



BANCO CENTRAL DE RESERVA

Estimación del Modelo IPAT en El Salvador: análisis de las medidas para afrontar el cambio climático

2022

Marisela Jazmín Rivas Hernández

Carlos Alberto Sanabria

Contenido

Resumen ejecutivo.....	4
Introducción	5
I. Cambio Climático y metas para El Salvador.....	7
A. ¿Qué es el Cambio climático?.....	7
B. Impacto a nivel mundial del cambio climático.....	8
C. Impacto en Latinoamérica y El Salvador del cambio climático.....	14
D. Gases de efecto invernadero (GEI).....	23
E. Sectores económicos de El Salvador según emisión de GEI	26
1. Sector Energía	27
2. Procesos industriales y uso de productos (IPPU)	28
3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	28
4. Residuos	29
F. Matriz energética en El Salvador.....	30
G. Planes y programas de cambio climático en el país.....	34
H. NDC de El Salvador y metas de cambio climático.....	35
I. Comparación de El Salvador con las NDC de Centroamérica.....	37
II. Marco Metodológico y conceptual.....	43
A. Marco metodológico	43
1. Ecuaciones básicas del modelo.....	43
2. Beneficios del uso del modelo IPAT	43
3. Datos y fuentes.....	44
B. Descripción del Modelo IPAT	45
III. Modelo IPAT para El Salvador: evaluando la NDC.....	47
A. Estimación del Modelo IPAT para El Salvador.....	47
1. Análisis de tendencia de las emisiones de GEI.....	47
2. Escenario BAU y escenarios alternativos por sector.....	50
a) Modelo general	50
b) Sector Energía: Emisiones de GEI.....	54
c) Sector Agricultura.....	57
d) Sector Industria	59
e) Sector Transporte.....	62
3. Resultados del Modelo IPAT para El Salvador	63

B. Comparación de los resultados con Centroamérica.....	64
IV. Conclusiones.....	68
Bibliografía	70

Resumen ejecutivo

El estudio tiene como propósito estimar el Modelo IPAT para El Salvador y elaborar escenarios que proporcionen una visión de las medidas necesarias para alcanzar las metas de cambio climático establecidas por el país. Con esta finalidad, y considerando que este tema ha sido poco explorado en el país, se presentan las definiciones y conceptos de cambio climático, gases de efecto invernadero (GEI), el peso relativo de los sectores económicos que generan GEI. También se realiza un breve análisis de la matriz energética en El Salvador y su evolución en el tiempo. Se presenta un cuadro comparativo de las acciones y planes que los países centroamericanos pretenden desarrollar a través de las contribuciones nacionalmente determinadas. Se explica el marco metodológico utilizado, específicamente el modelo IPAT que expresa la idea de que el impacto ambiental (I) es el producto de tres factores: población (P), tasa de consumo promedio de los individuos dentro de la población (A) y tecnología. (T). Los resultados del modelo indican que de continuar al mismo ritmo y sin aplicar ninguna política climática las emisiones de GEI alcanzarían las 16.63 millones de toneladas a 2030, partiendo de los 13.41 millones en 2019. Si este resultado se compara con la meta 0.64 millones de toneladas definida en la NDC para 2030, de inmediato se obtiene una brecha, lo que obliga a plantear medidas adicionales para lograr la trayectoria esperada. Finalmente, se abordan algunas recomendaciones para evaluar las metas del cambio climático actuales y sondear líneas de acción para el futuro.

Abstract

The purpose of the study is to estimate the IPAT Model for El Salvador and develop scenarios that provide a vision of the measures necessary to achieve the climate change goals established by the country. To this end, and considering that this topic has been little explored in the country, the definitions and concepts of climate change, greenhouse gases (GHG), and the relative weight of the economic sectors that generate GHG are presented. A brief analysis of the energy matrix in El Salvador and its evolution over time is also presented. A comparative table of the actions and plans that Central American countries intend to develop through nationally determined contributions is presented. The methodological framework used is explained, specifically the IPAT model that expresses the idea that the environmental impact (I) is the product of three factors: population (P), average consumption rate of individuals within the population (A) and technology (T). The results of the model indicate that if we continue at the same rate and without applying any climate policy, GHG emissions would reach 16.63 million tons by 2030, starting from 13.41 million tons in 2019. If this result is compared with the 6.4 million tons target defined in the NDC for 2030, a gap is immediately obtained, which makes it necessary to propose additional measures to achieve the expected trajectory. Finally, some recommendations are addressed to evaluate the current climate change targets and sound out lines of action for the future.

Palabras clave: cambio climático, gases de efecto invernadero (GEI), Contribución Nacionalmente Determinada (NDC), modelo IPAT.

Clasificación JEL: Q01, Q54, Q56

Introducción

Previo a definir el término cambio climático, el cual se desarrolla en el primer capítulo del documento, en esta introducción, se ha optado por comentar brevemente las principales manifestaciones físicas del cambio climático en el planeta como son el aumento de la temperatura media de la superficie terrestre, la disminución del volumen global de los glaciares y el aumento en el nivel medio del mar, así como el cambio en los patrones de las precipitaciones. También ha sido recurrente hacer referencia al aumento y frecuencia de los episodios climáticos extremos.

En el ámbito nacional, esto nos hace pensar en fenómenos como tormentas tropicales y en los efectos de sistemas atmosféricos colosales como los huracanes en el Atlántico y Pacífico; sin embargo, en otras latitudes se han observado recientemente el aumento de la intensidad y duración de olas de calor, con el consecuente aumento de incendios forestales. Basta recordar la quema de 12 millones de hectáreas arrasadas por los incendios de 2019-2020 en Australia que afectó parques naturales, reservas y bosques. Las imágenes que quedaron en la retina se relacionan con voluntarios y bomberos rescatando koalas heridos, lo cual nos ilustra la magnitud de este fenómeno que significó la muerte de 1,500 millones de animales, el hábitat de muchas especies resultó amenazado en extremo. 47 especies de plantas resultaron amenazadas al perder el 80% o más de su hábitat debido a las llamas. Algunos bosques tropicales de la costa este australiana probablemente no se regeneren de forma natural y existe la posibilidad de que sean reemplazados por bosques de otras especies.

Se estima que entre 400 y 700 millones de toneladas de CO₂ fueron liberadas a la atmósfera con los incendios de Australia. El incremento del número de incendios forestales en este siglo probablemente empeore la calidad del aire, que es otro tipo de manifestación física, la cual podría perjudicar la salud humana y los ecosistemas. Sin embargo, tan sólo el aumento de la temperatura puede tener impacto negativo en las condiciones propicias para el desarrollo de ciertos cultivos.

Estos episodios están provocando daños y pérdidas en sectores productivos (agricultura, industria, comercio y servicios), en la sociedad (vivienda, educación, salud) como en infraestructura (vías de comunicación, transporte, agua, etc.). Lo anterior es una forma simplificada de medir estos costos, lo cual es usualmente utilizada por CEPAL cuando ha hecho estudios sobre las pérdidas de tormentas en la región.

Si bien las transformaciones climáticas son un fenómeno mundial, la geomorfología, orografía y ubicación geográfica hace que varios países de la región centroamericana se hallen expuestos a diversas amenazas como huracanes, inundaciones, terremotos, deslizamientos, erupciones, sequías, fenómenos naturales como (El Niño o la Niña) que afectan las pérdidas y daños mencionados; pero también el entorno ambiental. Aunque una fracción de estas amenazas tienen su origen en la vulcanología, geología y sismicidad, los países del triángulo norte, Nicaragua y algunas islas del Caribe son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático lo que eleva el riesgo frente a alguna de estas amenazas que tienen relación con el clima.

El estilo de desarrollo de las economías industrializadas ha marcado las condiciones para influir en el clima, particularmente por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, a lo cual se han sumado de manera creciente e importante otras economías y países en desarrollo en años recientes.

Al ser un fenómeno global, todos los países enfrentan amenazas crecientes y deben contribuir a mitigar las causas asociadas a estas amenazas cambiantes y a tomar acciones enfocadas a reducir las condiciones de situación de vulnerabilidad.

Probablemente El Salvador contribuye globalmente con muy poco al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero; pero esto no lo desliga de su responsabilidad de hacer su tarea tanto por el lado de la mitigación como de la adaptación. El aporte del país del lado de la mitigación supone que hay responsabilidades compartidas pero diferenciadas, por cuanto el costo y recursos económicos más importantes deben provenir en mayor medida de los países que han tenido mayor responsabilidad. Por otra parte, la estrategia de adaptación tiene como principal propósito disminuir las pérdidas o por lo menos amortiguar los efectos negativos de los fenómenos.

Para contribuir a la comprensión del fenómeno, revisar la importancia de impulsar medidas de gestión ambiental, valorar riesgos que puedan ser insumo para formular medidas de política para proteger y también cumplir compromisos internacionales y paliar los efectos negativos del fenómeno climático, este trabajo presenta ideas básicas sobre el cambio climático, su impacto en el mundo, la región y el país. Luego hace una revisión del concepto de gases efecto invernadero. Y recopila información sobre los principales sectores que inciden en el aumento de estos gases en el país.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. El capítulo uno contiene una breve recopilación de los planes y programas de cambio climático desarrollados en El Salvador para luego dar a conocer las Contribuciones Nacionalmente Determinadas o NDC, por sus siglas en inglés, y se presentan algunos elementos comparativos entre algunos países de Centroamérica.

El capítulo dos presenta el Marco Metodológico utilizado para aplicar el Modelo IPAT y posteriormente presenta los resultados de aplicar este modelo a El Salvador, presentando los principales análisis y simulaciones para algunos de los Sectores donde se contribuye a las emisiones, como son: Energía, Agricultura, Industria y Transporte. Este es un esfuerzo para contribuir a ilustrar los principales canales de transmisión del país y poder eventualmente, buscar los mecanismos más eficientes para reducir las emisiones. El capítulo III explica los principales resultados de la estimación del Modelo al nivel sectorial y para la economía en su conjunto, usando datos del período 1990 a 2019. Finalmente, el capítulo IV contiene las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

I. Cambio Climático y metas para El Salvador

El cambio climático es uno de los principales desafíos de la humanidad en el presente siglo, convirtiéndose en un tema central su estudio y las políticas destinadas a su mitigación y buscar estilos de desarrollo con baja emisión carbónica. El aumento de los gases de efecto invernadero de origen antropogénico está ocasionando fuertes cambios físicos y efectos que pueden poner en grave riesgo a diversos países y regiones. Para contextualizar esta dinámica, el capítulo introduce las definiciones de cambio climático, dejando entrever las consecuencias que estos cambios pueden tener sobre la actividad económica y los ecosistemas. También se hace una referencia a términos como gases de efecto invernadero, así como los principales sectores generadores de estos gases en el país. Se aborda el tema de la matriz energética, y su evolución en el tiempo que para el caso de El Salvador se ha favorecido la utilización de fuentes de energía renovables. Esto se traduce en la composición de una matriz más limpia desde el punto de vista de las emisiones. Asimismo, y brevemente se hace una reseña de los planes y programas medioambientales en el país. Posteriormente, se hace una comparación de las NDC del país y se compara con lo propuesto por otros países de la subregión centroamericana.

A. ¿Qué es el Cambio climático?

El concepto de cambio climático no se definió de inmediato en el tiempo, sino que tuvo que pasar un proceso de evaluación y aceptación global del mismo, ya que al principio se definió como calentamiento global, que solo abarcaba los cambios de temperatura y no las consecuencias o efectos secundarios. Hasta la época de los años 70 se expone por primera vez el término de efecto invernadero y la comunidad internacional comienza a poner atención a los efectos adversos del cambio climático.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2013) lo define como cualquier cambio en el clima debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas. Por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC, 1992) lo define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural observada durante periodos comparables.

De acuerdo con Bárcena et al. (2018), el cambio climático puede entenderse como la variación global del clima de la tierra debido a causas naturales y principalmente a la acción humana, como consecuencia de una creciente retención del calor del sol en la atmósfera conocida como "efecto invernadero". La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1992) define el cambio climático como la variación o alteración de estas condiciones promedio, provocada por la acción directa o bien indirecta de la humanidad, a la cual que se suma la variabilidad intrínseca de la naturaleza durante periodos comparables.

Es en 1994 cuando el mundo reconoce el problema del cambio climático, luego de llevarse a cabo la Cumbre de la tierra en Rio en 1992, a través de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. El objetivo final de la Convención era estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático (CMNUCC, 1992). Se coloca una mayor responsabilidad sobre los países

industrializados por ser los mayores emisores de GEI, y se acuerda que estos deben apoyar las actividades relacionadas con el cambio climático en los países en desarrollo mediante la prestación de apoyo financiero.

Luego, en 2015 se alcanza el Acuerdo de París, que de acuerdo con la CMNUCC (1992) tiene el objetivo central de reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático limitando aún el aumento de la temperatura entre 1.5 y 2.0 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales. Además de fomentar la resiliencia al clima y el desarrollo de bajas emisiones de GEI de forma de lograr un desarrollo sostenible de manera que la producción de alimentos no se vea afectada. El Acuerdo exige a todas las partes comprometerse por medio de Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC por sus siglas en inglés). Esto incluye la obligación de que todas las partes informen periódicamente sobre sus emisiones y sobre sus esfuerzos de aplicación, en específico cada país debe presentar la NDC actualizada cada cinco años a la secretaría de la CMNUCC.

Además, en 2018 se alcanza el Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe o llamado Acuerdo de Escazú. Este tenía como objetivo garantizar la implementación plena y efectiva en América Latina y el Caribe de los derechos de acceso a la información ambiental, participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales y acceso a la justicia en asuntos ambientales, así como la creación y el fortalecimiento de las capacidades y la cooperación. Es el primer acuerdo regional ambiental de América Latina y el Caribe.

Durante la COP26 sostenida en noviembre de 2021 se llevó a cabo la firma de un histórico acuerdo climático que pone de manifiesto la necesidad de reducir el uso de carbón y reconoce su impacto destructivo como uno de los mayores generadores de los gases de efecto invernadero. Se reconoció el hecho que limitar el calentamiento a 1.5°C requiere de reducciones rápidas, profundas y sostenidas de emisiones globales de gases de efecto invernadero, incluida una reducción de emisiones de dióxido de carbono de 45% para 2030 en relación con el nivel de 2010 de acuerdo con la ONU (2021). Más de 100 países firmaron un compromiso para reducir las emisiones de metano en un 30% para 2030.

B. Impacto a nivel mundial del cambio climático

El cambio climático ha ocasionado diversos impactos a nivel mundial en las economías, la población, los ecosistemas, la producción, entre otros. Todos los países experimentan los efectos del cambio climático, siendo unos más vulnerables que otros. El cambio climático ha ocasionado un aumento de la temperatura media del aire en la superficie terrestre, la cual es de origen antropogénico¹.

Una de las formas más efectivas de medir la variación del clima es mediante la anomalía térmica, la cual es el resultado del efecto invernadero, condición necesaria para la vida sobre la tierra. El efecto invernadero es la condición natural por la cual determinados gases presentes en la

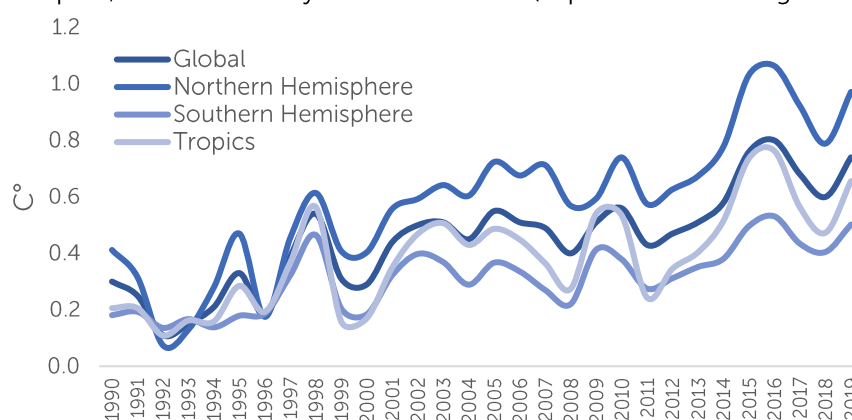
¹ Perteneciente o relativo a lo que procede de los seres humanos que, en particular, tiene efectos sobre la naturaleza.

atmósfera retienen parte de la radiación térmica emitida por la superficie terrestre al ser calentada por los rayos del sol (Iberdrola, 2021).

Las anomalías térmicas son las variaciones registradas respecto a un promedio particular de temperatura, el IPCC considera una media para el período de 1850 a 1900, sobre la cual en el 2017 nos encontrábamos en 1.0°C por arriba de la misma, que podría considerarse la media preindustrial, al año 2019 la cifra ha ascendido hasta 1.06°C (IPCC, 2021). Es el hemisferio norte el que presenta el mayor incremento en su temperatura promedio (0.97°C) al 2019, así mismo la zona tropical que muestra una anomalía térmica de 0.66°C en 2019 (ver Gráfico 1).

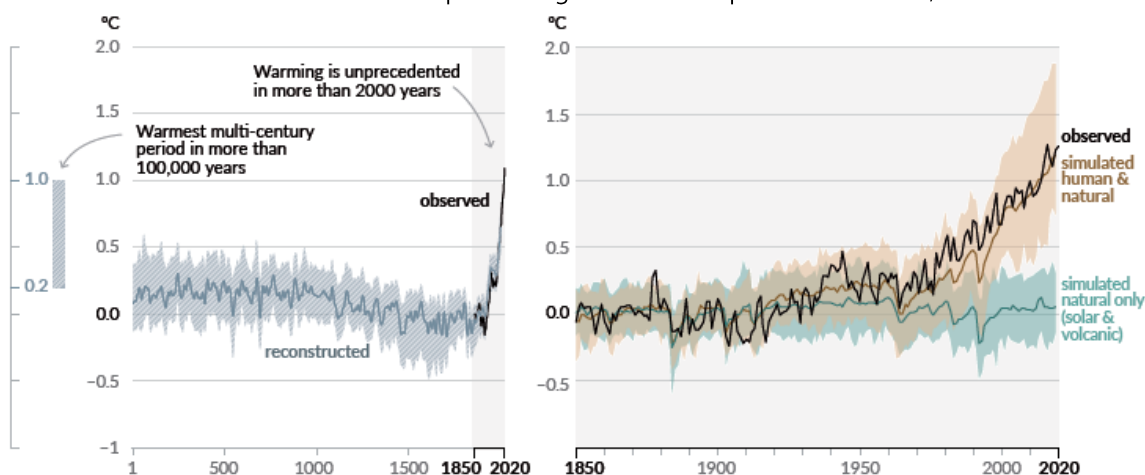
Cada una de las últimas cuatro décadas ha sido sucesivamente más cálida que cualquiera de las anteriores desde 1850. La temperatura global en superficie en las dos primeras décadas del siglo XXI (2001-2020) fue casi 1.0° mayor (0.99°C) más alta que en 1850-1900. La temperatura global en superficie fue 1.09°C más alta en 2011-2020 que en 1850-1900, con mayores aumentos sobre la tierra que sobre el océano. El aumento estimado de la temperatura global en superficie se debe principalmente a un mayor calentamiento desde 2003 a 2012 ($+0.19^{\circ}\text{C}$) (IPCC, 2021) (ver Gráfico 2).

Gráfico 1. Anomalía Térmica 1990-2019
Trópico, hemisferio sur y hemisferio norte (expresado en Centígrados)



Fuente: Elaboración propia con base a datos de Met Office Hadley Centre

Gráfico 2. Cambios en la temperatura global de la superficie terrestre, 1850-2020

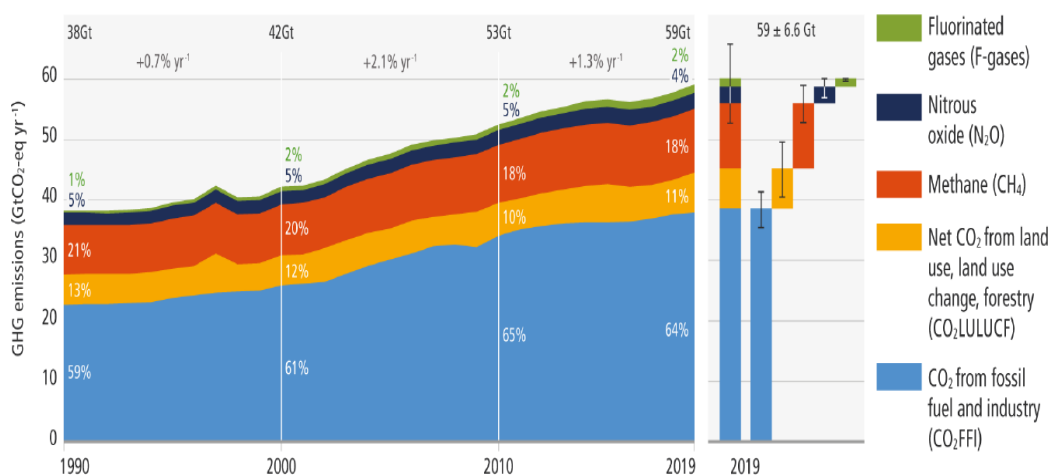


Fuente: IPCC (2021)

El crecimiento de las emisiones antropogénicas ha persistido en todos los grandes grupos de GEI desde 1990, aunque a ritmos diferentes. En 2019, el mayor crecimiento de las emisiones absolutas se produjo en el CO₂ procedente de los combustibles fósiles y la industria, seguido del CH₄, mientras que el mayor crecimiento relativo se produjo en los gases fluorados, partiendo de niveles bajos en 1990 (IPCC, 2022). Las emisiones antropogénicas netas de CO₂ procedentes del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura están sujetas a grandes incertidumbres y a una gran variabilidad anual (ver Gráfico 3).

Bárcena et al. (2020) afirma que la temperatura media mundial aumentó 0.85°C de 1880 a 2012 y hay indicios de que las últimas tres décadas han sido progresivamente más cálidas y que entre 1983 y 2019 haya sido el periodo de mayor temperatura en los últimos 1,400 años. Casi todos los glaciares han retrocedido y el hielo en el Ártico se ha reducido. El nivel medio del mar subió 0.19 metros entre 1901 y 2010 y actualmente sube 3mm por año y además, la intensidad de los incendios forestales ha aumentado.

Gráfico 3. Emisiones antropogénicas globales de GEI, 1990-2019



Fuente: Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (2020)

La pandemia por COVID-19 alteró la tendencia de emisiones de GEI a nivel mundial, ya que de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2021) hubo una reducción de las emisiones a causa de la COVID-19, pero no representa un cambio significativo para disminuir los efectos negativos del cambio climático en los diferentes países y sociedades.

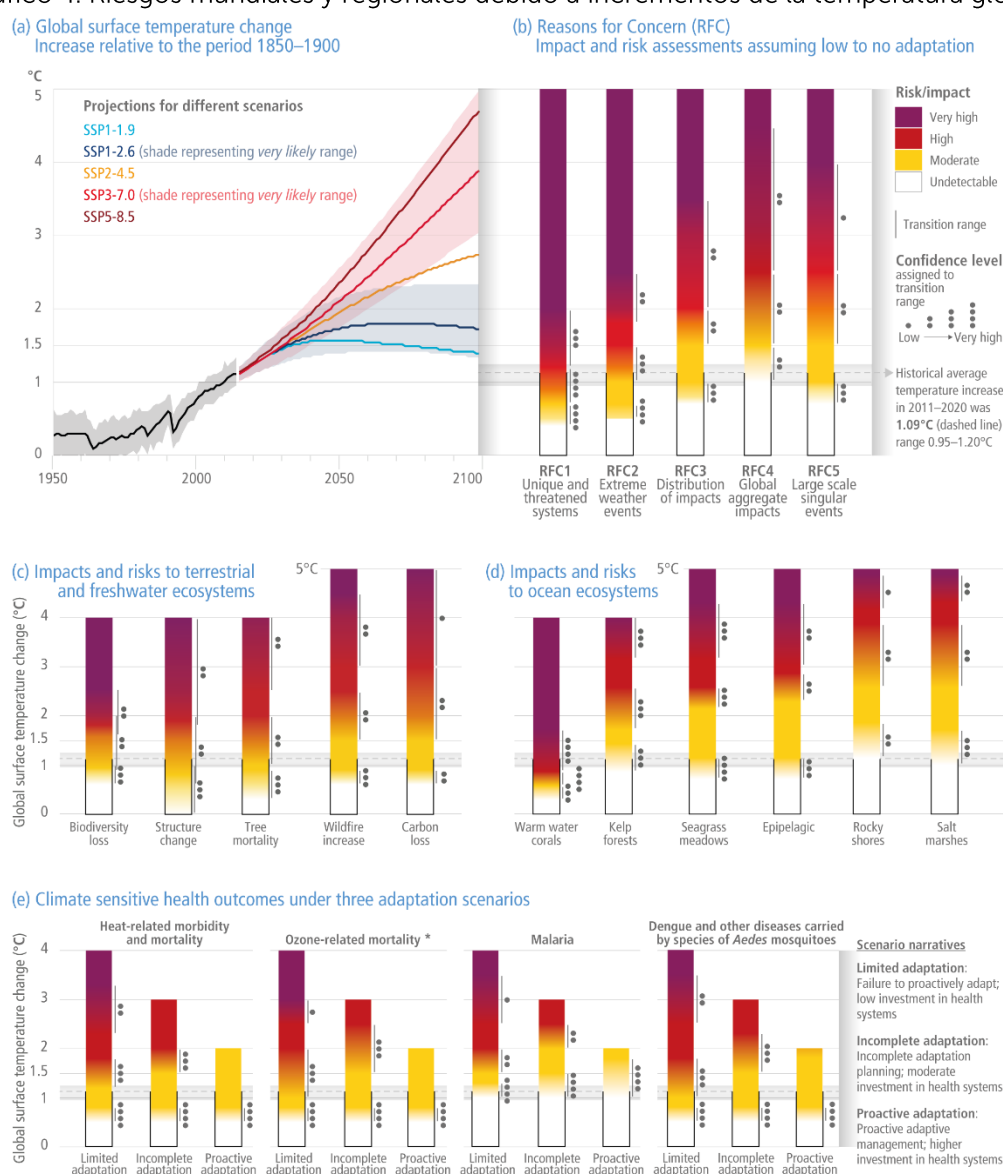
De acuerdo con el IPCC (2022), los efectos del cambio climático se han experimentado antes de lo previsto, están más extendidos y tienen consecuencias de mayor alcance que las esperadas. Han provocado la pérdida de especies locales, el aumento de enfermedades, eventos de mortalidad masiva de plantas y animales, dando lugar a las primeras extinciones provocadas por el clima, la reestructuración de los ecosistemas, el aumento de las áreas quemadas por incendios forestales, la disminución de los servicios clave de los ecosistemas y ha alterado los ecosistemas marinos, terrestres y de agua dulce en todo el mundo, provocando escasez de agua (ver Gráfico 4). En la actualidad, aproximadamente la mitad de la población mundial sufre una grave escasez de agua durante al menos un mes del año debido a factores climáticos y de otro tipo.

Ha afectado la seguridad del agua y la producción de alimentos, reduce la seguridad alimentaria, la salud y el bienestar, y afecta las ciudades y los asentamientos. Los impactos impulsados por el clima en los ecosistemas han provocado pérdidas económicas y de medios de vida cuantificables,

se han observado en todos los sectores económicos, aunque la magnitud de los daños varía según el sector y la región. Los recientes fenómenos meteorológicos y climáticos extremos se han asociado a grandes costes por los daños a la propiedad, las infraestructuras y las interrupciones de la cadena de suministro, en especial desde la pandemia por COVID-19.

La OMM (2021) indica que a medida que se aumentan las concentraciones de gases de efecto invernadero, se acumula un exceso de energía en el sistema Tierra, del que aproximadamente el 90% es absorbido por los océanos. A medida que aumenta su temperatura y el agua se calienta, el océano se expande. Esta expansión térmica, combinada con una mayor pérdida de hielo de los glaciares y los mantos de hielo, contribuye al aumento de nivel del mar. Esta alteración ocasiona tormentas más frecuentes y de mayor intensidad, afectando especialmente a países con alta vulnerabilidad y ubicación geográfica propensa a los efectos del cambio climático.

Gráfico 4. Riesgos mundiales y regionales debido a incrementos de la temperatura global



* Mortality projections include demographic trends but do not include future efforts to improve air quality that reduce ozone concentrations.

Fuente: IPCC (2022)

Entre las plantas y los animales terrestres, se ha detectado una pérdida de población local en alrededor del 50% de las especies estudiadas y a menudo es atribuible a eventos extremos. Inclusive, ya se observan extinciones globales debidas al cambio climático. Por otra parte, la mortalidad humana observada por inundaciones, sequías y tormentas es 15 veces mayor en los países clasificados como altamente vulnerables en comparación con los países menos vulnerables en la última década. Y es que actualmente, alrededor de 3,300 millones de personas viven en países con alta vulnerabilidad humana debido al cambio climático (IPCC, 2022).

Los fenómenos climáticos extremos también generan la migración y el desplazamiento involuntario de población. De acuerdo con el IPCC (2022) desde 2008, una media anual de más de 20 millones de personas se ha visto desplazada por fenómenos extremos relacionados con el clima, siendo las tormentas y las inundaciones las más comunes. Por otra parte, la OMM (2021) afirma que, a nivel mundial, existe una relación no lineal entre la productividad y la temperatura: las temperaturas superiores a 13 °C hacen que la productividad decrezca, por lo que se estima que, en un escenario sin mitigación, el PIB per cápita mundial podría reducirse un 23% hacia 2100.

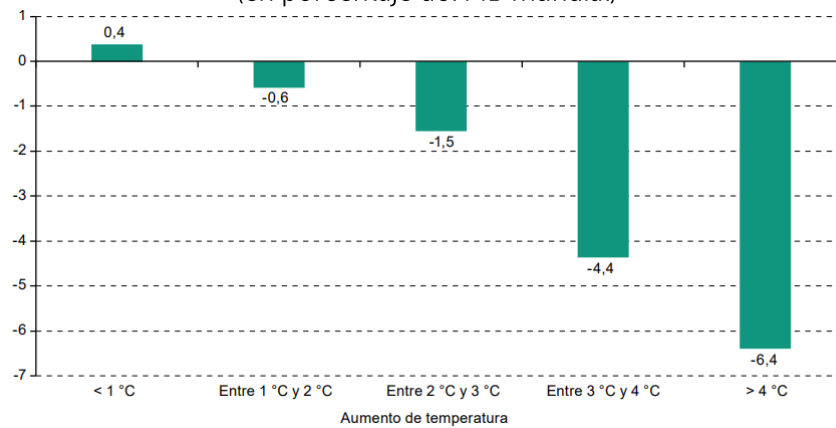
Además, los efectos negativos del cambio climático tienen el potencial de incidir negativamente sobre el crecimiento económico, dependiendo de la capacidad de las sociedades para adaptarse gradualmente a los cambios climáticos, y afectar a la estabilidad política y financiera de los países (Andres y Domenech, 2020). Estimaciones sugieren que el impacto aumentará exponencialmente a medida que se incremente la temperatura de acuerdo con Bárcena et al (2020), debido a que un aumento de entre 2°C y 3°C reduciría el PIB mundial alrededor de un 1.5% (ver Gráfico 5), impacto que será heterogéneo en los distintos países.

Por su parte, Boyd e Ibararán (2016) estiman el efecto del cambio climático en la economía de México a través de un modelo de equilibrio general. Los autores modelan los impactos esperados en hidrología, agricultura, sector forestal, sector industrial y energético; y el impacto macroeconómico y distributivo atribuible al cambio climático. Los resultados del estudio indican que el costo del cambio climático al 2030 es de 1.1% del Producto Interno Bruto (PIB) y que estos costos son regresivos para la sociedad, donde los pobres pierden mayor bienestar que los ricos ante los efectos. El informe 2020, *The Climate Turning Point*, de (CPI et al., 2016 citado en González y Nuñez, 2020) señala que la inversión adicional anual media tendría que superar el billón de dólares anuales durante las próximas décadas para lograr una economía baja en carbono.

De acuerdo con las proyecciones climáticas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático la temperatura aumentará en promedio entre 1°C y 2°C hacia mediados del siglo XXI y hacia 2100 se espera que la temperatura aumente entre 1°C y 3.7°C con un máximo de hasta 4.8°C. La trayectoria actual de las emisiones sigue de cerca un escenario de RCP8.5 que refleja un aumento de 4°C y si esta trayectoria continua parece inevitable que la temperatura aumente 2°C a mediados del siglo XXI (Bárcena et al, 2020).

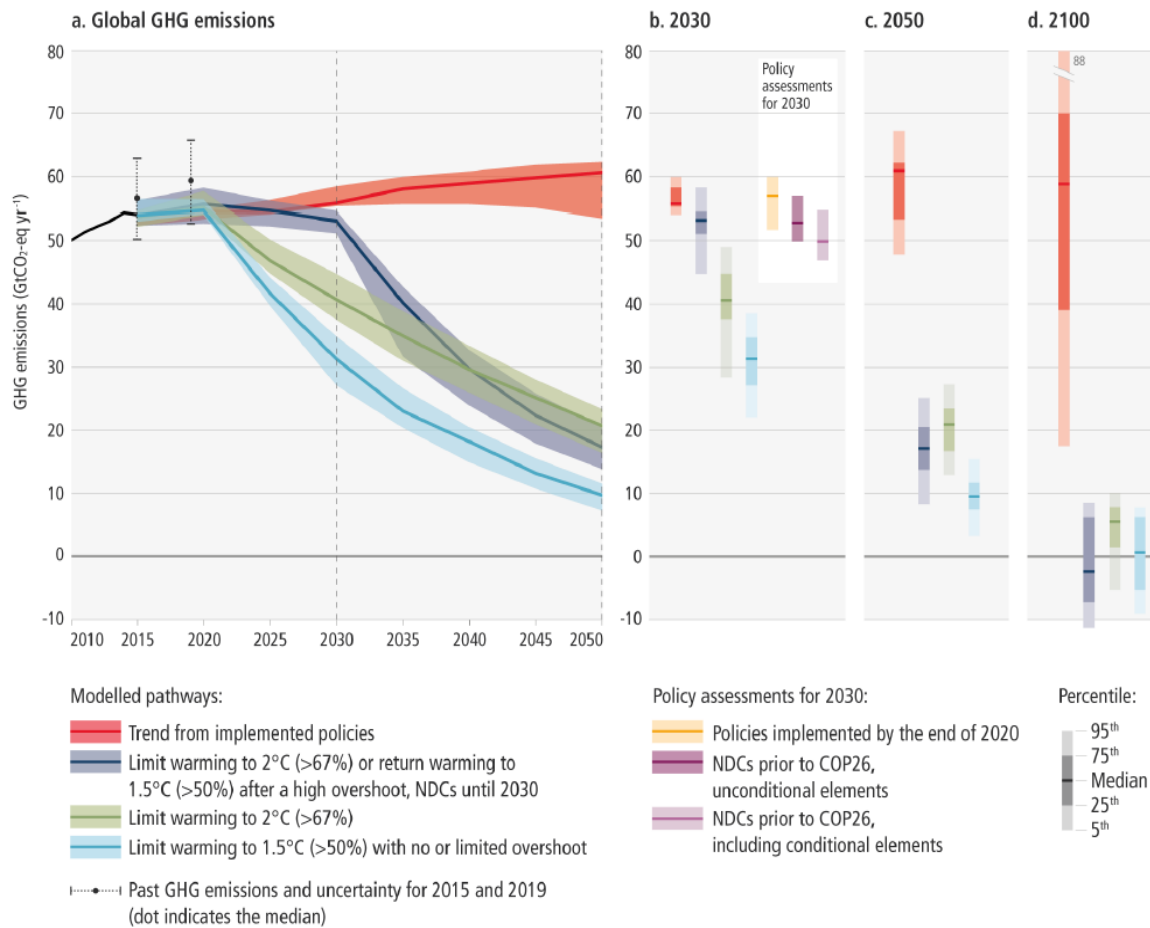
Las emisiones mundiales de GEI en 2030 asociadas a la aplicación de las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC) anunciadas antes de la COP26 hacen probable que el calentamiento supere los 1.5°C durante el siglo XXI. Además, esto implicará que limitar el calentamiento global por debajo de los 2 °C será aún más complejo luego de 2030. Se prevé que las políticas aplicadas hasta finales de 2020 den lugar a unas emisiones mundiales de GEI más elevadas que las implícitas en las NDC (IPCC, 2022) (ver Gráfico 6).

Gráfico 5. Impacto del cambio climático en el PIB mundial, por rango de temperatura (en porcentaje del PIB mundial)



Fuente: Bárcena et al (2020)

Gráfico 6. Proyección de emisiones globales de GEI para 2030, 2050 y 2100



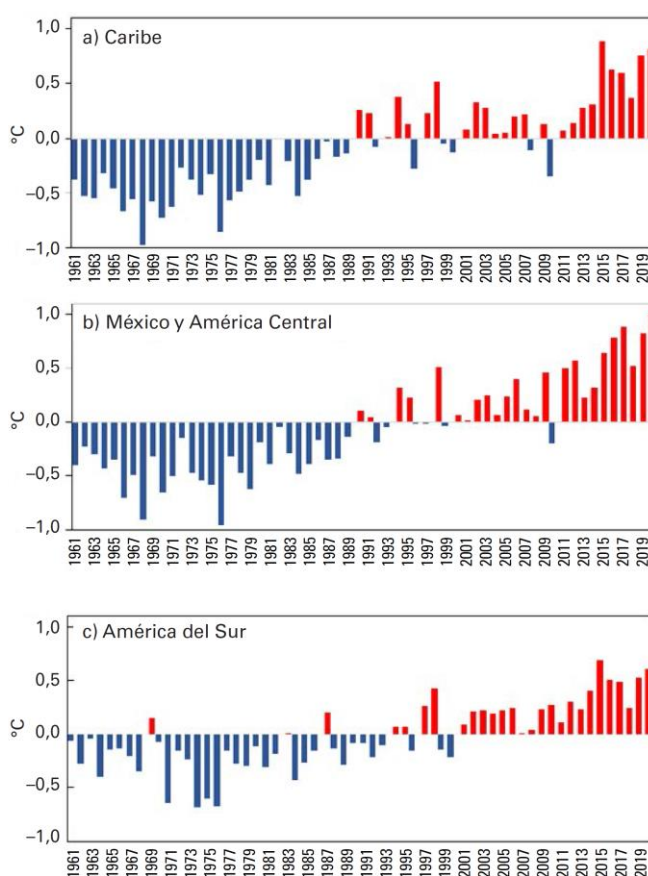
Fuente: IPCC (2022).

C. Impacto en Latinoamérica y El Salvador del cambio climático

América Latina es una de las regiones a nivel mundial que enfrenta con más fuerza los efectos del cambio climático, aunque lo experimenta de manera heterogénea entre países. Dichos efectos se deben a los cambios en temperatura, ya que de acuerdo con Bárcena et al (2020) se observa que el promedio de temperatura del periodo 2000-2016 es 0.7°C superior al promedio del periodo 1901-1990 y que los fenómenos climáticos extremos, como las sequías y las inundaciones, son más frecuentes en la región.

También la Organización Meteorológica Mundial afirma que el año 2020 fue uno de los tres años más cálidos de que se tiene constancia en el Caribe y México/América Central, con una anomalía de la temperatura media de +0,8 °C y +1,0 °C, respectivamente, con respecto a la temperatura media del período 1981-2010. En América del Sur, el año 2020 fue el segundo año más cálido del que se tiene constancia después de 2016, con una anomalía de +0,6 °C con respecto a 1981-2010 (OMM, 2021) (ver Figura 1).

Figura 1. Series temporales de las anomalías de la temperatura regional media anual del aire de 1961 a 2020.



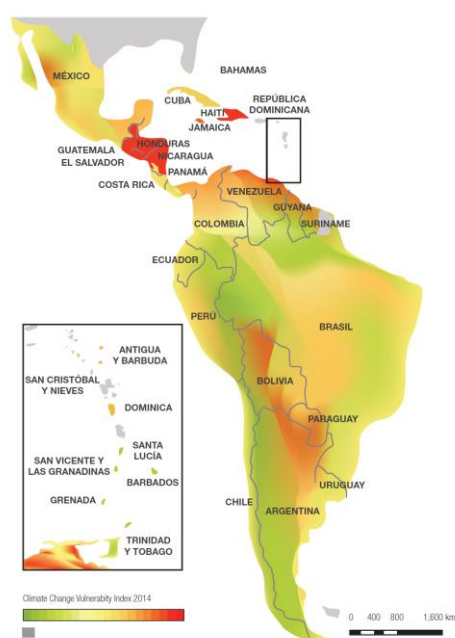
Fuente: OMM (2021) con base en HadCRUT.

Los cambios en la temperatura de la región ocasionan que los países latinoamericanos sean altamente vulnerables al cambio climático. Según el IPCC (2014), la vulnerabilidad es la propensión

o predisposición que se posee a ser afectado negativamente, y se encuentra relacionada con elementos como la sensibilidad o susceptibilidad a los daños y la falta de capacidad para hacer frente y adaptarse.

Latinoamérica es de las regiones con más elevada exposición a los riesgos del cambio climático de las más elevadas de acuerdo con CEPAL (2012), es decir, que posee alta vulnerabilidad. Al ser un istmo estrecho entre dos continentes y entre los océanos Pacífico y Atlántico, es una zona recurrentemente afectada por sequías, ciclones y el fenómeno El Niño-Oscilación Sur, inundaciones, deslizamientos, entre muchos otros; lo cual trae consigo una serie de problemas, y más si se considera que la región depende en gran medida de la agricultura como fuente de alimentos, y que ello pone en riesgo la seguridad alimentaria de la misma y eleva su vulnerabilidad. Como se observa en la Figura 2 dentro de la región, Centroamérica es de las zonas con más alta vulnerabilidad, en especial el triángulo norte.

Figura 2. Vulnerabilidad al cambio climático en América Latina y el Caribe



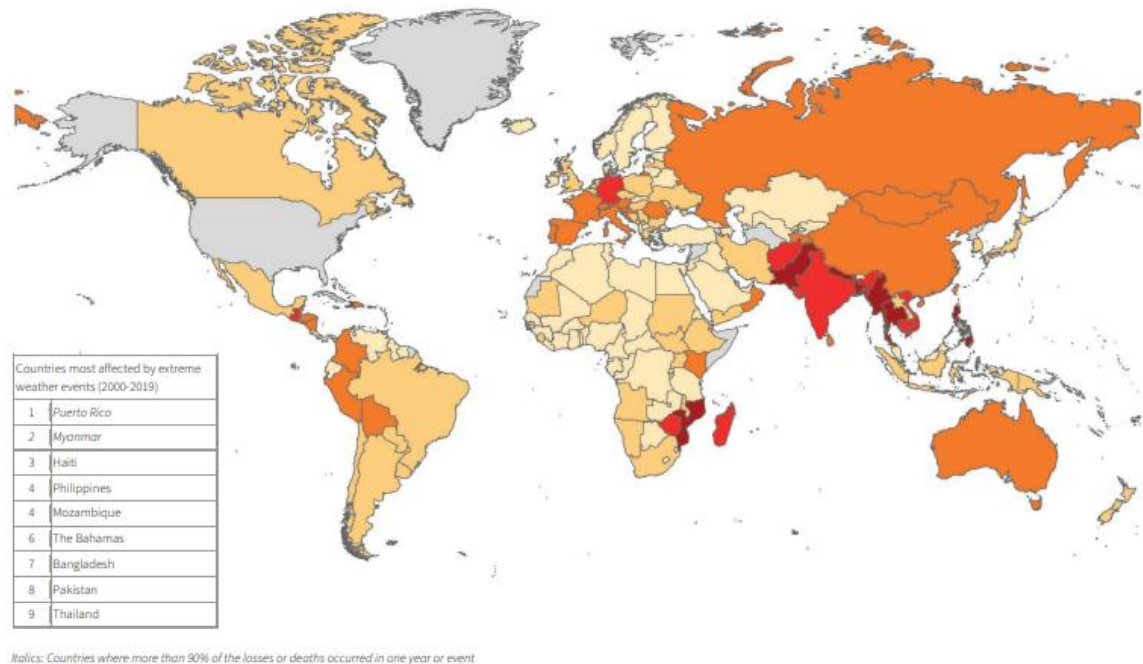
Fuente: CAF (2015)

Por su parte, el Índice de Riesgo Climático, es utilizado para explicar la exposición y la vulnerabilidad de los países a los riesgos relacionados con el clima, confirma la alta vulnerabilidad de Latinoamérica y Centroamérica, tal como se observa en la Figura 3 Germanwatch (2021). En dicho índice destacan los países Centroamericanos, que en los últimos 20 años se han encontrado siempre en la lista de los primeros lugares, evidenciando las vulnerabilidades de la región e impactando la actividad económica de los países, ya que sectores como la agricultura se ven altamente afectados por los fenómenos climatológicos.

La alta vulnerabilidad de la región se evidencia en la cantidad y frecuencia de los fenómenos extremos relacionados al cambio climático. Según la Base de Datos Internacional sobre Desastres EMDAT, entre 1990 y 2018 hubo 288 fenómenos climáticos extremos en Centroamérica, y se observó un crecimiento anual del 3% en las últimas tres décadas respecto de la década de 1970 (Bárcena et al, 2020). De acuerdo con la OMM (2021) los tipos de desastre más frecuentes registrados fueron las inundaciones (44%) y las tormentas (28%). Dichos fenómenos

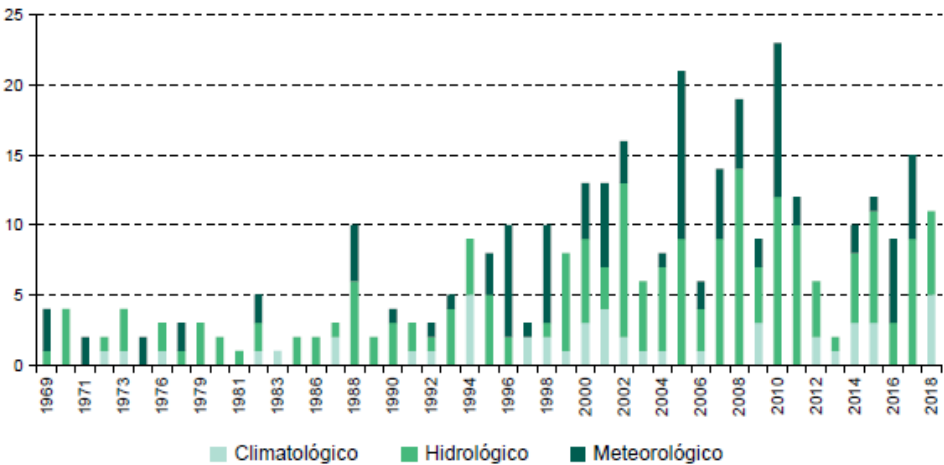
hidrometeorológicos causan inundaciones localizadas en zonas rurales o urbanas, deslizamientos de tierra, daños relacionados con lluvias o vientos intensos, y cultivos afectados por heladas, olas de calor y sequías.

Figura 3. Mapa mundial del Índice Global del Índice de Riesgo Climático, 2000-2019



Fuente: Germanwatch (2021).

Gráfico 7. Centroamérica: ocurrencia de desastres relacionados con el clima, 1969-2018 (en número de desastres)

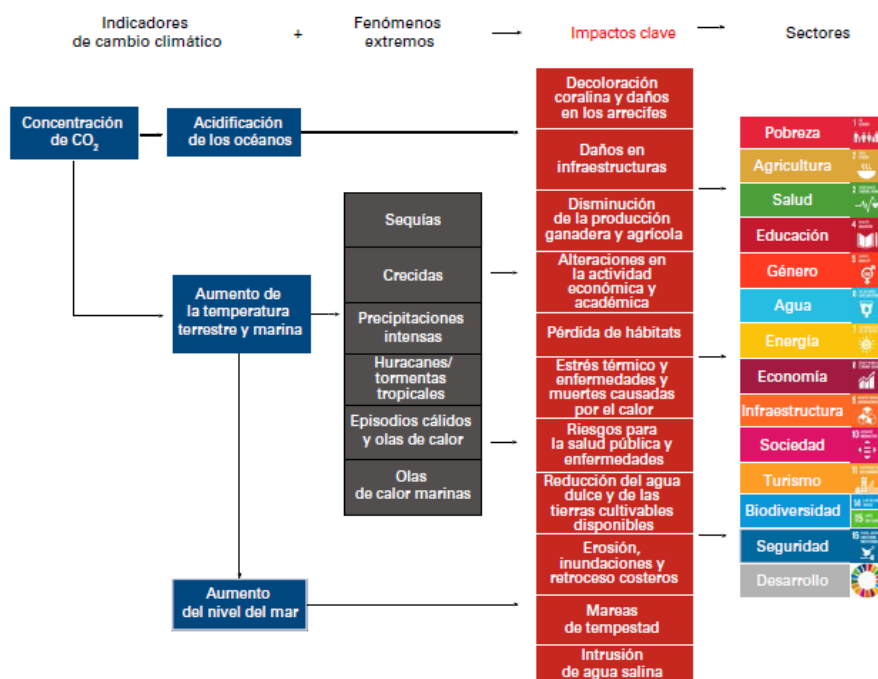


Fuente: (Bárcena et al, 2020)

Según el IPCC (2014), para Centroamérica y América del Sur los principales riesgos de vulnerabilidad son la disponibilidad de agua en las regiones semi áridas y dependientes del

deshielo de los glaciares y en América Central, las inundaciones y deslizamientos de tierra en zonas urbanas y rurales debido a la precipitación extrema, la menor producción de alimentos y calidad alimentaria y la difusión de las enfermedades transmitidas por vectores en altitud y latitud. Investigación de infraestructura. En la Figura 4 puede observarse como la vulnerabilidad de la región a los fenómenos extremos ocasiona impactos clave de distinta intensidad y genera un impacto transversal en diferentes sectores socioeconómicos.

Figura 4. Impactos históricos y proyectados del cambio climático en Latinoamérica y el Caribe



Fuente: OMM, 2021

Los diferentes sectores se ven afectados en mayor o menor proporción debido al cambio climático. Las actividades agropecuarias son particularmente sensibles al clima y, por tanto, al cambio climático, estas son fundamentales para la seguridad alimentaria, el dinamismo económico y la reducción de la pobreza. El cambio de los patrones climáticos afecta la productividad agrícola y los ingresos de los agricultores, lo que también incide en el ingreso total de los hogares rurales (Bárcena et al, 2020).

De acuerdo con la OMM (2021) en 2020, las condiciones de sequía afectaron de forma considerable al rendimiento de los cultivos en toda América Latina y el Caribe. Según el Global Report on Food Crises, en 2020 la inseguridad alimentaria aguda aumentó considerablemente en América Central y Haití, con unos 11.8 millones de personas afectados por "crisis" o situaciones más graves (OMM, 2021).

En cuanto a los patrones de precipitación, estos también se ven altamente afectados por el cambio climático, al igual que la humedad del suelo y la escorrentía, y el derretimiento de los glaciares, que incide en la disponibilidad y la trayectoria del consumo hídrico. Estos son fenómenos particulares que deben ser mitigados ya que de acuerdo con Bárcena et al (2020) un aumento de la temperatura se traducirá en un aumento de la demanda de agua que intensificará las presiones sobre este recurso en la región.

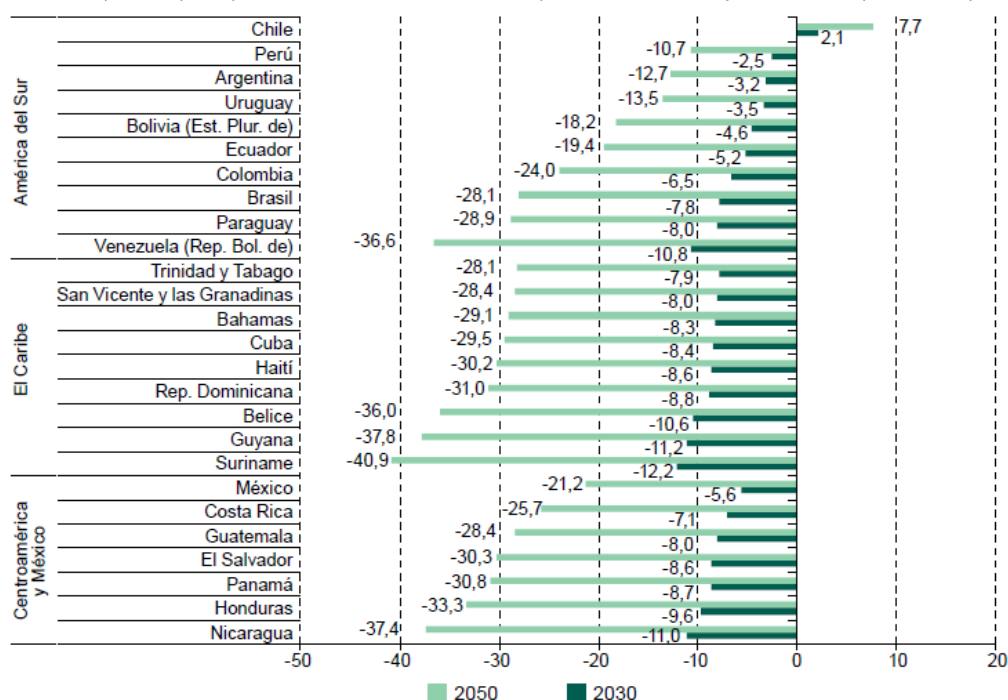
Dichos efectos ya se evidencian de acuerdo con la OMM (2021), ya que en 2020 se registraron precipitaciones por debajo de los normal en México, y en partes de la costa del Caribe, en donde se originaron sequías generalizadas. En la costa del Pacífico, en los países de América Central se presentaron precipitaciones por encima de la media. En los últimos meses abundaron las ondas tropicales, lo que provocó una temporada de huracanes debido a los episodios de lluvia intensa que ocasionó fuertes daños de infraestructuras, económicos y sociales.

Otro efecto del cambio climático que se evidencia en América Latina es el aumento del nivel del mar, el cual incrementó entre 2 y 7 mm al año entre 1950 y 2008. Se proyecta que entre 2040 y 2070 el ritmo de subida del nivel promedio del mar se acelerará y podrá llegar a 3.6 mm al año (Bárcena et al, 2020). El aumento del nivel del mar supone un gran riesgo para las zonas costeras de baja altitud de la región y las personas que viven en esas zonas corren especial peligro.

En la región de América Latina y el Caribe, la pérdida de bosques se considera un gran problema y un factor que contribuye de manera importante al cambio climático debido a la liberación de CO₂. Entre 2000 y 2016, se perdieron cerca de 55 millones de hectáreas de bosque, es decir, alrededor del 5.5% del total de la región, lo que representa más del 91% de las pérdidas forestales en todo el mundo.

Los efectos del cambio climático tienen un fuerte impacto económico en la región. De acuerdo con (Burke, Hsiang y Miguel, 2015 citado en Bárcena et al, 2020) se estima que, en un escenario sin mitigación, el PIB per cápita mundial podría reducirse un 23% hacia 2100. En el caso de América Latina y el Caribe, las estimaciones muestran que los efectos adversos pueden materializarse de forma significativa en un horizonte de tan solo diez años (Bárcena et al, 2020) (ver Gráfico 8). En el caso específico de El Salvador se proyecta una pérdida de PIB per cápita de -8.6% para 2030 y de -30.3% para 2050.

Gráfico 8. América Latina y el Caribe (26 países): proyección de la variación del Producto Interno Bruto per cápita por el aumento de la temperatura, 2030 y 2050 (en porcentajes)



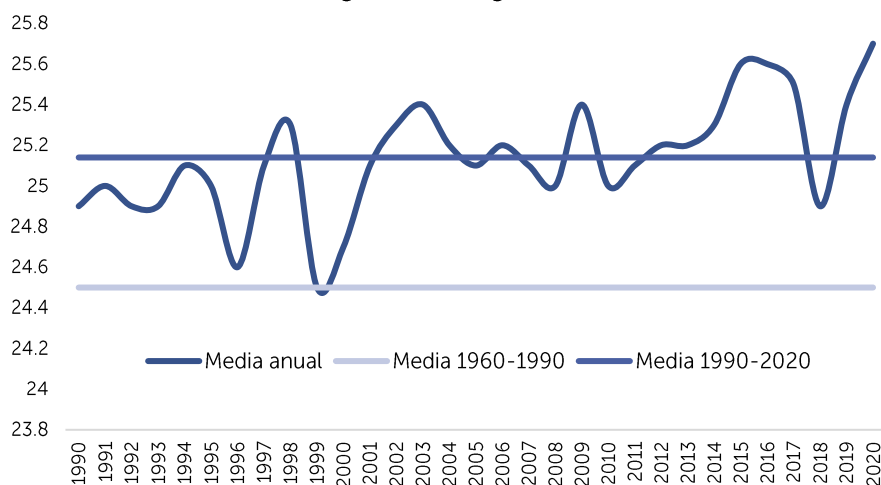
Fuente: Burke, Hsiang y Miguel (2015) citado en Bárcena et al (2020).

El Salvador es un país tropical, cuyo clima tiene cambios pequeños de temperatura de una estación a otra, aunque el régimen de lluvias muestra con claridad una estación relativamente seca y otra lluviosa, por lo que se habla de un clima monzónico. El comportamiento de las lluvias es bimodal, observándose dos picos máximos de lluvias, en condiciones normales: el primero, en el mes de septiembre, y el segundo, en junio. Durante la estación seca (noviembre a febrero), predomina la presencia de frentes fríos cercanos a la región centroamericana. Entre noviembre y febrero, disminuye la humedad y la circulación atmosférica descendente inhibe la formación de nubes, resultando en la temporada seca (MARN, 2021). De acuerdo con el MARN (2020), la geografía del país está denominada por una región conocida como el Corredor Seco, caracterizado por sequías y fuertes precipitaciones que provocan inundaciones y deslizamientos.

De acuerdo con Germanwatch (2021), El Salvador se encuentra en la posición 103 de 180 en el Índice de Riesgo al Cambio Climático 2021, además, se encuentra en la posición 111 en pérdidas en millones de US\$ (PPP) (ranking), y en la posición 113 en pérdidas como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB). El Salvador ha sufrido las consecuencias de diversos fenómenos naturales ocasionados por el cambio climático como huracanes, tormentas tropicales, sequías, deslizamientos y terremotos.

Estos fenómenos son el resultado de las anomalías térmicas experimentadas en El Salvador, reflejo de las condiciones mundiales. Considerando la información del Climate Research Unit (2022), al año 2020 la variación se ubicó en 1.2°C por encima respecto a la media de 1961-1990, siendo este su máximo superando al año 2016 que registró 1.1°C. Esta situación ha provocado evidentemente que la temperatura media del país incrementa, al año 2020 la temperatura anual media se ubicó al margen de 25.7°C, superando la media de los 31 años considerados de 25.14°, como puede observarse en el Gráfico 9.

Gráfico 9. Temperatura promedio anual de El Salvador 1990-2020 (grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia con base en Climate Research Unit – University of East Anglia
<https://sites.uea.ac.uk/cru/>

Los fenómenos naturales ocasionados por los aumentos en temperatura causan severos daños en la región y en El Salvador. Aunque El Salvador no constituye uno de los países más contaminantes del planeta si es uno de los que sufre de mayor manera las consecuencias del cambio climático. Datos oficiales del MARN (2020) confirman la exposición al riesgo y la

vulnerabilidad del país, afirmando que el 88.7% del territorio se encuentra en situación de riesgo, mientras que el 38% del territorio es susceptible a deslizamientos, el 10% es susceptible a inundaciones y el 70% es susceptible a sequías meteorológicas. Además, el 95.4% de la población vive en zonas de riesgo, lo cual genera pérdidas humanas y económicas devastadoras ya que el 96.4% del PIB es generado en dichas zonas de riesgo (ver Figura 5).

Figura 5. Indicadores de Vulnerabilidad Ambiental de El Salvador

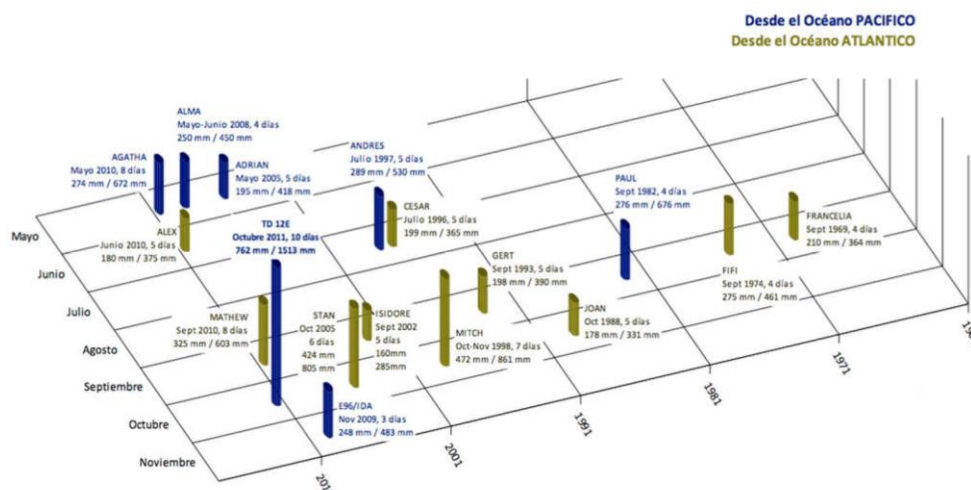


Fuente: MARN (2020)

A las condiciones de vulnerabilidad socio ambiental que padece el país se suman otros factores que también lo afectan como la elevada densidad poblacional, el deterioro de sus ecosistemas, su ubicación geográfica de alta exposición a fenómenos hidrometeorológicos extremos y el creciente riesgo climático.

La frecuencia de eventos extremos como huracanes y lluvias intensas se ha venido multiplicando en el país y en la región centroamericana en las últimas décadas. Mientras que en cada una de las décadas de los 60 y 70 del siglo pasado solo registró uno de esos fenómenos, en los 80 fueron dos, en los 90 fueron cuatro, y desde el inicio de siglo hasta 2011 fueron nueve. Desde 1980 la mitad de esos fenómenos se originaron en el océano Pacífico, mientras que en una y dos décadas antes, solo provinieron del Atlántico (MARN, 2021).

Figura 3. Eventos extremos en El Salvador desde el Océano Pacífico y Atlántico, 1961-2011



Fuente: MARN (2020).

Los eventos climáticos más recientes han dejado millones de dólares en pérdidas. MARN (2021) establece en su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) que a partir de la Tormenta

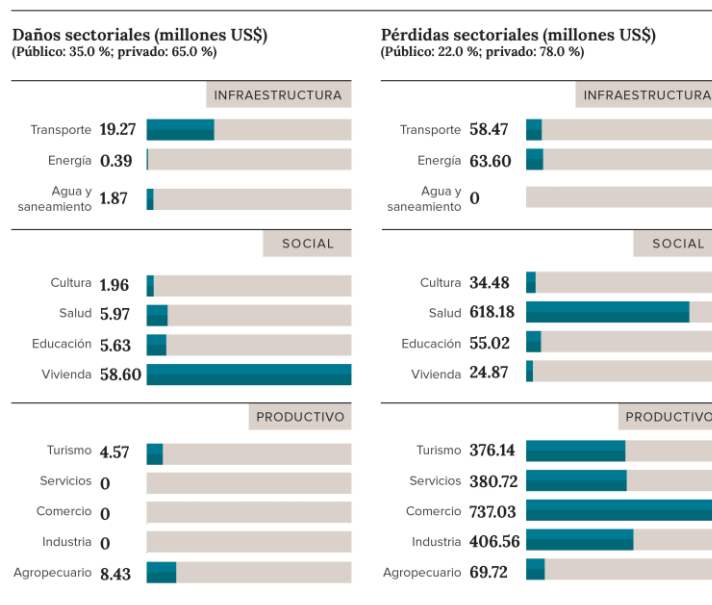
tropical Ida, El Salvador tuvo pérdidas de US\$315 millones de dólares, equivalente al 1.44 % del PIB del país; para la tormenta Ágatha, los daños y pérdidas se estiman en US\$112.1 millones de dólares que representó poco más de 0.5% del PIB; la tormenta 12-E, dejó daños y pérdidas estimadas en US\$1,300 millones, equivalentes al 6% del PIB; las sequías de los años 2012, 2014, 2015 y 2018, dejaron pérdidas económicas por US\$ 208.7 millones y 227,601.88 manzanas de granos básicos destruidas (MARN, 2021).

En 2020, El Salvador sufrió las consecuencias de la pandemia global del COVID-19, la cual incrementó los niveles de pobreza y por tanto los niveles de susceptibilidad y vulnerabilidad al cambio climático. En medio de la pandemia, El Salvador fue azotado por dos tormentas tropicales de gran magnitud. El domingo 31 de mayo 2020, se categorizó como tormenta tropical al sistema de baja presión denominado Amanda. Entre los días 4, 5 y 6 de junio se presentó la tormenta tropical Cristóbal. Ambas afectaron a 71 mil familias aproximadamente (PDNA, 2020). Las tormentas Amanda y Cristóbal ocasionaron el desborde de ríos que provocaron inundaciones urbanas en viviendas, vías de acceso y carreteras, así como inundaciones rurales en comunidades, terrenos de cultivo y vías de comunicación terrestre. Debido a las mencionadas tormentas, el 50% de los hogares que cultivaban maíz y frijoles vieron su producción reducida a la mitad.

De la misma manera, con los huracanes Eta e Iota, los cuales fueron los fenómenos más destructivos del 2020 en la región, significó la pérdida de muchas tierras cultivadas de granos básicos, traduciéndose en una pérdida económica para muchos agricultores, así como para el sector ganadero y pesca y una pérdida de vivienda para muchas personas, quienes tuvieron que desplazarse hacia centros de refugio.

De acuerdo con la "Evaluación de Necesidades de Recuperación Post Desastre 2020" (PDNA por sus siglas en inglés, 2020), el total de daños estimados en todos los sectores, debido a la pandemia COVID-19 y las tormentas Amanda y Cristóbal, alcanza los US\$106.71 millones, de los cuales el 35.0 % corresponde al sector público y el 65.0% al sector privado. Las pérdidas totales suman US\$2,824.78 millones.

Figura 4. Resumen de daños y pérdidas sectoriales por COVID y tormentas tropicales



Fuente: PDNA (2020).

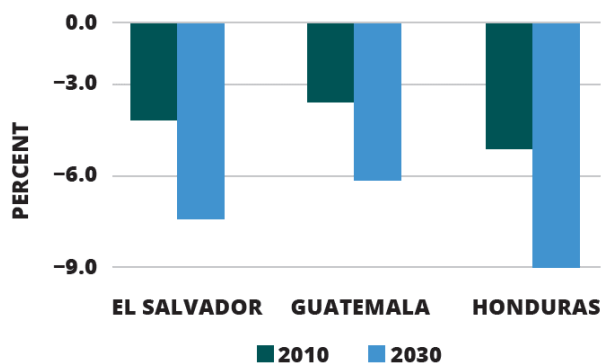
Los diversos impactos del cambio climático y su variabilidad asociada, en particular, el aumento de la temperatura media, la reducción de la precipitación acumulada anual, el cambio en los patrones de precipitación y los eventos extremos, se experimentan en diferentes sectores socio-económicos y sistemas naturales y humanos del país, tal es el caso de la agricultura, biodiversidad, ciudades, generación hidroeléctrica, infraestructura, recursos hídricos, saneamiento y residuos sólidos, salud y transporte.

Viscidi y Vereen (2022) realizaron un análisis de los impactos del cambio climático para el Triángulo Norte e indicaron que estos tendrán efectos a largo plazo y serán perjudiciales para el desarrollo económico. En específico para El Salvador indicaron que debido al cambio climático el Producto Interno Bruto disminuiría alrededor del -7.5% para 2030 en relación con el PIB de 2010 (ver gráfico 10).

Además, los autores afirman que las sequías y la escasez de agua provocarán probablemente un aumento de los precios de los alimentos y de la inseguridad alimentaria, podría reducir la producción de alimentos básicos como el maíz, así como de productos de exportación como el café. Por su parte, el aumento del nivel del mar y la pérdida de arrecifes de coral amenazarán el ocio y el turismo. También se espera que la escasez de agua disminuya la generación de energía hidroeléctrica.

Si el planeta se calienta 2°C, se estima que la producción de energía hidroeléctrica en Centroamérica disminuirá un 5% en promedio, mientras que un aumento de la temperatura de 4° provocará una caída del 30%, según Lim (2021). Además, las fuertes lluvias combinadas con la deforestación provocan una disminución de la producción de energía (Viscidi y Vereen, 2022).

Gráfico 10. Disminución proyectada del PIB debido a impactos del cambio climático (porcentaje)



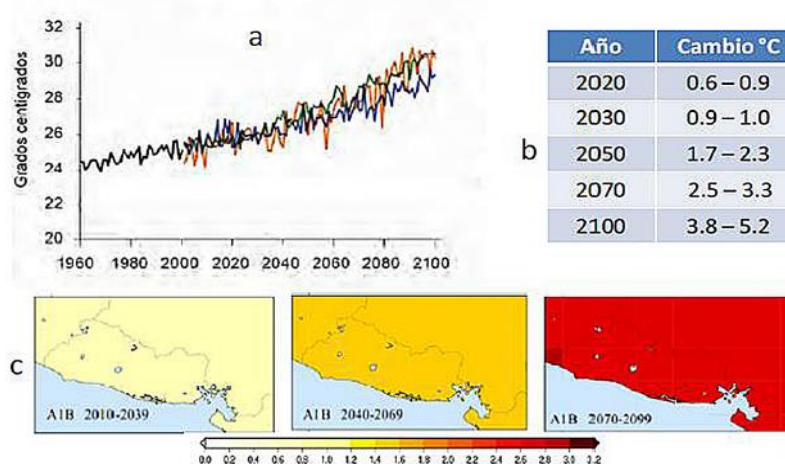
Fuente: Viscidi y Vereen (2022) con base en CEPAL

Por su parte, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador ha realizado escenarios de proyecciones sobre los efectos que tendrá el cambio climático en el país en el futuro. En relación con el aumento de temperatura media, las proyecciones futuras del cambio climático para El Salvador indican en 2010 que para el escenario de emisiones A2 (nivel de emisiones medio alto), se tendría aumentos de la temperatura media anual de 1.7 a 2.3°C en 2050 y de 3.8 a 5.2°C en 2100, respecto al período 1980-2000 (UNAM, 2010 citado en MARN, 2021). Además, los últimos escenarios de cambio climático desarrollados confirman que la temperatura media y mínima presentará aumentos en los periodos 2021–2050 y 2071– 2100, bajo todos los escenarios (ver Figura 5).

En El Salvador los impactos del cambio climático se manifiestan de manera clara y afectan especialmente a los más vulnerables y pobres. Además, poseen un efecto transversal que se extiende a diversos sectores económicos, afectando factores socioeconómicos claves para el

desarrollo del país. Por ello, El Salvador debe buscar medidas de adaptación y mitigación que disminuyan los efectos negativos del cambio climático.

Figura 5. Proyección de cambio de la temperatura media anual para El Salvador



Fuente: MARN (2021) con base en UNAM (2010).

D. Gases de efecto invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. En la atmósfera de la Tierra, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay además en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero (GEI) creados íntegramente por el ser humano, o mejor llamados antropogénicos, como los halocarbonos (compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono (Benavides y León, 2007).

De acuerdo con el IPCC (2020), se estima que el 23% del total de emisiones antropógenas mundiales de GEI de 2007 a 2016 proviene de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra. Todos los GEI tienen repercusión sobre el calentamiento de la tierra, es decir tiene efectos en la anomalía térmica, no obstante, desde el siglo XVIII el desarrollo como civilización se ha fundamentado en el carbono, en la quema de materiales fósiles para extraer energía (carbón mineral, madera y petróleo), lo que ha conllevado un incremento de las emisiones de CO₂ principalmente.

Desde inicios del siglo 20 la concentración de CO₂ en la atmósfera no ha dejado de crecer y en los últimos 50 años en promedio ha incrementado a un ritmo de 1.8 ppm anuales. Sin embargo, solo de 2011 a 2020 la tasa ha subido a 2.43 ppm, ubicándose en 2020 en 414.24 ppm (Gráfico 6), una concentración que ronde los 450 ppm constantes estaría vinculada con un incremento de la temperatura al margen de 2.0°C sobre la media preindustrial (IPCC, 2018).

Las emisiones de CO₂ en el mundo totalizaron 36.4 billones² de toneladas en el año 2019. En dicho año la nación con mayor cantidad de emisiones fue China puesto que representó el 27.9%

² Esquema corto 1,000,000,000 siendo igual a mil millones.

del total de emisiones, es decir 10.2 billones de toneladas de CO₂, casi duplicando el valor de Estados Unidos que representó el 14.5% del total con 5.3 billones de toneladas de CO₂; en conjunto estos dos países emiten 15.5 billones de toneladas, es decir 3.2 billones más que 200 países combinados. No obstante, hace 32 años (1989) el mayor emisor de CO₂ era Estados Unidos con el 22.3%, China y Rusia emitieron valores similares de 10.8% y 10.6% es decir 2.4 billones de toneladas de CO₂, es decir, estos tres países emitieron un excedente de 1.9 billones de toneladas de CO₂ por encima de más de 200 países (ver Gráfico 13 y 14).

Gráfico 11. Concentración de CO₂ en la atmósfera 1850-1900

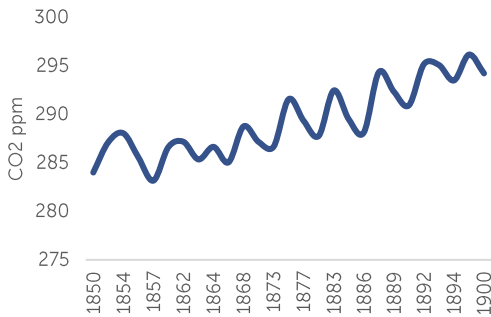
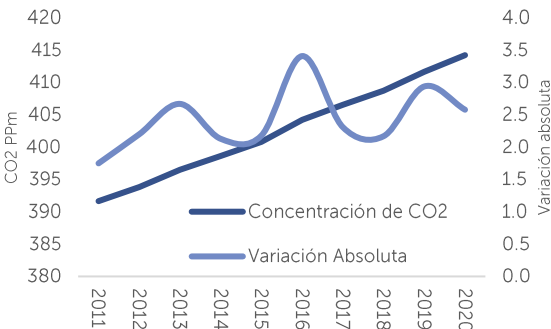


Gráfico 12. Concentración de CO₂ en la atmósfera 2011-2020



Fuente: Elaboración propia con base a datos de National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018 y 2021.

Gráfico 13. Países con mayores emisiones en 1989

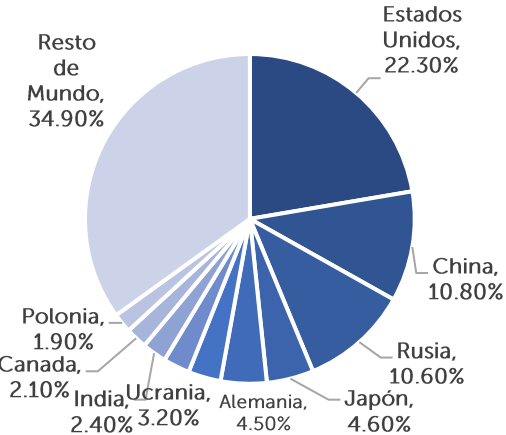
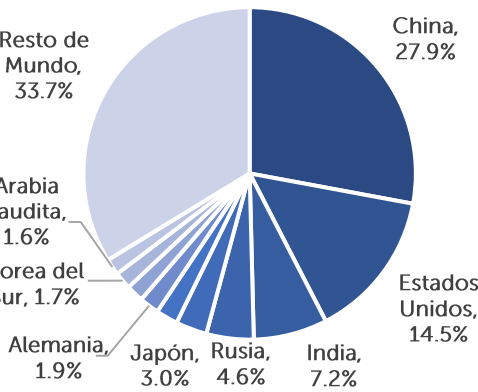


Gráfico 14. Países con mayores emisiones en 2019

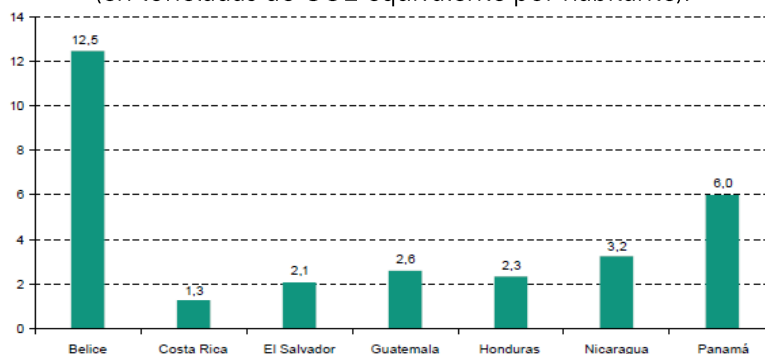


Fuente: Elaboración propia con base a datos de Global Carbon Project 2020.

En el caso de América Latina y el Caribe, la estructura de las fuentes de emisiones es más limpia que el promedio global. En 2016, las emisiones en la región fueron de 4.2 Gt de CO₂ eq, lo que significa que su participación total de las emisiones mundiales fue del 8.3%. En América Latina, la participación del sector energético es de 45% y la de la agricultura y la ganadería del 23%, mientras que el 19% de las emisiones de la región se origina en el cambio de uso del suelo (Bárcena et al, 2020). Un dato relevante es que las emisiones per cápita en América Latina y el Caribe en 2016 fueron aproximadamente de 6.6 toneladas per cápita, cifra que se ubica a la par de la media mundial de 6.7 toneladas per cápita, esto debido al incremento de las emisiones por el cambio de uso del suelo.

Centroamérica es una de las zonas más vulnerables del mundo, pese a que en 2016 solo se emitieron alrededor de 132 megatoneladas de CO₂ equivalente (Mt de CO₂ eq), lo que representa el 0.26% de las emisiones mundiales. El sector de la energía es la mayor fuente de emisiones y representa el 47% del total, y la generación de energía eléctrica es la actividad más intensiva en cuanto al uso de combustibles fósiles. El segundo rubro más emisor es la agricultura y la ganadería, con el 31% y el tercero es el cambio de uso del suelo, con el 10% (Bárcena et al, 2020).

Gráfico 15. Centroamérica: emisiones per cápita 2016
(en toneladas de CO₂ equivalente por habitante).

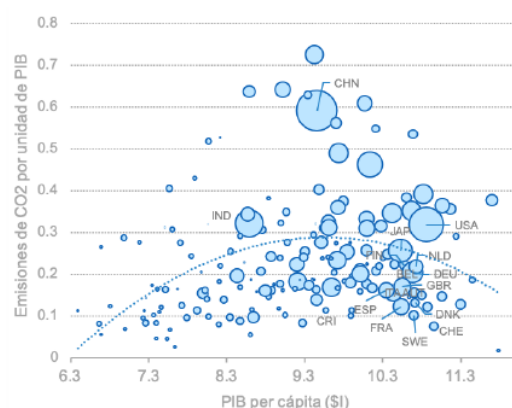


Fuente: (Bárcena et al, 2020).

En el caso de El Salvador, de acuerdo con (SICA, 2019), se observa que en promedio el 49.0% de las emisiones son producto del sector transporte, el 21.0% corresponde la producción de electricidad y de calor, el 21.0% es emitido por la industria manufacturera y el 8.0% por las edificaciones residenciales; de acuerdo al MARN (2020), la agricultura emitió el 57.8% de las emisiones totales en el año 2014. Además, el país ha presentado su Contribución Nacionalmente Determinada donde coloca metas específicas de reducción de gases de efecto invernadero, lo cual se desarrollará en secciones posteriores dentro de este documento.

La planificación de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es clave para detener los efectos del cambio climático que ocurren a nivel mundial, en especial porque la emisión de dichos gases y el aumento de la temperatura global está asociada con una disminución del crecimiento económico de las naciones. Andres y Domenech (2020), afirman que el Índice Anual de acumulación de Gases de efecto Invernadero (AGGI, por su acrónimo en inglés) ha aumentado un 82.5% entre 1979 y 2018, siendo las emisiones de CO₂ las que muestran mayor crecimiento. Además, realizan estimaciones para medir la correlación entre la intensidad en las emisiones (el cociente entre las emisiones totales de CO₂ sobre el PIB) y el PIB per cápita, cuyos resultados afirman una relación negativa entre ambas variables (ver Gráfico 16).

Gráfico 16. PIB per cápita y emisiones de CO2 por unidad de PIB, 2014



Fuente: Andres y Domenech (2020) a partir de datos de Banco Mundial y OurWorldInData.

E. Sectores económicos de El Salvador según emisión de GEI

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) manda a los países que son parte de la misma a elaborar, publicar, facilitar y actualizar periódicamente los inventarios nacionales de emisiones antropogénicas producidas por las fuentes y de las absorciones por los sumideros de todos los Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Por ello, El Salvador se ha realizado la medición de la emisión de gases de efecto invernadero a través del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), el cual tiene como objetivo cuantificar los GEI emitidos o absorbidos por la acción humana dentro del territorio nacional en un periodo de 12 meses consecutivos. Estos inventarios se han realizado para los años de 1994, 2000, 2005 y el último disponible que es el de 2014, el cual se describe en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de El Salvador. Se encuentran basados en las Directrices del IPCC 2006, categorizado en cuatro sectores:

- (a) energía
- (b) procesos industriales y uso de productos (IPPU)
- (c) agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)
- (d) residuos.

Cuadro 1. Emisiones totales en El Salvador por GEI en 2014
(Kt CO₂ eq.)

GEI	2014
CO₂ neto	15.978,7
CH₄	3.577,6
N₂O	753,3
HFC	85,3
Total	20.394,9

Fuente: MARN (2018).

El INGEI 2014 de El Salvador contempla la estimación de los principales GEI directos, tales como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) el óxido nitroso (N₂O) y los hidrofluorocarburos (HFC). Las emisiones de CO₂ estimadas en el año 2014 en El Salvador fueron de 20,964.6 kt de acuerdo con el MARN (2018), lo cual representa un equivalente al 0.04% de las emisiones mundiales de dichos gases para dicho año. La mayor emisión de gases de efecto invernadero fueron de CO₂, ya que representan más del 78% del total.

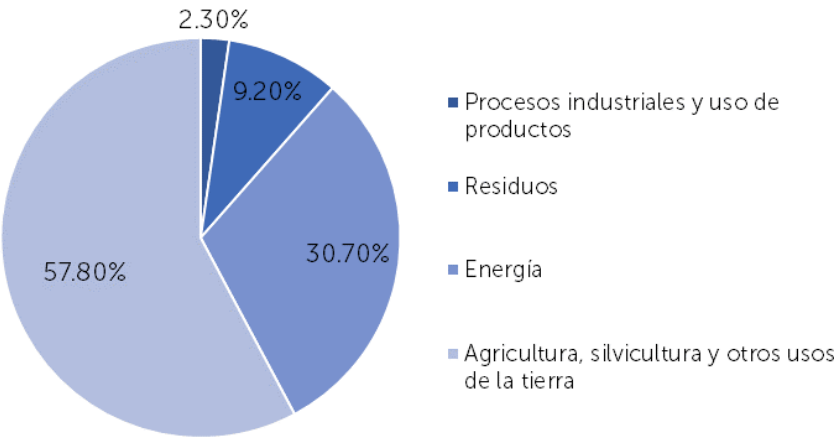
El sector que más contribuye en las emisiones del INGEI 2014 es el de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, con un 57.8%; seguido del sector energía, con un 30.7%; el sector de residuos, con un 9.2%; y el sector procesos industriales y uso de productos, con un 2.3% de acuerdo con el MARN (2018) (ver Cuadro 2 y Gráfico 17).

Cuadro 2. Emisiones totales de GEI de El Salvador por sector en 2014
(Kt CO₂ eq)

Sector	2014
Energía	6.268,5
Procesos industriales y uso de productos	461,6
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	11.793,6
Residuos	1.871,2
Total	20.394,9

Fuente: MARN (2018).

Gráfico 17. Emisiones totales de GEI de El Salvador por sector, 2014



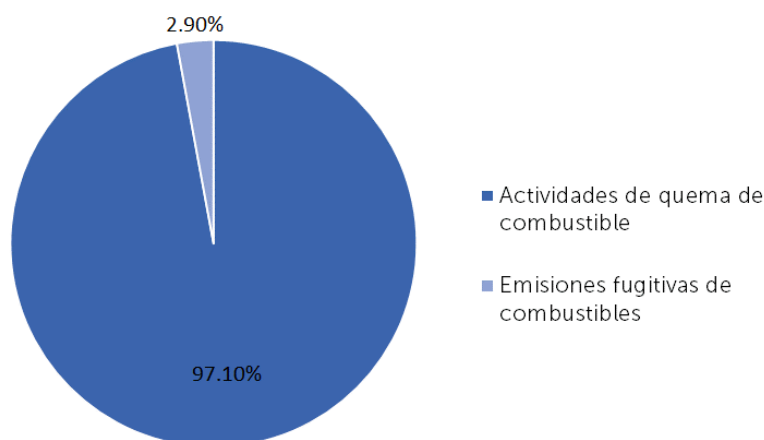
Fuente: MARN (2018)

1. Sector Energía

Las fuentes de energía más consumidas en 2014 de acuerdo con el MARN (2018) fueron los combustibles de origen fósil: el consumo de fuelóleo, gasolinas y diésel. El sector que mayor consumo de energía ha tenido en el país, es el sector transporte, ya que emplea gasolina, diésel y combustible turbo. A este le sigue el sector de la generación de energética, que utiliza fuelóleo y energías renovables.

En el 2014, la quema de combustible representó 6.087.1 kt CO₂ eq (97.1 %), mientras que las emisiones fugitivas de combustibles registraron 181.4 kt CO₂ eq (2.9 %). En general, en El Salvador las emisiones del sector están dominadas por el consumo de combustibles fósiles, especialmente para el transporte terrestre y la industria de generación de energía (ver Gráfico 18).

Gráfico 18. Emisiones totales de GEI de El Salvador del Sector Energía por categoría, 2014



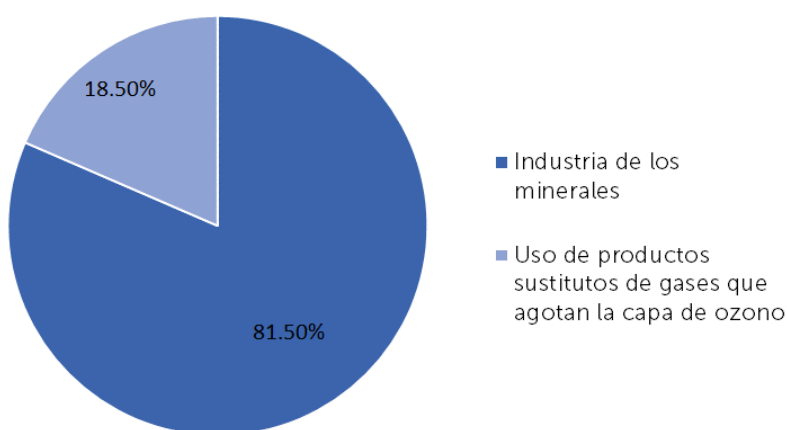
Fuente: MARN (2018)

2. Procesos industriales y uso de productos (IPPU)

Este sector contabiliza las emisiones de GEI que están relacionadas con la materia prima utilizada en los procesos industriales. En el 2014, de las emisiones totales del sector IPPU, la categoría Industria de los minerales es la que más contribuye a las emisiones de GEI, con 376.3 kt CO₂ eq (81.5%), seguida de la categoría Uso de productos sustitutos de gases que agotan la capa de ozono, con 85.3 kt CO₂ eq (18.5%) (ver Gráfico 19).

Las actividades más emisoras en El Salvador en el sector IPPU son las de producción de cemento y de cal, y otras industrias que consumen carbonatos en sus procesos de producción, tal como la agroalimentaria y textil.

Gráfico 19. Emisiones totales de GEI de El Salvador del Sector IPPU por categoría, 2014



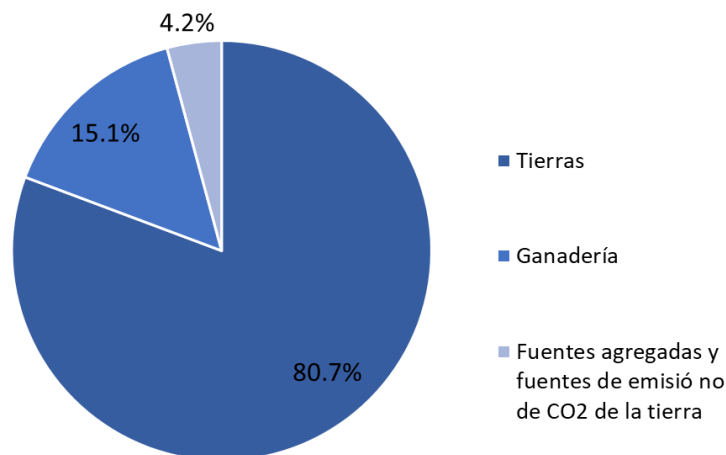
Fuente: MARN (2018)

3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

De acuerdo al MARN (2018) este sector incluye las emisiones y absorciones de GEI de las tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras. También incluye las emisiones por la gestión de ganado vivo y de estiércol, las emisiones de los suelos gestionados

y las emisiones de las aplicaciones de piedra caliza y de urea. En 2014, la categoría más representativa para el sector AFOLU fue el de las tierras con 9,518.5 kt CO₂ eq (80.7%), seguida de la ganadería con 1,782.3 kt CO₂ eq (15.1%), y por último, la categoría de fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra, con 492.8 kt CO₂ eq (4.2 %) (ver Gráfico 20).

Gráfico 20. Emisiones totales de GEI de El Salvador del Sector AFOLU por categoría, 2014

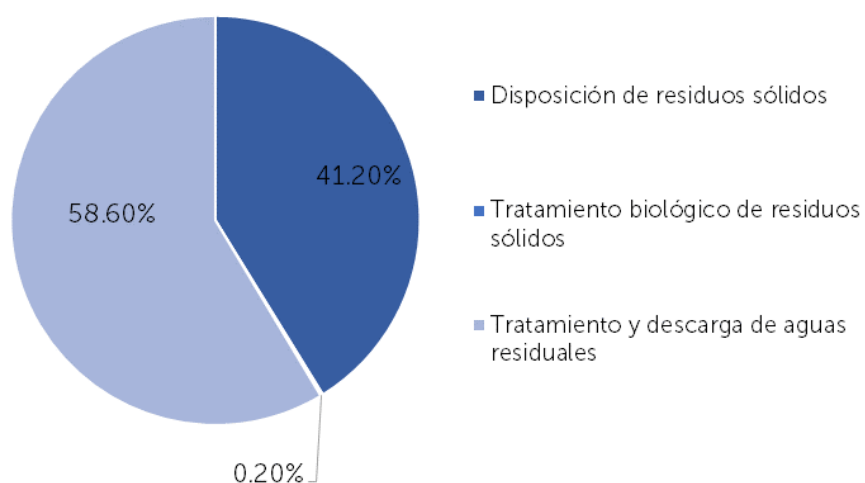


Fuente: MARN (2018)

4. Residuos

El sector de residuos posee las categorías de eliminación de residuos sólidos, tratamiento biológico de residuos sólidos y tratamiento y eliminación de aguas residuales. En el 2014, de acuerdo con el MARN (2018), la disposición de residuos sólidos registró 1,096.5 kt CO₂ eq (58.6%), la categoría de tratamiento y descarga de aguas residuales 771.4 kt CO₂ eq (41.2%), por último, la categoría de tratamiento biológico de residuos sólidos registró 3.3 kt CO₂ eq (0.2%) (ver Gráfico 21).

Gráfico 20. Emisiones totales de GEI de El Salvador del Sector Residuos por categoría, 2014



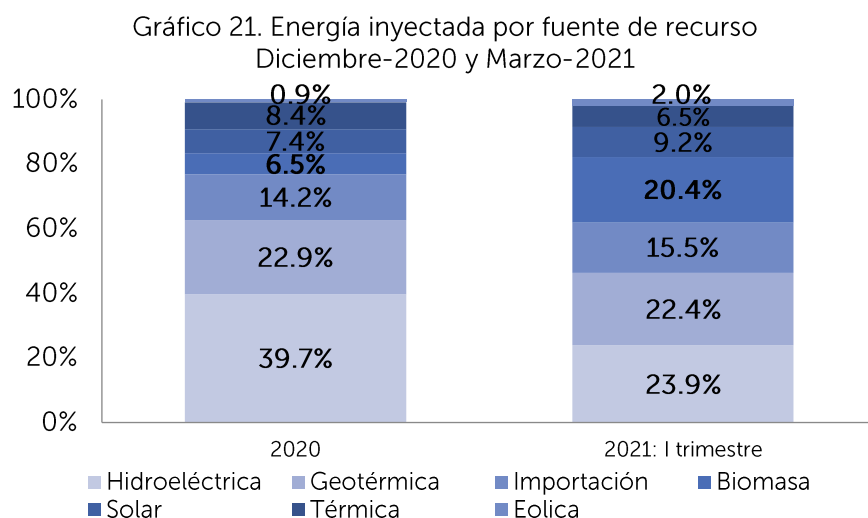
Fuente: MARN (2018)

F. Matriz energética en El Salvador

La matriz energética de El Salvador en la última década se ha diversificado ya que el país cuenta con diversas fuentes generadoras que suplen la creciente demanda por el servicio de energía. A pesar de ello, la fuente térmica aún constituye un buen porcentaje en la contribución de la generación total de energía, sin embargo, en los años recientes, es notable el cambio en la configuración de la matriz energética total.

En 2012, en la inyección por recurso, la fuente generadora más potente era la proveniente de la energía térmica (49.9%) y las importaciones de energía apenas reflejaban un 1.9% de participación relativa, de acuerdo con datos de la Unidad de Transacciones. En dicho año, la matriz de energía en El Salvador estaba sostenida por la energía generada a base de Bunker, que a inicios de 2012 representaba prácticamente la mitad en la contribución energética total ofertada al país.

En 2021, la matriz energética presenta una transformación favorable, dado que ya se encuentran funcionando en el territorio nacional plantas de generación de energía renovable, con lo que se ha pasado de una matriz que era dominada principalmente por energías Térmica, Hidroeléctrica, Geotérmica e Importaciones a una que poco a poco ha ido transformándose hasta diversificarse con producciones de fuentes Térmica, Hidroeléctrica, Biomasa, Eólica, Solar, Geotérmica e importaciones (ver Gráfico 21). En la configuración reciente, es notable el aumento en el uso de energías renovables en detrimento principalmente de la energía térmica. Es claro que durante la época lluviosa en nuestro país se intensifica aún más el uso de las energías limpias, entre ellas la hidroeléctrica y la geotérmica, de tal manera que es notable la menor dependencia de energía producida a base de fuel oil.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Unidad de Transacciones.

Como puede notarse, hay una modificación drástica en la composición de la matriz de energía a partir de que el abanico de posibilidades se ha ampliado al entrar a la generación aquellas fuentes energéticas no tradicionales. La Asociación Salvadoreña de Industriales (ASI) (2020) afirma que, en 2020, el 72% de la energía demandada en el país se cubre con energías renovables, de las cuales la geotermia representa el 24.3%; la hidroeléctrica el 29.8%; el 10.2% corresponde a biomasa y un 8.4% a solar fotovoltaica.

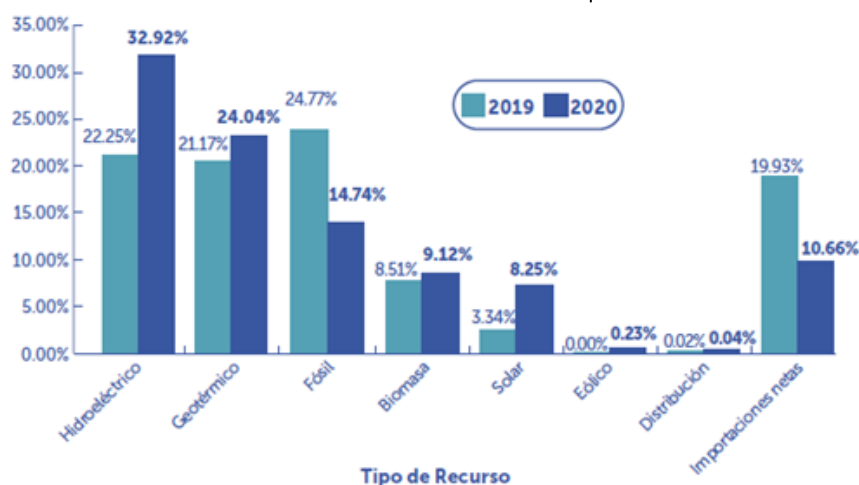
En 2010, la capacidad instalada en el sector eléctrico era de 1,472 MW, de los cuales 32.0% estaba en recursos hidráulicos, 14.0% provenientes de energía a base de vapor y el resto, es decir el 54.0% estaba concentrado en los proyectos a base de búnker y en energía originada en los ingenios (ver Cuadro 3). En cambio, para 2020, la capacidad instalada asciende a un total de 2,360.20 MW, superando en 4.62% la capacidad instalada de 2019 que ascendía a 2,256.08 MW. Para dicho año, la capacidad instalada de la energía hidráulica y el combustible fósil son las mayores, pero es importante notar el elevado porcentaje de la energía solar y como este ha incrementado (ver Cuadro 3 y Gráfico 22).

Cuadro 3. Capacidad instalada por tipo de recurso (MW)

Generadoras	Capacidad Instalada				Variación	
	2019		2020			
	(MW)	(%)	(MW)	(%)		
Hidráulica	573.79	25.4%	573.79	24.3%	⇒	0.00%
Geotérmica	204.40	9.1%	204.40	8.7%	⇒	0.00%
Combustible Fósil	771.11	34.2%	771.11	32.7%	⇒	0.00%
Biomasa	293.60	13.0%	293.60	12.4%	⇒	0.00%
Solar	406.33	18.0%	474.46	20.1%	⬆	16.77%
Biogas	6.85	0.3%	6.85	0.3%	⇒	0.00%
Eólica	-	0.0%	36.00	1.5%	⬆	100.00%
Total:	2.256.08	100%	2.360.21	100%	⬆	4.62%

Fuente: SIGET (2021) con base en Unidad de Transacciones

Gráfico 22. Estructura de Generación Neta por Recurso, 2020

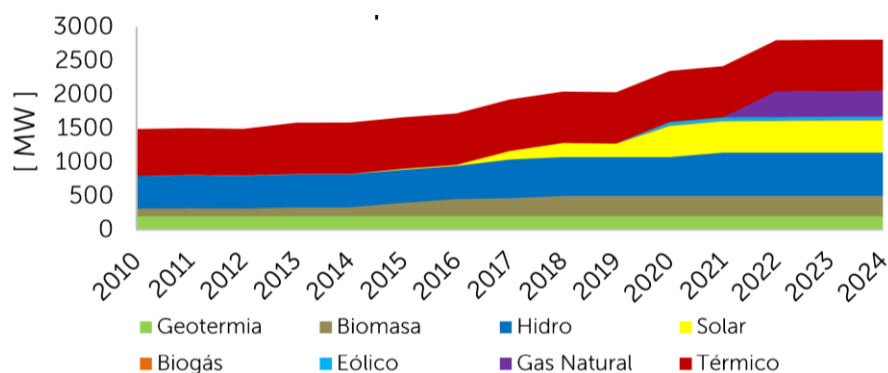


Fuente: SIGET (2021) con base en Unidad de Transacciones y Generadores

De acuerdo con el Consejo Nacional de Energía (2020) se tiene previsto que al año 2024 estén incorporadas en la matriz de generación nacional una planta de generación eólica (50 MW), una de Gas Natural (380 MW) y se incremente el suministro de energía eléctrica con tecnología solar fotovoltaica (474 MW aproximadamente) (ver Gráfico 23).

Por su parte, la demanda de energía en el mercado mayorista, según los datos publicados por la Unidad de Transacciones, en el año 2020, presenta una disminución del -5.31% respecto al nivel registrado en el año 2019 (SIGET, 2021) (ver Gráfico 24). Relacionado a este indicador y de acuerdo con SIGET (2021), el consumo final de energía eléctrica en el año 2020 presentó una clara disminución con relación al año 2019, teniendo una caída del -4.86%.

Gráfico 23. Capacidad instalada proyectada a 2024 de El Salvador



Fuente: Consejo Nacional de Energía (2020)

Gráfico 24. Demanda de Energía en el mercado mayorista, 2019-2020 (GWh)



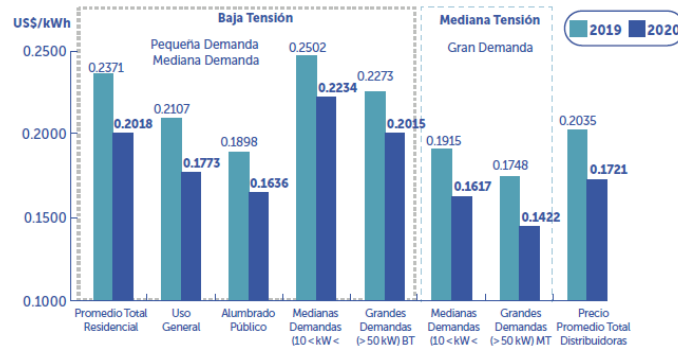
Fuente: SIGET (2021) con base en Unidad de Transacciones y Generadores

En cuanto a los precios promedios de la energía a trasladar a tarifas, estos disminuyeron en cada una de las empresas distribuidoras y en promedio los precios de energía a trasladar a tarifas aplicadas en el cuarto trimestre del 2020 se redujeron aproximadamente 19.3% respecto a los precios de la energía a trasladar a tarifas del cuarto trimestre de 2019. En concordancia con lo anterior, los precios promedios de la energía al consumidor final sin subsidio focalizado, que agrupa todos los cargos aplicados, tuvieron una reducción significativa de 15.4%, si se compara los años 2020 respecto al 2019 (SIGET, 2021) (ver Gráfico 25).

Por otra parte, es importante tener en cuenta que las variables como el precio internacional del barril de petróleo (WTI) y sus principales derivados se han mantenido volátiles, en especial con la guerra entre Rusia y Ucrania, lo que ha impactado negativamente en el precio promedio de la energía y sobre los costos que implica para producirla.

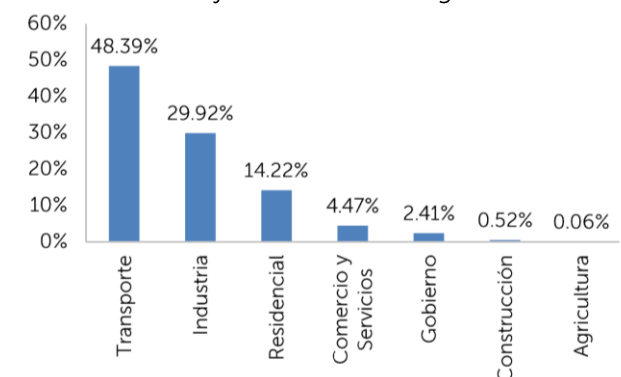
En relación con el consumo de energía, de acuerdo con el Consejo Nacional de Energía (2020), en El Salvador la energía es consumida en los sectores siguientes: transporte, industria, residencial, construcción, gobierno, agricultura, comercio y servicios. Para el año 2018, los sectores de mayor consumo energético fueron transporte (48.39%), industria (29.92%) y residencial (14.22%) respecto al consumo total del país (ver Gráfico 26).

Gráfico 25. Precios promedio de la energía al consumidor final por categoría, sin subsidio (US\$/KWh)



Fuente: SIGET (2021)

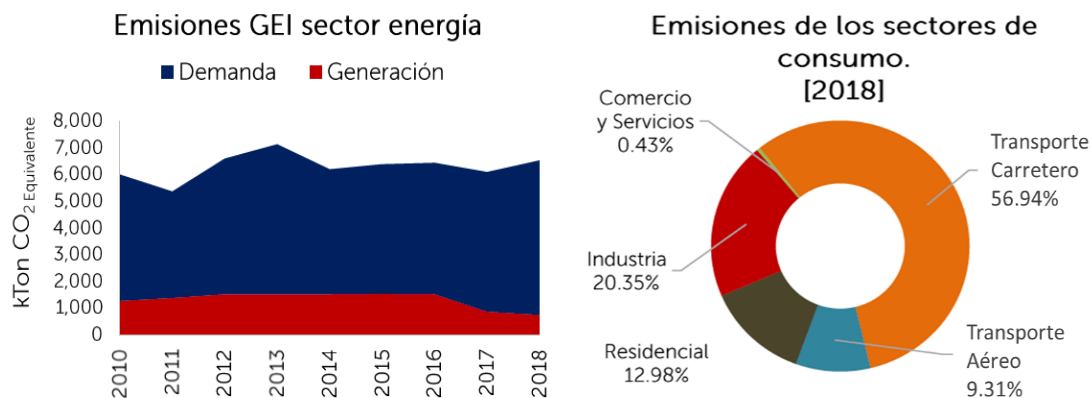
Gráfico 26. Sectores de mayor consumo energético en El Salvador, 2018



Fuente: Consejo Nacional de Energía (2020)

El Consejo Nacional de Energía (2020), en la Política Nacional de Energía 2020-2050, muestra que, en promedio, en los últimos 10 años el 21% de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector energético se deben a actividades de generación de energía, mientras que las emisiones restantes se deben a la quema de recursos energéticos en los sectores de consumo final (transporte, industria, residencial, construcción, comercio y servicios).

Gráfico 27. Emisiones de GEI del sector energía y emisiones de los sectores de consumo, 2018

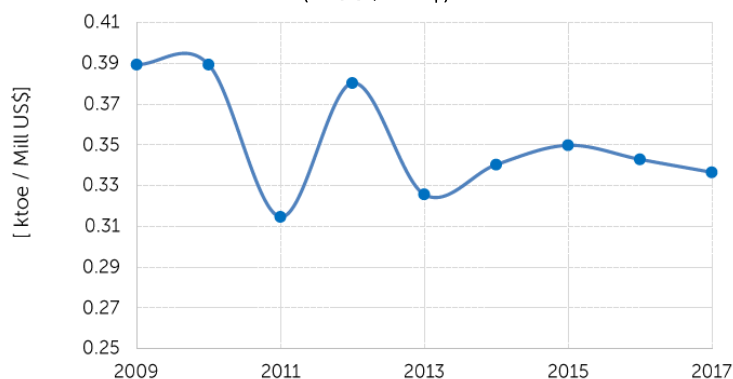


Fuente: Consejo Nacional de Energía (2020)

En particular el sector de energía posee un peso considerable en la emisión de GEI que se ha mantenido a lo largo del tiempo (ver Gráfico 27).

En el análisis de la matriz energética de El Salvador es importante destacar la variable de intensidad energética, la cual es una indicación de cuánta energía se utiliza para producir una unidad de producción económica, es decir, una representación de la eficiencia con la que una economía puede utilizar la energía para producir un producto económico, por lo que un valor más bajo indica que se usa menos energía para producir una unidad de riqueza (PIB). De acuerdo al Consejo Nacional de Energía (2020), la intensidad energética desde el año 2009 al 2017 presenta una tendencia decreciente, por lo que puede afirmarse que El Salvador ha hecho más eficiente su matriz (ver Gráfico 28).

Gráfico 28. Intensidad energética agregada en El Salvador
(Ktoe /MM\$)



Fuente: Consejo Nacional de Energía (2020)

Por último, es necesario realzar la importancia que pueden tener las políticas públicas en la evolución de la matriz energética, al orientar hacia energías renovables y una mayor eficiencia. Por ello, se destaca que en El Salvador se cuenta con la Política Energética 2020-2050, la cual tiene como objetivo general garantizar el abastecimiento y consumo de recursos energéticos que El Salvador requiere para su desarrollo bajo un enfoque de sostenibilidad, modernización, eficiencia, seguridad y neutralidad de carbono durante los próximos 30 años (Consejo Nacional de Energía, 2020). Por lo tanto, se espera que esta política incida positivamente en la evolución eficiente de la matriz energética nacional.

G. Planes y programas de cambio climático en el país

En El Salvador se están realizando esfuerzos importantes en términos de adaptación y mitigación para enfrentar los efectos bastante frecuentes del cambio climático en los diferentes sectores económicos. Estas acciones se encuentran plasmadas dentro del marco de acción medio ambiental de El Salvador, es decir, los planes, políticas, leyes y estrategias que se han desarrollado en el país.

De acuerdo con el MARN (2021), el marco normativo nacional para la atención al cambio climático está establecido en la Ley de Medio Ambiente, la cual define los elementos de política e instrumentos aplicables a cambio climático, otorgándole prioridad de país e interés social, así como por los compromisos asumidos en acuerdos y convenios internacionales suscritos, entre ellos, el Acuerdo de París.

Los documentos nacionales que rigen los esfuerzos del país en relación con el cambio climático son: Política Nacional de Medio Ambiente, Plan Nacional de Cambio Climático 2021-2025, Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (NAP) Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, Primer Informe Bienal de Actualización, Primer Informe Bienal de Transparencia (BTR) y la Contribución Determinada a nivel Nacional del Estado Salvadoreño (NDC) actualizada al 2021, entre otros.

Dentro de los documentos relacionados con el sector AFOLU se encuentran la Política, Plan y Estrategia sobre cambio climático para el Sector Agropecuario, Forestal, Pesquero y Acuícola de El Salvador, Plan de Acción de Restauración de Ecosistemas y Paisajes con un enfoque de MbA, 2018-2022 y el Plan Nacional de Reforestación. Para el sector energía se encuentran la Política Energética Nacional 2020-2050, la Estrategia de Eficiencia Energética, Ley General de Electricidad, Política Energética Nacional de El Salvador 2010-2024, entre otros.

Para el Sector Infraestructura y Ciudades, El Salvador cuenta con los siguientes documentos: Ley de Urbanismo y Construcción, Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS, por OPAMSS, Plan Maestro para la Gestión Sustentable de Aguas Lluvias en el AMSS, Anteproyecto de Ley de Ordenamiento y Desarrollo Territorial desde el MIGOBDT, Reglamento para edificaciones sismo resistente y norma sísmica, entre otros. Para el Sector Transporte se cuenta con el Reglamento Técnico Salvadoreño en materia de combustibles, Ley de Transporte terrestre, tránsito y seguridad vial (reformas 2021), entre otros.

El Sector Recursos Hídricos cuenta con la Ley General de Recursos Hídricos, Reglamento de Desarrollo Territorial y planificación del AMSS, Planes de Seguridad del Agua Resilientes al Clima, Política Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico, Política de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas, entre otros. Por último, el Sector Saneamiento y Residuos Sólidos posee el Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos y la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y Fomento del Reciclaje.

H. Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) de El Salvador y metas de cambio climático

Las contribuciones determinadas a nivel nacional representan la parte central del Acuerdo de París de forma que estas contribuciones resumen los diversos esfuerzos nacionales para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los efectos del cambio climático. Cada Parte debe preparar estas contribuciones y comunicar sus acciones climáticas posteriores a 2020, conocidas como sus contribuciones determinadas a nivel nacional. Este esfuerzo pretende equilibrar las emisiones de las fuentes con la absorción antropogénica por los sumideros de GEI. Se entiende que el punto máximo de las emisiones llevará más tiempo a las Partes que son países en desarrollo, y que las reducciones de las emisiones se realizan sobre la base de la equidad y en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, que son prioridades de desarrollo fundamentales para muchos países en desarrollo.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) 2021 establece las metas relacionadas al cambio climático para cada sector, pero es importante destacar que solamente para el sector Energía y el sector AFOLU establece metas cuantificables, para los demás sectores establece planes que se llevarán a cabo. Además, la NDC divide entre acciones de mitigación y de adaptación. Para mitigación solo incluye al sector Energía y AFOLU, los demás sectores se encuentran en Adaptación.

Para el sector Energía, el MARN (2021) establece que una meta con base en reducción de emisiones de GEI para 2030 y 2025, definiendo que para el año 2030, las emisiones anuales de GEI disminuirán hasta un valor en el rango entre 308 y 487 Kton CO₂Eq que corresponde a una reducción entre 61% y 39% con relación al escenario BAU. Además, establece que para el año 2030, la capacidad instalada de energías renovables aumentará 50% con respecto a 2019 (año base), para alcanzar un valor de 2,222 MW, lo que representa una participación de 64% de energías renovables en la matriz de capacidad instalada del país.

También establece como meta que para el año 2030, entre 86.1% y 85.7% de la energía eléctrica se generará a partir de energías renovables en comparación a un 70% de generación eléctrica que provino de energía renovable en 2019. Y además, que para el año 2025, entre 83.7% y 82.7% de la energía eléctrica se generará a partir de energías renovables, en comparación a un 70% de generación eléctrica que provino de energía renovable en 2019.

Otras acciones que menciona como metas para el Sector Energía son la implementación de acciones de eficiencia energética a nivel de consumidores gubernamentales, comerciales y residenciales, debido a la sustitución de equipos de refrigeración y aire acondicionado por otros con mayor eficiencia; implementación de acciones de eficiencia energética en alumbrado público; sustitución del uso de combustibles derivados del petróleo en la industria y el comercio por gas natural, para lo cual entre 2024 y 2030, se alcanzaría una reducción acumulada de 175 Kton CO₂Eq que corresponde a una reducción de 1.6% respecto a un Escenario BAU; y por último, la introducción de electro-movilidad en el parque vehicular con atención primaria al transporte de pasajeros, público y privado.

Además, la NDC menciona como elementos condicionantes para cumplir con las metas del sector Energía que, durante el período comprendido hasta dichos años, se instale una planta de 100 MW que utilice tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS). Para ello, además, será necesario crear un modelo de negocio para este proyecto y conseguir una estructura de financiamiento que haga factible su construcción.

En cuanto al sector AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Uso del Suelo), establece la meta de que para el período de 2035 a 2040, y a partir de 2015, se reduzcan las emisiones en 50,857.5 Kton CO₂Eq, mediante actividades de reducción de emisiones y actividades de aumento de sumideros y reservorios de carbono, y se establezca una transición hacia una agricultura y ganadería baja en carbono.

Además, se realizará la preparación de estrategias y acciones nacionales de mitigación en la ganadería bovina de El Salvador. Para 2025, el país habrá desarrollado una estrategia y adoptado acciones de mitigación en la ganadería bovina a nivel nacional para poder consolidar y presentar una medida con metas cuantificadas de mitigación de GEI, en la próxima actualización de la NDC.

En cuanto a adaptación, no se establecen metas cuantificables específicas, pero si acciones que se llevaron a cabo para apoyar a los sectores de Agricultura (que, aunque ya se encuentra en mitigación también posee un componente de adaptación), Biodiversidad y Ecosistemas, Ciudades, Generación Hidroeléctrica, Infraestructura, Recursos Hídricos, Saneamiento y Residuos Sólidos, y Transporte.

Las acciones de adaptación en relación al sector Agricultura que establece el MARN (2021) son la implementación de prácticas para la transición de la agricultura tradicional a una agricultura sostenible; implementación de materiales genéticos adaptables al cambio climático y su variabilidad asociada a los cultivos de granos básicos; mejoramiento de las cadenas de producción, sustentable de horticultura, fruticultura, ganadería, apicultura y acuicultura con enfoque de adaptación al cambio climático en la zona oriental del país; establecimiento y

desarrollo de un sistema de información agroclimática; aumento de la zafra verde (cosecha mecanizada en la agroindustria azucarera); y la conservación, restauración, rehabilitación de un millón de hectáreas a nivel de ecosistemas y paisajes.

En relación con el sector de Biodiversidad y Ecosistemas, la NDC establece que se brindará especial énfasis en la construcción de resiliencia a nivel de paisaje, aumento de servicios ecosistémicos, evaluación de los efectos del clima sobre el hábitat de las especies y la conectividad estructural y funcional de los ecosistemas. En cuanto al sector Ciudades, se presenta como una prioridad de país el tema de las ciudades adaptables, resilientes al cambio climático y bajas en emisiones de GEI.

Para el sector de Generación Hidroeléctrica la NDC establece que se realizará la conservación de áreas boscosas con enfoque de manejo sostenible y regeneración natural, así como el aprovechamiento de excesos de agua, mediante la Expansión de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre en 80 MW de capacidad instalada. En cuanto al sector Infraestructura, se llevará a cabo la implementación de infraestructura gris e infraestructura verde, viviendas resilientes al cambio y variabilidad al clima en asentamientos urbanos precarios del AMSS (Área Metropolitana de San Salvador). En relación con el sector de Recursos Hídricos se brindará un impulso de la gestión sostenible de los recursos hídricos, para lo cual, el manejo sustentable de las cuencas hidrográficas será un imperativo.

En cuanto al sector de Saneamiento y Residuos Sólidos se implementarán acciones de reducción de residuos, separación en el origen, valorización, eliminación o disposición final en el marco integral de gestión de residuos, fomentando el reciclaje y la economía circular con una gestión de la adaptación al cambio y variabilidad del clima. Por último, para el Sector Transporte se llevará a cabo la implementación de modos sostenibles: transporte público masivo, uso de bicicleta, caminata, zonas de velocidad restringida y gestión del tráfico; en consideración de la seguridad vial y promoción de los espacios públicos.

I. Comparación de El Salvador con las NDC de Centroamérica

1. Subregión centroamericana

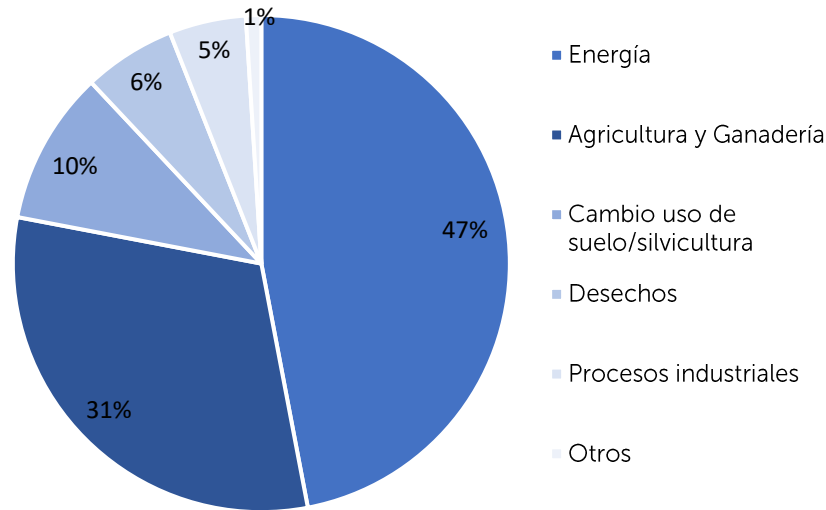
En el continente dos subregiones se caracterizan por ser altamente vulnerables ante el cambio climático a pesar de que contribuyen escasamente a la generación de emisiones. Se trata de Centroamérica y el Caribe. Tomando de referencia el estudio La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe. ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?, se esbozará un pequeño perfil de la región Centroamericana.

Según datos de 2016 las emisiones de Centroamérica participan con el 0.26% del total de las emisiones mundiales. La energía es la principal fuente generadora de emisiones con 47% del total. (La energía eléctrica es la actividad que más utiliza combustibles fósiles). Le sigue la agricultura y ganadería con un 31%; siendo el tercer rubro el cambio de uso de suelo con el 10% (ver Gráfico 29).

Entre 1990 y 2016, las emisiones experimentaron un aumento de 0.2% anual, donde destaca el crecimiento anual promedio de los sectores Energía (4.8%) y Procesos industriales (4.7%) para el mismo período. En general, los mayores niveles de emisiones se concentran en Energía y Agricultura, aunque también es importante el cambio en el uso del suelo en Panamá, Guatemala y Belice. Por el contrario, Costa Rica absorbe emisiones por este último rubro.

En cuanto a la matriz energética, la penetración de las fuentes renovables ha sido importante en años recientes, representando una participación de las fuentes renovables de alrededor de 53%, excluyendo Panamá (21%).

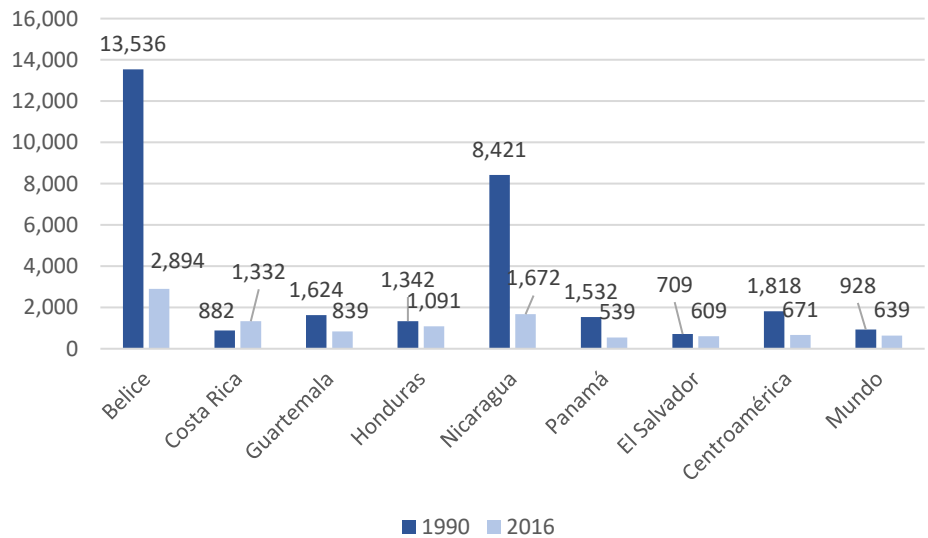
Gráfico 29. Estructura sectorial de las emisiones en Centroamérica, 2016



Fuente: CEPAL

La cobertura forestal de la región se ha reducido desde 27 millones de hectáreas en 1990 a 20 millones en 2016 que ha significado una deforestación promedio de 27,000 hectáreas por año. Costa Rica se ha convertido en una excepción al haber reforestado 25,600 ha/ap en el período de 2001 a 2016 posterior a un proceso de deforestación entre 1990 y 2000.

Gráfico 30. Centroamérica: intensidad carbónica de la economía, 1990 y 2016.
(Ton de CO₂ equivalente por cada millón de dólares de 2010)



Fuente: CEPAL

La disminución de la masa boscosa ha producido la erosión de suelos, lo que incide en una disminución de la productividad agrícola; asimismo, se pierden servicios forestales como la contribución que hacen los bosques a la recarga de acuíferos. Y se reduce el potencial para la captura y retención del carbono.

Para 2016, la intensidad de las emisiones en 2010 de la subregión es de 671 Ton de CO₂equivalente por cada millón de dólares de 2010, valor muy parecido a la media mundial de 639 Ton de CO₂ equivalente. Por otra parte, la tasa de descarbonización mundial ha sido de 1.4% frente a lo logrado por la subregión de 3.8% entre 1990 y 2016 (ver Gráfico 30).

2. Comparación acciones y planes NDC en los países centroamericanos

Se hizo una recopilación de los planes NDC que cada uno de los países de Centroamérica y Panamá ha divulgado, estos contienen acciones estratégicas y compromisos nacionales frente a los riesgos del cambio climático. El cuadro siguiente resume los principales compromisos y planes que cada país de la subregión de Centroamérica ha informado dentro del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Cuadro comparativo de las NDC en los países centroamericanos

País	Sector en la NDC								
	Energía	AFOLU	Biodiversidad y ecosistemas	Ciudades	Infraestructura	Recursos Hídricos	Saneamiento y Residuos Sólidos	Salud	Transporte
El Salvador	Para 2030: Reducción de las emisiones anuales de GEI entre 308 y 487 Kton CO ₂ Eq (reducción del 61% y 39% con relación al escenario BAU). Aumento del 50% de la capacidad instalada de energías renovables. Entre 86.1% y 85.7% de la energía eléctrica se generará a partir de energías renovables. Implementación de acciones de eficiencia energética de consumidores, comerciales y residenciales. Sustitución del uso de combustibles derivados del petróleo por gas natural.	Incremento de sumideros y reservorios de carbono por acciones de restauración y rehabilitación de tierras degradadas. Preparación de estrategia y acciones nacionales de mitigación en la ganadería bovina. Implementación de prácticas para la transición de la agricultura tradicional a una sostenible. Materiales genéricos adaptables al cambio climático.	Conservación de la estructura, composición y funciones de los ecosistemas, fortalecimiento de capacidades individuales e institucionales en la protección de Áreas Naturales Protegidas.	Fortalecimiento tecnológico, capacidades, educación ambiental y sensibilización social en las ciudades, para sustentar un modelo de desarrollo resiliente y bajo en carbono.	Implementación de infraestructura gris e infraestructura verde, viviendas resilientes al cambio y variabilidad al clima en asentamientos urbanos precarios del AMSS.	Conservación de la estructura y composición de los sistemas naturales y de procesos de sostenibilidad en los sistemas humanos de los territorios de las cuencas hidrográficas para mantener y ajustar las funciones, dinámica del ciclo hidrológico ante las manifestaciones y efectos del cambio climático.	Implementar acciones de reducción de residuos, separación en el origen, valorización, eliminación o disposición final.	Mejora de los ecosistemas de alerta temprana, atención a la emergencia y recuperación en el proceso de vigilancia epidemiológica ante enfermedades sensibles al cambio climático. Desarrollo de un modelo de vigilancia, supervisión y atención a la situación y condición nutricional de poblaciones afectadas o en riesgo de situaciones de emergencia y desastre.	Implementación de modos sostenibles: transporte público masivo, uso de bicicleta, caminata, zonas de velocidad restringidas y gestión del tráfico.
Guatemala	Para 2030: Reducción del 11.2% en las emisiones de GEI. Priorizar la energía limpia para la generación de energía eléctrica. Generación eléctrica del 80% a partir de fuentes renovables. Promover energías limpias, como gas natural, geotermia y fuentes no convencionales como eólica y solar con el fin de diversificar la matriz energética.	Para 2025: implementar medidas de conservación de suelos en 19,500 ha adicionales. Disminuir la prevalencia de desnutrición crónica en la niñez en 7.0 puntos porcentuales. Incrementar la superficie agrícola bajo sistemas de riesgo al menos 4,500 ha. Presentar una propuesta de proyecto que atienda el tema de la ganadería sostenible. Estrategia nacional de ganadería bovina sostenible con bajas emisiones, reducción de 0.6370 millones de toneladas de CO ₂ -eq.	El 32% del territorio nacional se encuentra cubierto por bosques y al menos un 30% de ellos bajo manejo es atendido por mujeres indígenas y no indígenas. Para 2025, la tasa de degradación por incendios forestales se reducirá a 36,972 hectáreas anuales, lo cual constituye una mejora del 5 % con respecto a la tasa de la línea base. Restauración forestal de 30,300 ha.		Se cuenta con una propuesta para la SEGEPLAN, municipalidades y la ANAM para incorporar lineamientos en el proceso de actualización de los planes de ordenamiento y desarrollo territorial con la inclusión de un eje de adaptación al cambio climático y resiliencia.	En al menos el 35 % de las cuencas, subcuencas y microcuencas del país se han implementado programas, planes, estrategias y manuales técnicos para la gestión integrada del recurso hídrico a nivel del territorio. El 50 % de las cuencas y de los sitios estratégicos de importancia hidrológica cuentan con planes para la protección del área y para el manejo sostenible. El 10 % de las cuencas cuentan con índices de calidad de agua y de caudal. Habrá más de 3000 ha de bosques de ribera restaurados.	Captura de metano en el vertedero de la zona 3 y su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica. Reducción de 0.1539 millones de toneladas de CO ₂ -eq. Proyecto campo limpio. 600 toneladas de envases vacíos retirados del campo (Meta NO GEI).	Mejorar la coordinación interna en el MSPAS y la coordinación interinstitucional. Establecimiento de fuentes de financiamiento. Fortalecimiento de capacidades técnicas. Fortalecimiento de la investigación. Creación de una mesa sectorial que funciones como un espacio de diálogo para planificar y crear planes que puedan fortalecer la adaptación al cambio climático en el sector.	Abordar un programa de renovación del parque vehicular privado hacia alternativas más eficientes. Puesta en marcha de un programa para promover el uso del etanol avanzado en la gasolina.

País	Sector en la NDC								
	Energía	AFOLU	Biodiversidad y ecosistemas	Ciudades	Infraestructura	Recursos Hídricos	Saneamiento y Residuos Sólidos	Salud	Transporte
Honduras	Para 2030: Reducción del 16% de las emisiones de GEI. Promoción de las energías renovables, fortalecimiento de la eficiencia energética, fomento de la electromovilidad, fortalecimiento de la bioenergía, reducción F-gases.	Impulsar el desarrollo sostenible y sustentable en el sector agropecuario, por medio de políticas y medidas que contribuyan a una economía baja en carbono y resiliente.	Actualización de los planes de manejo de áreas protegidas con el componente de adaptación. Promover la implementación y restauración funcional del paisaje rural, alcanzando 1.3 millones de ha de bosque en proceso de restauración. Reducir un 39% el consumo de leña en las familias, ayudando en la lucha contra la deforestación.	Impulsar y garantizar el desarrollo sostenible de las ciudades y comunidades, promoviendo la protección de las personas, la mejora de la calidad de vida, a través de un desarrollo urbano basado en la sostenibilidad ambiental, social y económica, capaz de responder adecuadamente a las necesidades básicas de la sociedad.	Elaboración de la estrategia de adaptación del sector infraestructura y se habrá incorporado en los diseños de nuevas estructuras viales el componente de adaptación. Elaboración de la estrategia de adaptación al sector infraestructura y se habrá incorporado en los diseños de nuevas estructuras viales el componente de adaptación.	Para 2023: Elaboración de la Política Hídrica Nacional y creación de la Autoridad del Agua. Fortalecimiento de la Red Meteorológica Nacional entre todas las instituciones que generan información hidrológica.	Promover la gestión integral de residuos a nivel nacional, departamental, municipal y local, que permita la promoción de buenas prácticas e incentivos hacia una economía circular.	Promover las actividades orientadas a la conservación y restauración funcional del paisaje rural de 1.3 millones de ha de bosque, y de esa manera promover a la restauración funcional del paisaje rural, el cual conlleva cobeneficios de adaptación relacionados a la salud humana, debido a los beneficios que los bosques pueden generar para la calidad del aire, agua y alimentos sostenibles.	Promover la electromovilidad, mediante el fomento de la movilidad con bajas emisiones de GEI, mejoras sostenidas del transporte público y transporte particular, centrándose en la reducción del consumo de hidrocarburos y la promoción del uso de recursos renovables.
Nicaragua	Para 2030: Incrementar el porcentaje de generación eléctrica por medio de otras fuentes de energía renovable como solar, eólica y biomasa a un 60%.	Propiciar la producción agroecológica, plantaciones de cultivos permanentes bajo sombra resistentes a los impactos del cambio climático, así como la reducción de las prácticas ganaderas extensivas e incorporación de bosques en tierras ociosas que permitan conservar las capacidades nacionales de los sumideros de carbono.	Para 2030: Reducir las emisiones en un 20% con respecto a su línea base, mediante acciones de restauración, manejo y conservación de bosques. Incrementar la eficacia en la protección de las reservas de biosfera mediante un programa de ordenamiento de tierras e impulso de la reforestación.	Medidas para el desarrollo de sistemas de drenaje en la ciudad capital y otras ciudades del pacífico que son altamente vulnerables a inundaciones.	Modernización de los servicios hidrometeorológicos del país, que permitan mantener pronósticos precisos y sistemas de alerta temprana para una respuesta eficaz y eficiente. Acceso a recursos adicionales para implementar medidas de adaptación en la red de infraestructura vial.	Desarrollar un programa nacional de captación de agua y promoción de sistemas de riego en el corredor seco. Desarrollo de infraestructura de agua potable y saneamiento y programas de resiliencia de los sistemas de agua potable urbano. Implementar el Plan Nacional de los Recursos Hídricos.		Desarrollo de conocimiento y capacidades de respuesta sobre los impactos de cambio climático en la salud de la población.	

País	Sector en la NDC								
	Energía	AFOLU	Biodiversidad y ecosistemas	Ciudades	Infraestructura	Recursos Hídricos	Saneamiento y Residuos Sólidos	Salud	Transporte
Costa Rica	Para 2030: Alcanzar y mantener una generación eléctrica 100% renovable. Desarrollar una planificación integrada intersectorial del proceso de electrificación de la demanda energética, que incorporará las necesidades de los diversos sectores y la diversidad de fuentes renovables de energía disponibles en las diferentes regiones del país. Implementación y desarrollo del hidrógeno verde en el país.	Para 2030: las cadenas de valor de café, ganadería, caña de azúcar, arroz y musáceas aplicarán sistemas productivos bajos en emisiones de GEI y que incorporan medidas de adaptación y resiliencia. El 70% del hato ganadero y 60% del área dedicada a la ganadería implementarán sistemas productivos bajos en emisiones y que incorporan medidas de adaptación y resiliencia. Implementación de un plan sectorial de adaptación al cambio climático.	Para 2030: El país aumentará y mantendrá su cobertura boscosa al 60%, al tiempo que este tipo de cobertura no compite con el sector agropecuario. Se incrementará en 69,500 hectáreas la aplicación de sistemas silvopastoriles y agroforestales completos. Se habrán intervenido 1,000,000 hectáreas de cobertura boscosa, incluyendo bosque de crecimiento secundario, para evitar degradación de la tierra y favorecer la biodiversidad.		Incremento del uso en edificaciones de madera, bambú y otros materiales locales, incluyendo aquellos de plantaciones de bosques manejados sosteniblemente, hasta aumentar un mínimo de 10% en 2025. En el año 2030, el 100% de nuevas edificaciones se diseñarán y construirán adoptando sistemas y tecnologías de bajas emisiones y resiliencia bioclimáticos.	Para 2030: Se habrá fomentado la seguridad y sostenibilidad hídrica ante el cambio climático, así como el adecuado e integrado manejo de cuencas hidrográficas por medio de la protección y el monitoreo de fuentes considerando tanto aguas superficiales como subterráneas. Aumento del área de humedales estuarinos registrados en al menos 10%.	Implementación del Plan Nacional de Compostaje. Se alcanzará al menos el 50% de alcantarillado sanitario en las áreas de alta densidad poblacional, incorporando criterios de resiliencia al cambio climático. En el año 2030, al menos el 50% de las aguas residuales en las áreas de alta densidad poblacional recibirán tratamiento.		Para el año 2030, las medidas de sustitución tecnológica y de eficiencia energética en los sectores de transporte de pasajeros, de carga e industrial reducirán las emisiones de carbono negro un 20%.
Panamá	Al 2050, Panamá logrará una reducción de las emisiones totales del sector energía del país en al menos el 24% y en al menos 11.5% al 2030, con respecto al escenario tendencial, que representan un estimado de 60 millones de toneladas de CO2 equivalentes acumuladas entre 2022-2050 y hasta 10 millones de toneladas de CO2 equivalentes acumuladas entre 2022-2030. Al 2025 se contará con un Plan Nacional de Cambio Climático.	Actualización e inicio del Plan Nacional de Cambio Climático para el Sector Agropecuario. Al año 2050 se habrá logrado restaurar 130.000 hectáreas de tierras degradadas bajo las modalidades de agroforestería y sistemas silvopastoriles. Al 2030 el NAMA de arroz habrá comenzado a implementarse y el NAMA ganadero habrá sido formulado y se habrá iniciado su implementación. Al 2025 se habrá creado un sistema de información agroclimática para el sector agropecuario.	Al 2025 se contará con el diseño, construcción y acciones preliminares de implementación de la Guía de Cambio Climático. Restauración forestal de 50,000 hectáreas a nivel nacional, que contribuirán a la absorción de carbono de aproximadamente 2.6 millones de toneladas de CO2eq al año 2050.	Desarrollo de la Guía Técnica de Cambio Climático para Asentamientos Humanos. Puesta en marcha del Programa Reduce Tu Huella Municipal.	Para 2025: Desarrollo de un Plan de Cambio Climático para el Sector Infraestructura. Implementación de una "Guía Técnica de Cambio Climático para Proyectos de Infraestructura de Inversión Pública".	Al 2025 se contará con un Plan de Cambio Climático para la Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas. Desarrollo del Plan Indicativo de Ordenamiento Territorial Ambiental PIOTA para la cuenca hidrográfica del canal de Panamá.		Al 2025, Panamá habrá desarrollado un "Plan de Cambio Climático para el Sector Salud que incluya componentes de adaptación y mitigación".	

Fuente: NDC de cada país Centroamericano.

*Las NDC de El Salvador, Guatemala y Honduras son del año 2021, mientras que las NDC de Costa Rica, Nicaragua y Panamá pertenecen a 2020.

II. Marco Metodológico y conceptual.

Este apartado explica el modelo IPAT propuesto por Ehrlich y Holdren que propone que los impactos en el medio ambiente se explican por el producto de tres elementos: población, afluencia/abundancia y tecnología.

La identidad de Kaya, una aplicación de la ecuación IPAT, que se aborda en el capítulo es una expresión matemática que se utiliza para describir la relación entre los factores que influyen en las tendencias relacionadas con la energía y las emisiones de dióxido de carbono que se emiten a la atmósfera.

El modelo IPAT que se describe en este capítulo, que es la base para las distintas estimaciones que se presentan e incluye el modelo general y los aplicados a los sectores energía, agricultura, industria y transporte para el caso de El Salvador.

A. Marco metodológico.

1. Ecuaciones básicas del modelo

El modelo IPAT, que es bastante intuitivo ha sido una metodología utilizada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). El análisis se basa en la identidad de Kaya que permite entender la tendencia histórica de las emisiones de gases de efecto invernadero, proyectar las emisiones futuras e identificar las opciones para reducir las emisiones. La identidad de Kaya, de acuerdo con CEPAL (2015), se sintetiza en la ecuación 1) y se puede aproximar por la ecuación 2, siempre que los cambios mostrados en la ecuación sean pequeños.

$$1) \quad GEIE = [POB] * \left[\frac{PIB}{POB} \right] * \left[\frac{ENERG}{PIB} \right] * \left[\frac{GEIE}{ENERG} \right]$$

$$2) \quad \Delta GEIE = \Delta [PIB] + \Delta \left[\frac{PIB}{POB} \right] + \Delta \left[\frac{ENERG}{PIB} \right] + \Delta \left[\frac{GEI}{ENERG} \right]$$

Por tanto, los elementos que componen el modelo IPAT son: las emisiones de GEI provenientes de la energía (GEIE), la población (POB), el Producto Interno Bruto per cápita (PIB/POB), la intensidad energética (razón entre energía (ENERG) y PIB y la intensidad carbónica (ratio (GEIE/ENERG)).

2. Beneficios del uso del modelo IPAT

El modelo IPAT posee diversos beneficios al estimarlo para los países, ya que permite evaluar las metas de cambio climático establecidas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas en relación con el comportamiento histórico de las variables como crecimiento económico, población, intensidad energética e intensidad carbónica.

Además, a partir de los análisis se pueden derivar medidas de política necesarias para cumplir las metas o para alcanzar valores cercanos, y que permitan desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático. Debido a que el Modelo IPAT es capaz de estimarse para los sectores de Energía, Agricultura, Industria, Cambio de uso de suelo y Silvicultura y el sector de Residuos, esto permite establecer diferentes opciones de medidas de adaptación y de política pública para los diferentes sectores o uno en particular.

El Salvador cuenta con estudios sobre proyecciones climáticas como MARN (2017) que estimó escenarios climáticos para el país utilizando la metodología de los Modelos de Circulación General y cuyos resultados afirman que se proyecta una tendencia al aumento en el caso de las temperaturas y una reducción en el caso de las precipitaciones, lo que pone en alerta sobre el impacto que podría darse en los ecosistemas, los sistemas socioeconómicos y los efectos que esto tendría en la salud, la seguridad energética, hídrica y alimentaria de las personas.

El último Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en El Salvador fue publicado en 2014; pero no se encuentran en dicho estudio las proyecciones de escenarios de cambio climático basados en las emisiones de gases para el país. Otros estudios, como la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de MARN (2013), realizan escenarios de cambio climático pero basados en los aumentos de la temperatura y precipitaciones, pero no relacionados con el crecimiento económico ni directamente con el sector de energía.

Por ello, es posible aprovechar la metodología IPAT para estimar escenarios de cambio climático y poder hacer comparaciones con las metas de cambio climático de la NDC 2021 de manera de calibrar o entender el esfuerzo y medidas que subyacen en las metas planteadas. En este sentido es importante estar pendientes de los anuncios y decisiones de los formuladores de políticas públicas y de las autoridades ambientales del país.

3. Datos y fuentes

Los datos que se utilizarán para el modelo IPAT se encuentran relacionados con las emisiones de GEI, el Producto Interno Bruto (PIB), la intensidad energética y la intensidad carbónica. Pero cada sector del modelo IPAT posee sus particularidades y requiere datos específicos.

Para el sector Energía los datos a utilizar son: PIB (a precios constantes \$USD 2015) obtenido de la base de datos del Banco Mundial, la Oferta total de Energía (Millones de barriles equivalentes de petróleo) de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), Intensidad carbónica del sector energía, Intensidad energética de la economía, y Emisiones (MtCO₂eq) de la base de datos The PRIMAP-hist national historical emissions time series (1750-2019).

El sector Agricultura utiliza los siguientes datos: PIB Agrícola (a precios constantes US\$ 2015) de la base de datos del Banco Mundial, Intensidad carbónica del sector agrícola, Emisiones agrícolas (MtCO₂eq) de la base de datos The PRIMAP-hist national historical emissions time series (1750-2019).

Para el sector Industria se emplearon los siguientes datos: PIB Industrial (a precios constantes US\$ 2015) de la base de datos del Banco Mundial, Intensidad carbónica del sector industrial, y Emisiones relacionadas a procesos industriales (MtCO₂eq) base de datos The PRIMAP.

Para el sector Transporte se ha recurrido a los siguientes datos o fuentes: PIB general (a precios constantes US\$ 2015), Intensidad carbónica, Emisiones de electricidad (MtCO₂eq) de la base de

datos The PRIMAP, y el consumo de energía del sector transporte de la Agencia Internacional de Energía.

En algunos casos, al revisar las estadísticas disponibles, es factible utilizar fuentes de datos alternativas. Aunque las simulaciones realizadas pueden ayudar a comprender el fenómeno, no facilitan la comparación y análisis de otras economías. Algunas series alternativas, presentaban cambios bruscos de tendencia y requerirían un poco más de cuidado en su empleo, en el sentido, que pueden estar reflejando cambios metodológicos en su medición, podrían tratarse de niveles preliminares, rezagos u otro problema de medición.

El sector Residuos y el de cambio de uso de suelo no fueron incluidos en el análisis por falta de datos para los mismos.

B. Descripción del Modelo IPAT

El IPAT es un modelo que permite elaborar simulaciones de trayectorias de emisiones de gases efecto invernadero; incluyendo la construcción de líneas de base, particularmente, permite con los datos históricos construir un escenario inercial (Business As Usual - BAU) basado en este modelo. En este trabajo también se han empleado sus resultados bajo distintos escenarios y poder emplearlas en el contexto de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC).

El modelo es útil para entender la tendencia de las emisiones y sus determinantes inmediatos. Asimismo, permite realizar escenarios futuros y simular políticas (CEPAL, 2022).

Para efectos comparativos, se pueden plantear el análisis para dos escenarios básicos, el Tendencial o Business-as-usual (*lo de siempre, sin modificar modelo de desarrollo*) que no considera política climática y algún otro escenario alternativo, que si considera la política climática. Los componentes del IPAT son:

$$I = PAT$$

donde:

- I = Impacto
- P = Población
- A = Afluencia (riqueza/consumo/ingreso)
- T = Tecnología

Una herramienta utilizada frecuentemente para explorar las principales fuerzas causantes de este comportamiento contaminante es la identidad de Kaya, también conocida como modelo IPAT. Según esta identidad, las emisiones de un país se descomponen en el producto de cuatro factores básicos de acuerdo con Bárcena et al (2010):

- CO_2e/E = índice de carbonización o intensidad de carbono de la energía, definida como el CO_2e por unidad de energía consumida.
- E/PIB = intensidad energética definida como la energía consumida por unidad de PIB.
- PIB/POB = nivel del PIB per cápita.

- POB = población.

Lo cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$3) \text{CO}_{2t} = \text{POB}_t * \frac{\text{PIB}_t}{\text{POB}_t} * \frac{\text{Energía}_t}{\text{PIB}_t} * \frac{\text{CO}_{2t}}{\text{Energía}_t}$$

En esta ecuación el primer componente refleja la población, el segundo se asocia a una medida del nivel de riqueza del país; el tercero se asocia a la eficiencia energética en la provisión de bienes y servicios y a otros factores, en especial el modelo de transporte y la estructura sectorial de la economía; y el cuarto refleja la combinación de combustibles o fuentes energéticas de un país (Bárcena et al, 2010).

La tecnología está representada por los últimos dos términos de la ecuación:

$$4) \frac{\text{Energía}_t}{\text{PIB}_t} * \frac{\text{CO}_{2t}}{\text{Energía}_t}$$

La intensidad energética de la economía muestra la cantidad de energía que se utiliza para producir una unidad de PIB. Es determinada por la estructura de la economía y la eficiencia con la que la energía primaria es convertida en servicios energéticos.

$$5) \text{Intensidad Energética} = \frac{\text{Energía}_t}{\text{PIB}_t}$$

Si las principales actividades que aportan al PIB son intensivas en el uso de la energía se obtendrá una intensidad energética elevada. Por su parte, la eficiencia energética relaciona la producción de un servicio energético o la transformación con su insumo energético.

En cambio, el otro componente clave de la identidad IPAT es la intensidad carbónica, la cual muestra la cantidad de emisiones que se genera por cada una unidad de energía utilizada. Es determinada por la matriz energética del país o región en cuestión, donde se establece la contribución de las distintas fuentes de energía que conforman la oferta energética de un país.

$$6) \text{Intensidad carbónica} = \frac{\text{CO}_2}{\text{Energía}_t}$$

La identidad de Kaya puede representarse en función de las tasas de crecimiento:

$$7) \Delta \text{CO}_{2t} = \Delta \text{POB}_t + \Delta \frac{\text{PIB}_t}{\text{POB}_t} + \Delta \frac{\text{Energía}_t}{\text{PIB}_t} + \Delta \frac{\text{CO}_{2t}}{\text{Energía}_t}$$

La tasa de crecimiento de las emisiones es igual a la suma de la tasa de crecimiento de la población, del PIB per cápita, de la intensidad energética y de la intensidad carbónica. Cuando la identidad Kaya se transforma a tasas de crecimiento deja de ser una identidad y se convierte en una aproximación del crecimiento histórico de las variables para el modelo, lo cual es útil para analizar el comportamiento de estas y evaluar con base a las metas de cambio climático del país.

Para cada sector se calculan las variables necesarias, ya antes mencionadas, y luego se compara el escenario actual o BAU con el escenario histórico y el escenario alternativo, que es aquel que toma en cuenta las metas de cambio climático que ha establecido el país o región en cuestión.

En la presente investigación no se utiliza el término de población para simplificar el modelo y su especificación, ya que se excluye una variable y solo se conservan las intensidades energética y carbónica, lo cual brinda información suficiente. Por ello, se utilizará de la siguiente manera:

$$8) \text{GEI}_t = \text{POB}_t * \frac{\text{PIB}_t}{\text{POB}_t} * \frac{\text{GEI}_t}{\text{PIB}_t}$$

Simplificando la ecuación y eliminando población obtenemos:

$$9) \text{GEI}_t = \text{PIB} * \frac{\text{GEI}_t}{\text{PIB}_t}$$

Donde el término GEI/PIB se refiere a la tecnología. Finalmente obtenemos:

$$10) \Delta \text{GEI}_t = \Delta \text{PIB} + \Delta \frac{\text{GEI}_t}{\text{PIB}_t}$$

III. Modelo IPAT para El Salvador: evaluando las metas climáticas nacionales

A. Estimación del Modelo IPAT para El Salvador

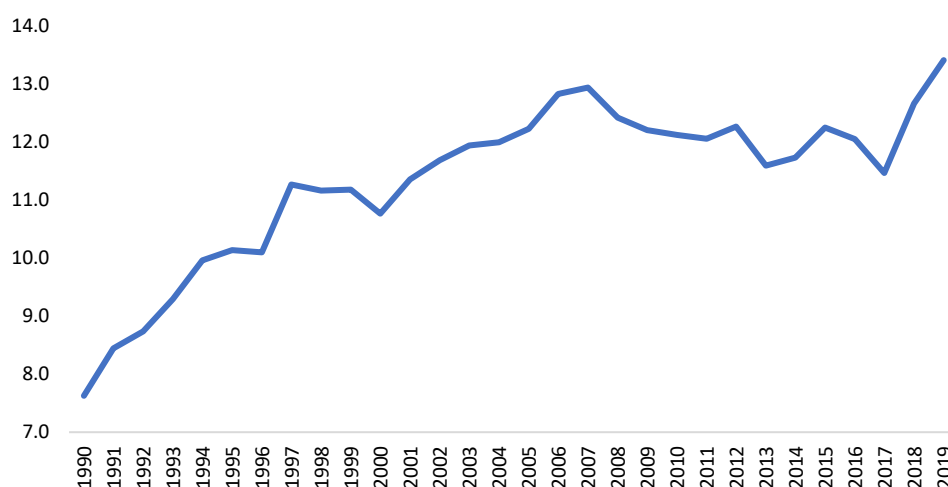
La presente investigación abarca la estimación del modelo IPAT para la economía en su conjunto, así como para los sectores de Energía, Agricultura, Industria y Transporte. Tal como se expuso en el capítulo anterior, los datos principales a utilizar para la estimación del modelo son las emisiones de GEI, el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita (PIB/POB), la intensidad energética y la intensidad carbónica. Por ello, se describe la tendencia histórica de dichas variables para El Salvador desde 1990 a 2019. No se toma en cuenta el 2020 por ser un año completamente atípico debido a la pandemia por COVID-19.

1. Análisis de tendencia de las emisiones de GEI

Antes de estimar el modelo IPAT para El Salvador, es necesario verificar la tendencia histórica que han experimentado las variables claves para el mismo. Por ello, se presentan a continuación la tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero totales y por sector tomadas del Paris Reality check, el Producto Interno Bruto a precios constantes de 2015 en US\$, y el consumo final de energía por sector.

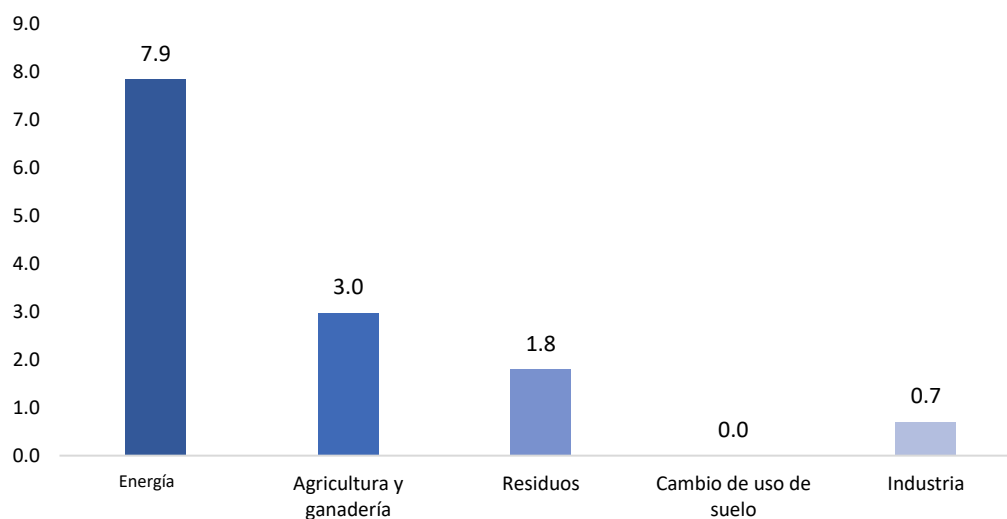
Las emisiones totales en El Salvador han tenido un alza significativa desde los años 90, al pasar de 8.4 millones de toneladas en 1991 a 13.4 millones de toneladas en 2019 (ver Gráfico 31). Si se analiza por sector, se observa que la energía, la agricultura y ganadería son los que mayores emisiones de gases de efecto invernadero generan, con 7.9 y 3.0 millones de toneladas de GEI, respectivamente (ver Gráfico 32).

Gráfico 31. Emisiones totales de El Salvador, 1990-2018 (millones de toneladas de GEI)



Fuente: Gütschow, J.; Günther, A.; Pflüger, M. (2021): The PRIMAP-hist national historical emissions time series.

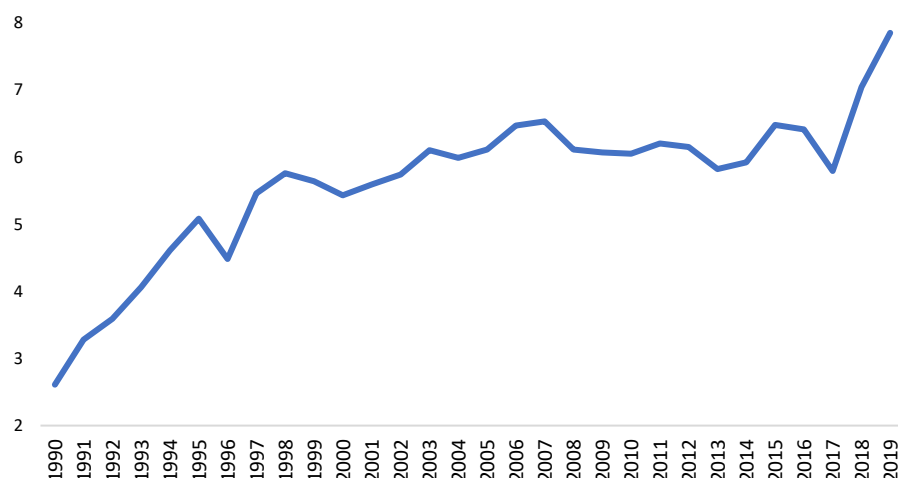
Gráfico 32. Emisiones totales de El Salvador por sector, 2019 (millones de toneladas de GEI)



Fuente: Gütschow, J.; Günther, A.; Pflüger, M. (2021): The PRIMAP-hist national historical emissions time series.

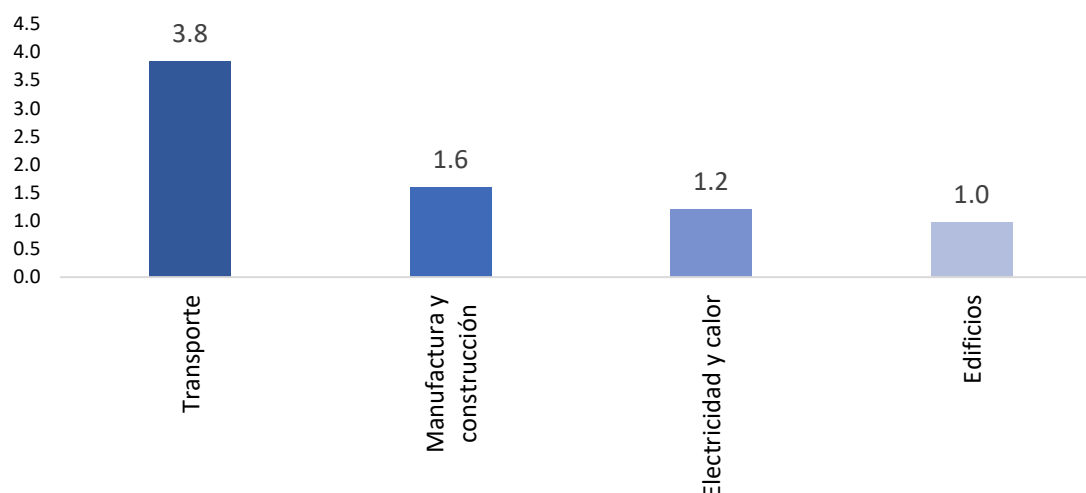
En cuanto al sector de energía, se observa que la tendencia de las emisiones de este sector sigue de manera muy similar la de emisiones de totales, lo cual parece lógico por ser el sector que emite mayor número de toneladas de GEI. Las emisiones de energía pasaron de 3.28 en 1991 a 7.85 en 2019, es decir, un crecimiento de más del doble (ver Gráfico 33). Si se analiza por categoría las emisiones de energía, el transporte es el sector que más demanda de energía posee (ver Gráfico 34), seguido por manufactura y construcción, lo cual coincide con los datos oficiales del Consejo Nacional de Energía en el país; mientras que electricidad y calor tienen valores similares.

Gráfico 33. Emisiones de energía de El Salvador, 1990-2018 (millones de toneladas de GEI)



Fuente: Gütschow, J.; Günther, A.; Pflüger, M. (2021): The PRIMAP-hist national historical emissions time series.

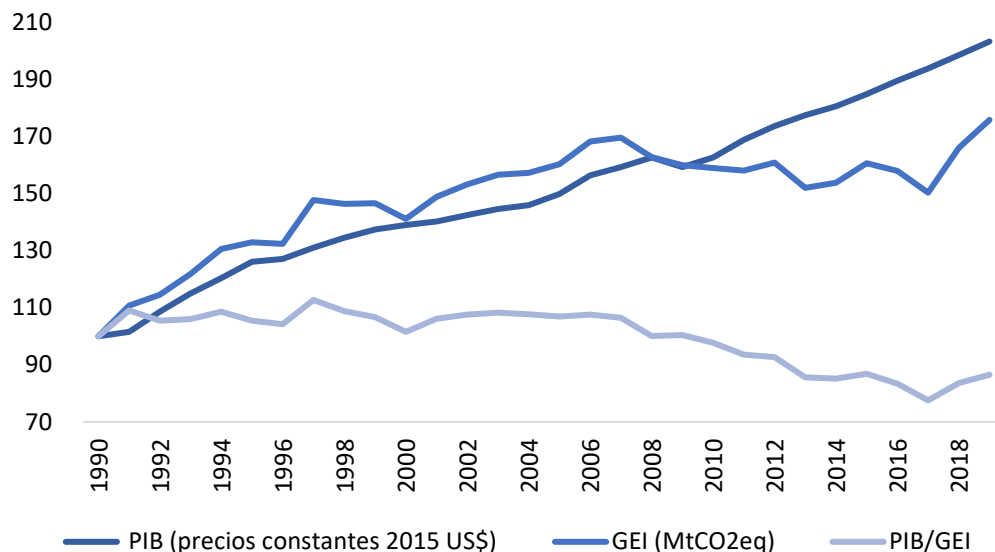
Gráfico 34. Emisiones de energía de El Salvador por categoría, 2019 (millones de ton de GEI)



Fuente: Gütschow, J.; Günther, A.; Pflüger, M. (2021): The PRIMAP-hist national historical emissions time series.

Además, es necesario analizar en conjunto las emisiones de gases de efecto invernadero, el crecimiento económico y la intensidad carbónica de la economía; para ello, se realiza mediante índices, colocando como año base 1990. Como puede observarse en el Gráfico 35, en los últimos años las emisiones han comenzado a aumentar menos que el PIB, es decir, que hay una ligera tendencia al alza bastante marcada del crecimiento de las emisiones totales en el país, mientras que la intensidad carbónica ha venido descendiendo, lo cual indica que El Salvador se ha hecho más eficiente; lo anterior significa que por cada unidad de PIB producida ha emitido menos emisiones, pero desde 2017 se observa que esa tendencia se está revirtiendo, por lo cual serán necesarias políticas que lo contrarresten.

Gráfico 35. Emisiones totales, Producto Interno Bruto e intensidad carbónica (GEI/PIB)
El Salvador, 1990-2019



Fuente: Banco Mundial y Gütschow, J.; Günther, A.; Pflüger, M. (2021)

2. Escenario BAU y escenarios alternativos por sector

El escenario Business as Usual (BAU) es estimado a partir de la tendencia histórica de las variables claves PIB, emisiones de GEI, intensidad carbónica de la economía (GEI/PIB), asumiendo que no se realizará ninguna política pública o acciones de mitigación/adaptación que afecten las emisiones de gases de efecto invernadero, es decir, que en este escenario se asume que las variables continuarán su curso sin ser afectadas por políticas climáticas.

La estimación de los escenarios alternativos está basada en las metas cuantitativas fijadas en la Contribución Nacionalmente Determinada 2021 de El Salvador para cada uno de los sectores de energía, agricultura, industria y transporte. Es importante hacer la aclaración que la base de datos que se utilizó para las estimaciones del Modelo IPAT no corresponde exactamente a los datos oficiales de El Salvador, por lo que se realizaron cálculos de los porcentajes de reducción que se establecen en la NDC para estimarlos en el Modelo IPAT que se presenta a continuación.

a) Modelo general

Para la estimación del modelo general, es decir, para todos los sectores de la economía y sólo tomando en cuenta las emisiones totales y no por sector, se tomó en cuenta el período comprendido entre 1990 y 2019 debido a que se constata que a partir de la década de los años noventa aumentaron significativamente las emisiones en El Salvador.

Escenario Business as Usual (BAU)

Para el escenario Business as Usual (BAU) se estimaron las tasas de crecimiento promedio de 1990 a 2019, de las emisiones, del PIB y de la intensidad carbónica a partir de las series históricas; y luego, se calculó el GEI estimado, como la suma del cambio en el PIB más el cambio en la intensidad carbónica. Los resultados del BAU se muestran en el Cuadro 4. En el escenario BAU se asume que los indicadores van a continuar la tendencia que han venido mostrando de acuerdo

con los datos históricos y que no se ejecutará ninguna política climática que pueda impactar y cambiar la tendencia de dichas variables. Retomando la ecuación (10), se tiene:

$$11) \Delta GEI_t = \Delta PIB + \Delta \frac{GEI_t}{PIB_t}$$

Cuadro 4. Indicadores claves del Escenario BAU para modelo general

Escenario BAU			
Crecimiento 1990-2019			
Emisiones (crecimiento anual)	PIB (crecimiento anual)	Intensidad carbónica de la economía (GEI/PIB)	GEI estimado (crecimiento anual)
1.96%	2.48%	-0.50%	1.98%

Fuente: Elaboración propia con base en datos de PRIMAP.

La tasa de crecimiento promedio para el período 1990 a 2019 del PIB es de 2.48%, mientras que las emisiones han crecido en promedio 1.96%. A través de estas dos variables se estima la intensidad carbónica (GEI/PIB) la cual se ha venido reduciendo en 0.50% anual. La intensidad carbónica del escenario BAU significa que por cada unidad de PIB se generan 0.5% de emisiones de GEI. El GEI estimado es de 1.98% (2.48 + (-0.5)).

Para proyectar las emisiones de GEI (millones de toneladas) para el período 2020 a 2030, se calculó aplicando a las emisiones de 2019 la tasa de crecimiento promedio de emisiones (1.98%), y así sucesivamente, para los siguientes años hasta 2030). Por lo tanto, a 2030 el escenario BAU revela que de continuar al mismo ritmo y sin aplicar ninguna política climática las emisiones de GEI alcanzarían las 16.63 millones de toneladas, partiendo de los 13.41 millones en 2019. Si este resultado se compara con la meta de 0.64 millones de toneladas definida en la NDC para 2030, de inmediato se obtiene una brecha, lo que obliga a plantear medidas adicionales para lograr la trayectoria esperada.

Escenarios alternativos

En los escenarios alternativos se elaboraron estimando primero cuánto deben ser las emisiones de GEI de acuerdo con el escenario que se está proyectando y cómo se tendría que comportar el modelo respecto a las emisiones.

- Escenario de rápido Crecimiento del PIB: 3.0%

El escenario alternativo de rápido crecimiento considera un incremento del Producto Interno Bruto, lo que se quiere evaluar es el crecimiento de las emisiones de GEI si la economía crece rápidamente.

Para el caso de El Salvador se asumió una tasa del 3.0% como de rápido crecimiento considerando que se ubica por arriba de la tasa del PIB potencial. Para ello, se consideró que el PIB potencial del país ronda el 2.2% e históricamente ha tendido a mantenerse en promedio alrededor del 2.5%. La decisión de la tasa del 3.0% se basó en estudios internacionales y regionales que estimaron la relación entre el crecimiento económico y la transición de la matriz energética a energías renovables.

Apergis y Payne (2010) estiman que un aumento del 1% en el consumo de energía renovable se traduce en un incremento de 0.76% en el PIB de los países de la OCDE. El Instituto para la

Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) (2011) estima que la contribución de las energías renovables al crecimiento económico de España en el período 2005-2009 fue de 0.98%. Kang, Zhao y Yang (2016) en su estudio para China, afirman que el crecimiento económico sí está relacionado con el consumo de energía no sustentable a largo plazo, y que este además de aumentar las emisiones de CO₂ también perjudican el crecimiento de la economía. Por último, Barreto y Campo (2016) en un estudio para países de Latinoamérica en el período de 1980 a 2009 y utilizando un modelo de datos panel no estacionario y cointegrado estima que a nivel regional los resultados indican que el incremento del consumo de energía en un 1% genera a largo plazo un incremento del PIB de 0.40%; y para el caso específico de México, un aumento del consumo de energía en 1% provoca un incremento del PIB en 0.55%, a largo plazo.

En El Salvador, en 2022 se ha introducido la generación de energía eléctrica a base de gas natural dentro de la matriz energética, por lo cual se asume ese cambio solamente sin tomar en cuenta ninguna otra política climática. Los resultados del escenario de rápido crecimiento económico con una tasa del PIB de 3.0% indican que la tasa de crecimiento de los gases de efecto invernadero crecerán a 2.5% anual y, por lo tanto, en 2030 se alcanzarán 17.59 millones de toneladas de GEI, manteniendo constante la intensidad carbónica de -0.5% (Ver cuadros de estimaciones en anexo 1). En conclusión, este escenario indica que si se tiene proyectado crecer más entonces la intensidad carbónica debe disminuir en una mayor proporción y hacer otras políticas climáticas para no aumentar más las emisiones de GEI.

- Reducción de emisiones de GEI en 20% respecto a BAU

La Contribución Nacionalmente Determinada de El Salvador 2021 establece que la meta para el sector energía es una reducción de emisiones anuales para 2030, respecto a un escenario tendencial (BAU) desde 2019, de 640 Kton CO₂ Eq por actividades de quema de combustibles fósiles. Tomando en cuenta que la NDC establece que las emisiones de 2019 fueron de 986 Kton CO₂Eq y que de cumplir la meta se alcanzarían las 793 Kton CO₂Eq en 2030, se estima que es un porcentaje de reducción de 19.6%, por lo que para efectos de esta investigación se aproximará a 20.0%. Aunque es una meta específica para el sector de energía se asumirá como un porcentaje de reducción para la economía en general para efectos de esta primera estimación del modelo general.

Respecto al escenario BAU, donde las emisiones alcanzan los 16.63 millones de toneladas de GEI, se estima una reducción de 20% en las emisiones, es decir, que las emisiones objetivo a 2030 tendrían que ser 13.30 millones de toneladas; y además debería mantenerse una tasa de reducción de 0.07% anual de las emisiones. Para estimar la tasa de crecimiento del objetivo se asume la tasa promedio de crecimiento del PIB de 2.5%, por lo tanto, la intensidad carbónica se vuelve más negativa que en el escenario BAU alcanzando una tasa de -2.57%, es decir, que El Salvador debe disminuir la emisión de GEI en 2.57% anual por unidad de PIB que produce (Ver cuadros detallados en anexo 1).

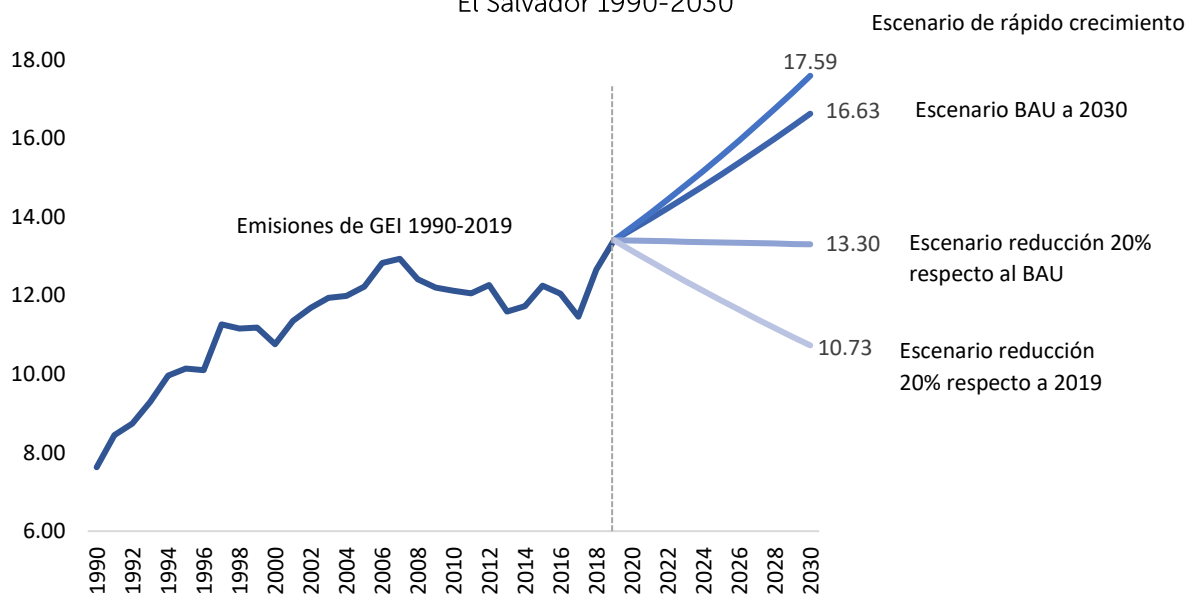
En conclusión, este escenario indica que, si se quiere alcanzar una reducción de 20% con respecto al escenario BAU manteniendo constante el crecimiento (2.5% anual), las emisiones de GEI deben reducirse 0.07% anualmente, lo cual es una meta ambiciosa ya que históricamente las emisiones han estado aumentando a un ritmo de 1.96% anual en El Salvador. Por ello, para poder alcanzar una reducción del 20% como tiene establecido El Salvador en su NDC debe realizar políticas climáticas fuertes como un cambio en la matriz energética hacia energías renovables, electromovilidad, ordenamiento territorial, entre otras.

- Reducción de emisiones de GEI en 20% respecto a 2019

Como se estableció en el escenario anterior, la meta de reducción de 640 Kton CO₂ Eq por actividades de quema de combustibles fósiles es con respecto al año 2019, por ello, también se realiza el escenario de reducción de 20% con respecto a dicho año, de la base de datos que se ha utilizado para esta investigación. De acuerdo con la base de datos de Paris Reality Check, las emisiones de GEI para 2019 alcanzan las 13.41 millones de toneladas de GEI, por lo tanto, si se aplica un porcentaje de reducción de 20% las emisiones objetivo a 2030 serían 10.73 millones de toneladas de GEI.

Los resultados del escenario indican que, si se desea alcanzar una reducción del 20% en las emisiones de GEI al año 2030 manteniendo constante la tasa de crecimiento del PIB (2.5%), las emisiones de GEI deben descender 2.01% anualmente, lo cual representa un reto aun mayor que en el escenario anterior, ya que la tasa de crecimiento promedio de las emisiones ha sido 1.96%, es decir, ha venido creciendo en el tiempo y no disminuyendo. En este escenario la intensidad carbónica se vuelve aún más negativa, alcanzando una tasa de -4.51%, es decir, que por cada unidad de PIB que se produce se deben reducir las emisiones de GEI significativamente, pero la tendencia histórica ha sido reducirlas en 0.5%, por lo tanto, se necesitarían políticas climáticas realmente agresivas para poder alcanzar este escenario.

Gráfico 36. Emisiones de GEI: Escenario BAU y escenarios alternativos del Modelo General para El Salvador 1990-2030



Fuente: Cálculos propios

En conclusión, El Salvador necesitará realizar grandes esfuerzos para poder cumplir con la meta de reducción de 640 Kton CO₂ Eq por actividades de quema de combustibles fósiles respecto al año 2019, que se ha establecido en la Contribución Nacionalmente Determinada 2021. De acuerdo con la tendencia histórica, las emisiones de gases de efecto invernadero han tenido un crecimiento de casi 2% anual, por lo que para alcanzar la meta de reducción de 20% ya sea respecto al escenario BAU o respecto a 2019, serán necesarias medidas agresivas de adaptación y mitigación, cambios estructurales que permitan una transformación de la matriz energética, un ordenamiento territorial sostenible y medidas al sector transporte como la electromovilidad.

b) Sector Energía: Emisiones de GEI

Para la estimación del modelo de energía se tomó en cuenta el período comprendido entre 1990 y 2019 al igual que en el modelo general, pero también se incluyen las variables de eficiencia carbónica y eficiencia energética, para lo cual se utiliza la oferta de energía de El Salvador, que proviene de la base de datos del World Energy Balances.

Escenario Business as Usual (BAU)

Para el escenario Business as Usual (BAU) se estimaron las tasas de crecimiento promedio del período 1990 a 2019, de las emisiones agrícolas, es decir, las emisiones de GEI proveniente de la quema de combustibles fósiles. Además, se utilizan las tasas de crecimiento promedio del PIB, de la intensidad carbónica a partir de las series históricas y luego, utilizando (11) se estimó la tasa de Emisiones de GEI. Para el modelo de energía se introduce una nueva variable que es la intensidad energética, que es una representación de la eficiencia con la que una economía utiliza la energía para producir una unidad de producto económico. En el escenario BAU se asume que los indicadores van a continuar la tendencia que han venido mostrando de acuerdo con los datos históricos y que no se ejecutará ninguna política climática que pueda impactar dichas variables. Para el cálculo de la tasa de emisiones de GEI, la ecuación (10) se modifica así:

$$12) GEI_t = \Delta PIB_t * \Delta \frac{Energía_t}{PIB_t} * \Delta \frac{GEI_t}{Energía_t}$$

Cuadro 5. Indicadores claves del Escenario BAU para modelo Sector de Energía

Crecimiento 1990-2019				
Emisiones (crecimiento anual)	PIB (crecimiento anual)	Intensidad energética (Energía/PIB)	Intensidad carbónica (GEI/Energía)	Emisiones estimadas (crecimiento anual)
3.87	2.48	-0.32	1.69	3.84

Fuente: Elaboración propia con base en datos de PRIMAP.

La tasa de crecimiento económico promedio para el período 1990 a 2019 del PIB fue de 2.48%, mientras que las emisiones de energía han crecido en promedio 3.87%. La intensidad carbónica (GEI/Energía) la cual para el caso del modelo de energía aumentó en 1.69% promedio anual en el mismo período. Por su parte, la intensidad energética que es la oferta de energía entre el PIB se redujo 0.32%, es decir, que El Salvador es más eficiente en el uso de energía y ha ido transitando hacia las renovables.

De acuerdo, a las estimaciones de la intensidad energética e intensidad carbónica en El Salvador se necesitan 7.4 TJ de energía por cada millón que se produce, y además por cada TJ de energía que se produce se emiten 41.02 millones de toneladas de GEI. La tasa de emisión de GEI estimada fue de 3.84% (2.48 + (-0.32) + 1.69). Por lo tanto, a 2030 el escenario BAU revela que de continuar al mismo ritmo y sin aplicar ninguna política climática las emisiones de GEI alcanzarían las 11.88 millones de toneladas de GEI. Este valor es muy parecido al valor que estima El Salvador, al indicar en su NDC que en 2030 en el escenario BAU se emitirían 11.22 millones de toneladas de GEI del sector energía.

Escenarios alternativos

- Escenario de rápido Crecimiento del PIB: 3.0%

El escenario alternativo de rápido crecimiento en el caso del modelo Sector de energía considera un incremento del Producto Interno Bruto del 3.0%, para evaluar cómo aumentarían las emisiones de GEI de energía si la economía crece rápidamente. Para el caso de El Salvador se tomó en cuenta una tasa del 3.0% como de rápido crecimiento y se mantuvieron constantes las tasas de Intensidad energética de -0.32% y de intensidad carbónica de 1.69%.

Los resultados del escenario de rápido crecimiento indican que la tasa de crecimiento de los gases de efecto invernadero relacionados a energía crecerán 4.37% anual y, por lo tanto, en 2030 se alcanzarán 12.56 millones de toneladas de GEI de energía, lo cual representa un aumento de 0.68 millones de toneladas de GEI con respecto al escenario BAU (Ver cuadros de estimaciones en anexo 2). En conclusión, este escenario indica que si proyecta crecer más entonces la intensidad energética debería disminuir en una mayor proporción, es decir, que la economía se vuelva más eficiente y, además, es necesario que la intensidad carbónica también disminuya, lo que significa que por cada unidad de energía que se produce en el país la cantidad de emisiones generadas debe ser menor.

- Escenario de cambio en la matriz energética: sustitución de 20% de petróleo por gas natural respecto al escenario BAU

De acuerdo con la NDC 2021 de El Salvador, el sector energía tienen la meta de sustitución del uso de combustibles derivados del petróleo (bunker, gas licuado de petróleo y diésel) en la industria y el comercio por gas natural en 16%, por lo que para efectos de estimación del escenario se considera 20% de sustitución.

Para este escenario se utilizó la oferta de energía de El Salvador, pero esto solo nos indica cuánta energía se produce con cada fuente, es decir, cuánta energía se produce a través de fuentes renovables y no renovables, por ejemplo, cuánta electricidad se produce a través de fuente geotérmica. Pero no se cuenta con los datos de las emisiones de cada fuente energía, ya que para ello es necesario contar con los factores de emisión, que para el caso de esta investigación provienen de factores calculados para Francia. Estos permiten obtener las emisiones por cada fuente de la matriz energética al multiplicar la oferta total de energía por el factor de emisión específico por cada fuente.

Por ello, al asumir una sustitución del 20% de petróleo por gas natural se obtiene un cambio en la oferta total de energía y un cambio en las emisiones por fuente energética. Como ya se ha establecido anteriormente, la intensidad carbónica se obtiene de dividir las emisiones entre la oferta total de energía, por ello, al asumir una sustitución de 20% de petróleo por gas natural se obtiene una nueva intensidad carbónica que se introduce al modelo IPAT para estimar el escenario de sustitución. La intensidad carbónica obtenida en 2019 es de 42.01 toneladas de GEI por TJ y con la introducción de la sustitución por gas natural se obtiene una intensidad carbónica de 39.99 toneladas de GEI por TJ, es decir, que por cada unidad producida de energía se emiten menos emisiones de GEI (ver cuadro detallado en Anexo 2).

Los resultados del escenario indican que, si se desea alcanzar una sustitución en la matriz energética del 20% del petróleo por el gas natural al año 2030 manteniendo constante la tasa de crecimiento del PIB y la intensidad energética, las emisiones de GEI deben crecer solamente 1.70% anualmente, lo cual representa un reto grande, ya que la tasa de crecimiento promedio de las

emisiones de GEI crecieron en promedio 3.87% anual. Además, se requiere un cambio significativo en la intensidad carbónica, ya que ésta debe decrecer 0.45% anual e históricamente ha venido creciendo 1.69% anual.

Si se realiza el escenario de sustitución de 20% de petróleo por gas natural las emisiones de GEI alcanzarían las 9.45 millones de toneladas de GEI en 2030, en comparación con las 11.88 millones de toneladas de GEI del escenario BAU. En conclusión, este escenario constata la importancia de que El Salvador aproveche esta nueva fuente de energía, el gas licuado, que fue introducido en 2022 y tiene el potencial de disminuir en gran medida las emisiones de GEI del sector energía y ayudar al país a cumplir las metas establecidas en la NDC. Pero es necesario que se tomen acciones para potenciar el uso del gas licuado y transitar hacia energías más renovables.

- Escenario de cambio en la matriz energética: sustitución de 50% de petróleo por energías renovables respecto al escenario BAU

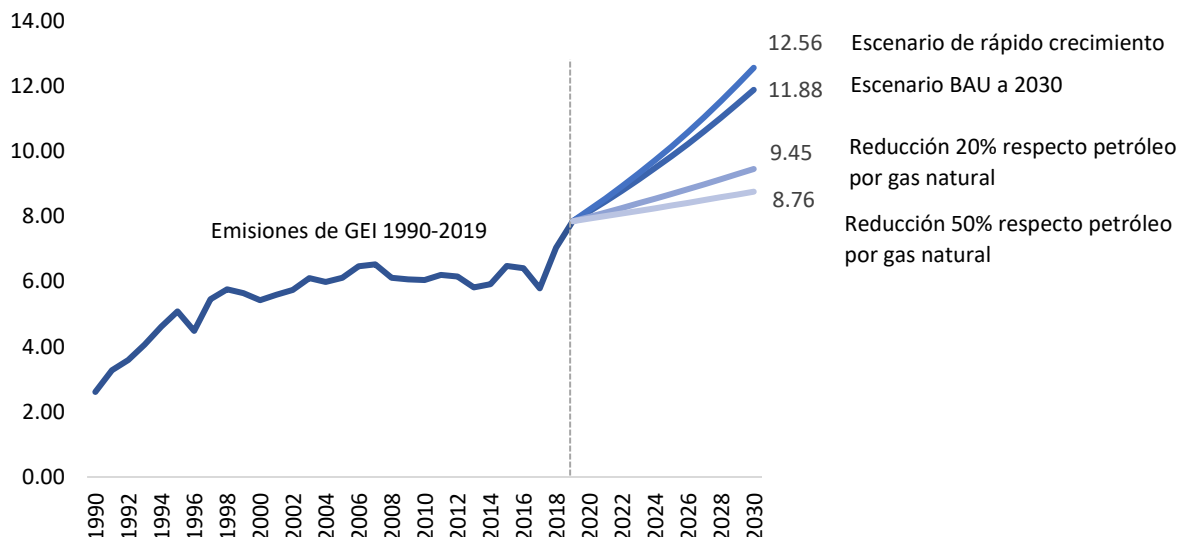
El Salvador ha establecido en su NDC que para el año 2030, la capacidad instalada de energías renovables aumentará 50% con respecto a 2019 (línea base), para alcanzar un valor de 2,222 MW, lo que representa una participación de 64% de energías renovables en la matriz de capacidad instalada del país. En el año de línea base, la capacidad instalada de energías renovables fue 1,482 MW (66% de participación de energía renovable en la matriz energética del país). Además, el país proyecta que para el año 2030, entre 86.1 % y 85.7 % de la energía eléctrica se generará a partir de energías renovables en comparación a un 70.0% en 2019.

Por ello, para la estimación de este escenario se asume que las energías renovables aumentan un 50%, es decir, que se realiza una sustitución de petróleo de 50% por energías renovables.

Los resultados del escenario indican que, si se desea alcanzar una sustitución del 50% del petróleo por energías renovables al año 2030 manteniendo constante la tasa de crecimiento del PIB (2.48%) y la intensidad energética (-0.32%), las emisiones de GEI deben crecer únicamente 1.0% anualmente, lo cual requiere de medidas que afecten estructuralmente la matriz energética y la producción de energía, ya que la tasa de crecimiento promedio de las emisiones en promedio fue de 3.87% anual. Además, se requiere un cambio significativo en la intensidad carbónica, ya que debe decrecer 1.16% anual e históricamente creció 1.69% anual. De cumplirse el escenario de sustitución de petróleo de 50% por energías renovables, a 2030 las emisiones de GEI serían de 8.76 millones de toneladas, es decir, 3.13 millones de toneladas de GEI menos que en el escenario BAU.

En conclusión, este escenario nos indica que El Salvador posee una ruta de largo plazo a 2030 ambiciosa que requerirá medidas de cambio y de acción estructurales, pero para lograrlas es necesario, entre otras medidas, un socio público-privado para generar inversiones fuertes que permitan cambiar la matriz energética para aumentar el peso de los recursos renovables.

Gráfico 37. Escenario BAU y escenarios alternativos Modelo Sector de Energía para El Salvador, 1990-2030



Fuente: Cálculos propios

c) Sector Agricultura

El sector agrícola en El Salvador tiene la particularidad que las emisiones han venido disminuyendo con el tiempo, pasando de 3.22 en 1990 a 2.98 en 2019, esto debido a que el PIB agrícola ha venido descendiendo también. Esta disminución del PIB agrícola puede deberse a la terciarización que la economía salvadoreña ha sufrido con el tiempo, donde el sector primario ha perdido participación.

Escenario Business as Usual (BAU)

Para el escenario Business as Usual (BAU) se estimaron las tasas de crecimiento de las emisiones del sector agricultura, del PIB, y de la intensidad carbónica a partir de las series históricas y luego, utilizando (12) se calculó la tasa de GEI estimada, como la suma del cambio en el PIB más el cambio en la intensidad carbónica para el sector Agricultura. Los resultados del BAU se muestran en el Cuadro 6. En el escenario BAU se asume que los indicadores van a continuar la tendencia que han venido mostrando de acuerdo a los datos históricos y que no se ejecutará ninguna política climática que pueda impactar dichas variables.

$$13) \Delta GEI_t = \Delta PIB_{agricola} + \Delta \frac{GEI_t}{PIB_{agricolat}}$$

Cuadro 6. Indicadores claves del Escenario BAU para modelo de Agricultura

Escenario BAU a 2030			
Emisiones (crecimiento anual)	PIB (crecimiento anual)	Intensidad carbónica (GEI/PIB)	Emisiones estimadas (crecimiento anual)
-0.27	-1.65	1.40	-0.24

Fuente: Elaboración propia con base en datos de PRIMAP.

La tasa de crecimiento promedio del PIB para el período 1990 a 2019 del PIB agrícola es de -1.65%, es decir, que anualmente ha venido descendiendo, a su vez las emisiones han disminuido en promedio 0.24% anual. A través de estas dos variables se estima la intensidad carbónica (GEI/PIB) la cual creció en 1.40% anual, es decir, que por cada unidad de PIB agrícola que se produce, las emisiones de GEI disminuyeron 0.24, por la pérdida de peso en la economía que experimentó dicho sector. Por lo tanto, el escenario BAU revela que de continuar al mismo ritmo y sin aplicar ninguna política climática las emisiones de GEI disminuirían a 2.90 millones de toneladas de GEI desde 2.98 en 2019, es decir, que el descenso de estas sería poco significativo.

Escenarios alternativos

- Reducción de 20% de emisiones agrícolas con respecto al BAU a 2030

El Salvador en su NDC 2021 hace referencia al sector AFOLU, que incluye a la Agricultura, Silvicultura y Uso del Suelo. Para este sector establece de meta al 2030 de reducción de emisiones de 50,857.5 Kton CO₂ Eq, mediante actividades de reducción de emisiones y actividades de aumento de sumideros y reservorios de carbono, en el paisaje agropecuario del país. Por ello, se asumirá un porcentaje de reducción de 20% respecto al BAU.

Respecto al escenario BAU, donde las emisiones alcanzan 2.90 millones de toneladas de GEI, se estima una reducción de 20% en las emisiones, es decir, que las emisiones objetivo a 2030 tendrían que ser 2.32 millones de toneladas de GEI y además debería mantenerse una tasa de reducción anual de 2.25% de las emisiones. Para estimar la tasa de crecimiento del objetivo se asume la tasa promedio de crecimiento del PIB de 2.5%, por lo tanto, la intensidad carbónica se vuelve negativa a una tasa de -0.60%, [-2.25 -(-1.65)], es decir, que debe hacerse más eficiente. Por ello, la tasa de crecimiento de las emisiones agrícolas debe reducirse 2.25% anual, es decir, 2% más de lo que actualmente está disminuyendo (Ver cuadros detallados en anexo 3).

El Salvador debe impulsar los mecanismos gubernamentales y privados de apoyo que le permitan cumplir con las metas de restauración y rehabilitación de tierras degradadas en el paisaje agropecuario, así como la transición hacia una agricultura y ganadería baja en carbono, que incluye sistemas agroforestales, prácticas bajas en emisiones de GEI, agricultura de precisión y restauración de suelos degradados. El sector agrícola necesita apoyo técnico, normativo y financiero que le habilite a producir con mayor eficiencia y transitar hacia prácticas más sostenibles.

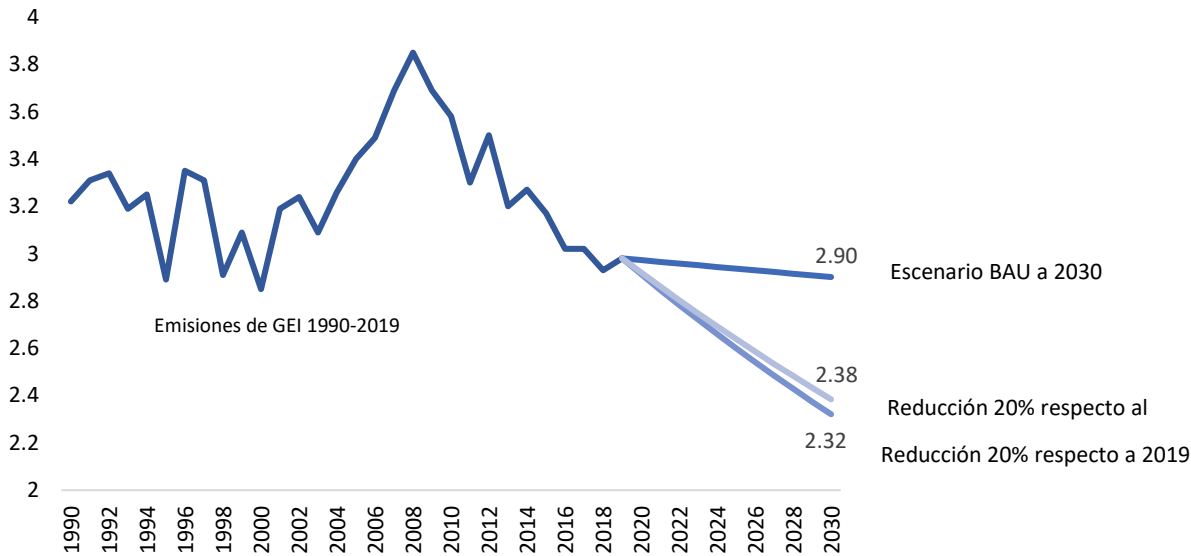
- Reducción de 20% de emisiones agrícolas con respecto a 2019

Para analizar con mayor detalle la reducción necesaria de las emisiones de GEI del sector agrícola se realiza otro escenario, pero no con respecto al BAU al 2030, sino respecto a 2019, tal como lo establece la NDC de El Salvador, para ese año la emisión de GEI del sector agrícola fue de 2.98 millones de toneladas de GEI. Para este escenario se asume una reducción del 20% con respecto al año 2019.

Los resultados del escenario indican que, si se desea alcanzar una reducción del 20% en las emisiones al año 2030 con respecto a 2019, manteniendo constante la tasa de del PIB en -1.65%, las emisiones objetivo sería alcanzar las 2.38 millones de toneladas de GEI. Para ello, las emisiones deben descender 2.01% anualmente, es decir, 1.75% más de lo que han venido reduciéndose históricamente. En este escenario la intensidad carbónica debe volverse negativa, alcanzando una

tasa de -0.36% , es decir, que por cada unidad de PIB que se produce se deben reducir las emisiones, pero la tendencia histórica ha sido de crecimiento, por lo tanto, este escenario vuelve a constatar que el sector agrícola necesita volverse más eficiente, y aún más si el PIB agrícola deja de disminuir y comienza a presentar crecimiento.

Gráfico 38. Escenario BAU y escenarios alternativos del Modelo para Sector Agricultura para El Salvador, 1990-2030



Fuente: Cálculos propios

En conclusión, El Salvador debe realizar acciones urgentes para el sector agrícola, primero en relación con mecanismos que potencien el crecimiento del PIB agrícola, a pesar de ser una economía tercerizada. Segundo, el sector agrícola debe volverse más eficiente en términos de emisión de gases de efecto invernadero y de producción sostenible, para ello, ya se tiene planificado realizar acciones de implementación de prácticas para la transición de la agricultura tradicional a una agricultura sostenible (social, económica y ambientalmente), a partir de la aplicación de tecnologías de conservación de suelo, agua y biodiversidad en cultivos de granos básicos, hortalizas y frutales. Pero debe realizarse un monitoreo constante de estas acciones, brindando asistencia técnica sostenida en prácticas de producción eficientes y menos contaminantes.

Además, se requieren medidas de adaptación por los efectos del cambio climático y las persistentes pérdidas de los cultivos y el valor de la tierra debido a las recurrentes tormentas, depresiones tropicales y huracanes que está experimentando el país con cada vez más frecuencia y severidad. No puede recurrirse solo a medidas de mitigación, sino que se requiere prevenir las pérdidas y los cambios no deseables en los suelos.

d) Sector Industria

Para el ejercicio del sector Industria se utilizó el PIB a precios constantes de 2015 del sector y las emisiones correspondientes al mismo. Se estimó el escenario BAU y luego dos escenarios alternativos, el primero el de rápido crecimiento debido a que es importante analizar que el PIB

de la industria está estrechamente relacionado a las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la producción industrial y el manejo de los desechos y residuos. El segundo escenario es una reducción del 20% con respecto al escenario BAU, para identificar la trayectoria de las emisiones.

Escenario Business as Usual (BAU)

Para el escenario Business as Usual (BAU) se estimaron las tasas de crecimiento de las emisiones del sector industria, del PIB industrial, y de la intensidad carbónica a partir de las series históricas y luego, utilizando (13) se calculó la tasa de emisiones de GEI estimada, como la suma del cambio en el PIB más el cambio en la intensidad carbónica para el sector Industria. Los resultados del BAU se muestran en el Cuadro 7. En el escenario BAU se asume que los indicadores van a continuar la tendencia que han venido mostrando de acuerdo con los datos históricos y que no se ejecutará en la industria ninguna política climática que pueda impactar dichas variables.

$$14) \Delta GEI_t = \Delta PIB_{industrial} + \Delta \frac{GEI_t}{PIB_{industrialt}}$$

Cuadro 7. Indicadores claves del Escenario BAU para modelo del Sector Industria

Escenario BAU a 2030			
Emisiones (crecimiento anual)	PIB (crecimiento anual)	Intensidad carbónica (GEI/PIB)	Emisiones estimadas (crecimiento anual)
2.60	2.32	0.27	2.59

Fuente: Elaboración propia con base en datos de PRIMAP.

La tasa de crecimiento promedio del PIB industrial para el período 1990 a 2019 es de 2.32%, es decir, que anualmente ha venido aumentando con el tiempo, a su vez las emisiones han incrementado en promedio 2.6% anual, lo que significa que las emisiones relacionadas a los procesos industriales han crecido más que la producción. La intensidad carbónica ha venido aumentando en 0.27% anual, es decir, que por cada unidad de PIB industrial que se produce, se generan 0.27 emisiones de GEI, por lo que el sector agrícola se ha vuelto menos eficiente. El GEI estimado es de 2.59% de crecimiento anual. Por lo tanto, el escenario BAU revela que de continuar al mismo ritmo y sin aplicar ninguna política climática las emisiones de GEI aumentarían a 0.94 millones de toneladas desde 0.71 en 2019.

Escenarios alternativos

- Escenario de Rápido Crecimiento del PIB: 3.0%

El escenario alternativo de rápido crecimiento considera un incremento de 3.0% del Producto Interno Bruto Industrial, lo que se quiere evaluar es el crecimiento de las emisiones de GEI si la economía crece rápidamente, debido a que los procesos industriales generan altas emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero que necesitan ser mitigados para alcanzar las metas climáticas que se ha establecido El Salvador para 2030. Para el caso de El Salvador se tomó en cuenta una tasa del 3.0% como de rápido crecimiento, en concordancia con la tasa tomada para el modelo general y considerando que el crecimiento promedio histórico del PIB industrial ha sido de 2.32% y el del PIB potencial del país ronda el 2.2%.

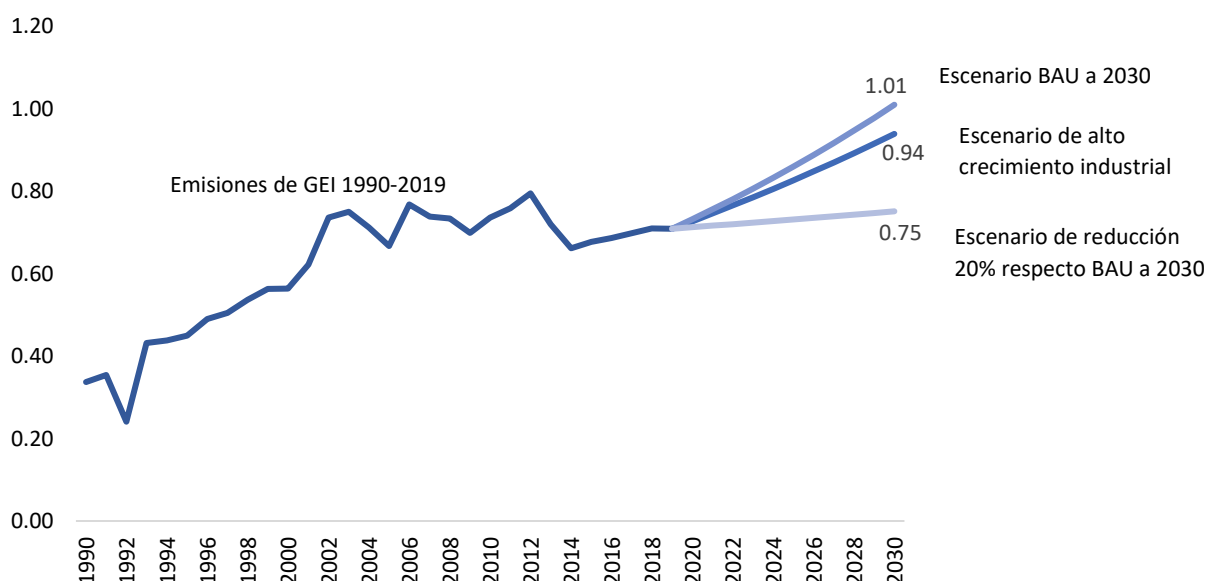
Los resultados del escenario de rápido crecimiento indican que, si el PIB industrial crece a una tasa del 3.0%, la tasa de crecimiento de los gases de efecto invernadero aumentará a 3.27% anual y por lo tanto, en 2030 se alcanzarán 1.01 millones de toneladas de GEI, en comparación con las 0.71 millones de toneladas en 2019. Este escenario se estimó manteniendo constante la intensidad carbónica de 0.27% anual (Ver cuadros de estimaciones en anexo 4). En conclusión, este escenario indica que si se tiene proyectado crecer más entonces la intensidad carbónica debe disminuir - 0.41 para mantener constante la tasa de emisión de GEI (2.59%) y se vuelve indispensable llevar a cabo políticas climáticas que regulen las emisiones de los procesos industriales nacionales.

- Reducción de 20% de emisiones industriales con respecto al BAU

El Salvador en su NDC 2021 no establece una meta cuantitativa definida para el sector industrial, pero hace referencia al mismo en el sector energía, por estar directamente relacionados. Por ello, se asumirá un porcentaje de reducción de 20% respecto al BAU como se hizo en las estimaciones para el sector energía.

Respecto al escenario BAU, donde las emisiones alcanzan 0.94 millones de toneladas de GEI, se estima una reducción de 20% en las emisiones relacionadas a procesos industriales, es decir, que las emisiones objetivo a 2030 tendrían que ser 0.75 millones de toneladas y además debería mantenerse una tasa de reducción anual de 0.53% en las emisiones de GEI. Para estimar la tasa de crecimiento del objetivo se asume la tasa promedio de crecimiento del PIB industrial de 2.32%, por lo tanto, la intensidad carbónica se vuelve negativa a una tasa de -1.79%, es decir, que debe hacerse más eficiente. Por ello, la tasa de crecimiento de las emisiones agrícolas debe reducirse 0.53% anual, es decir, más del doble lo que actualmente está disminuyendo (Ver cuadros detallados en anexo 4).

Gráfico 39. Escenario BAU y escenarios alternativos del Modelo para Sector Industria de El Salvador, 1990-2019



Fuente: Cálculos propios

e) Sector Transporte

El sector transporte es uno de los mayores generadores de emisiones de gases de efecto invernadero en El Salvador, al igual que en la región, por ello, se ha incluido dentro de los sectores de análisis de esta investigación. En el país, el sector transporte tiene la particularidad que toda la energía que utiliza es petróleo.

Escenario Business as Usual (BAU)

Para el escenario Business as Usual (BAU) se estimaron las tasas de crecimiento de las emisiones, del PIB general, de la intensidad carbónica a partir de las series históricas y de la intensidad energética. Pero hay que hacer la aclaración que para el caso de la intensidad energética se calcula como el cociente entre el consumo de energía del transporte y el PIB, mientras que la intensidad carbónica es calculada a partir de las emisiones entre el PIB.

Para la estimación del GEI estimado, se utilizó la ecuación (15) como la suma del cambio en el PIB más el cambio en la intensidad carbónica más la intensidad energética. Los resultados del BAU se muestran en el Cuadro 7. En el escenario BAU se asume que los indicadores van a continuar la tendencia que han venido mostrando de acuerdo con los datos históricos y que no se ejecutará ninguna política climática que pueda impactar dichas variables.

$$15) GEI_t = PIB_t * \frac{Energía_{transporte}}{PIB_t} * \frac{GEI_t}{Energía_{transporte}}$$

Cuadro 8. Indicadores claves del Escenario BAU para modelo del Sector Transporte

Escenario BAU a 2030				
Emisiones	PIB	Intensidad carbónica (GEI/PIB)	Intensidad energética	GEI estimado
3.81	2.48	-0.05	1.34	3.77

Fuente: Elaboración propia con base en datos de PRIMAP.

La tasa de crecimiento promedio del PIB para el período 1990 a 2019 del PIB agrícola es de 2.48%, como en el modelo general, a su vez las emisiones han incrementado en promedio 3.81% anual, lo que significa que las emisiones relacionadas a este sector han crecido más que la producción. La intensidad carbónica ha venido disminuyendo en 0.05% anual, es decir, que el sector transporte se ha vuelto más eficiente y esto puede estar explicado por el hecho que El Salvador ha transitado a un porcentaje mayor de energías renovables. Por su parte, la intensidad energética también ha venido aumentando en 1.34% anual, mientras el GEI estimado tiene un crecimiento de 3.77% anual. Por lo tanto, el escenario BAU revela que de continuar al mismo ritmo y sin aplicar ninguna política climática las emisiones de GEI aumentarían a 5.8 millones de toneladas en 2030 desde 3.8 en 2019, por lo que es importante analizar escenarios alternativos.

Escenario alternativo

- Reducción de 30% de emisiones industriales con respecto al BAU

Debido a que El Salvador tiene planificado dentro de NDC la introducción de la electromovilidad en el parque vehicular con atención primaria al transporte de pasajeros, público y privado y un escenario de descarbonización más ambicioso con 20% de ventas de vehículos eléctricos en 2030, se estimó un escenario alternativo de reducción del 30% respecto al BAU, transitando a

fuentes de energía más renovables en el transporte tanto público como privado. Para ello, se toman en cuenta variables como el consumo de energía del sector transporte, las emisiones de electricidad y el PIB general, no específico para el sector transporte.

Es un modelo simplificado porque en realidad se necesitarían los factores de emisión nacionales para este sector o utilizar otras variables como el parque vehicular o la flota de automóviles con motores eléctricos o híbridos, pero por falta de datos no se realizó esa estimación en la presente investigación, y se deja para investigaciones futuras.

Los resultados del escenario indican que, si se desea alcanzar una reducción del 30% respecto al BAU manteniendo constante la tasa de crecimiento del PIB y la intensidad energética, las emisiones deben crecer solamente 0.68% anual, lo cual representa uno de los mayores retos en materia climática para el país, ya que la tasa de crecimiento promedio de las emisiones ha venido creciendo en promedio 3.84% anual. Además, se requiere un cambio significativo en la intensidad carbónica, ya que debe decrecer 3.16% anual e históricamente ha venido decreciendo solo 0.05% anual.

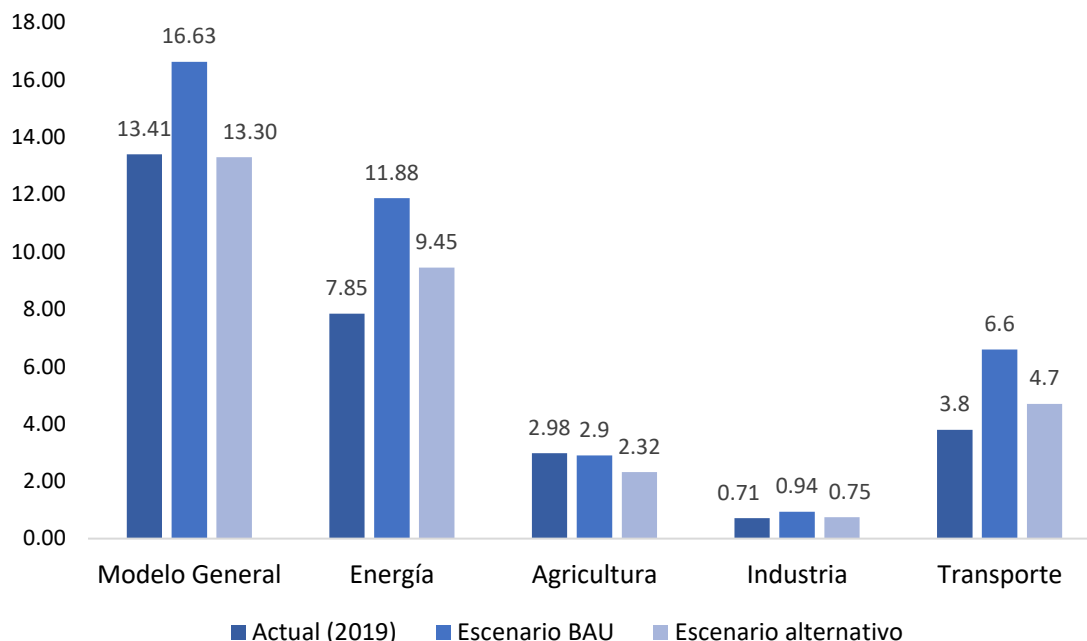
En conclusión, se puede observar que en el corto plazo el escenario BAU se va a mantener ya que no varía tan fácilmente en el tiempo, ya que por ejemplo sustituir la flota de vehículos de combustible fósil por vehículos eléctricos no se realiza en un período corto de tiempo, sino que son medidas de largo plazo. Por ello, es necesario que El Salvador realice una planificación para el sector transporte que permita el ordenamiento, la reducción de emisiones, beneficios concretos para la población, la transición a la electromovilidad y el apoyo del sector privado.

3. Resultados del Modelo IPAT para El Salvador

Los resultados del modelo IPAT para El Salvador se recogen en el Gráfico 40, donde se muestra el valor actual de las emisiones de gases de efecto invernadero, tomando el valor de 2019, ya que es el último año considerado en las estimaciones. Además, se muestra cómo se elevarían las emisiones de GEI en el escenario BAU, es decir, considerando que se mantienen las tasas de crecimiento económico actuales y no desarrolla ningún tipo de políticas climáticas actuales. Por último, se detallan escenarios seleccionados, es decir, los que representan una reducción respecto al BAU para cada sector y puede observarse como se disminuyen las emisiones en comparación del BAU.

Por ello, esto demuestra que es urgente y necesario que El Salvador ejecute con eficiencia las diferentes metas y acciones que se ha establecido en la Contribución Nacionalmente Determinada 2021. Para ello, es mandatorio que las diferentes entidades públicas trabajen de manera conjunta y coordinada, ya que se necesitan diversos esfuerzos por parte de distintos entes, y tomando en cuenta que los recursos públicos son limitados se deben invertir de la mejor manera y en las acciones y sectores de mayor urgencia, como lo son Energía y AFOLU, sin dejar de lado el transporte, para el cual en la NDC no se han establecido metas cuantitativas aun y para el cual es necesario realizar una planificación de una transición a un sector sostenible y eficiente. Además, es necesario que se realicen inversiones significativas por parte del sector privado y que se cuente con la inversión de entidades y organismos internacionales para llevar a cabo los planes para los distintos sectores, para ello, podrá actuar la Mesa de Finanzas Climáticas y las entidades públicas correspondientes.

Gráfico 40. Emisiones de GEI actuales, Escenario BAU y escenario alternativo seleccionado para los diferentes sectores del Modelo IPAT de El Salvador, 1990-2019



Fuente: Elaboración propia con base en datos de PRIMAP.

B. Comparación de los resultados con Centroamérica

Anteriormente, se ha hecho referencia que los países de Centroamérica están en situación de vulnerabilidad y amenaza elevadas debido a sus características geográficas; pero también por sus características sociales y de pobreza. Los fenómenos ambientales colocan presión sobre los recursos estatales y sobre las economías en general.

En este sentido, el cambio climático constituye un factor magnificador de los problemas socioeconómicos y ambientales latentes. De esta manera se afecta la salud, la producción, la infraestructura y la seguridad de las personas y su patrimonio que repercuten sobre el estado de pobreza y aumentando la vulnerabilidad. El cambio climático se convierte en un obstáculo adicional al dinamismo económico y al progreso social.

Los países de la subregión han presentado sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas para enfrentar los impactos observados y mitigar el cambio climático. Esto implica compromisos institucionales y económicos para los países. Cada país se focaliza en los sectores que considera más importantes (Ver Cuadros 9 y 10)

En general, las NDC en la región enfatizan la atención a la adaptación como componente central de la contribución de cada país al cambio climático. En el ámbito de mitigación, los países han adoptado o se han comprometido a adoptar Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) para impulsar proyectos de mayor eficiencia y cambios en la matriz energética con el objetivo de reducir las emisiones de GEI.

En cada país hay ciertos énfasis, en El Salvador, se destacan las acciones condicionadas en transporte o agricultura. Costa Rica apuesta más por la mitigación y se impone límites absolutos para el 2030 y continuar disminuyendo de manera que las emisiones per cápita sean negativas. Por su parte, Panamá refleja en su contribución avanzar en la generación de NAMAs. También hace apuestas por la generación de energías renovables que implican un cambio en su matriz energética y por incrementar su capacidad de absorción de carbono.

Honduras plantea una meta condicionada la reducción del 15% de GEI a 2030 y hace una apuesta por la reforestación y disminuir el consumo de leña. En el caso de Guatemala, la NDC se compromete a una meta incondicional de reducción de GEI. Los sectores que pretende apoyar son bosques, agricultura y transporte. Por otro lado, República Dominicana apuesta por los sectores: energía; procesos industriales y uso de productos; agricultura; residuos; cambio de uso de suelo, silvicultura y forestal. En la agenda de adaptación plantea la atención a los procesos de adaptación basada en ecosistemas/resiliencia ecosistémica, disminución de vulnerabilidad territorial y manejo integrado del agua; salud; seguridad alimentaria; infraestructura; inundaciones y sequías; costero-marino; y gestión de riesgos y sistemas de alerta temprana.

Nicaragua se orienta principalmente, a los sectores de energía y agricultura, uso de la tierra y cambios de usos de la tierra, por medio de medidas para el incremento de fuentes productoras de energías renovables, así como medidas para la conservación y recuperación forestal. En el sector uso de la tierra y cambio de uso de suelo contempla la producción agroecológica, así como la reducción de las prácticas ganaderas extensivas e incorporación de bosques en tierras ociosas que permitan conservar las capacidades nacionales de los sumideros de carbono.

Cuadro 9. Centroamérica: Resumen de Sectores Prioritarios en adaptación de cada país

País	Energía	Agropecuario	Cambio uso de suelo silvicultura	Biodiversidad	Forestal	Industria	Hídrico	Zonas costeras	Salud	Turismo	Transporte	Residuos	Otros
Costa Rica													
El Salvador													
Guatemala													
Honduras													
Nicaragua													
Panamá													
Rep. Dominicana													

Fuente: CEPAL (2015)

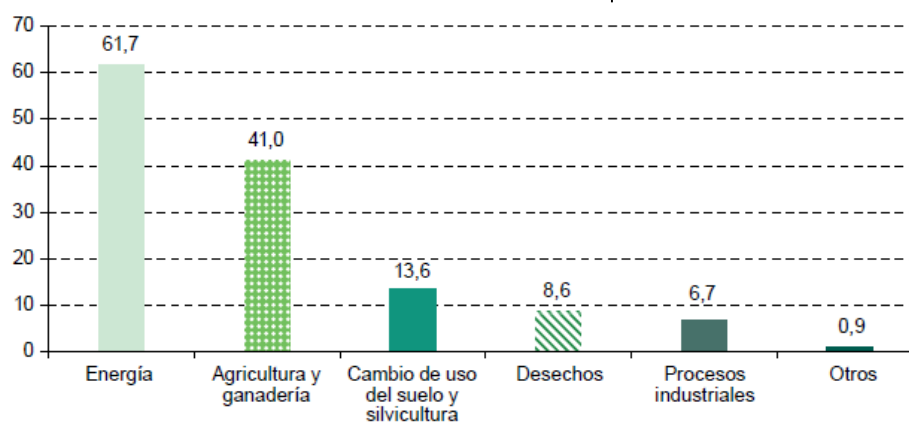
Cuadro 10. Centroamérica: Resumen de Sectores Prioritarios en mitigación de cada país

País	Energía	Agropecuario	Cambio uso de suelo silvicultura	Biodiversidad	Forestal	Industria	Transporte	Residuos
Costa Rica								
El Salvador								
Guatemala								
Honduras								
Nicaragua								
Panamá								
Rep. Dominicana								

Fuente: CEPAL (2015)

De acuerdo a CEPAL (2020), en la región Centroamericana al desagregar por sectores las emisiones de gases de efecto invernadero se obtiene que los dos sectores que más emiten gases son la energía y la agricultura (ver Gráfico 41) , lo cual coincide con los resultados que se han presentado para El Salvador, para el cual también son esos dos sectores son los mayores contaminantes, y por ello, es a los que se les han establecido metas cuantitativas para 2030 en la Contribución Nacionalmente Determinada 2021.

Gráfico 41. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector de Centroamérica, 1990-2016
En miles de toneladas de CO2 equivalente



Fuente: CEPAL (2020)

Además, CEPAL (2020) presenta el crecimiento anual promedio de las emisiones por sector en el período de 1990 a 2016, el cual se utiliza para comparar con los resultados obtenidos del modelo IPAT para El Salvador, que, aunque no constituyen exactamente el mismo período tienen bastante coincidencia y es para los países con características similares a El Salvador y utilizando la misma metodología.

Al analizar las emisiones totales, las cuales fueron utilizadas en el modelo general para El Salvador, se observa que el promedio de crecimiento promedio de las mismas en El Salvador de 1.96% es mucho mayor que el promedio para Centroamérica que es de 0.2%, por lo que hay efectos en el país que están ocasionando que estas estén creciendo más rápidamente que el promedio sus países vecinos.

Al desagregar por sectores, El Salvador posee tasas de crecimiento promedio menores que Centroamérica en los sectores de energía, agricultura e industria. En cuanto a energía, el promedio de Centroamérica es de 4.8% anual, mientras que en El Salvador las emisiones relacionadas a este sector han crecido 3.87%; en el caso de la Industria, el promedio de crecimiento de las emisiones relacionadas a procesos industriales ha crecido 4.7% en el periodo mencionado, pero en El Salvador ha crecido 2.60%. Por último, en el sector de agricultura, las emisiones han crecido en promedio 1.0%, pero El Salvador ha presentado una tasa negativa, es decir, que se han venido reduciendo 0.27% anual. Por ello, puede afirmarse que El Salvador posee ventaja en estos sectores con las tasas de emisión menores, pero siempre es necesario que lleve a cabo acciones concretas para seguir las reduciendo.

CEPAL (2020) realiza estimaciones a través del modelo IPAT para Centroamérica, donde estima 3 escenarios a 2030: (1) escenario inercial, donde consideran el crecimiento histórico de la intensidad carbónica y una proyección del PIB del 4% anual; (2) escenario sin descarbonización y una tasa de crecimiento anual del 4%; y (3) escenario de contribuciones determinadas a nivel nacional, donde las emisiones se reducen 20% con respecto al escenario inercial (ver Cuadro 11).

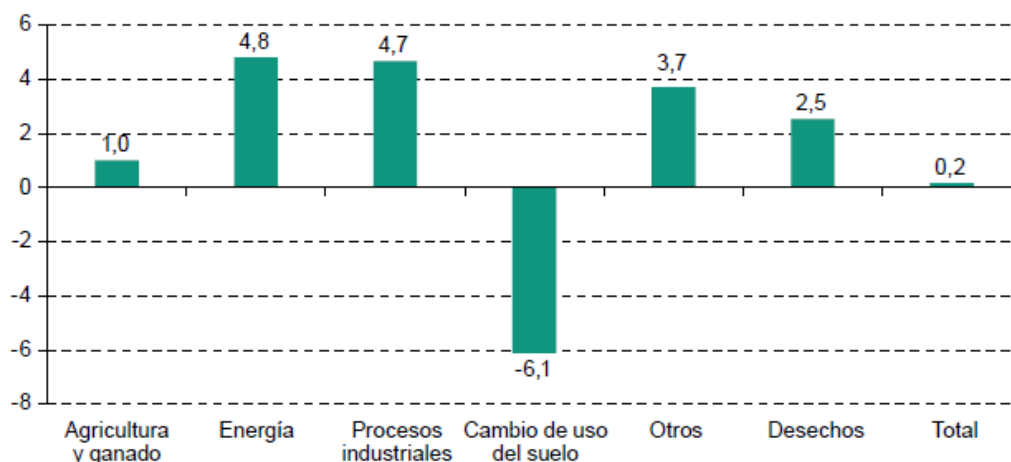
Aunque CEPAL utiliza el período de análisis 1990-2016, se considera adecuado realizar una comparación de los resultados de CEPAL para Centroamérica con los resultados obtenidos en la presente investigación para El Salvador para el período 1990-2019.

Para efectos de realizar la comparación se tomarán en cuenta solo dos escenarios, el (1) y el (3), ya que son ejercicios similares a los estimados en el modelo IPAT para El Salvador. Debido a que el escenario (1) considera el crecimiento histórico de la intensidad carbónica y una tasa del PIB de 4.0% es factible compararlo con el escenario de rápido crecimiento del Modelo General estimado en esta investigación. En el escenario (1), CEPAL establece que la tasa de crecimiento anual promedio del PIB para Centroamérica es de 4.1%, mientras que en las estimaciones de esta investigación se considera una tasa de rápido crecimiento del 3%; además, CEPAL considera una tasa de crecimiento promedio de la intensidad carbónica de -3.8%, mientras que en El Salvador se estimó en -0.5%. Por lo tanto, CEPAL obtiene como resultado que de cumplirse el escenario (1), las emisiones crecerán a una tasa promedio anual de 0.34%, mientras que en esta investigación se estimó que en el escenario de rápido crecimiento las emisiones en El Salvador crecerán 2.5% anual, muy por encima de la tasa para Centroamérica.

Por otra parte, el escenario (3) de CEPAL, que considera una reducción del 20% con respecto al escenario inercial, es decir, el BAU, se puede comparar con el escenario estimado en esta investigación que tiene la misma premisa. CEPAL considera una tasa de crecimiento anual promedio del PIB para Centroamérica es de 4.1% y una tasa de crecimiento promedio de la intensidad carbónica de -5.3% debido a la puesta en marcha de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de los países de Centroamérica; mientras que en el caso de las estimaciones para El Salvador esta investigación considera una tasa de crecimiento anual promedio del PIB de 2.5%, ya que se toma el histórico, y una tasa de crecimiento promedio de la intensidad carbónica de -2.6%. Para el escenario (3), CEPAL obtiene como resultado que la tasa de crecimiento de las emisiones debería reducirse 1.2% anualmente, mientras que en las estimaciones realizadas en la presente investigación se obtiene que las emisiones en El Salvador deberían reducirse 2.01% cada año.

Por ello, se concluye que si El Salvador desea aumentar su crecimiento económico entonces deberá también reducir las emisiones a través de la disminución de la intensidad carbónica, lo cual implica que deberá ser más eficiente y transitar en especial a energías renovables que impacten sectores como el transporte y los procesos industriales. Además, puede observarse que aun tomando en cuenta las metas de la NDC y asumiendo que se establecen acciones concretas de mitigación y adaptación, las emisiones deben decrecer en una proporción bastante grande en comparación al crecimiento que han estado teniendo en las últimas décadas, lo cual implica que el país necesita dedicar esfuerzos institucionales, fiscales, de monitoreo y de operación bastante significativos.

Gráfico 42. Crecimiento promedio anual promedio de las emisiones por sector, 1990-2016
En porcentajes



Fuente: CEPAL (2020)

Cuadro 11. Estimaciones de comportamiento de las emisiones a 2030, bajo tres escenarios diferentes para Centroamérica

Escenarios	Supuestos relativos al crecimiento anual promedio, 2016-2030		Resultados relativos a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), 2030			
	ΔPIB_t	$\Delta \left(\frac{GEI}{PIB} \right)_t$	ΔGEI_t	GEI (en megatoneladas de CO ₂ equivalente)	GEI per cápita (en toneladas de CO ₂ equivalente por habitante)	Diferencia con respecto al escenario E1 (en porcentajes)
Escenario E1	4,1	-3,8	0,34	139	2,4	-
Escenario E2	4,1	0	4,1	233	4,0	67
Escenario E3	4,1	-5,3	-1,2	111	1,9	-20

Fuente: CEPAL (2020)

IV. Conclusiones

La evidencia científica muestra que el calentamiento global, asociado al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades antropogénicas, está ocasionando cambios climáticos apreciables. Estos cambios son generalizados, rápidos y cada vez son más intensos, lo que están provocando el aumento de la temperatura mundial.

Centroamérica es una región altamente vulnerable, a pesar de que las pérdidas y daños no guardan proporción con los niveles de generación de gases efecto invernadero; particularmente, El Salvador contribuye un 0.04 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, pero es uno de los países más fuertemente afectados por el cambio climático.

Algunas de las señales del cambio climático en El Salvador son el aumento de la variabilidad del clima y el cambio de los patrones de lluvia con lo que se presentan más fenómenos tanto del

Atlántico como del Pacífico (siendo las de este océano más concentrada y destructoras) y eventos de exceso o falta de lluvias de mayor duración.

Las emisiones totales en El Salvador han tenido un alza significativa desde los años 90, al pasar de 8.4 millones de toneladas en 1991 a 13.4 millones de toneladas en 2019. A nivel sectorial son energía, la agricultura y ganadería, donde se concentran las mayores emisiones de gases de efecto invernadero.

En cuanto al sector de energía, se observa que la tendencia de las emisiones de este sector sigue de manera muy similar a la de emisiones de totales. Las emisiones de energía pasaron de 3.28 en 1991 a 7.85 en 2019, medido en millones de toneladas de GEI.

La Contribución Nacionalmente Determinada de El Salvador 2021 establece que la meta para el sector energía es una reducción de emisiones anuales para 2030, respecto a un escenario tendencial (BAU) desde 2019, de 640 Kton CO₂ Eq por actividades de quema de combustibles fósiles. **De acuerdo con con las simulaciones desarrolladas**, El Salvador necesitará realizar grandes esfuerzos para poder cumplir con la meta de reducción de 640 Kton CO₂ Eq por actividades de quema de combustibles fósiles respecto al año 2019, que se ha establecido en la Contribución Nacionalmente Determinada 2021. En este sentido se requerirán medidas de mitigación, cambios estructurales que permitan una transformación de la matriz energética hacia fuentes renovables, un ordenamiento territorial sostenible y medidas al sector transporte como la electromovilidad, esto se plantea solo con el fin de poner un abanico de opciones posibles.

Al plantear escenarios alternativos como el que sea posible crecer económicamente a tasas mayores que las históricas, al que se ha denominado de rápido crecimiento, entonces la intensidad carbónica debería de disminuir en una mayor proporción y/o acompañar con otra serie de medidas para que no se produzca un aumento de las emisiones de GEI. Este escenario de crecimiento rápido incrementa las presiones sobre el país para el caso general; pero algo similar sucede con el sector energía donde se requeriría que la economía fuera más eficiente o compensar mediante una disminución de la intensidad carbónica. Un análisis semejante ocurre en el caso del sector industria.

Los escenarios de reducción con respecto al BAU o un año en específico revelan que aun tomando en cuenta las metas de la NDC y asumiendo que se establecen acciones concretas de mitigación y adaptación, las emisiones deben decrecer en una proporción bastante grande en comparación al crecimiento que han estado teniendo en las últimas décadas, lo cual implica que el país necesita dedicar esfuerzos institucionales, fiscales, de monitoreo y de operación bastante significativos, que implican mayor eficiencia y/o tomar medidas adicionales para enfrentar estos nuevos desafíos.

Bibliografía

Andres y Domenech (2020). Cambio Climático y Crecimiento Económico, Universidad de Valencia, Revista de Geoeconomía "Transición energética: cambio climático y desarrollo económico".

Bárcena et al. (2010). La economía del cambio climático en Centroamérica, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Publicación de las Naciones Unidas.

Bárcena et al. (2018). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: una visión Gráfico, Naciones Unidas, Santiago.

Bárcena et al. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe, ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Publicación de las Naciones Unidas, Santiago.

Benavides y León (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Subdirección de Meteorología.

Boyd e Ibararán (2016). El costo del cambio climático en México: análisis de equilibrio general de la vulnerabilidad intersectorial, Gaceta de Economía, tomo I.

CAF (2015). Infraestructura en el desarrollo de América Latina, Corporativa Andina de Fomento, Bogotá.

CEPAL (2012). La economía del cambio climático en Centroamérica: Síntesis 2012, Naciones Unidas.

CEPAL (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe, estudios del cambio climático en América Latina, Euroclima, Santiago de Chile.

CEPAL (2022). El IPAT para la proyección de emisiones, Unidad de Cambio Climático, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Climate Research Unit (2022). University of East Anglia [En línea] Available at: <https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit> [Último acceso: 04 julio 2022].

Consejo Nacional de Energía (2020). Política Energética El Salvador 2020-2050: Construyendo un futuro energético sostenible, Gobierno de El Salvador.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (1992). Naciones Unidas, GE.05-62301. División de Cambio Climático y Banco Interamericano de Desarrollo (2019) Riesgo Climático y Sistema Financiero de América Latina, Regulación, Supervisión y Prácticas de la Industria en la región y más allá.

Germanwatch (2021). Global Climate Risk Index 2021, Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-Related Loss Events in 2019 and 2000-2019, Briefing paper, Berlin.

González y Nuñez (2020). Cambio climático y sistemas financiero: una necesaria mirada al futuro, Banco de España.

Iberdrola (2021). Obtenido de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/consecuencias-efecto-invernadero>

IPCC. (2013). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2014). Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad, Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos, Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra.

IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and relate global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.

IPCC (2020). El cambio climático y la tierra, Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres, Resumen para responsables de políticas.

IPCC. (2021). Summary for Policymakers in: Climate change 2021 the Physical Science Basis. Cambridge University Press.

IPCC. (2022). Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change, Working group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers.

MARN (2018). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF).

MARN (2020). Curso Introductorio de Cambio Climático, Diciembre 2020, Diapostiva 5-6, San Salvador.

MARN (2021). Contribuciones Nacionalmente Determinadas de El Salvador, Gobierno de El Salvador, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

ONU. (1992). United Nations Framework convention on climate change. Rio de Janeiro.

ONU (2021). COP26: Juntos por el planeta [En línea] Available at <https://www.un.org/es/climatechange/cop26> [Último acceso: 21 febrero 2022].

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2021). El estado del clima en América Latina y el Caribe 2020, Ginebra.

PDNA (2020). Evaluación de las necesidades de recuperación causadas por las tormentas tropicales Amanda y Cristóbal en el contexto de la respuesta al COVID-19. Gobierno de El Salvador, San Salvador.

SIGET (2021). Mercado eléctrico de El Salvador 2020, Gobierno de El Salvador.

Viscidi y Vereen (2022). Climate Threats in the Northern Triangle, How the United States Can Support Community Resilience, The Dialogue, Inter-American Dialogue.

Anexos

Anexo 1. Escenarios alternativos del Modelo General

a) Escenario alternativo de Rápido Crecimiento

Escenario Alternativo de Rápido Crecimiento			
Crecimiento 1990-2019			
Emisiones	PIB	Intensidad carbónica de la economía (GEI/PIB)	GEI estimado
1.96	3.00	-0.50	2.50

b) Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto al BAU a 2030

Emisiones BAU 2030	20% de reducción de emisiones	Emisiones objetivo a 2030	Tasa de crecimiento del objetivo
16.63	20%	13.30	-0.07

Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto al BAU a 2030			
Emisiones BAU 2030	PIB	Intensidad carbónica de la economía (GEI/PIB)	GEI estimado
16.63	2.50	-2.57	-0.07

c) Escenario alternativo de Reducción de emisiones en 20% respecto a 2019

Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto a 2019			
Emisiones de 2019	% reducción de emisiones	Emisiones objetivo a 2030	GEI estimado
13.41	20%	10.73	-2.01

Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto a 2019			
Emisiones	PIB	Intensidad carbónica de la economía (GEI/PIB)	GEI estimado
13.41	2.50	-4.51	-2.01

Anexo 2. Escenarios alternativos del Modelo de Energía

a) Escenario alternativo de Rápido Crecimiento

Escenario alternativo de Rápido Crecimiento				
Emisiones	PIB	Intensidad energética (Energía/PIB)	Intensidad carbónica (GEI/Energía)	Emisiones estimadas
3.87	3.00	-0.32	1.69	4.37

b) Escenario de sustitución de 20% de petróleo por gas natural

c)

Escenario de transición a gas natural				
Emisiones	PIB	Intensidad energética (Energía/PIB)	Intensidad carbónica (GEI/Energía)	Emisiones estimadas
3.87	2.48	-0.32	-0.45	1.70

d) Escenario de sustitución de 50% de petróleo por energías renovables respecto a escenario BAU

Escenario de 50% transición a energías renovables				
Emisiones	PIB	Intensidad energética (Energía/PIB)	Intensidad carbónica (GEI/Energía)	Emisiones estimadas
3.87	2.48	-0.32	-1.16	1.00

Anexo 3. Escenarios alternativos del Modelo de Agricultura

a) Escenario alternativo de Rápido Crecimiento

Escenario Rápido Crecimiento			
Emisiones	PIB	Intensidad carbónica (GEI/Energía)	Emisiones estimadas
-0.27	1.00	1.40	2.40

b) Escenario de Reducción 20% con respecto al BAU a 2030

Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto al BAU a 2030			
Emisiones BAU 2030	% de reducción de emisiones	Emisiones objetivo a 2030	Tasa de crecimiento del objetivo
2.90	20%	2.32	-2.25

Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto al BAU a 2030			
Emisiones	PIB	Intensidad carbónica de la economía (GEI/PIB)	GEI estimado
2.90	-1.65	-0.60	-2.25

c) Escenario de Reducción 20% con respecto a 2019

Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto a 2019			
Emisiones 2019	% de reducción de emisiones	Emisiones objetivo a 2030	Tasa de crecimiento del objetivo
2.98	20%	2.38	-2.01

Anexo 4. Escenarios alternativos del Modelo de Industria

a) Escenario Rápido Crecimiento

Escenario Rápido Crecimiento			
Emisiones	PIB	Intensidad carbónica (GEI/Energía)	Emisiones estimadas
2.60	3.00	0.27	3.27

b) Escenario de Reducción 20% con respecto al BAU a 2030

Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto al BAU a 2030			
Emisiones BAU 2030	% de reducción de emisiones	Emisiones objetivo a 2030	Tasa de crecimiento del objetivo
0.94	20%	0.75	0.53

Escenario alternativo de Reducción 20% con respecto a 2019			
Emisiones	PIB	Intensidad carbónica de la economía (GEI/PIB)	GEI estimado
0.94	2.32	-1.79	0.53

Anexo 5. Escenarios alternativos del Modelo de Transporte

a) Escenario de Reducción 20% con respecto al BAU a 2030

Escenario alternativo de Reducción 30% con respecto al BAU a 2030			
Emisiones BAU 2030	% de reducción de emisiones	Emisiones objetivo a 2030	Tasa de crecimiento del objetivo
3.84	30%	2.69	-3.19

Escenario reducción 30% respecto al BAU				
Emisiones	PIB	Intensidad carbónica GEI/PIB	Intensidad energética	GEI estimado
3.84	2.48	-3.16	1.34	0.66