que habrá un incremento promedio de 10,000 ha anualmente durante el periodo 2019-2024 y un incremento de 20,000 ha por año de 2025 a 2050. Para 2050, la cubierta forestal muestra una ganancia en su análisis comparativo con respecto a los parámetros de cambio de uso de la tierra estimados para 2017. Se espera un incremento anual promedio de 20,000 ha.

FOLU - 2. Conservación y gestión de bosques naturales sostenibles

El manejo sostenible de recursos forestales garantiza mantener el abastecimiento de bienes y servicios para generaciones futuras. Su promoción se refiere a acciones que permitirán el empoderamiento del sector forestal con respecto a la administración, conservación y uso racional del patrimonio natural desde el punto de vista de beneficios económicos, ecológicos y sociales que pueden obtenerse. Las técnicas y prácticas del manejo forestal sostenible deberían implementarse en bosques naturales que promueven la reducción de emisiones de GEI y la reducción de la deforestación, evitan la pérdida de materia orgánica del suelo y previenen el cambio de uso de la tierra. Hacer del bosque una fuente de bienes y servicios que genera el crecimiento económico, conserva recursos, especialmente suelo y biodiversidad.

A través del manejo forestal sostenible, **las metas de la opción son que para el año 2030, 100% del bosque natural existente se ha conservado al inicio de la implementación de la opción (2019), con base en las proyecciones de lo que existe como se informa en el año 2012. Para el año 2050 la cobertura forestal habrá incrementado (150,000 hectáreas), a través del manejo de los bosques secundarios y la restauración ecológica en tierras seleccionadas para este fin, de procesos de sucesión natural en áreas degradadas en áreas protegidas.**

FOLU – 3. Reforestación de tierras degradadas con especies nativas

Esta acción promueve el incremento de biomasa en áreas degradadas, para recuperar cobertura forestal bajo un enfoque de sostenibilidad combinando aspectos económicos y ecológicos. Se propone tomar acciones para restaurar el capital natural de ciertas áreas, especialmente riberas de ríos y otras tales como áreas afectadas por construcción de carreteras, minas, sobrepastoreo, explotación selectiva, entre otros. Muchas de estas áreas aparecen en el análisis de cobertura, tales como áreas con "vegetación arbustiva y / o herbácea", cubriendo 2,557,914 ha. La recuperación de estas áreas permitiría el secuestro de carbono con los co-beneficios adicionales de los bosques en términos de recuperación de suelo, biodiversidad (especies nativas), entre otros.

Los objetivos para la opción son que para 2030, 120,000 hectáreas de cobertura forestal hayan sido restauradas con especies nativas en áreas degradadas. Especialmente las áreas identificadas en el estudio de cobertura como "vegetación arbustiva y / o herbácea," (riberas de ríos, áreas protegidas, tierras de conservación forestal). En áreas protegidas y categorías de manejo que permiten actividades de esta naturaleza. Para 2050, 330,000 hectáreas de cobertura forestal habrán sido restauradas con especies nativas en áreas degradadas.

FOLU – 4. Fortalecer la capacidad institucional en prevención y control de incendios forestales

El sector FOLU también incluye emisiones de CH₄ y N₂O de incendios forestales. Las emisiones de dióxido de carbono de incendios forestales se consideran generalmente carbono neutras y, por lo tanto, no se incluyen en las emisiones totales de GEI, (sin embargo, el carbono capturado en un periodo de 50 o más años puede emitirse en solo algunos meses). De acuerdo con los registros de incendios, el cálculo de emisiones de incendios forestales en 2015 se estimó en 5.3 TgCO₂e.

El fortalecimiento institucional considerará aspectos financieros, administrativos, estratégicos, reglamentarios y técnicos como una prioridad. Se propone un fortalecimiento en dos dimensiones, el primero para la prevención y regulación de incendios, la quema prescrita y quema de cultivos (*rozas*¹⁴), y el segundo para el control y combate de incendios forestales. En ambos casos, se consideran las acciones de manejo del conocimiento para el manejo y combate del fuego. El fortalecimiento de capacidades institucionales permitirá la protección del patrimonio natural de Guatemala, reducir el desequilibrio ecológico, cambiar el uso de la tierra, reducir las emisiones de GEI y evitar la pérdida de vidas humanas.

Los objetivos para la opción son que para 2030, las emisiones de CO₂ por la incidencia de incendios forestales se habrán reducido en 50% con base en la línea base de la EDBE. Para 2050, las emisiones de CO₂ debido a la incidencia de incendios forestales se habrán reducido en 90% con base en la línea base de la EDBE. La implementación de esta opción comienza desde el año 2018, en el que las nuevas instituciones responsables del tema de incendios forestales se establecen.

¹⁴ Término empleado a nivel nacional para quemas prescritas y quemas de cultivos.

Urbano - 5. Sistema de espacios verdes urbanos

Esta opción promueve la definición del sistema de áreas verdes del área metropolitana de Ciudad de Guatemala dentro del marco del Plan Estratégico Metropolitano, para proteger el límite verde urbano, establecer una parcela verde, evaluar el sistema de barrancos, promover procesos de reforestación de la ciudad en espacios públicos y edificios, así como la implementación de jardines urbanos y nuevas áreas verdes en áreas de expansión urbana. Una ciudad con una infraestructura verde bien planificada y manejada se vuelve más resiliente, sostenible y equitativa en términos de nutrición y seguridad alimentaria, alivio de la pobreza, modos de vida mejorados, mitigación y adaptación al cambio climático, reducción de riesgo a desastres y conservación de ecosistemas. Durante su vida, los árboles pueden proporcionar un conjunto de beneficios que vale dos o tres veces más que la inversión de plantarlos y cuidarlos.

Las metas de esta opción son que la cobertura forestal incrementará en 10% para el año 2030, y en 20% para 2050 bajo un sistema de áreas verdes estructurado y valorado por los actores públicos y privados.

3. Resultados directos a nivel de opción y sector (Energía, recursos, GEI, costos y ahorros)

El Cuadro VI.E-1 a continuación proporciona un resumen de los resultados de los análisis microeconómicos realizados para cada una de las opciones FOLU. Los valores negativos se muestran en rojo (por ejemplo, las emisiones de GEI por debajo de los niveles de línea base), mientras que los valores positivos se muestran en negro (por ejemplo, costos netos de implementación que están por encima de los costos de actividad normal *business as usual*). Estos resultados se muestran de forma independiente, lo que quiere decir que fueron evaluados contra las condiciones de actividad normal *BAU* suponiendo que ninguna otra opción sea implementada. **Estos resultados independientes indican que las reducciones anuales de GEI en el país para 2050 serían de 53 TgCO₂e y las reducciones acumuladas para 2019-2050 serían de 1,249 TgCO₂e.** No hay emisiones fuera del país para las opciones del sector FOLU, así que las emisiones totales son las mismas que las emisiones en el país. **Los costos netos de implementación para la sociedad serían de Q29.8 mil millones (en Q de 2018; US\$3,900 millones).** Los costos de implementación para el grupo de opciones son altos debido a los altos costos de protección y mantenimiento forestal para un área grande de bosques naturales y plantaciones forestales. Sin embargo, **la rentabilidad [24 Q/tCO₂e (en Q de 2018); US\$3.16/tCO₂e] es relativamente baja por las grandes reducciones de emisión estimadas para estas opciones.**

Cuadro VI.E-1. Impactos directos individuales para el sector FOLU

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país				Impactos totales de GEI	Costos directos (año base en Q de 2018)	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados 2019-2050	Acumulados 2019-2050	VAN 2019-2050	Rentabilidad Q/tCO ₂ e	
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	QMillones		
FOLU-1.	Establecimiento de plantaciones forestales sostenibles	(2.5)	(8.5)	(126)	(126)	Q4,310	Q34	
FOLU-2.	Conservación y gestión de bosques naturales sostenibles	(27)	(32)	(918)	(918)	Q22,392	Q24	
FOLU-3.	Reforestación de tierras degradadas con especies nativas	(2.2)	(7.8)	(113)	(113)	Q2,767	Q24	
FOLU-4.	Fortalecer la capacidad de respuesta institucional en la prevención y control de incendios forestales	(2.7)	(4.6)	(92)	(92)	Q168	Q1.8	
U-5	Sistema de espacios verdes urbanos	(0.0081)	(0.016)	(0.30)	(0.30)	Q146	Q490	
Total		(34)	(53)	(1,249)	(1,249)	Q29,782	Q24	

US\$1.00 = Q 7.60

Los resultados del resumen arriba citado se presentaron con base en el análisis independiente. Esto significa que se analizó cada opción de forma independiente contra las condiciones de actividad normal *BAU* (eso es, suponiendo que fuera la única opción que sea implementada). Estos resultados no reflejan traslapes u otras interacciones identificados con otras opciones. Los resultados que se ajustaron para tomar en consideración los traslapes / interacciones en este sector se brindan en el siguiente cuadro.

El Cuadro VI.E-2 proporciona un resumen de los resultados del análisis microeconómico tomando en cuenta las interacciones y traslapes con otras opciones en el mismo sector. La única interacción intra-sectorial en las opciones FOLU es para FOLU-4. El área incrementada de bosques naturales y plantaciones forestales que resultaría de la implementación de FOLU-1, 2 y 3 resultaría en mayor actividad de incendio forestal y mayores costos para prevenir y manejar esos incendios en la implementación de FOLU-4. **Los resultados integrados indican las reducciones de GEI anuales en el país para 2050 serían de 53 TgCO₂e y las reducciones acumuladas para 2019-2050 serían 1,237 TgCO₂e. Se estiman los costos netos de implementación para la sociedad en Q29,916 millones (US\$ 3,936 millones), mientras que se estima que la rentabilidad permanezca en 24 Q/tCO₂e (en Q de 2018; US\$3.13/yCO₂e).**

Cuadro VI.E-2. Impactos directos intra-sectoriales integrados para el sector FOLU

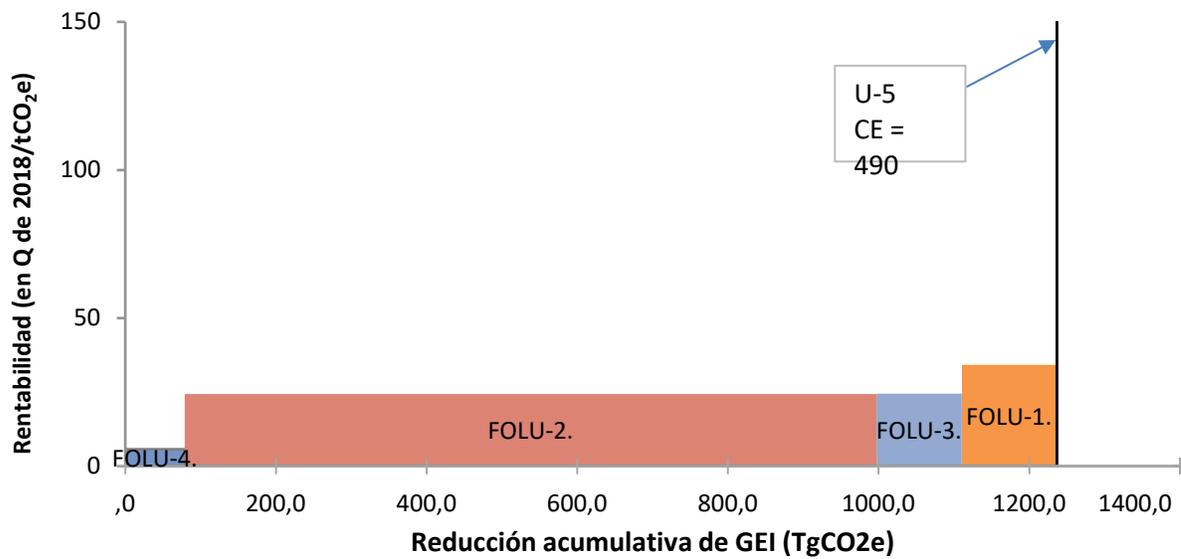
Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país			Impactos	Costo directo (Año base	Rentabilidad	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados	Acumulados	en Q de 2018)		
		2030 Tg	2050 Tg	2019-2050	2019-2050	VAN		
				TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	2019-2050	Millones	Q/tCO ₂ e
FOLU-1.	Establecimiento de plantaciones forestales sostenibles	(2.5)	(8.5)	(126)	(126)	Q4,310	Q34	
FOLU-2.	Conservación y gestión de bosques naturales sostenibles	(27)	(32)	(918)	(918)	Q22,392	Q24	
FOLU-3.	Reforestación de tierras degradadas con especies nativas	(2.2)	(7.8)	(113)	(113)	Q2,767	Q24	
FOLU-4.	Fortalecer la capacidad de respuesta institucional en la prevención y control de incendios forestales	(2.2)	(4.4)	(79)	(79)	Q302	Q3.8	
U-5	Sistema de espacios verdes urbanos	(0.0081)	(0.016)	(0.30)	(0.30)	Q146	Q490	
Total después de interacciones/traslapes intra-sectoriales		(34)	(53)	(1,237)	(1,237)	Q29,916	Q24	

US\$ 1.00 = Q 7.60

Los resultados mostrados en este cuadro se han ajustado para superposiciones u otras interacciones entre opciones en este sector, ver las notas junto a cada resultado de opción para obtener una descripción de las superposiciones / interacciones que fueron identificadas y abordadas.
 FOLU-4: El área de bosque natural y plantaciones forestales más grande que resulte de FOLU-1, 2 y 3, resulta en un área mayor posible para actividad de incendio forestal.

La Figura VI.E-2 es la MACC para el sector FOLU. La curva de costo traza las reducciones acumuladas de emisiones (2019-2050) para cada opción en el orden de más a menos rentable. Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”) presentados en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6). Si todas las opciones son implementadas totalmente, se estima que las reducciones acumuladas sean mayores a 1,200 TgCO₂e. Se espera que las opciones con valores negativos para CE resulten en ahorros netos para la sociedad; sin embargo, para las opciones FOLU, se espera que la implementación de estas opciones resulte en costos sociales netos.

Figura VI.E-2. MACC de GEI acumulados para el sector FOLU 2019 – 2050

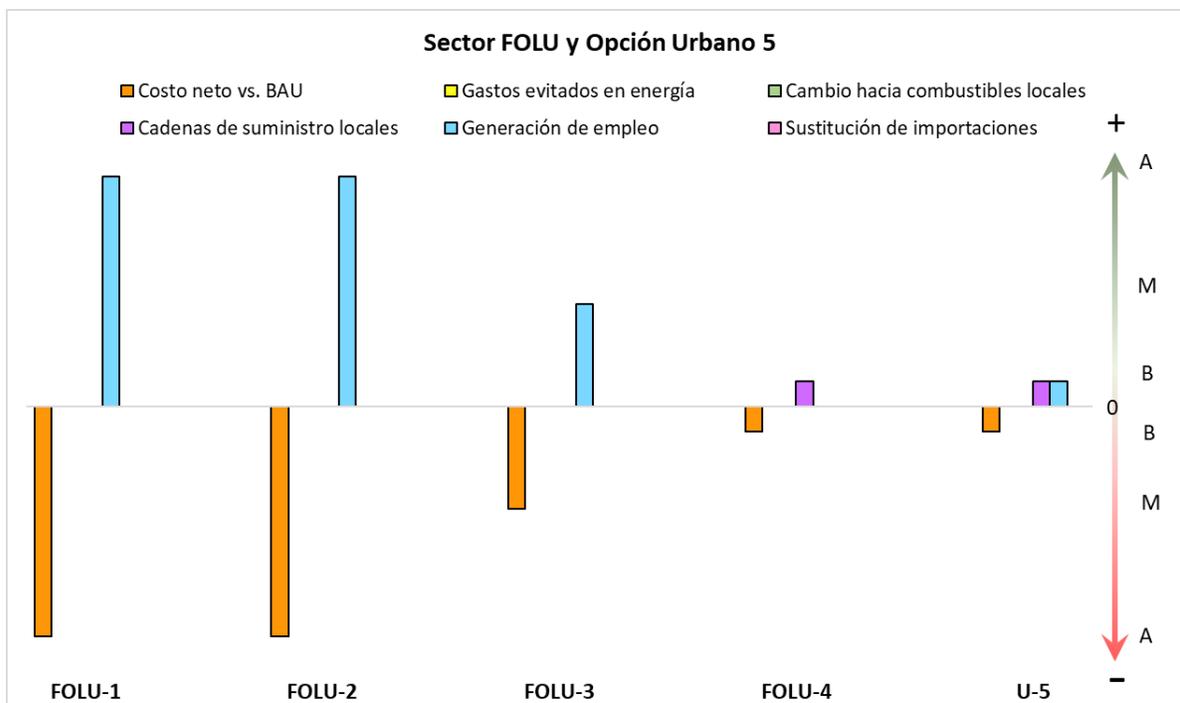


Nota: Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”). Estos resultados se presentan en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6).

4. Desempeño macroeconómico a nivel de opción y de sector

La Figura VI.E-3 a continuación resume los resultados de la evaluación macroeconómica de las opciones FOLU y U-5. Se muestran estos resultados de forma independiente, lo que significa que se evaluaron contra condiciones de actividad normal de forma aislada, i.e. sin considerar influencias que pudieran deberse a la implementación de otras opciones.

Figura VI.E-3. Evaluación de impacto macroeconómico de las opciones FOLU-1 – FOLU-4 & U-5



La evaluación de factores macroeconómicos de las opciones FOLU refleja un elemento clave de foco de actividad esperado bajo estas opciones: una concentración en nuevas prácticas intensivas en mano de obra previstas para mejorar la sostenibilidad y uso de las tierras. FOLU-1, FOLU-2 y FOLU-3 se concentran en gastos para que las personas establezcan, mantengan, administren y protejan nuevas prácticas y áreas de tierra boscosa. Como consecuencia, el perfil es bastante claro: **estos gastos estimulan actividades intensivas en mano de obra, que están asociadas de forma positiva con ganancias en empleo en el conjunto de la economía. Eso dicho, el costo de estos gastos no se compensa con ningún ahorro o por algún incremento en productividad, venta de exportación u otro factor equilibrante y, por lo tanto, el costo neto es positivo – el programa es un costo para la economía en general que deberá sostener a través de impuestos o costos de productos y servicios.**

FOLU-4 difiere solo un poco. Es, como las otras tres opciones FOLU, una inversión clara sobre la actividad de proteger los bosques. **Ya que la actividad es el manejo de incendios forestales (lo cual implica compras además de la contratación de mano de obra), se evaluó como un estímulo a sectores locales, en lugar de simplemente contratar más personal. Así como con las otras, el costo neto no se compensa con ahorros o nueva producción, lo que significa que la economía general debe de alguna forma sostener el costo de estas actividades estimulantes.**

Finalmente, **U-5** es similar también, pero sus costos eran una mezcla de costos administrativos (que están caracterizados como actividad intensiva en mano de obra) y el establecimiento de espacios verdes urbanos (que se caracterizaron como trabajo por un sector local que utiliza mano de obra y otros materiales y maquinaria). Como resultado, **se identificaron pequeñas instancias positivas de estímulo para el sector local y un estímulo de actividad intensiva en mano de obra. De nuevo, el costo neto no se compensa con los ahorros o nueva producción, lo que significa que la economía general debe de alguna forma sostener el costo de estas actividades estimulantes.**

Aunque el costo neto para todas las opciones sea positivo, el sector FOLU tiene el impacto de mitigación más grande (más de 1,200 TgCO₂e) y su implementación proporciona inmensurables beneficios en términos de biodiversidad y otros servicios ecosistémicos tales como regulación hidrológica, reducción de vulnerabilidad de desastre, adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria, entre otros.

F. MANEJO DE DESECHOS

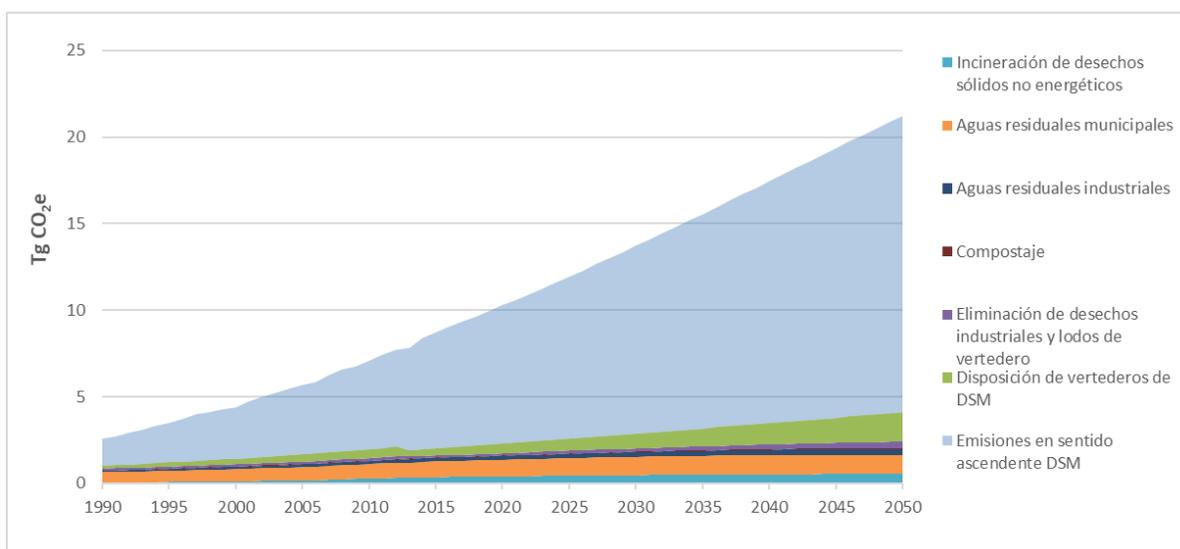
I. Sinopsis del sector

El sector MD se compone de dos subsectores: manejo de desechos sólidos y tratamiento de aguas residuales. Cada uno de estos subsectores puede desglosarse más en los subsectores industrial y municipal. Las emisiones directas de GEI del manejo de desechos incluyen:

- Manejo de desechos sólidos (DS):
 - Relleno sanitario –basureros municipales e industriales producen gas de relleno sanitario (LFG por sus siglas en inglés) el cual está compuesto por aproximadamente la mitad de metano (CH_4) y la mitad de dióxido de carbono (CO_2). Se asume típicamente que el CO_2 en el LFG proviene de desechos biogénicos y se asume, por lo tanto, que es carbono neutral. El metano en LFG escapa de las superficies del basurero y es la primera inquietud desde un punto de vista de GEI. Cuando el LFG se quema, se producen las emisiones de CH_4 y N_2O (el metano no se quema con 100% de eficiencia).
 - Quema de desechos sólidos – incluye las emisiones de CH_4 , CO_2 y N_2O de la quema de desechos sólidos de quema abierta residencial.
 - Manejo de orgánicos – esta categoría incluye compostaje y digestión anaeróbica de desechos sólidos. Se producen emisiones de CH_4 y N_2O (las emisiones de CO_2 son consideradas biogénicas y, por lo tanto, carbono neutrales).
- Manejo de aguas residuales – este subsector aborda emisiones de CH_4 y N_2O de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) centralizadas municipales e industriales, así como otros métodos de manejo de aguas residuales (AR) (p.e. sistemas sépticos, letrinas, etc.).

Cuando se consideran las emisiones de GEI con base en el consumo del sector MD, se incluyen también las emisiones preliminares de la adquisición de materiales vírgenes y el procesamiento de productos, fabricación y transporte de los productos y materiales que entran en el flujo de desechos. La Figura VI.F-1 muestra las estimaciones de línea base de GEI del sector MD, con las emisiones preliminares mostradas en un área gris con patrón. Como se muestra en esta figura, las emisiones preliminares de los desechos sólidos son significativamente más altas que las emisiones directas de actividades de manejo de desechos. Una parte de estas emisiones preliminares ocurren probablemente dentro del país, pero para los objetivos del análisis de opciones, se asumió que todas estas emisiones ocurrían fuera del país. Las emisiones directas de GEI fueron aproximadamente de 2 TgCO₂e en 2015 y se espera que se dupliquen a más de 4 TgCO₂e para 2050. Si las emisiones preliminares también se consideran, las emisiones fueron aproximadamente de 8 TgCO₂e en 2015 y se espera que casi se tripliquen a cerca de 21 TgCO₂e para 2050.

Figura VI.F-1. Línea base de GEI del sector de Manejo de desechos



2. Resumen de cada una de las opciones

El sector MD incluye 4 opciones dirigidas a desechos sólidos (DS por *desechos sólidos*) y 2 dirigidas a aguas residuales (DL por *desechos líquidos*) que se resumen a continuación. La opción DS-1 amplía los servicios de colecta de desechos sólidos y la DS-2 amplía y promueve programas de reciclaje. Debido a que ampliar el servicio de colecta sin la correspondiente expansión de reciclaje incrementaría rellenos sanitarios de desechos, resultando en emisiones de GEI incrementadas, los impactos de estas dos opciones se analizaron conjuntamente.

DS - 1. Expansión de colecta de desechos y mejora de eficiencia de separación

El objetivo de esta opción es incrementar las áreas de cobertura de servicios de colecta de basura y de desechos sólidos a niveles municipal e industrial de modo separado por lo que los desechos son reciclados y reusados y minimizar los desechos en los sitios de tratamiento y disposición final.

Hasta 2014, el 35.2% de la población en el área urbana y solamente el 3.2% de la población en el área rural de Guatemala eliminaron su basura y sus desechos sólidos con servicios de colecta, ya sea municipales o privados (ENCOVI 2014). De esto se puede inferir que la mayoría de la población no tiene cobertura de colecta (64.8% en el área urbana y 96.8% en el área rural) y que estos desechos y residuos permanecen en basureros clandestinos, cuerpos de agua superficiales, barrancos o son quemados entre otras prácticas, generando así gases de efecto invernadero, principalmente metano, óxido nitroso y dióxido de carbono. De acuerdo con la línea base, se predijo que el sector de los desechos sólidos crecería cerca de 201% entre 2015 y 2050, con el incremento en emisiones de GEI causado principalmente por el crecimiento poblacional. En estos momentos para reducir la generación, así como para mejorar la separación desde la fuente, para después de la colecta y el transporte, es necesario que un mínimo de desechos / residuos sea tratado y dispuesto de forma higiénica, lo que reduciría las emisiones de los GEI asociados con la disposición final en rellenos sanitarios.

Los objetivos para esta opción son rediseñar las rutas actuales de colecta y diseñar nuevas rutas para áreas geográficas que no tienen cobertura en el servicio de colecta de basura y

desechos sólidos para lograr el 100% de cobertura en áreas urbanas y 50% en áreas rurales, con respecto a la situación actual, estableciendo mecanismos de adhesión de usuario.

DS - 2. Reutilización y reciclaje de desechos inorgánicos

Esta opción promueve la reducción de la cantidad de basura y de desechos sólidos de la fuente de origen y promueve la reutilización, la transformación y el reciclaje de basura inerte que puede ser valorada. Reducir la generación de basura y de desechos sólidos reduce las emisiones de GEI producidas en rellenos sanitarios y las emisiones de GEI asociadas con su transporte.

De acuerdo con la línea base, se predijo que el sector de desechos sólidos crecería cerca del 230% entre 2015 y 2050, con el incremento en emisiones de GEI causado principalmente por el crecimiento poblacional. El mayor impacto en emisiones puede lograrse a través de reducciones de fuentes porque es más eficiente prevenir basura que tratarla. Esta opción busca cambiar los hábitos de consumo y la reutilización y/o reciclaje de basura y promover incentivos para productores para utilizar empaques reutilizables y reciclables.

Las metas para esta opción son reducir desechos sólidos en la fuente de generación en 25% para 2030, en 50% para 2050, con respecto a las proyecciones estimadas por la línea base, y reutilizar o reciclar 50% de basura reciclable para 2030 y 90% para 2050.

DS - 3. Compostaje avanzado

A través de esta opción, los desechos sólidos con potencial para ser utilizados en composta se recuperarán para reducir el volumen y la cantidad de desechos sólidos y simultáneamente obtener un beneficio económico de su comercialización. El objetivo es lograr la recuperación de basura con potencial para compostaje y, al mismo tiempo, promover un mercado que genere un ingreso económico para personas que deseen participar en estos programas.

De acuerdo con las Encuestas Nacionales de Condiciones de Vida (ENCOVI), el porcentaje de viviendas que usaron reciclaje y compostaje como un método de eliminar desechos sólidos a nivel urbano fue de 1.3% en 2006, 0.9% en el año 2011 y 1.0% en 2014 y, a nivel rural 5.7% en 2006, 2.0% en 2011 y 2.5% en 2014. La composición de desechos sólidos en Guatemala en el área urbana y en el área rural indica que un alto porcentaje es susceptible para compostaje (56% en área urbana y 64% en área rural). Estos residuos con el potencial para ser utilizados en composta se dejan en rellenos sanitarios clandestinos, basureros municipales, son quemados a cielo abierto, generando gases de invernadero, principalmente CH₄, CO₂ y N₂O. También, los altos niveles de humedad de este tipo de basura generan lixiviados altamente contaminantes para el ambiente.

De acuerdo con estudios sobre la composición de la basura, la fracción de composición para desechos orgánicos en áreas urbanas es 42 y 14% (56%) para basura de alimentos y jardín respectivamente, y 48 y 16% (64%) para áreas rurales. **La meta a nivel urbano, a nivel de basurero y de vivienda, es 30% de desechos orgánicos transformados en composta para el año 2030 y 50% para 2050. A nivel rural existe una meta de 50% para 2030 y 60% para 2050.**

DS - 4. Captura y uso de gas de relleno sanitario

El objetivo de esta opción es diseñar e implementar programas para la colecta y uso de metano en basureros. Para alcanzar esta meta, se propone planificar y diseñar infraestructura de captura de gas de relleno sanitario y, cuando sea viable técnica y económicamente, construir la infraestructura para aprovechar metano para uso en la generación de calor o electricidad. Actualmente, existe potencial para recuperación de biogás en los basureros municipales de las áreas urbanas de Guatemala, Quetzaltenango, Escuintla y Alta Verapaz. El basurero de la zona 3 de Ciudad de Guatemala tiene el potencial de recuperar metano con una eficiencia de 80% y se espera que 27% del total de desechos sólidos se descargue para el año 2050.

Para alcanzar la meta de reducir las emisiones de metano de basureros en 70% a 90%, esta opción busca instalar 15 MW de capacidad de gas de relleno sanitario para 2050 en basureros en Quetzaltenango, Escuintla, Alta Verapaz y otras ciudades crecientes que generen más de 400 toneladas de basura/día.

DL - 1. Medidas ahorradoras de agua en los sectores residencial, comercial, institucional e industrial

El objetivo de esta esta opción es establecer programas de ahorro de agua en sectores industrial, comercial, institucional y residencial para reducir el volumen de aguas residuales descargadas con el objetivo de reducir las emisiones de GEI del sector de desechos líquidos. Reducir el consumo de agua reducirá el consumo de electricidad utilizado en la extracción, tratamiento y distribución de agua potable, y en el tratamiento de aguas residuales para reutilización y disposición final en el ambiente. Esta opción guía todas las acciones a ahorrar recursos hídricos a través de la aplicación, el control y el monitoreo de legislación existente y el desarrollo de mecanismos de producción más limpios que conduzcan al logro del objetivo declarado.

Al promover programas para ahorrar agua en todos los sectores representativos de la sociedad guatemalteca, la meta de esta opción es reducir el volumen de agua consumida por varias actividades industriales, comerciales, institucionales y residenciales en las siguientes proporciones: 20% en el sector residencial, 40% en el sector industrial y 20% en el sector comercial/institucional, con respecto a las proyecciones estimadas por la línea base.

DL - 2. Tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales

El objetivo de esta esta opción es promover el uso de tecnologías adecuadas eficientemente energéticas y de baja emisión para el tratamiento de aguas residuales. El sector de desechos líquidos genera emisiones de GEI de dos formas: directamente a través de emisiones fugitivas e indirectamente a través del uso de electricidad para bombeo, aireación, etc. El uso de tecnologías adecuadas en el tratamiento de aguas residuales tales como depuración y desnitrificación, velocidad óptima de bombeo, alta eficiencia de bombeo, sopladores eficientes de velocidad variable, sistemas de control de aireación optimizados y sistemas de aireación, mezcla eficiente, soluciones de mezcla optimizadas, producción de biogás mejorada, bombeo aeróbico de lodo de alta eficiencia y control en la filtración reducirán la producción de gases de efecto invernadero por el sector del manejo de aguas residuales.

La meta es reducir emisiones de GEI generadas por el tratamiento de aguas residuales proyectadas para los años 2030 y 2050 en 25% y 40% respectivamente, a través del uso de tecnologías apropiadas para el ambiente en el tratamiento de aguas residuales y tener un ahorro en el consumo de energía por eficiencia energética de 25% para 2030 y 50% para 2050.

3. Resultados directos a nivel de opción y sector (Energía, recursos, GEI, costos y ahorros)

El Cuadro VI.F-1 a continuación proporciona un resumen de los resultados de los análisis microeconómicos realizados para cada una de las opciones MD. Los valores negativos se muestran en rojo (por ejemplo, emisiones de GEI por debajo de los niveles de línea base), mientras que los valores positivos se muestran en negro (por ejemplo, costos netos de implementación que están por encima de los costos de actividad normal). Estos resultados se muestran de forma independiente, lo que quiere decir que fueron evaluados contra las condiciones de actividad normal *BAU* suponiendo que ninguna otra opción sea implementada. **Estos resultados independientes indican que se estima que las reducciones de GEI anuales en el país para 2050 serán de 1.6 TgCO₂e y las reducciones acumuladas para 2019-2050 se estiman en 24 TgCO₂e.** Como se explicó bajo la discusión del inventario de la línea base antes citada, las emisiones preliminares estimadas por los desechos sólidos bajo el inventario con base en el consumo son significativamente mayores que las emisiones directas por manejo de desechos. Esta importante contribución de emisiones preliminares de desechos sólidos puede observarse también en las reducciones de emisión para DS-1 & 2, donde las emisiones acumuladas para 2050 son de 168 TgCO₂e comparadas con 7.1 TgCO₂e de las emisiones directas en el país. Algunas de estas reducciones de emisiones preliminares pueden ocurrir en el país, pero debido a la alta incertidumbre de donde ocurren, son atribuidas a las emisiones fuera del país.

Los costos netos de implementación para la sociedad para las opciones MD se estiman en -Q8.4 mil millones (en Q de 2018; -US\$1,100 millones). Para DS-1 & 2 y DS-3, las opciones resultan en ahorros porque los costos reducidos para basureros y el ingreso creado del reciclaje y el compostaje son mayores que los costos incrementados de la colecta de desechos y la infraestructura de reciclaje/compostaje. **La rentabilidad, lo cual está con base en las reducciones totales y no solo en las reducciones en el país, se estima en -45 Q/tCO₂e (en Q de 2018; -US\$5.92/tCO₂e).**

Cuadro VI.F-1. Impactos directos individuales para el sector de Manejo de desechos

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país			Impactos	Costo directo	
		Impactos anuales	Acumulados	Acumulados	Impactos	(Año base en Q de 2018)	
		CO ₂ e	2019-2050	2019-2050	Acumulados	VAN	Rentabilidad
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	QMillones	Q/tCO ₂ e
DS-1 & 2.	Expansión de colecta de desechos y mejora de la eficiencia de separación; Reutilización y reciclaje de desechos sólidos inorgánicos	(0.13)	(0.51)	(7.1)	(168)	-Q10,845	-Q64
DS-3.	Compostaje avanzado	0.040	(0.19)	(0.98)	(0.98)	-5940	-Q607
DS-4.	Captura y uso de gas de relleno sanitario	(0.20)	(0.40)	(7.4)	(7.8)	-Q363	-Q46
DL-1.	Medidas ahorradoras de agua en los sectores residencial, comercial, institucional e industrial	(0.14)	(0.34)	(5.6)	(6.9)	Q3,365	Q484
DL-2.	Tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales	(0.061)	(0.16)	(2.6)	(2.6)	Q9.3	Q3.6
	Total	(0.49)	(1.6)	(24)	(187)	-Q8,428	-Q45

US\$ 1.00 = Q. 7.60

Los resultados del resumen arriba citado se presentaron con base en el análisis independiente. Esto significa que se analizó cada opción de forma independiente contra las condiciones de actividad normal *BAU* (eso es, suponiendo que fuera la única opción que sea implementada). Estos resultados no reflejan traslapes u otras interacciones identificados con otras opciones. Los resultados que se ajustaron para tomar en consideración los traslapes / interacciones en este sector se brindan en el siguiente cuadro.

El Cuadro VI.F-2 proporciona un resumen de los resultados de los análisis microeconómicos tomando en cuenta las interacciones y traslapes con otras opciones en el mismo sector. Las únicas interacciones intra-sectoriales entre las opciones MD son entre DS-1&2 y DS-3 y entre DL-1 y DL-2. Las opciones de desechos sólidos se traslapan porque el componente de reducción de la fuente de DS-2 resulta en menor desvío de material de composta de los rellenos sanitarios en DS-3. También, DS-3 reduce la cantidad de basura que será colectada y depositada en DS-1. Existe un pequeño traslape entre las opciones de aguas residuales DL-1 y DL-2 porque DL-1 reduce la cantidad de aguas residuales que deben ser bombeadas y tratadas en DL-2, y DL-2 reduce la electricidad necesaria para bombear y tratar el agua en DL-1. **Los resultados integrados indican que las reducciones de GEI anuales en el país para 2050 se estiman en 1.5 TgCO_{2e} y las reducciones acumuladas para 2019-2050 se estiman en 23 TgCO_{2e}. Los costos netos de implementación para la sociedad de las opciones MD se estiman en -Q8,918 millones (-US\$ 1,173 millones). Se estima que la rentabilidad, la cual está con base en las reducciones totales y no solo en las reducciones en el país, es de -48 Q/tCO_{2e} (en Q de 2018; -US\$6.30/tCO_{2e}).**

Cuadro VI.F-2. Impactos directos intra-sectoriales integrados para el sector de Manejo de desechos

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos de GEI en el país		Impactos totales de GEI		Costo directo (Año base en Q de 2018)	
		Impactos anuales CO ₂ e		Acumulados 2019-2050	Acumulados 2019-2050	VAN 2019-2050	Rentabilidad
		2030 Tg	2050 Tg	TgCO ₂ e	TgCO ₂ e	QMillones	Q/tCO ₂ e
DS-1 y 2.	Expansión de colecta de desechos y mejora de la eficiencia de separación; Reutilización y reciclaje de desechos sólidos inorgánicos	(0.094)	(0.57)	(6.7)	(168)	-Q11,894	-Q71
DS-3.	Compostaje avanzado	(0.0042)	(0.0018)	(0.46)	(0.46)	-Q32	-Q69
DS-4.	Captura y uso de gas de relleno sanitario	(0.20)	(0.40)	(7.4)	(7.8)	-Q363	-Q46
DL-1.	Medidas ahorradoras de agua en los sectores residencial, comercial, institucional e industrial	(0.14)	(0.34)	(5.6)	(6.9)	Q3,366	Q485
DL-2.	Tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales	(0.061)	(0.16)	(2.6)	(2.6)	Q5.2	Q2.0
Total después de interacciones/traslapes intra-sectoriales		(0.50)	(1.5)	(23)	(186)	-Q8,918	-Q48

US\$ 1.00 = Q 7.60

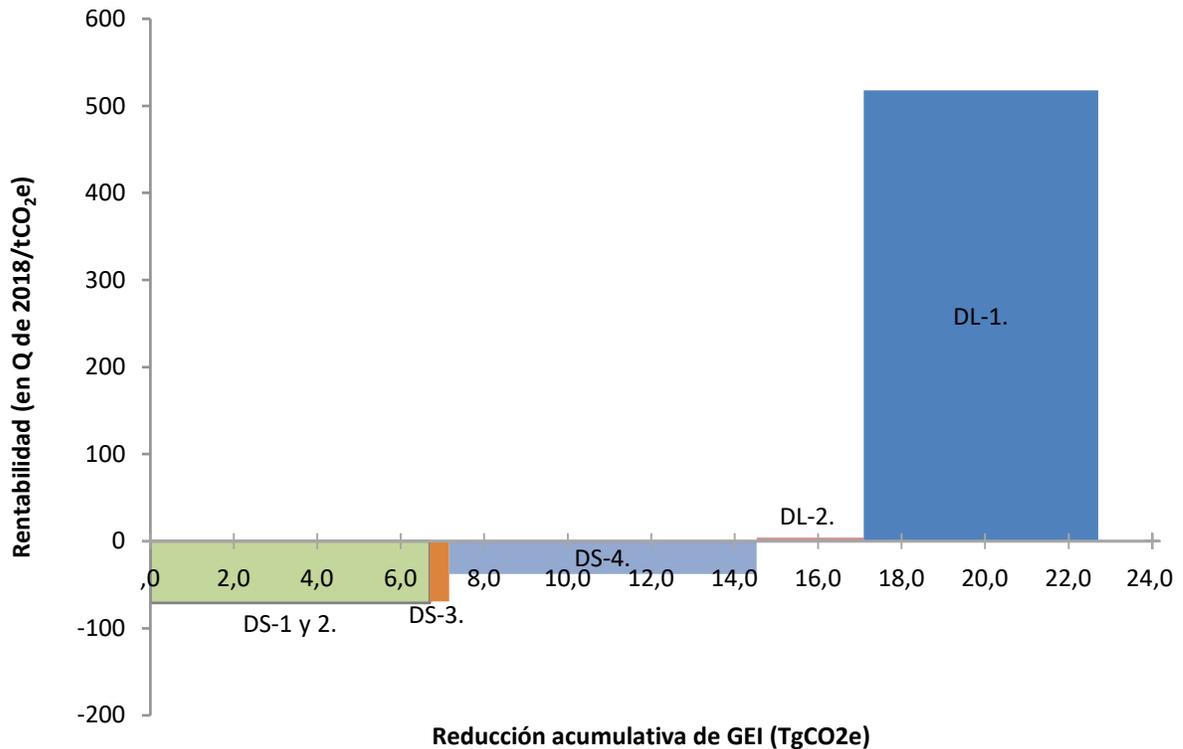
Los resultados mostrados en este cuadro se han ajustado para superposiciones u otras interacciones entre opciones en este sector, ver las notas junto a cada grupo de resultados de opción para obtener una descripción de las superposiciones / interacciones que fueron identificadas y abordadas.

DS-1 y 2: DS-1, 2 y 3 traslapan porque la reducción de la fuente de DS-1 resulta en el desvío de menos material de composta de los rellenos sanitarios en DS-3. DS-3 reduce la cantidad de basura que será colectada y depositada en DS-1.

DL-1 / DL-2: Existe un pequeño traslape entre DL-1 y DL-2 porque DL-1 reduce la cantidad de aguas residuales que deben ser bombeadas y tratadas en DL-2. DL-2 reduce la electricidad necesaria para bombear y tratar el agua en DL-1.

La Figura VI.F-2 es la MACC para el sector MD. La curva de costo traza las reducciones acumuladas de emisiones (2019-2050) para cada opción en el orden de más a menos rentable. Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”) presentados en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6). Si todas las opciones se implementan totalmente, se estima que las reducciones acumuladas son aproximadamente de 23 TgCO₂e. Tome nota que si las reducciones preliminares de emisión se consideran también (i.e. principalmente fuera del país), las reducciones acumuladas de emisión son de 186 TgCO₂e (ver Cuadro VI.F-2). Se espera que las opciones con valores negativos para CE resulten en ahorros netos para la sociedad.

Figura VI.F-2. MACC de GEI acumulados del sector Manejo de Desechos 2019 – 2050

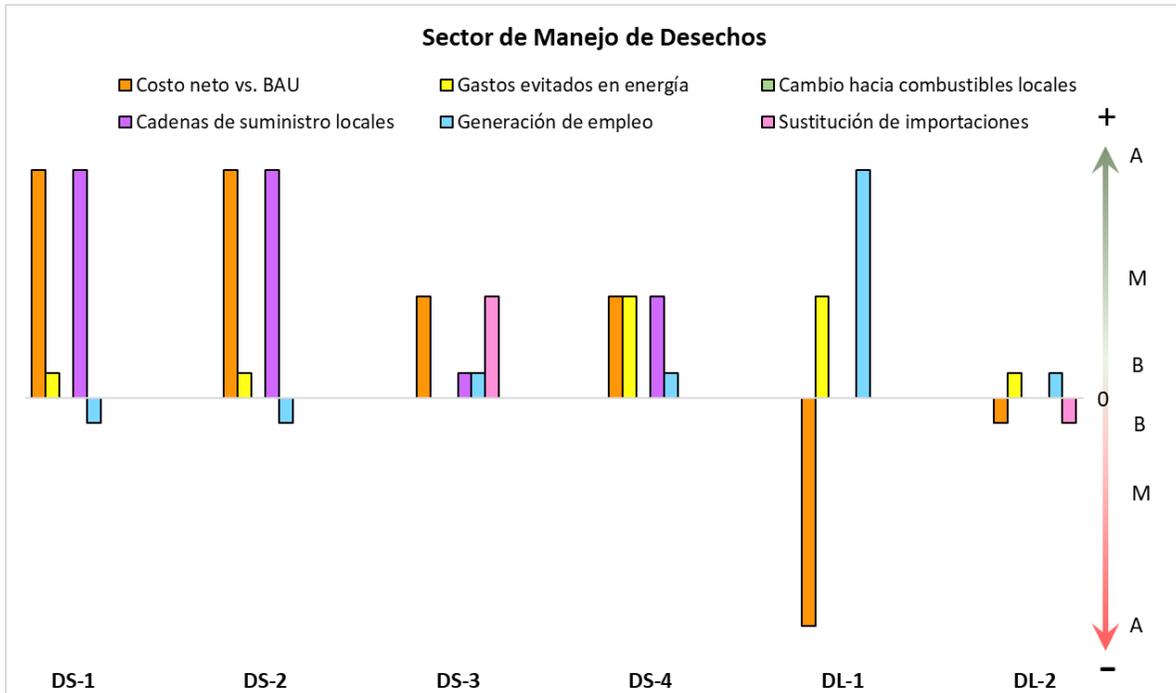


Nota: Los valores representados en esta MACC sectorial incorporan interacciones y traslapes con opciones en otros sectores (resultados “inter-sectoriales integrados”). Estos resultados se presentan en el Capítulo VII (los valores resumidos se proporcionan en el Cuadro VII.C-6).

4. Desempeño macroeconómico a nivel de opción y de sector

La Figura VI.F-2 a continuación resume los resultados de la evaluación macroeconómica de las opciones de MD. Se muestran estos resultados de forma independiente, lo que significa que se evaluaron contra condiciones de actividad normal de forma aislada, i.e. sin considerar influencias que pudieran deberse a la implementación de otras opciones.

Figura VI.F-2. Evaluación de impacto macroeconómico de las opciones DS-1 – DS-4, DL-1 – DL-2



Las opciones de desechos sólidos varían en su enfoque, abordando mejor transporte de basura, reducción de volumen de basura, mejor compostaje y, finalmente, captura de gases de rellenos sanitarios. Como resultado, dependen de tipos diferentes de acciones y gastos. Pero existe un hilo común: las cuatro opciones identifican una oportunidad de desbloquear una fuente de valor, que puede desaparecer bajo el sistema de manejo de desechos actual. DS-1 y DS-2 identifican el potencial para capturar y vender un gran volumen de materiales reciclables que actualmente se dirigen a los rellenos sanitarios. DS-3, que se concentra en compostaje, identifica posibilidades de venta de composta y ahorros en costos de fertilizantes que cubren completamente el costo de implementación esperada de la opción. Finalmente, DS-4 proyecta que los esfuerzos de captura de metano deberían auto-costearse a través de la generación de electricidad gratis que evita el costo de pago de utilidades por esa energía. **Como resultado, todas las opciones de desechos sólidos muestran ahorros netos con base en el conjunto de la economía. También muestran ganancias (de tamaños variados) para los sectores locales que están produciendo los nuevos materiales o energía.**

Las opciones de aguas residuales (DL-1 y DL-2) son algo diferentes una de la otra. **DL-1 anticipa un gasto relativamente mayor en actividad intensiva en mano de obra para ahorrar agua— un gasto de más de 4 veces el valor de la electricidad ahorrada por el sistema de agua como resultado.** Sin embargo, ese gasto se dedica principalmente a la mano de obra, lo cual es una observación positiva del factor asociado con el crecimiento del empleo en el conjunto de la economía. **DL-2, en contraste,**

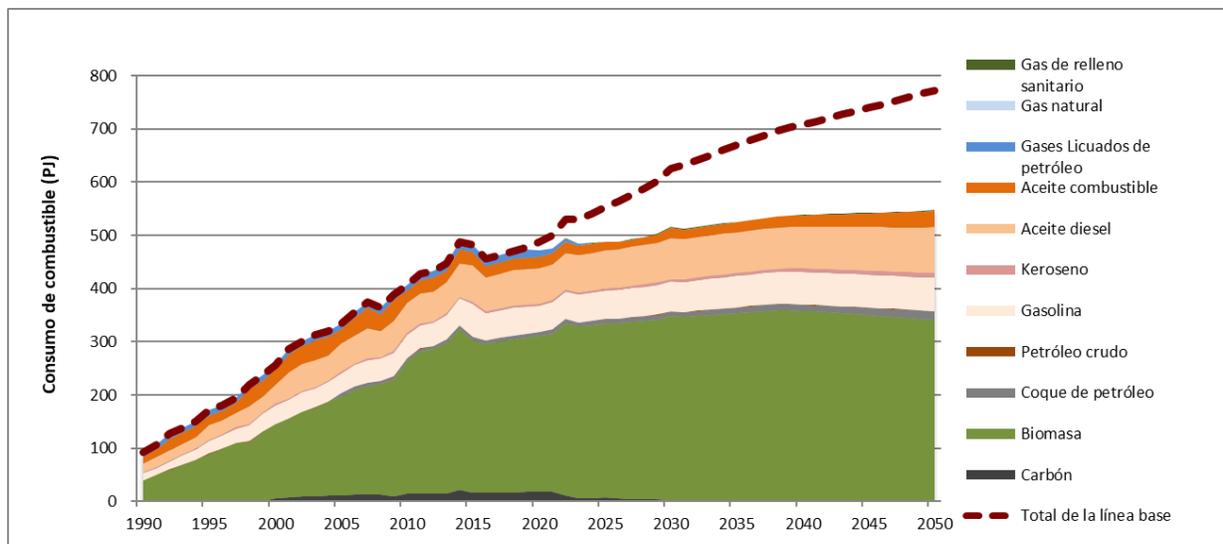
es una opción donde ningún costo o ahorro no excederá nunca unos cuantos millones de quetzales por año. Gracias a la pequeña escala de todos los gastos y ahorros, en el contexto de la economía guatemalteca en general, no se espera que esta opción tenga ningún efecto positivo o negativo notorio.

VII. IMPACTOS DE LA EDBE PARA GUATEMALA EN EL CONJUNTO DE LA ECONOMÍA (TODOS LOS SECTORES)

A. ENERGÍA

Los impactos de energía primaria intra- e inter-sectoriales integrados para todas las opciones, incluyendo el uso de combustible directo y el combustible usado para la generación de electricidad, fueron estimados y comparados con el consumo de combustibles estimado para la línea base. La Figura VII-A.1 a continuación muestra el consumo de combustibles estimado bajo el escenario del Plan de la EDBE. **A través de la implementación completa del Plan de la EDBE, el consumo de combustibles de actividad normal BAU se reducirá en más de 200 petajulios (PJ) anualmente para 2050 (de 773 PJ a 545 PJ/año en 2050).** Como se discutió en la sección de integración intersectorial a continuación, se estimó que los ahorros de combustibles a través de la implementación de las **opciones de eficiencia energética (EE) y energía renovable (ER) compensan casi todos los combustibles fósiles utilizados para la generación de electricidad.** La Figura VII-A.1 muestra que se estima que los combustibles utilizados solamente para la generación de electricidad en la línea base, carbón y gas natural, se reducen a cero; con el carbón completamente obsoleto a más tardar para 2037 y sin necesidad de nueva capacidad BAU para gas natural. El consumo de petróleo y aceite diésel para la generación de electricidad también se reducen por las medidas EE y ER.

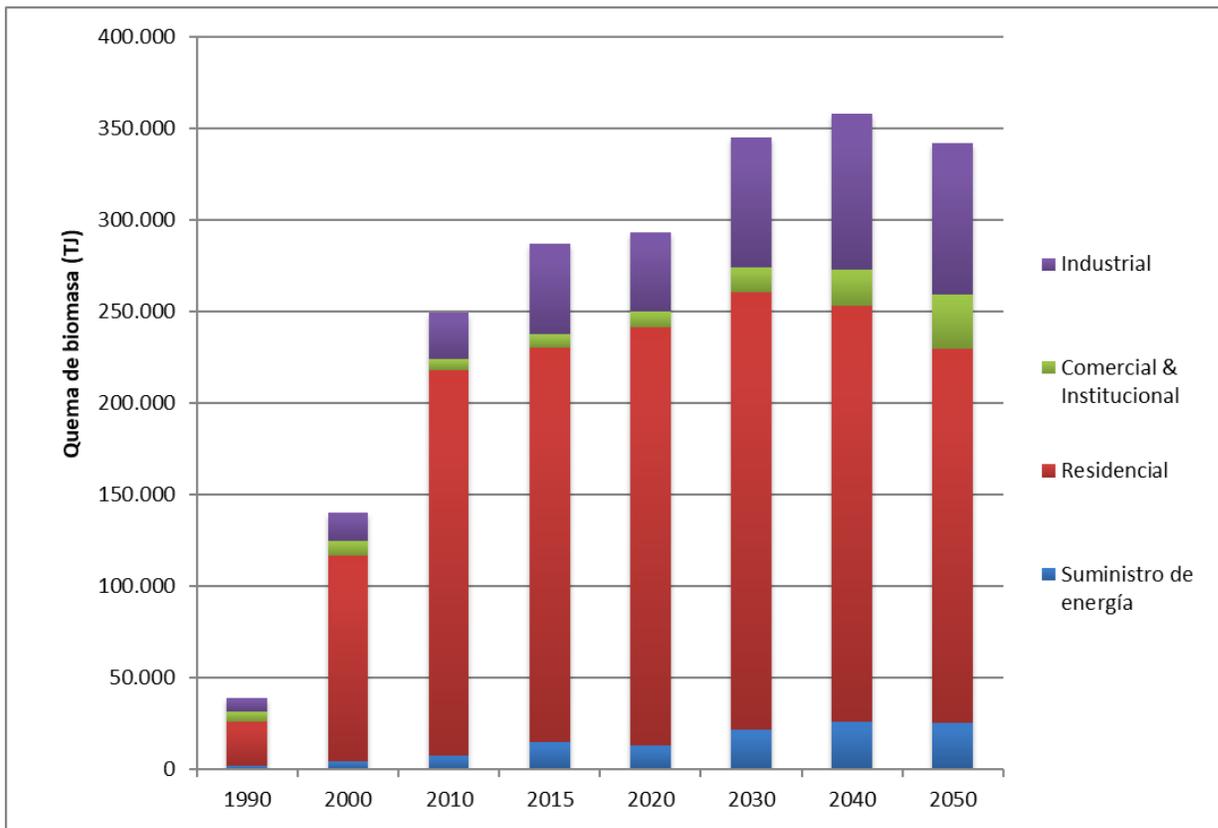
Figura VII.A-1. Pronóstico de consumo de energía primaria del escenario del Plan de la EDBE



El consumo de biomasa también se reduce, principalmente por medio del uso de estufas de leña eficientes de la opción E-9. Las opciones del sector transporte reducen el consumo de gasolina y combustible diésel. El consumo de GLP, petróleo, aceite diésel, queroseno, aceite crudo y coque de petróleo se reducirían a través de la implementación de las opciones de industria que reducen el uso directo de combustible para la generación de calor en procesos. En general, se estima que el consumo de GLP en Guatemala se compensará completamente para 2050, debido a la combinación de los impactos de las medidas del sector Industria y por el desplazamiento del uso de GLP en aplicaciones rurales por biogás producido a través de la implementación de GAN-3, que promueve el uso de digestores de estiércol.

La implementación del Plan de la EDBE reduciría el consumo de biomasa para usos energéticos finales de 398 PJ/año en el caso de actividad normal *BAU* a 342 PJ/año en 2050 (ver figura VII.A.2). La gran mayoría de estas reducciones (>99%) resultaría de la implementación de E-9, que promueve el uso de estufas de leña eficientes en el sector residencial. Las reducciones restantes son de las medidas de industria, incluyendo la opción I-1, la cual mejoraría la eficiencia de equipo industrial que usa combustible de biomasa, tales como hornos.

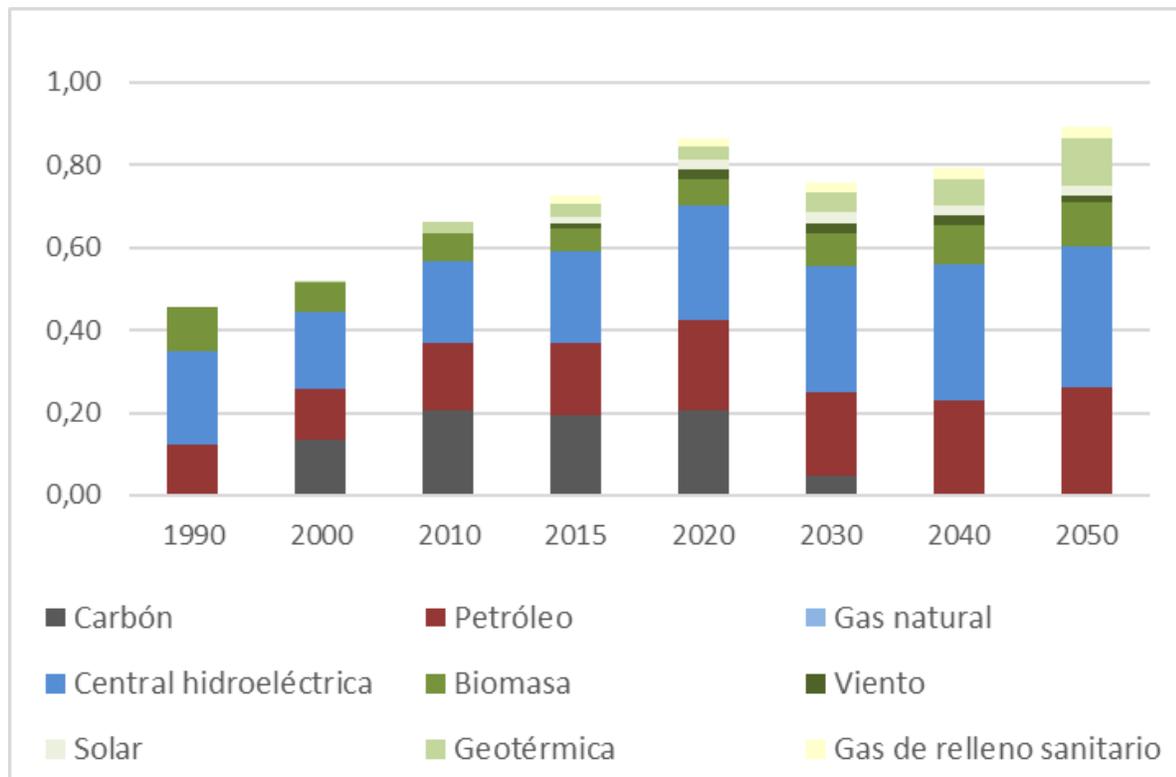
Figura VII.A-2. Quema de biomasa del Plan de la EDBE por Sector



Como se explicó en el informe de la línea base incluido en el Anexo B, un indicador clave de la seguridad energética es la diversidad de suministro de energía. Esta diversidad puede medirse utilizando el índice de diversidad de Shannon (H'). H' puede calcularse con base en los tipos de combustibles en uso en determinado año; también puede calcularse, por ejemplo, con base en la fuente de las importaciones de combustibles particulares. Bajo el pronóstico de la línea base de la EDBE, se

pronosticó que el H' para diversidad por tipo de combustible crecería de un valor de 1.18 para 2050 como resultado del incremento en el número de tipos del pronóstico de energía primaria a ser usados en ese año. Porque el Plan de la EDBE estima eliminar completamente el carbón y el gas natural, se espera que el índice de diversidad baje a 0.89 para 2050, solo un poco más alto que el valor de diversidad actual (2018; ver Figura VII.A-3 a continuación).

Figura VII.A-3. Índice de diversidad energética del conjunto de la economía para Guatemala: Escenario del Plan de la EDBE



Aunque se espera que el Plan de la EDBE reduzca la medida H' de diversidad energética por combustible, la eliminación del carbón y del gas natural, así como GLP, tendrían el beneficio de reducir la dependencia en combustibles importados, lo cual es otro elemento típicamente asociado con mejoras en la seguridad energética nacional. Los análisis futuros de los impactos del Plan de la EDBE en seguridad energética deberían considerar la aplicación de otros parámetros de diversidad más complejos que capturan el beneficio de seguridad de reducir las importaciones de energía.

B. RECURSOS

Los impactos estimados del uso/coertura del suelo (LULC) para el Plan de la EDBE se muestran en el Cuadro VII.B-1 a continuación. Se estima que la implementación del plan de la EDBE resulte en casi 2.5 millones de ha adicionales de bosque natural y plantaciones forestales con respecto a las estimaciones de la línea base para 2050. Estos impactos serían el resultado de implementar las opciones FOLU que preservan y amplían bosques y plantaciones forestales y de las opciones AG+GAN, GAN-1 y GAN-2, que mejoran la eficiencia del manejo de pasturas

y crean sistemas silvopastoriles. Existe una cantidad importante de incertidumbre en estas estimaciones debido a las incertidumbres asociadas con cómo otros usos de la tierra se verán afectados por estas opciones. Por ejemplo, no se comprende bien si bosques, matorrales u otros usos de la tierra serán mejor preservados como resultado de una presión reducida para la expansión de pasturas de ganado.

También es muy probable que exista algún grado de traslape entre las opciones FOLU y GAN. La evaluación de impactos directos supone que estas opciones se implementarán en diferentes tierras. Es posible, sin embargo, que si las opciones GAN que reducen presión sobre la tala de bosques y la opción FOLU-2 (conservación y gestión de bosques naturales sostenibles) se apliquen en parte en la misma área, entonces los impactos protectores atribuidos a FOLU-2 podrían reducirse. **Un análisis completo de los impactos sobre todos los tipos de usos de la tierra requeriría el uso de análisis geoespacial para determinar las ubicaciones exactas de bosques en riesgos, ampliación de tierra agrícola por tipo (pasturas, cultivos anuales, cultivos permanentes), expansión urbana y otros tipos de usos de la tierra, que esté por encima del alcance de este análisis.**

Cuadro VII.B-1. Impactos del Uso de la tierra/Cobertura del suelo (LULC) del Plan de la EDBE

IMPACTO LULC (MILES HA)	2020	2030	2040	2050
Bosque natural preservado	61	595	1,122	1,233
Expansión de bosque natural	13	148	262	526
Nuevas plantaciones forestales	28	227	471	715
Total	102	970	1,855	2,474

Nota: Los impactos son tal como los comparados con el escenario de actividad normal de cambio de LULC.

C. EMISIONES DE GEI Y COSTOS DIRECTOS Y AHORROS

I. Integración inter-sectorial

Seguido del análisis de impactos directos sectoriales, se llevó a cabo una integración de los impactos de GEI esperados en el conjunto de la economía para contabilizar interacciones y traslapes entre opciones entre sectores (un análisis “interacciones y traslapes inter-sectoriales”). Algunas de las áreas donde traslapes o interacciones entre opciones pueden ocurrir entre sectores incluyen:

- **Suministro y demanda de combustibles:** por ejemplo, pueden ocurrir traslapes cuando las opciones relacionadas al suministro de biocombustible estén presentes en los sectores de recursos (agricultura, silvicultura, manejo de desechos) y opciones que afecten la demanda de biocombustibles estén presentes en los sectores de demanda (RCI, Industria, Suministro de energía y Transporte). Para la EDBE, existen dos áreas potenciales de traslape:
 - Uso de etanol como un combustible de transporte: El sector transporte incluye la opción T-6 que aborda el uso de etanol producido en Guatemala en la mezcla del combustible de transporte. Ya que la opción está actualmente diseñada para re-dirigir el etanol que es producido bajo las condiciones *BAU* de un producto de exportación para su uso en el país, entonces no existe demanda adicional sobre el sistema agrícola (eso es, no existe producción/procesamiento adicional de caña de azúcar) para llenar esta necesidad. Por lo tanto, no se necesitan ajustes para abordar mayores niveles de emisiones de GEI en el sector agrícola para producir más etanol.

- Una demanda menor de biomasa forestal para uso de combustible: la opción de la EDBE E-9 promueve el uso de estufas de cocción con biomasa de alta eficiencia como un método para reducir el aprovechamiento forestal no sostenible de leña. Esta opción tiene un traslape potencial con medidas aplicadas en las opciones FOLU-1 (Establecimiento de plantaciones forestales sostenibles) y FOLU-2 (Conservación y gestión sostenible de bosques naturales sostenibles). Como están diseñadas actualmente, las dos opciones FOLU se concentran en mantener tierras boscosas actuales como bosques, eso es, evitando la conversión de tierra boscosa y añadiendo nuevas plantaciones forestales. Las opciones FOLU no abordan ningún cambio en aprovechamientos de madera, los cuales se ven reducidos por la implementación de E-9. Por lo tanto, todos los ahorros de carbono asociados con el consumo de leña reducido por la implementación de la opción E-9 se atribuyen a esta opción.
- **Manejo de materiales:** como un ejemplo, estos traslapes/interacciones pueden ocurrir entre sectores cuando las opciones que afectan generación, transporte o manejo de desechos están presentes. Para la EDBE, las opciones de manejo de desechos sólidos están presentes en el sector Industria (I-5) y el sector Manejo de desechos. Aunque en la práctica, los flujos de desechos sólidos de industria y municipalidades se mezclan a menudo, se asume que estos dos flujos de desechos sólidos se mantienen separados para fines del análisis. Por lo tanto, no hubo necesidad de ajustes para contabilizar los traslapes.

Como en la mayoría de los contextos de planificación similares, las áreas clave donde los impactos de sector que se traslapan ocurrieron en el proceso de la EDBE fueron entre **las opciones de suministro de electricidad y aquellos que afectaron la demanda de electricidad**. Los métodos para abordar estas interacciones se proporcionaron en el Anexo C (Metodología de integración inter-sectorial).

2. Emisiones de GEI e impactos directos de costos /ahorros del conjunto de la economía

Las reducciones directas de GEI y resultados de costos ajustados intra-sectoriales presentados en el Capítulo VI fueron ajustados posteriormente usando los parámetros de recursos marginales revisados descritos en el Anexo C. **El cuadro VII.C-1** proporciona un resumen del análisis de los impactos directos de la EDBE para todas las opciones luego del ajuste por traslapes e interacciones inter-sectoriales. Los resultados totalmente integrados se proporcionan para cada opción, para el total de opciones dentro de cada sector y, finalmente, para el Plan entero de la EDBE.

Los resultados totalmente integrados para el Plan de la EDBE indican que, si todas las opciones se implementan totalmente como fueron diseñadas, las reducciones de GEI totales para el año 2050 en el país serán de 120 TgCO_{2e} y las reducciones acumuladas dentro del país para el periodo 2019-20150 serán de 2,454 TgCO_{2e}. Se espera que los costos totales de implementación directos resulten en más de 41 mil millones en Q de 2018 (US\$ 5,400 millones) ahorrados para la sociedad (un valor de costo negativo en el cuadro indica ahorros netos para la sociedad guatemalteca). La columna “Impactos Acumulados Totales, 2019-2050” indica las reducciones de GEI acumuladas que ocurren dentro y fuera de los límites del país durante el periodo de planificación. Estas reducciones totalizan 2,732 TgCO_{2e} para el Plan de la EDBE. **Cuando los costos totales de implementación se dividen por las reducciones totales acumuladas, la rentabilidad estimada para todo el Plan de la EDBE es -17Q/ tCO_{2e} (-US\$2.21/tCO_{2e}).** Se elaboró la curva de costo marginal de abatimiento (MACC) para el Plan con base en los valores en el Cuadro VII.C-6 (ver Figura VII.C-1 a continuación).

Cuadro VII.C-1. Resultados del impacto directo totalmente integrado

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos en el país 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos en el país 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados en Guatemala 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados totales 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Valor Actual Neto 2019-2050 (Q2018Millones)	Rentabilidad (Q2018/tCO ₂ e)
E-1.	Manejo de permisos y ubicaciones para incrementar el potencial de plantas hidroeléctricas existentes	-1.3	-1.6	-2.6	-3.4	-47	-58	-Q6,602	-Q114
E-2.	Desarrollo de plantas mini y micro-hidroeléctricas	-0.026	-0.034	-0.063	-0.082	-1.0	-1.3	Q100	Q76
E-3.	Ampliar el uso de generación solar	-0.26	-0.31	-0.58	-0.76	-11	-13	-Q1,029	-Q77
E-4.	Ampliar el uso de energía geotérmica	-0.7	-0.9	-1.3	-1.7	-26	-32	Q717	Q23
E-5.	Nueva generación renovable para reducir pérdidas en el sistema	-0.48	-0.54	-1.0	-1.3	-17	-20	Q3,765	Q186
U-3.	Alumbrado público LED en Ciudad de Guatemala	-0.17	-0.20	-0.64	-0.84	-8.8	-11	-Q2,682	-Q245
U-4.	Añadir estándares de eficiencia energética al	-0.15	-0.19	-0.44	-0.68	-6.5	-8.9	-Q920	-Q104

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos en el país 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos en el país 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados en Guatemala 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados totales 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Valor Actual Neto 2019-2050 (Q2018Millones)	Rentabilidad (Q2018/tCO ₂ e)
	Código Nacional de Construcción								
Total del sector energía		-3.1	-3.7	-6.7	-8.8	-117	-144	-6,650	-Q46
E-6.	Códigos de eficiencia energética para edificios existentes	-0.14	-0.17	-0.23	-0.30	-4.4	-5.4	-Q471	-Q87
E-7.	Estándares de eficiencia energética para equipo y electrodomésticos	-1.7	-2.0	-2.3	-3.0	-48	-60	-Q13,298	-Q223
E-8.	Auditorías energéticas	-0.10	-0.12	-0.16	-0.21	-3.1	-3.8	-Q125	-Q33
E-9.	Introducción de estufas de leña eficientes	-2.7	-2.7	-11	-11	-162	-162	-Q5,895	-Q36
Total del sector Residencial, Comercial e Institucional		-4.6	-5.0	-14	-15	-218	-230	-Q19,790	-Q86
I-1.	Eficiencia energética para hornos	-0.11	-0.13	-0.24	-0.28	-3.7	-4.3	Q101	Q24
I-2.	Programas de eficiencia energética - calderas y calentadores de procesos	-0.0033	-0.035	-0.010	-0.11	-0.17	-1.8	Q16	Q9.3

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos en el país 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos en el país 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados en Guatemala 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados totales 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Valor Actual Neto 2019-2050 (Q2018Millones)	Rentabilidad (Q2018/tCO ₂ e)
I-3.	Incentivos para energía renovable	-0.85	-1.0	-1.6	-1.9	-29	-35	-Q6,792	-Q192
I-4.	Mejoras a la eficiencia de energía eléctrica	-0.90	-1.1	-2.0	-2.6	-37	-45	-Q4,836	-Q107
I-5.	Reciclado incrementado y/o sustitución de materiales	-0.00039	-0.27	-0.052	-1.3	-0.42	-17	-Q1,091	-Q66
I-6.	Mejorar recuperación de calor	-0.0044	-0.0049	-0.026	-0.029	-0.36	-0.39	Q42	Q106
Total del sector Industrial		-1.9	-2.5	-3.8	-6.2	-70	-103	-Q12,603	-Q122
T-1.	Construir la ruta de tren ligero del metroriel en Ciudad de Guatemala	-0.0063	-0.010	-0.025	-0.031	-0.32	-0.44	-Q554	-Q1,246
T-2.	Modernizar la flota privada de buses suburbanos/extra-urbanos	-0.19	-0.24	-0.34	-0.42	-8.6	-11	Q1,527	Q144
T-3.	Mejorar el tránsito regular, actualizar la flota, y ampliar BRT en Ciudad de Guatemala	-0.019	-0.023	-0.020	-0.024	-0.54	-0.67	Q2,118	Q3,171

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos en el país 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos en el país 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados en Guatemala 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados totales 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Valor Actual Neto 2019-2050 (Q2018Millones)	Rentabilidad (Q2018/tCO ₂ e)
T-4.	Construcción de Libramientos de carretera alrededor de Chimaltenango y Barberena	-0.023	-0.028	-0.035	-0.042	-0.92	-1.1	Q65	Q57
T-5.	Modernizar la flota vehicular privada de servicio ligero	-0.21	-0.27	-0.28	-0.35	-5.3	-6.8	-Q4,140	-Q607
T-6.	Promover el uso de etanol en gasolina	-0.11	-0.13	-0.13	-0.15	-4.2	-4.8	Q1,576	Q331
U-1.	Establecer un componente de uso de la tierra urbano dentro de la Política Nacional Desarrollo Urbano	-1.4	-1.8	-1.6	-2.0	-40	-49	-Q30,859	-Q626
U-2.	Plan de Movilidad Urbana Sostenible para Ciudad de Guatemala	-0.079	-0.10	-0.35	-0.45	-4.8	-6.1	Q2,654	Q435
Total de Transporte y Uso de la tierra		-2.1	-2.6	-2.8	-3.5	-64	-80	-Q27,613	-Q346
AG-1.	Manejo sostenible de suelos	-1.0	-1.1	-2.6	-2.6	-44	-45	-Q946	-Q21

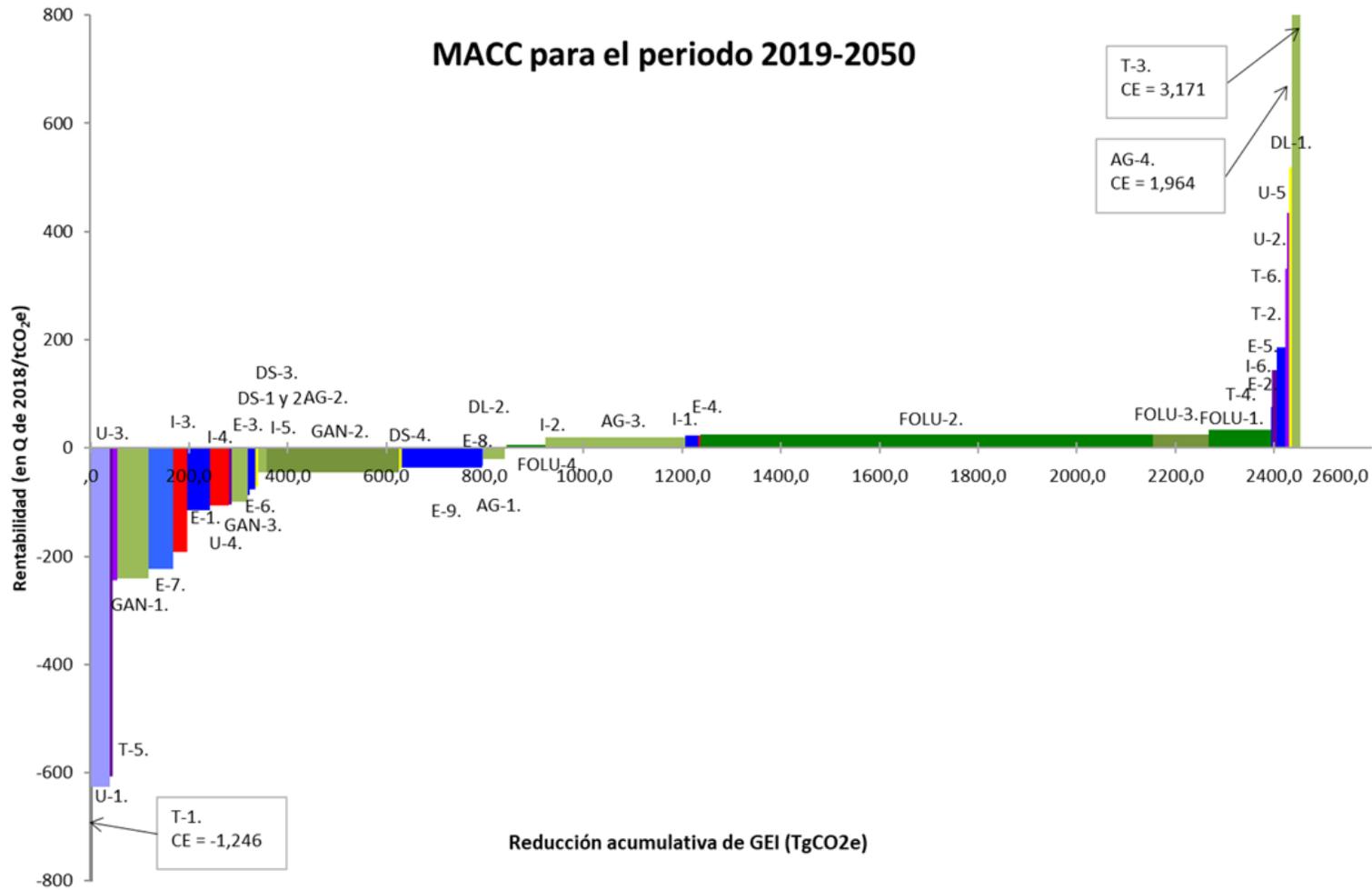
Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos en el país 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos en el país 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados en Guatemala 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados totales 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Valor Actual Neto 2019-2050 (Q2018Millones)	Rentabilidad (Q2018/tCO ₂ e)
AG-2.	Establecimiento y mejora de sistemas agroforestales	-0.87	-0.88	-0.24	-0.26	-16.0	-16.4	-Q747	-Q46
AG-3.	Establecimiento de plantaciones frutales	-4.1	-4.2	-21	-21	-284	-287	Q5,877	Q20
AG-4.	Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados	-0.41	-0.51	-1.1	-1.4	-17	-21	Q42,065	Q1,964
GAN-1.	Gestión del pasto mejorado a través de pastoreo rotacional	-1.5	-1.5	-3.9	-3.9	-65	-65	-Q15,589	-Q241
GAN-2.	Promoción de sistemas silvopastoriles	-7.2	-7.2	-8.4	-8.4	-268	-268	-Q12,184	-Q45
GAN-3.	Promover manejo integrado de estiércol en sistemas intensivos de producción animal	-0.87	-1.4	-1.7	-2.8	-32	-51	-Q5,065	-Q99
Total del sector Agricultura y ganadería		-16	-17	-39	-40	-725	-753	Q4,184	Q5.6
FOLU-1.	Establecimiento de plantaciones forestales sostenibles	-2.5	-2.5	-8.5	-8.5	-126	-126	Q4,310	Q34

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos en el país 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos en el país 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados en Guatemala 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados totales 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Valor Actual Neto 2019-2050 (Q2018Millones)	Rentabilidad (Q2018/tCO ₂ e)
FOLU-2.	Conservación y gestión de bosques naturales sostenibles	-27	-27	-32	-32	-918	-918	Q22,392	Q24
FOLU-3.	Reforestación de tierras degradadas con especies nativas	-2.2	-2.2	-7.8	-7.8	-113	-113	Q2,767	Q24
FOLU-4.	Fortalecer la capacidad de respuesta institucional en la prevención y control de incendios forestales	-2.2	-2.2	-4.4	-4.4	-79	-79	Q454	Q5.7
U-5	Sistema de espacios verdes urbanos	-0.0081	-0.0081	-0.016	-0.016	-0.30	-0.30	Q146	Q490
Total del sector Silvicultura y Otro uso de la tierra		-34	-34	-53	-53	-1,236	-1,236	Q29,923	Q24
DS-1 & 2.	Expansión de colecta de desechos y mejora de eficiencia de separación; Reutilización y reciclaje de	-0.094	-3.9	-0.57	-10	-6.7	-168	-Q11,894	-Q71

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos en el país 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos en el país 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados en Guatemala 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados totales 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Valor Actual Neto 2019-2050 (Q2018Millones)	Rentabilidad (Q2018/tCO ₂ e)
	desechos sólidos inorgánicos								
DS-3.	Compostaje avanzado	-0.0042	-0.0042	-0.0018	-0.0018	-0.46	-0.46	-Q32	-Q69
DS-4.	Captura y uso de gas de relleno sanitario	-0.20	-0.21	-0.40	-0.43	-7.37	-7.8	-Q295	-Q38
DL-1.	Medidas ahorradoras de agua en los sectores Residencial, Comercial, Institucional e Industrial	-0.14	-0.17	-0.34	-0.44	-5.62	-6.9	Q3,594	Q518
DL-2.	Tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales	-0.061	-0.06	-0.16	-0.16	-2.57	-2.6	Q11	Q4.2
Total del sector Manejo de desechos		-0.50	-4.4	-1.5	-12	-23	-186	-Q8,616	-Q46
Resultados Totales integrados para el Plan de la EDBE		-62	-69	-120	-138	-2,454	-2,732	-Q41,166	-Q17

Identificación de la opción	Título de la opción	Impactos en el país 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2030 (TgCO ₂ e)	Impactos en el país 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos Totales 2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados en Guatemala 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Impactos acumulados totales 2019-2050 (TgCO ₂ e)	Valor Actual Neto 2019-2050 (Q2018Millones)	Rentabilidad (Q2018/tCO ₂ e)
<p>Aunque las estimaciones de costos se proporcionan al Q más cercano, no deberían comprenderse como precisas a más de 2 dígitos significativos. Por ejemplo, el VAN del Plan de la EDBE debería entenderse cerca de -41 mil millones Quetzales.</p>									

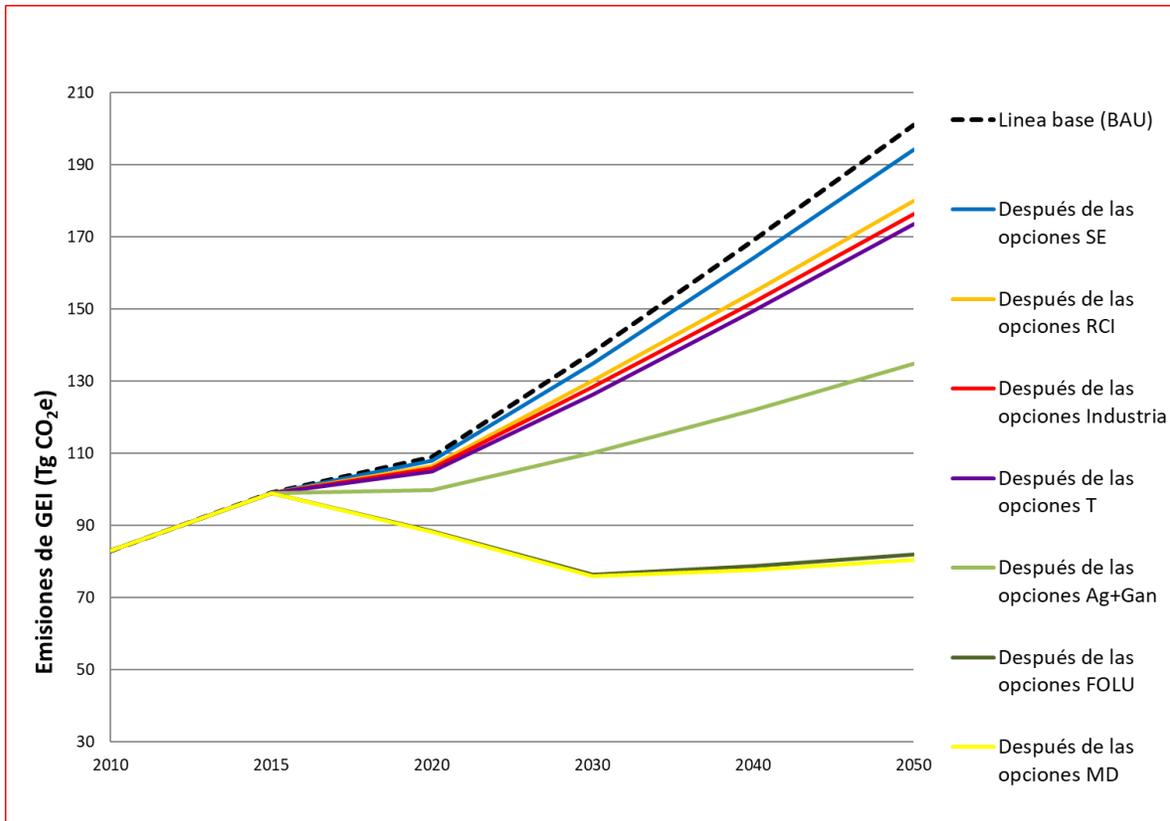
Figura VII.C-1. Curva de costo marginal de abatimiento de GEI acumulados 2019-2050



La Figura VII.C-1 anterior muestra la MACC para las reducciones de emisión acumuladas 2019-2050. Las opciones de la EDBE están ordenadas de menor a mayor rentabilidad y las barras muestran la rentabilidad (en Q de 2018/tCO₂e) versus la reducción de emisión acumulada (TgCO₂e). Las barras están coloreadas para que coincida con el esquema de colores mostrado en el Cuadro VII.C-1. Las barras más altas indican rentabilidad muy alta, barras más anchas indican impacto de emisión más grande sobre el periodo de pronóstico. Algunas barras (T-1, T-3, y AG-4) son muy altas para que sean mostradas por completo en esta escala, así que la CE se muestra en las casillas correspondientes. Algunas barras son muy delgadas para ser vistas a esta escala (p.e. T-1).

La Figura VII.C-2 a continuación muestra **los impactos de GEI esperados contra la línea base para el Plan de la EDBE**. Cada línea por debajo de la línea de emisiones netas de GEI *BAU* indica las emisiones restantes después de implementar todas las opciones dentro de un sector específico. Las reducciones de Suministro de energía (SE) se sustraen primero, seguidas por aquellas del sector Residencial/Comercial/Institucional (RCI), etc. La línea amarilla en la base indica emisiones restantes después de la implementación de las opciones del sector manejo de desechos (MD), además de todos los otros sectores. Claramente indicado aquí están los tamaños de las reducciones de emisión alcanzadas con las series de opciones de agricultura y FOLU. Después de 2030, el crecimiento poblacional y económico continuo resultarán aún en algún crecimiento continuo en emisiones; sin embargo, a una tasa mucho más reducida. Además, muchas de las opciones de la EDBE se diseñaron con tiempos de implementación que logran la implementación completa en el periodo de tiempo 2030 a 2035. Finalmente, después de 2030, se espera que las opciones de la EDBE hayan cambiado la generación de energía a fuentes más limpias, así las opciones que reducen la demanda de electricidad tendrán más impactos tenues más adelante en el periodo de planificación.

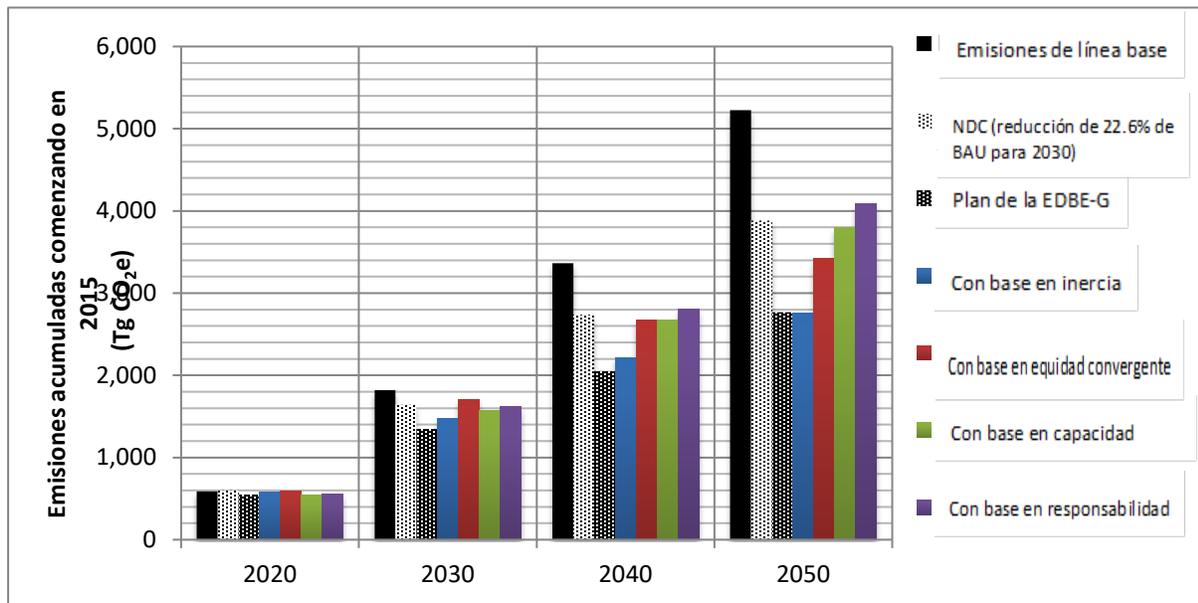
Figura VII.C-2 Reducciones de GEI esperadas de la Implementación de Opciones de la EDBE para Guatemala



Las emisiones de GEI acumuladas hasta 2050 en el país son el parámetro clave para usar en la evaluación de la contribución de Guatemala a las necesidades mundiales de reducción de GEI. Como se muestra en la base del Cuadro VII.C-1, a través de la implementación del Plan de la EDBE, se espera que las reducciones acumuladas en el país sean 2,451 TgCO₂e.

La Figura VII.C-3 a continuación es una versión revisada de la gráfica anterior mostrada en el capítulo de la línea base que indica los presupuestos posibles de GEI para Guatemala como parte de un esfuerzo mundial para mantener los GEIs atmosféricos en niveles seguros (emisiones acumuladas permitidas hasta 2050). Estos presupuestos se comparan con estimaciones con base en la meta de la NDC nacional existente y los resultados del Plan de la EDBE. Como se muestra en esta gráfica, **las emisiones acumuladas del plan de la EDBE en el país cumplen con los presupuestos con base en la equidad convergente, capacidad y responsabilidad, y están ligeramente por encima del presupuesto con base en la inercia en 2050 (2,775 TgCO₂e vs. 2,755 TgCO₂e)**. Ver el informe de la línea base de la EDBE (Anexo B) para más información sobre la estimación de estos presupuestos para Guatemala.

Figura VII.C-3. Asignación de presupuesto de GEI inferido para Guatemala para un calentamiento de 2 grados C y Comparación de las emisiones de la NDC y el Plan de la EDBE



D. DESEMPEÑO MACROECONÓMICO

Con base en los resultados de las 43 evaluaciones de indicador macroeconómico de las opciones individuales, como se muestra en las secciones individuales del capítulo VI relacionada a cada sector, es apropiado resaltar algunos efectos netos de la colección entera de las opciones de la EDBE:

- **Los ahorros generales exceden el costo de implementación.** Cuando se suman todos los flujos financieros, la colección entera de las 43 opciones **proyecta producir aproximadamente Q500 mil millones (US\$66 mil millones) más en ahorros y en nueva productividad que en los costos de implementación de la opción.** Esto se mide de manera acumulativa sobre el periodo entero 2019-2050 y representa ahorros netos en promedio para la economía de casi Q16 mil millones (US\$2,100 millones) por año. **Esto**

indica que mientras la implementación de estas 43 opciones requiere de un rango de inversiones anticipadas y otros costos, el retorno potencial en esas inversiones es significativamente mayor que el grupo de costos implicados. Cuando se descuenta al valor actual (un ajuste para reflejar el valor reducido de ahorros o costos que ocurren en un futuro lejano), los ahorros netos durante el periodo 2019-2050 equivale a los ahorros netos de más de Q78 mil millones en Q de 2018 (US\$10,300 millones). El efecto indirecto de estos ahorros es liberar capital escaso para reinversión y expansión macroeconómica.

Este resultado general ocurre a pesar de la diversidad significativa de los resultados individuales de las opciones de la EDBE. De hecho, de las 43 opciones, **se proyecta que 25 produzcan una mezcla de ahorros y productividad mayor a su costo de implementación. Las otras 18 opciones tienen un costo neto que es positivo, lo que significa que los costos de implementación no están cubiertos por completo por los ahorros o la nueva productividad.** Las opciones que se enfocan en eficiencia energética, desechos sólidos y agricultura pudieron todas o casi todas mostrar ahorros netos, mientras que las que cubrían silvicultura, desecho líquidos y expansión de tránsito lucharon constantemente para recuperar ahorros o suficiente productividad para compensar sus costos de implementación. Eso dicho, **se espera que estas opciones produzcan otros beneficios macroeconómicos que se abordan por la metodología aplicada.** Por ejemplo, la expansión de cobertura forestal via una combinación de conservación forestal y reforestación también proporcionará otros beneficios ecosistémicos (p.e. agua más limpia, erosión reducida, hábitat de vida silvestre). La expansión de tránsito resultaría en menos vehículos en la carretera y mejoras en la calidad del aire. Estos beneficios ecosistémicos y otros indirectos no se monetizaron ni se incorporaron a los micro o macro-análisis. Siguiendo estos, beneficios adicionales, tales como cualquier impulso al turismo asociado con mayor biodiversidad o impactos reducidos a la salud tampoco se incluyeron.

- ***Las opciones de la EDBE conllevan reducción significativa en el consumo y gasto en combustibles.*** Las 43 opciones de la EDBE concentran, en su diseño, no solo cambiar a fuentes de energía más limpias pero también en la reducción de la demanda general de energía. Sus análisis individuales identifican, como resultado, **una reducción neta de gasto de energía de más de Q325 mil millones (US\$42,800 millones) en valor acumulado en el periodo 2019-2050.** Esto asciende a ahorros netos en costos de energía de casi Q10 mil millones (US\$ 1,300 millones) por año. **Esto representa cantidades de dinero significativas liberadas para otros usos por consumidores de energía (incluyendo viviendas, empresas y el gobierno) en la economía guatemalteca.** Dado que una parte significativa de energía primaria consumida se deriva de combustibles fósiles importados (ya sean crudos o refinados), esto también refleja un alivio significativo de una presión negativa sobre el balance de importaciones y exportaciones de Guatemala. Con base en el análisis citado anteriormente, existe una relación estadísticamente significativa entre una reducción en el gasto en energía y las proyecciones del crecimiento del PIB como resultado de la implementación. **El efecto indirecto de estos ahorros es también liberar capital escaso para reinversión y expansión macroeconómica.**
- ***Las opciones de la EDBE también conllevan cambios significativos hacia combustibles de transporte producidos localmente.*** Motivados principalmente por la mezcla de etanol producido localmente en el suministro de gasolina utilizado por los vehículos en Guatemala y, en menor medida, por la expansión de la flota vehicular eléctrica y apoyando la infraestructura para permitir la carga, **se proyecta que las opciones cambien casi Q58 mil millones (US\$7,600 millones) en gasto acumulado en el consumo de energía de combustibles de petróleo importados a etanol y electricidad generados localmente.**

- **Las opciones de la EDBE conllevan una significativa reducción general en las importaciones.** Tomadas juntas, las 43 opciones de la EDBE generan una reducción significativa en las importaciones. Motivado principalmente por las reducciones en demanda por los combustibles fósiles importados necesarios para alimentar la generación de actividad normal de electricidad, **se proyecta que las opciones de la EDBE reduzcan las importaciones netas totales en aproximadamente Q40-60 mil millones (US\$5,300-7,900 millones) en el periodo 2019-2050.** Esto ocurre a pesar de un incremento significativo (más de Q400 mil millones; US\$52,600 millones) en gastos en la importación de maquinaria, equipo, nuevos vehículos y otros insumos especializados— así como el financiamiento asociado con su compra— proyectado como parte de la inversión necesaria para implementar el grupo de opciones de la EDBE.

Este panorama de nuevas importaciones significativas en algunas áreas compensado por reducciones más grandes de importaciones en otras áreas se refleja en la diversidad de desempeño de opciones individuales contra este parámetro. De las 43 opciones, **solo 26 se identificaron que afectan importaciones y exportaciones netas.** De ese grupo, la mitad (13, dirigido por las opciones energéticamente eficientes) produce reducciones netas en las importaciones, mientras que el resto (las otras 13, dirigido por el sector industria) produce incrementos netos en las importaciones. **El efecto indirecto de este cambio es también la expansión de la actividad económica nacional.**

- **La implementación de opciones de la EDBE proyectó incrementar niveles de actividad intensiva en mano de obra.** Casi todas las opciones de la EDBE anticipan que algunos de sus costos de implementación asociados vendrán en forma de ampliación en la supervisión, manejo, mantenimiento o implementación. **Estas actividades intensivas en mano de obra están asociadas con incrementos en el empleo total en el conjunto de la economía— reflejando la contratación directa para llevar a cabo estas actividades y la expansión del mercado laboral que resulta a medida que el nuevo ingreso del hogar se gasta en bienes y servicios.**

De acuerdo con el efecto general, las opciones individuales son consistentemente positivas en relación con el estímulo de la actividad intensiva en mano de obra. De las 43 opciones de la EDBE presentadas, **39 proyectan incluir gastos en actividades intensivas en mano de obra mientras que tres esperan reducir tales actividades por debajo de su línea base.** Solo una opción no tuvo este factor asociado con ninguno de sus gastos o impactos de ahorros. En definitiva, se proyecta que el gasto del sector privado y público en actividades intensivas en mano de obra crezca de forma combinada en **Q238 mil millones (US\$31,300 millones) en valor nominal durante el periodo 2019-2050,** con las únicas reducciones proyectadas en las prácticas de actividad normal de manejo de desechos (debido a la eficiencia en la colección y los esfuerzos de reducción de desechos) y en la reparación y mantenimiento de vehículos (debido a viajes reducidos debido a las expansiones de tránsito). **El efecto indirecto de este cambio es la expansión del empleo nacional.**

- **Cerca de la mitad de todas las opciones estimulan sectores locales; cerca del 20% de actividad de sector local que reduce riesgos.** En general, las 43 opciones de la EDBE proporcionan un impulso neto a los sectores y cadenas de suministro locales dentro de la economía guatemalteca. El objetivo más común del estímulo es el sector de construcción, ya que la construcción de nueva infraestructura o edificios está proyectada como resultado de la implementación de opciones. **Esta ganancia, sin embargo, proviene de solo 21 opciones, mientras que otras ocho de hecho anticipan reducciones en las cadenas de suministro locales.** Para estas ocho, el objetivo más común es el sector de

utilidades de actividad normal, ya que se espera que la generación de actividad normal de energía y las actividades que la apoyan lleven a cabo menor actividad como resultado ya sea de cambios a renovables, ganancias en eficiencia u otras metas. **Catorce opciones no parecen afectar empresas locales con cadenas de suministro nacionales – por lo menos no directamente. El efecto indirecto de este cambio es la expansión de la actividad económica nacional.**

En general, se estiman indicaciones favorables de potencial para el crecimiento económico como resultado de la implementación del plan de la EDBE. El grupo completo de las opciones de la EDBE ofrece una base significativa para ser optimista sobre la capacidad de las opciones bajas en emisiones de estimular, en lugar de suprimir, la actividad económica en Guatemala. **Muchas opciones ofrecen ahorros o retornos de productividad mayores que sus costos de implementación, así como lo hace la colección de las opciones cuando se consideran en conjunto.** Las opciones también gastan dinero significativo en actividades intensivas en mano de obra, lo cual está asociado con el crecimiento de empleos en el conjunto de la economía, mientras que también reducen las importaciones netas (particularmente importaciones de combustibles fósiles), incrementando la adopción de tecnologías avanzadas y dirigiendo la actividad a sectores locales clave.

No todas las opciones ofrecen el mismo perfil. Algunas luchan para retornar beneficios similares a su costo de implementación o muestran motivo de preocupación con respecto a sus necesidades de importar o su distanciamiento de actividades locales existentes. Eso dicho, ni una sola opción fue completamente negativa – todas las opciones mostraron algunas características positivas. La identificación de motivos de preocupación debería guiar a los legisladores para abordar estos temas a medida que pulan más el diseño de cada opción para un impacto ambiental y económico óptimos.

E. OTROS BENEFICIOS DEL PLAN DE LA EDBE

Una evaluación exhaustiva de otros beneficios o desventajas que podrían estar asociados con la implementación de las opciones de la EDBE estuvo por encima de los recursos asignados al proyecto. Definitivamente, muchas relaciones con otros temas importantes de desarrollo podrían identificarse. Por ejemplo, la transformación del sistema de electricidad de Guatemala que resultaría de la implementación de opciones que incrementan la producción de energía renovable y la eficiencia energética eléctrica podrían ser profundas. Tal transformación no solo resultaría en la reducción de emisiones de GEI e importaciones de combustibles fósiles, pero también reduciría la cantidad de generación necesaria de las plantas hidroeléctricas. El agua no necesaria para producir energía podría ser conservada para otros fines (alternativamente, esta cantidad de agua no sería necesaria durante años venideros de sequía). También se esperan las mejoras en la calidad del aire como resultado del desplazamiento de la generación con base en combustibles fósiles de plantas alimentadas con carbón, crudo y gas natural. La diversidad biológica sería conservada como resultado de menores presiones de conversión de tierra boscosa u otra cobertura natural a tierras de cultivos o pastizales y de menores niveles de aprovechamiento de leña. Todos estos beneficios serían valorados para explorar además de cualquier trabajo en curso resultante de este plan.

ANEXO A. LISTADO DE PARTICIPANTES DEL PROCESO DE LA EDBE

ANEXO B. INFORME DE LÍNEA BASE DE LA EDBE PARA GUATEMALA

ANEXO C. MEMORANDUM DE CUANTIFICACIÓN DE LA EDBE PARA GUATEMALA Y METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE SUMINISTRO- DEMANDA DE ELECTRICIDAD

ANEXO D. OPCIONES DE DEMANDA Y SUMINISTRO DE ENERGÍA

ANEXO E. OPCIONES DE INDUSTRIA

ANEXO F. OPCIONES DE TRANSPORTE

ANEXO G.AGRICULTURA & GANADERÍA

ANEXO H. OPCIONES DE SILVICULTURA Y OTRO USO DE LA TIERRA

ANEXO I. OPCIONES DE MANEJO DE DESECHOS