

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Sede Ecuador
Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio
Convocatoria 2019-2021

Tesis para obtener el título de maestría de Investigación en Economía del Desarrollo

Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en Ecuador:
visión desde el Acuerdo de París y el desarrollo

Pablo Fernando Cuenca Lozano

Asesora: María Cristina Vallejo Galárraga

Lectores/as: María de los Ángeles Barrionuevo y Pablo Cabrera Barona

Quito, diciembre de 2022

Tabla de contenidos

Resumen	6
Introducción	7
Capítulo 1. Marco Teórico	10
1.1 El medio ambiente y la economía	10
1.1.1 Flujo circular de la renta	13
1.1.2 Economía como sistema abierto	15
1.1.3 La entropía y sus relaciones con la economía.....	19
1.1.4. Sistemas económicos y externalidades	23
1.2 Crecimiento y Desarrollo	28
1.3 Conclusiones parciales	37
Capítulo 2. Panorama nacional y emisiones de GEI	39
2.1 Ecuador frente a las emisiones de GEI.....	39
2.2 Mitigación de GEI en Ecuador.....	40
2.2.1 Instrumentos internacionales.....	40
2.2.2 Instrumentos nacionales de mitigación	45
2.2.3 Otras iniciativas.....	49
2.3 Mitigación de GEI y la NDC.....	54
Capítulo 3. Marco Metodológico.....	61
3.1 Antecedentes Metodológico.....	61
3.2 Descripción y preparación de datos	64
3.2.1 Correspondencia de sectores energéticos y económicos.....	64
3.2.2 Preparación del balance energético	66
3.2.3 Preparación de la matriz insumo producto nacional	66
3.3 Construcción de la matriz de entrada y salida de energía	69
3.3.1 Demanda final de energía.....	71
3.3.2 Condiciones de balance	72
3.4 Cálculo de las emisiones de GEI.....	73
3.5 Multiplicadores de Leontief y su extensión para el análisis ambiental.....	75
3.6 Construcción del vector de intervención pública de reducción de GEI	76
Capítulo 4. Resultados y Discusión	78
Conclusiones	110
Referencias	113

Lista de ilustraciones

Figuras

Figura 1.1. Flujo circular de la renta	14
Figura 1.2. Flujo circular de la renta ampliado	14
Figura 1.3. Economía como sistema abierto	15
Figura 2.1. Serie histórica de emisiones de CO ₂ (kt), Ecuador.....	53
Figura 2.2. Emisiones totales netas de Gg de CO ₂ eq, Ecuador 2010-2012	55
Figura 2.3. Emisiones de GEI en Ecuador incluyendo USCUS, serie 1994 – 2012.....	56
Figura 3.1. Representación gráfica del flujo metodológico	77
Figura 4.1 Oferta y demanda interindustrial de energía, 2020.....	78
Figura 4.2 Composición de la demanda final energética, 2020	80
Figura 4.3 Consumo de energía por sector económico y fuente energética, 2020.....	82
Figura 4.4 Emisiones de CO ₂ por actividad económica y fuente de energía, 2020	83
Figura 4.5. Emisiones de CO por actividad económica y fuente de energía, 2020.....	85
Figura 4.6. Emisiones de NO _x por actividad económica y fuente de energía, 2020	86
Figura 4.7. Emisión hidrocarburos, actividad económica y fuente de energía, 2020	87
Figura 4.8. Emisiones de SO ₂ por actividad económica y fuente de energía, 2020.....	88
Figura 4.9. Emisión partículas por actividad económica y fuente de energía, 2020.....	89
Figura 4.10. Emisiones de GEI por sector económico, 2020.....	91
Figura 4.11. Emisiones de CO ₂ de centrales térmicas 2014-2020	93
Figura 4.12. Impacto de la generación eléctrica sobre el empleo en miles de dólares	95
Figura 4.13. Impacto de la generación eléctrica sobre la producción en miles de dólares	95
Figura 4.14. Impacto de reducir quema en antorcha sobre emisiones en Ggr de CO ₂ eq.....	97
Figura 4.15. Impacto de reducir quema en antorcha sobre empleo en miles de dólares.....	98
Figura 4.16. Impacto de reducir quema en antorcha sobre producción en miles de dólares....	98
Figura 4.17. Impacto del PCE sobre la emisión de GEI en Ggr de CO ₂ eq.....	99
Figura 4.18. Impacto del PCE sobre empleo en miles de dólares.....	100
Figura 4.19 Impacto del PCE sobre producción en miles de dólares.....	100
Figura 4.20. Impacto del Transporte eléctrico sobre empleo en miles de dólares	101
Figura 4.21. Impacto del Transporte eléctrico sobre producción en miles de dólares.....	102
Figura 4.22. Impacto de la Captura de metano sobre empleo en miles de dólares	103
Figura 4.23. Impacto de la Captura de metano sobre producción en miles de dólares	103
Figura 4.24. Impacto de la eficiencia energética sobre empleo en miles de dólares	105

Figura 4.25. Impacto de la eficiencia energética sobre producción en miles de dólares	106
Figura 4.26 Impacto de la generación energética sobre empleo en miles de dólares	107
Figura 4.27 Impacto de la generación energética sobre producción en miles de dólares	107

Tablas

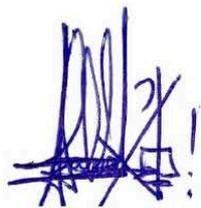
Tabla 2.1. Serie histórica de emisión de GEI, Ecuador 2009-2019	57
Tabla 2.2. Potencial de reducción en el sector energía planteados en la NDC 2020-2025.....	58
Tabla 3.1. Correspondencia de categorías energéticas y estructura económica nacional	65
Tabla 3.2. Desagregación por industrias	68
Tabla 3.3. Estructura de la Matriz para centros de transformación.....	70
Tabla 4.1. Consumo total de energía por industrias nacionales ZP + FP , 2020.....	81
Tabla 4.2. Emisiones por contaminante y fuente emisora en Ggr de CO ₂ eq, 2020.	89
Tabla 4.3. Iniciativas de generación eléctrica no convencional.....	93

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesis

Yo, Pablo Fernando Cuenca Lozano, autor de la tesis titulada “Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en Ecuador: visión desde el Acuerdo de París y el desarrollo” declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de maestría de Investigación en Economía del Desarrollo concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, diciembre de 2022



Pablo Fernando Cuenca Lozano

Resumen

La contaminación por Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha aumentado en las últimas décadas provocando externalidades climáticas graves. Ante ello, y considerando la limitada capacidad asimilativa del planeta, algunas sociedades han adecuado sus actividades hacia la reducción de emisiones. En algunos casos, estos cambios han surgido de iniciativas globales como el Acuerdo de París. Sin embargo, las reducciones implican costos económicos, sociales y ambientales que podrían limitar el crecimiento futuro, los niveles de inversión y el bienestar de las sociedades. Por ello, es necesario entender cuáles serían los efectos de su aplicación en economías como la ecuatoriana, que aún no ha logrado cubrir las necesidades axiológicas y la realización de sus habitantes. Esta investigación busca analizar, mediante matrices de insumo producto, los efectos de aplicar medidas de reducción de emisiones de GEI sobre la estructura económica y energética del Ecuador durante el periodo 2020-2025. Para esto se emplea la metodología de energía incorporada, junto a la de precios implícitos, para la obtención de una matriz insumo producto expresada en unidades físicas, para luego, a partir de la utilización de multiplicadores de Leontief, cuantificar variaciones en unidades monetarias, energía y emisiones de GEI. Se identificó que las actividades con mayor consumo energético en el Ecuador son: refinación de productos de petróleo; transporte y almacenamiento; generación, captación y distribución de energía eléctrica; consumo residencial y actividades de construcción, dado por el consumo de petróleo, diésel, gasolina y gases de hidrocarburo. En el caso de emisiones de GEI por consumo energético, las actividades que mayor contaminación generan son: transporte y almacenamiento por el consumo de diésel y gasolina; refinación de productos de petróleo por consumo de petróleo; generación, captación y distribución de energía eléctrica por el consumo de fuel oíl y diésel en las termoeléctricas; consumo residencial por el consumo de GLP; y la construcción por el consumo de gasolina. En cuanto a medidas de mitigación, la investigación concluye que el Ecuador, dado que las iniciativas no son de reducción forzada, tienen efectos positivos sobre las variables analizadas. Sin embargo, la política por problemas de gobernanza, gestión, administración, financiamiento y falta de capacidades no se ha ejecutado.

Introducción

La contaminación por emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) aumentó considerablemente en las últimas décadas, generando externalidades climáticas graves cuyos efectos son ampliamente conocidos. Dado que este fenómeno es global, es importante considerar que el impacto del incremento de una tonelada de GEI afecta independiente del sitio en el mundo en que se emite (Stern 2006, 425). Por lo que, algunas sociedades han adecuado sus actividades considerando la limitada capacidad del planeta para asimilar los contaminantes y residuos de forma sostenida en el tiempo.

En algunos casos, estas actuaciones nacieron de iniciativas globales como el Protocolo de Kioto o el Acuerdo de París, por citar las más recientes. Sin embargo, también es cierto que la decisión de acatar las restricciones de emisión de GEI implica costos económicos, sociales y ambientales altos que podrían limitar significativamente el crecimiento futuro, la inversión y el bienestar de las sociedades (Ruiz-Nápoles 2011, 175).

La República Popular China con 9 839 MtCO₂ (27,2%) es la principal responsable de la mayor emisión de GEI, seguido encontramos a Estados Unidos con 5 269 MtCO₂ (14,6%). Sin embargo, si miramos las emisiones de Ecuador, estas son marginales respecto a los dos principales contaminantes con 42 MtCO₂ (0,1%) (GCP 2019). A pesar de esto, y a diferencia de Estados Unidos, Ecuador suscribió en julio de 2016 el Acuerdo de París en armonía a los principios jurídicos y de los Derechos de la Naturaleza consagrados en su Constitución y se sumó a 175 países más. Actualmente Ecuador cuenta con la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), que recoge los compromisos de reducción de emisiones para el Acuerdo de París hasta el 2025, equivalentes a 20,9% para *energía, procesos industriales, residuos y agricultura* (Gobierno de la República del Ecuador 2019, 17).

Esta situación ha motivado a entender cuáles serían los efectos de la aplicación de políticas de reducción de emisiones en economías como la ecuatoriana, que aún no han logrado cubrir las necesidades axiológicas, las capacidades y realización de sus habitantes. Así mismo, se precisa evaluar si las actuaciones planificadas por Ecuador para el cumplimiento del Acuerdo de París son las adecuadas para generar menor impacto y mayor eficiencia en mitigación.

Para resolver aquello nos hemos planteado la siguiente pregunta de investigación ¿qué efectos conlleva la aplicación de las medidas de reducción de emisiones de GEI propuestas en la

Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional en la estructura económica, social y ambiental en el Ecuador?

Para lograr responder esta interrogante nos hemos planteado como objetivo general: analizar, mediante matrices de insumo producto, los efectos de aplicar medidas de reducción de emisiones de GEI sobre la estructura económica y energética del Ecuador durante el periodo 2020-2025.

Los objetivos específicos que permiten dar respuesta al objetivo general planteado son:

- Diagnosticar las actuaciones históricas del Ecuador en materia de mitigación de GEI que permita identificar su impacto sobre la reducción de sus emisiones.
- Construir, a partir de balances energéticos, una matriz de consumo energético interindustrial adaptada a la estructura de industrias nacionales para el año 2020, que permita el cálculo de emisiones contaminantes sectoriales.
- Construir, a partir de la matriz de consumo energético y las cuentas nacionales, una matriz de emisiones de GEI para el Ecuador para el año 2020.
- Evaluar, a partir de vectores de inyección de intervenciones públicas, los efectos de la aplicación de la política de mitigación de GEI sobre variables como empleo, producción y emisiones de GEI.

La variable principal del estudio corresponde a la política de mitigación de cambio climático y su aplicación permitirá el cálculo de los efectos sobre variables económicas, energía y emisiones.

Con los resultados de esta investigación se busca contribuir a la formulación y ajuste de políticas públicas que permitan una reducción eficiente y sostenida de emisiones sin afectar de manera significativa el Buen Vivir consagrado en nuestra Constitución. Además, constituye en un ejercicio académico que no se ha desarrollado previamente en el país.

La investigación se ha distribuido en 5 capítulos cuyo contenido se explica a continuación. En el capítulo primero se desarrolla una lectura teórica de las emisiones de GEI consideradas como externalidades globales, su abordaje se realiza contraponiendo 2 enfoques, por un lado, el enfoque neoclásico que concibe al sistema económico como cerrado y lo explica únicamente desde su dimensión monetaria, y, por otro lado, al enfoque de la economía ecológica, que prioriza la dimensión física de los intercambios, permitiendo evidenciar la dependencia del sistema económico del sistema natural finito. Esta lectura teórica se complementa con una discusión sobre crecimiento, desarrollo y decrecimiento sostenible, que

permite entender el camino óptimo para abordar la crisis energética, de materiales y climática. En el capítulo dos se desarrolla una doble caracterización sobre emisiones de GEI en el Ecuador, por un lado, se evalúan las políticas y actuaciones tanto internacional, nacionales, aisladas y locales que el estado ha implementado históricamente; y por otro, se realiza una revisión cuantitativa de la emisión de gases contaminantes en el Ecuador previo al inicio del estudio. Con estos dos elementos se realiza una comparación para determinar si ha existido o no un efecto de todas estas políticas y actuaciones en la disminución de emisiones. Contiene además el análisis de la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional con el fin de identificar el alcance. El capítulo 3 explica la metodología de Energía Incorporada de Alcántara y Roca (1995) y la metodología de precios implícitos que permiten al final calcular la matriz de emisiones de GEI a nivel sectorial. El capítulo 4 presenta los resultados obtenidos y se desarrolla en tres categorías primero para el sistema energético, segundo para emisiones de GEI y finalmente para políticas de mitigación de GEI. El último capítulo recoge las conclusiones finales.

Capítulo 1. Marco Teórico

El objetivo de este capítulo es realizar una lectura teórica de las emisiones de gases de efecto invernadero como una externalidad de carácter global, que en política pública pueden abordarse desde distintos enfoques. Se contrastan dos visiones, el enfoque neoclásico que ha sido planteado desde la economía ambiental y, por otro lado, los planteamientos de la economía ecológica. Para ello, se revisa en la primera sección las interacciones entre la economía y el medio ambiente. Desde la concepción neoclásica, la economía ambiental se basa en un sistema circular cerrado que explica solamente la dimensión monetaria de los intercambios económicos entre las distintas instancias que participan en el sistema. Desde la economía ecológica interesa más la dimensión física de los intercambios económicos porque es en esta dimensión en la que se reflejan las interacciones o incluso la dependencia de la economía respecto de la naturaleza. Bajo este enfoque se entiende a la economía como un sistema abierto a la entrada y salida de flujos ambientales, en específico de materia y energía que permiten la operación del sistema económico dentro de los límites que impone el sistema natural, los cuales pueden entenderse desde las leyes de la termodinámica. Una vez que se plantean estas dos perspectivas teóricas, la segunda parte del capítulo se centra en una lectura de las emisiones de gases de efecto invernadero desde los instrumentos de política que existen para abordarlas. Las diferencias entre crecimiento, desarrollo y decrecimiento son la base para entender la vinculación entre los instrumentos de política y la aplicación de un enfoque de economía ambiental o de economía ecológica para abordar la crisis climática. Se realiza además un análisis sobre la justicia ambiental y climática para dar una interpretación a las cuestiones del cambio climático.

1.1 El medio ambiente y la economía

Con el transcurso de los años, la cosmovisión del funcionamiento de los sistemas económicos se ha limitado al análisis generalizado de las interrelaciones entre productores y consumidores, de manera particular, en sus intercambios mercantiles.

La abstracción se remonta a los escritos François Quesnay, quien en su obra *Tabla Económica* (1758) registró esta idealización. Él acuñó el término *flujo circular de la renta* luego de hacer una comparación del sistema económico con el sistema sanguíneo humano, aunque algunos autores indican que pudo haberse basado en la descripción verbal de Cantillon de la circulación intersectorial (Schumpeter 1986, 214, Brewer 2005, 14).

Quesnay intentó explicar el surgimiento de los excedentes a partir del análisis de la economía nacional en Francia y su circulación entre las diferentes clases de la sociedad (terratenientes, agricultores, jornaleros, artesanos y comerciantes). Su estudio sustenta la idea de que la tierra es la única fuente de riqueza, por tanto, solo la agricultura genera excedentes a partir de su coste (producto neto). Argumenta que, si la actividad económica se expande o contrae, sería una consecuencia misma del producto neto. Mientras que, por otro lado, sectores como la manufactura o el comercio, se consideran actividades estériles o improductivas, dado que no generan un excedente sobre su coste (París 2007, 5-6).

A partir de esta idea consideró a la producción y el consumo como variables interdependientes, y esquematizó sus interacciones en la *Tabla Económica* (1758) (Meek 1975). Por tanto, los fisiócratas, escuela a la que perteneció Quesnay, consideraban que la principal fuente de riqueza se encontraba en el capital natural.

Años después, en los siglos XVIII y XIX ya de la mano de la escuela clásica, el análisis del origen de la riqueza toma un sentido diferente. Es así que, Smith (1776) en su obra *La riqueza de las naciones*, Ricardo (1817) y Marx (1858) en la teoría de *valor del trabajo* señalan que el origen de la riqueza está principalmente en el trabajo.

En esta escuela, el protagonismo de los sistemas naturales continúa vigente. Esto se aprecia, por ejemplo, en las obras de Malthus (1796) sobre *crecimiento exponencial de la población*, Ricardo (1789) con sus *Retornos decrecientes*, Marx (1844) con su *ruptura metabólica*, o Mill (1848) con su *economía de estado estacionario*. Ellos plantean límites al crecimiento basados en el capital natural.

Como menciona Agoglia (2010), entre años 30 y 50 se da un proceso acelerado de transformaciones con un fuerte impacto de las acciones humanas sobre la naturaleza, resultado de la expansión de las sociedades de consumo. Esta situación impulsó el desarrollo de ideas entorno al uso de los recursos naturales y como resultado, un proceso de ruptura ambiental y social. Sentadas estas bases, en la década de los 60, comenzaron a desarrollarse los primeros movimientos basados en la conciencia social sobre la problemática medioambiental. Se crearon diferentes movimientos sociales para impulsar iniciativas de preservación del medio ambiente, las cuales pusieron como eje central las capacidades finitas de los recursos naturales y las consecuencias de su sobreexplotación.

Acompañado de estos movimientos sociales, en el ámbito económico se desarrolló durante los años sesenta la conocida Teoría de la Dependencia, la cual proponía una respuesta crítica al

modelo de desarrollo tradicional. Para la década de los 70, a pesar de los movimientos existentes que defendían las cuestiones medioambientales, se generalizan por parte de algunas sociedades las denuncias al modelo socioeconómico imperante y las acciones humanas. Estas denuncias se basaban en los continuos daños ocasionados sobre el ambiente y sobre las implicaciones de estos para el futuro de la especie humana. Las ideas anteriores sirvieron para que la problemática ambiental fuese vista mediante su relación con el ámbito socioeconómico, cultural y político y no sólo desde el punto de vista ecológico.

Sin embargo, a finales del siglo XX, con el fin de objetar los límites al crecimiento, la cosmovisión de los sistemas económicos cambia radicalmente. De tal forma que la naturaleza, junto con su capital natural, es desplazada del análisis. Esto ocurre de la mano de la denominada escuela neoclásica. Autores como Solow (1974), o Pearce y Atkinson (1993) plantean que el output económico se puede mantener indefinidamente a partir de la sustitución del capital natural por capital financiero y/o tecnológico y suponen que “la degradación ambiental es consistente con la sostenibilidad siempre que se sigan ciertas reglas” (Pearce y Atkinson 1993, 4).

Sobre lo anterior Solow (1974) manifiesta: “Si es muy fácil sustituir los recursos naturales por otros factores, entonces, en principio, no hay ‘problema’. El mundo puede, en efecto, arreglárselas sin recursos naturales” (Solow 1974, 11).

La idea anterior se sustenta dado que el modelo de Solow toma como referencia una función de producción tipo Cobb-Douglas que considera los recursos naturales como factores productivos. Propone la creación de mecanismos de mercado que favorezcan la extracción de los recursos naturales no renovables de manera que el agotamiento del recurso aumente el precio de explotación. Lo anterior conlleva entonces a la búsqueda de fuentes alternativas para explotar, dados los altos costos, y la aparición de tecnologías. Por tanto “el argumento de Solow descansa, fundamentalmente, en la existencia de una tecnología que permita sustituir el recurso no renovable y el mercado se encargará del resto. Finalmente, el problema se reduce al valor de la elasticidad de sustitución de los recursos renovables por los no renovables” (Rodríguez Tapia y Ruiz Sandoval Valverde 2001, 118).

Al respecto de las externalidades negativas ambientales generadas en los procesos productivos, estas pueden ser abordadas a partir de dos modelos de gestión diferentes. Por un lado, se puede solucionar mediante los impuestos pigouviano que buscan corregir las distorsiones existentes en los sistemas de precios de los mercados que no consideran la

presencia de las externalidades. El impuesto busca compensar los daños ocasionados al medio ambiente en los procesos productivos y mediante el cual se establece que la empresa contaminante debe responsabilizarse de los daños. Bajo esta idea, las empresas buscan contaminar hasta el nivel que resulte más barato contaminar y pagar el impuesto. Las ideas de Pigou sentaron las bases para los actuales impuestos ambientales y para dar cumplimiento al principio de quien contamina paga. Por otro lado, y basándose en las ideas de Pigou, Coase planteó otra solución para abordar el tema de las externalidades negativas. Planteó que, si los costos de las negociaciones llevados a cabo entre los agentes económicos son pequeños, las externalidades pueden solucionarse mediante el establecimiento de derechos de propiedad. Estos derechos han de establecer una distribución de los recursos de manera eficiente, mejorando el bienestar de los agentes involucrados y dando cumplimiento al principio de quien contamina paga.

Para estos autores, el valor del stock de capital (capital natural más capital creado por el hombre) no deberá decrecer en el tiempo. Por tanto, el capital natural disminuye siempre que se produce un incremento similar de capitales creados por el ser humano. Inclusive si el capital natural es más escaso y costoso, el capital financiero y/o tecnológico compensarían las pérdidas encontrando un sustituto.

Para lograr lo anterior se hace necesario realizar una valoración del stock de capital natural teniendo en cuenta la valoración monetaria de dicho stock. Este procedimiento es complejo y soslaya, entre otros, los servicios ambientales que generaran los propios recursos utilizados, o los que son alterados para por su explotación.

Para la corriente neoclásica, la relación entre crecimiento económico y capital natural es compatible. Este análisis mecanicista y reduccionista, induce a mirar el funcionamiento de los sistemas económicos únicamente desde las interrelaciones entre productores y consumidores, enfocándose en los intercambios mercantiles entre estos. Estas ideas se han consolidado en el conocido diagrama de flujo circular de la renta.

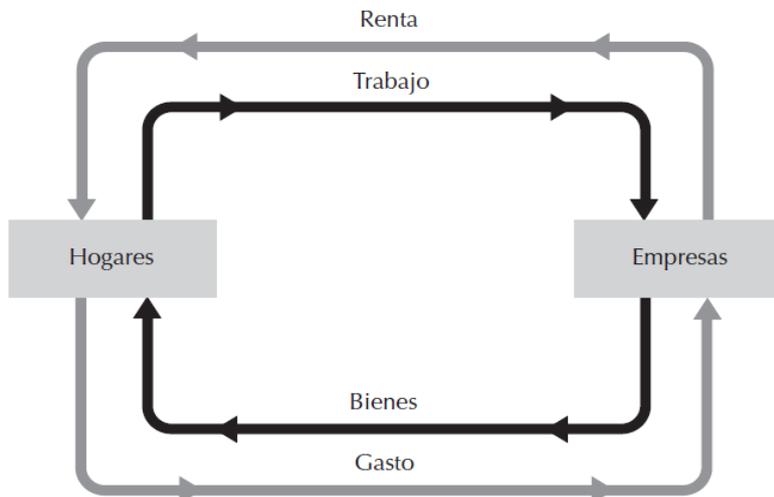
1.1.1. Flujo circular de la renta

El modelo básico neoclásico está basado en las interrelaciones y flujos entre dos actores de una economía (Figura 1.1.). Por un lado, encontramos a las instituciones representadas por empresas, y por el otro, a las unidades domésticas representadas por familias.

Para evaluar el sistema se analizan dos flujos. El primero, un flujo real comprendido por el intercambio de factores de producción (trabajo) y el intercambio de bienes o servicios. El

segundo flujo corresponde al monetario, que involucra transacciones entre los agentes económicos (Gregory Mankiw 2014, 67).

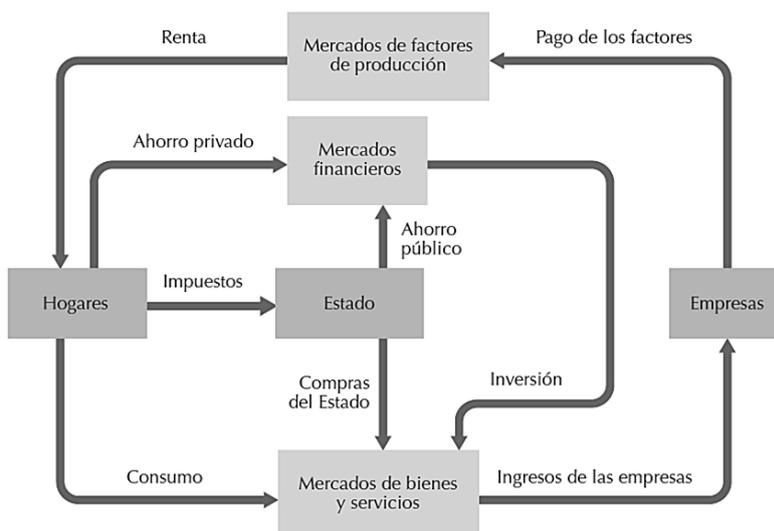
Figura 1.1. Flujo circular de la renta



Adaptado por el autor a partir de Gregory Mankiw (2014, 67).

Este modelo se ha ampliado mediante la introducción de otros actores como el sector público y otros mercados. La Figura 1.2. muestra la relación entre hogares, empresas y Estado; también incluye los flujos monetarios a través de los diferentes mercados (factores de producción, financieros y de bienes y servicios) (Gregory Mankiw 2014, 104).

Figura 1.2. Flujo circular de la renta ampliado



Fuente: Gregory Mankiw (2014, 104).

En el modelo ampliado, los hogares reciben una renta que utilizan para la compra de bienes y servicios, al pago de tributos al gobierno y al ahorro privado en los mercados financieros. Las

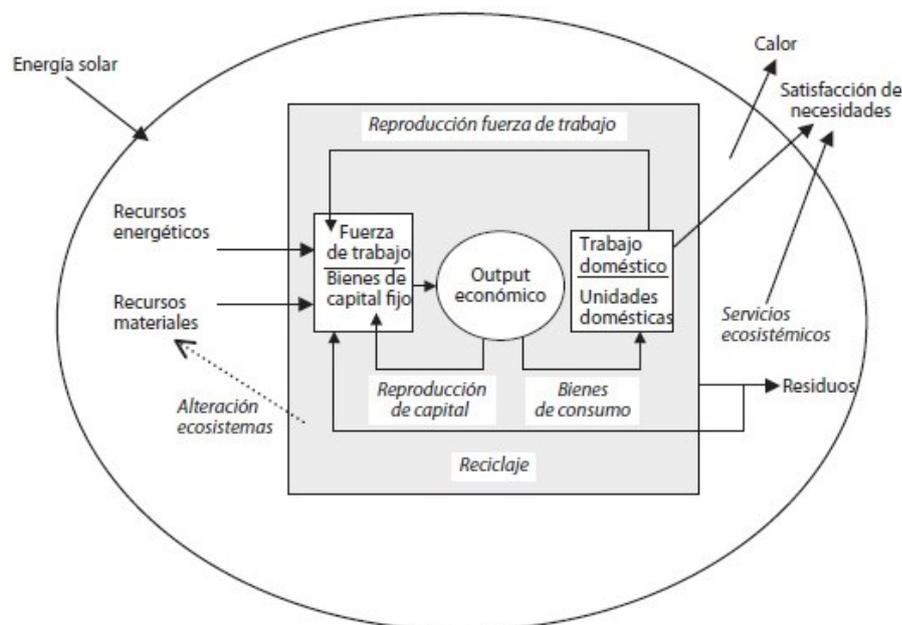
empresas obtienen ingresos por concepto de venta de bienes y servicios que destinan al pago de factores de producción. El Estado recibe tributos que utiliza para financiar sus gastos o para generar ahorro público a partir de los excedentes. El rol de los mercados financieros es actuar como prestamista tanto para empresas como para hogares. (Gregory Mankiw 2014). Este modelo presenta variaciones de diferentes tipos entre las que podemos encontrar análisis para economías abiertas o la introducción de aranceles.

A pesar de su evolución y variaciones, el modelo generaliza el análisis de las relaciones entre agentes e intercambios mercantiles. A esto se suma su carácter crematístico y su visión de idealizar los sistemas económicos como cerrados y autosuficientes, con la respectiva sustitución de los capitales naturales. Esto implica que todo aquello que ocurra fuera de este sistema no le afectará, por tanto, desconoce al sistema natural en el que se desarrolla (Martínez Alier y Roca Jusmet 2015, 10).

1.1.2. Economía como sistema abierto

En contraste a los postulados del enfoque neoclásico se desarrolla la economía ecológica. Ésta no considera a la economía como un sistema cerrado, sino más bien, la aborda como un subsistema del sistema natural.

Figura 1.3. Economía como sistema abierto



Fuente: Tomado de Martínez-Alier, J. y Jordy, R. (2015, 14).

El sistema natural es abierto a entradas de energía solar y cerrado a la entrada de materiales. Este capta energía de manera primaria a partir de los rayos solares que son fijados en la

biosfera mediante procesos físicos y químicos, para luego ser convertidos en biomasa por los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Por ejemplo, uno de estos procesos es el denominado *Ciclo de Calvin* o también conocido como *ciclo de carbono*, que recicla el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y lo transforma en biomasa a partir del proceso fotosintético. Esta biomasa ingresa al subsistema económico para la producción de bienes de consumo, evidenciando que este subsistema es abierto (Figura 1.3.) (Martínez Alier y Roca Jusmet 2015, 11).

1.1.2.1. Flujo de energía

Dentro del sistema se produce la liberación de dos tipos de energía. La primera de ellas se denomina energía endosomática que sirve para desarrollar los procesos metabólicos. Un ejemplo de ella, es la energía liberada al consumir alimentos y luego empleada en forma de trabajo manual en el sistema productivo. Esta se encuentra limitada por condiciones genéticas o ambientales que afectan al individuo.

Por otro lado, tenemos la energía exosomática, una de sus principales fuentes es el resultado de la descomposición natural de la biomasa a lo largo de millones de años que da como resultado la formación de combustibles fósiles. Actualmente, estos son quemados y proveen energía a los sistemas económicos.

Dado que la energía exosomática no depende de la biología humana, sino de la economía (Martínez Alier y Roca Jusmet 2015), esta se usa en una proporción de hasta 100 veces más que la energía endosomática. Se utiliza dentro de los sistemas económicos no solo para la producción de bienes, sino también, para la prestación de servicios como transporte, calefacción, refrigeración, industria, aprovisionamiento de agua, entre otros.

Sus proyecciones de uso son crecientes y dependen directamente de la quema de combustibles fósiles. Este tipo de recursos (petróleo, carbón natural, gas natural, entre otros) son finitos y con una tasa de renovación muy lenta (miles de años), sumado a un modelo de extracción que ha sido cuestionado. En primer lugar, por la cantidad de recurso disponible comparado con su velocidad de extracción, que es inferior a los requerimientos actuales, lo que deriva en una inminente crisis energética. Segundo, por el gravísimo impacto ambiental generado por externalidades como los altos volúmenes de emisiones de GEI hacia la atmósfera por su combustión.

Una alternativa al uso de combustibles fósiles es el uso de energías renovables. Estas pueden provenir de fuentes hídricas, eólicas, geotérmicas o mareomotrices. Sin embargo, actualmente su uso es limitado debido al costo superior que significa su desarrollo e implementación.

1.1.2.2. Flujo de materiales

Otra de las entradas del subsistema económico son los recursos materiales que provienen del sistema natural en forma de materias primas. Pueden ser de tipo renovable como la madera, cuero o papel; aunque, en algunos casos si su modelo de explotación no es sostenible podrían no catalogarse como renovables. Y otros materiales de tipo no renovable como, por ejemplo, metales preciosos, petróleo, minerales, entre otros que, como ya se mencionó, mantienen una tasa de explotación superior que los procesos biogeoquímicos de renovación.

Estos recursos naturales, junto con la utilización de la energía, son sometidos a transformación dentro de los sistemas productivo. El producto final del proceso es la generación de bienes de consumo (output económico), que se logra con la integración de trabajo e inversión (Barkhas 2015, 4).

Estos materiales al ingresar al sistema económico sufren cambios físicos, que en algunos casos son irreversibles, por lo que difícilmente pueden ser sustituidos por otro tipo de capitales.

1.1.2.3. Salidas del sistema económico

El proceso económico, luego de un intercambio monetario, concluye con el consumo de bienes y servicios. Sin embargo, olvidamos los productos secundarios generados desde el subsistema económico hacia el sistema natural. Por un lado, tenemos al calor disipado o energía degradada, y por otro, a los residuos materiales (Martínez Alier y Roca Jusmet 2015, 12).

Algunas corrientes actuales de pensamiento que vinculan las relaciones económicas con el medio ambiente hacen referencia a la necesidad de considerar los productos que van hacia el sistema natural. La economía circular parte de una visión reconstituyente y regenerativa que busca mantener los productos y materiales en sus niveles de uso más altos, para ello tiene en cuenta la distinción entre los ciclos biológicos y los técnicos de cada proceso. Lo anterior implica un diseño para la reelaboración, renovación y reciclaje de los materiales y componentes que circulan en el sistema económico y natural (Cerdá y Khalilova 2016, 12).

De acuerdo a las ideas planteadas por la economía circular, algunos residuos pueden ser parcialmente utilizados mediante procesos de reciclaje. Estos reingresan al subsistema para

convertirse nuevamente en materias primas, o en algunos casos es el mismo sistema natural quien se encarga de convertirlos nuevamente en biomasa disponible para el proceso productivo. No obstante, es necesario considerar el gasto energético de los tres momentos que involucra este procedimiento, el primero por su transformación inicial antes de convertirse en residuo, el segundo para ser reciclado y transformado en materia prima utilizable, y el tercero para su nueva transformación en bienes de consumo.

Durante cada uno de estos momentos, y como consecuencia del consumo energético, se libera a la atmósfera GEI que no pueden ser reutilizados. Por lo que, si bien el reciclaje resuelve en cierta medida el problema de los residuos físicos, es un agravante en cuestión de consumo de energía, además es que la energía no se recicla. La solución a largo plazo debería enfocarse en la reducción del uso de materiales y energía proveniente de procesos de combustión, lo que implicaría un cambio estructural en el modo de producción vigente.

La problemática se ve agravada dado que muchos bienes de consumo poseen vida útil corta o son de un solo uso, lo que no justifica el alto gasto energético y la producción de emisiones de GEI que involucra su producción. Derivando en un manejo insostenible de residuos.

Hoy debemos hacer frente a dos problemas, primero, la escasez a largo plazo de recursos energéticos (combustibles fósiles) para el funcionamiento del sistema productivo y, segundo, la generación excesiva de residuos. Por lo que, la preocupación por la viabilidad del sistema debe abordar conjuntamente ambos extremos (Naredo 2011, 237). Para ello, es fundamental mantener un flujo sostenible de recursos naturales extraídos no producidos dentro del subsistema económico (Martínez Alier y Roca Jusmet 2015), como también considerar la cantidad de residuos producidos y la capacidad del sistema para su asimilación.

El medio ambiente es capaz de recibir residuos materiales, degradarlos y convertirlos en biomasa o alimentos que mantienen a los ocupantes del ecosistema. A esto se le denomina capacidad asimilativa, y depende principalmente del tamaño y salud de las poblaciones degradantes. Algunos residuos no pueden ser asimilados por las poblaciones mencionadas, de modo que se acumulan (D. W. Pearce 2011).

Para entender mejor esta idea, revisemos lo dicho por Martínez Alier y Jordy Roca (2015): “La naturaleza proporciona ciclos biogeoquímicos de reciclaje de elementos químicos, como el ciclo del carbono o los ciclos del fósforo, y lo que hacemos en la economía actual es acelerarlos, de manera que ponemos en la atmósfera más dióxido de carbono del que la fotosíntesis aprovecha o los océanos absorben” (Martínez Alier y Roca Jusmet 2015). Un

ejemplo son los GEI y el resto de residuos materiales que causan el calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono, que son las expresiones actuales más preocupantes del deterioro de la habitabilidad del planeta (Naredo 2011).

Hasta aquí notamos un contraste claro entre los postulados de la economía ecológica frente a la economía neoclásica. La crítica es sobre las bases crematísticas de los neoclásicos, quienes buscan el crecimiento económico sin considerar las leyes fundamentales de la naturaleza. Por el contrario, la economía ecológica busca comprender las interrelaciones e interdependencias entre los sistemas natural, económico y social, dejando al descubierto las contradicciones del modelo analítico neoclásico.

El funcionamiento del sistema natural es complejo y difícilmente se alinea con los postulados neoclásico de sustitución del capital natural y manejo de las externalidades. Por su parte la economía ecológica plantea que no es posible suplantar este capital, sino que este debe ser conservado, especialmente por las funciones medioambientales que cumple. Por lo que la sustitución perfecta de capitales no es posible, pues se requiere ciertos niveles de capital natural para la reproducción del capital físico. Desde este enfoque se considera que los distintos capitales deben mantenerse separados con base en criterios biofísicos, de manera que se garantice la viabilidad en el tiempo del sistema natural, cuestión que escapa a la red analítica usual de los economistas neoclásicos.

1.1.3. La entropía y sus relaciones con la economía

El estudio de la termodinámica y la economía permite explicar algunos fenómenos irreversibles que le ocurren tanto a la materia como a la energía y que sustentan el criterio de no sustituibilidad infinita del capital natural y manejo de externalidades.

Los vínculos de este término con la economía iniciaron con Samuelson, quien basó su obra *Foundations of Economic Analysis* (1947) en el documento *On the Equilibrium of Heterogeneous Substances* (1876) de Willard Gibbs, fundador de la termodinámica. Sin embargo, la profundidad en el estudio de esta relación surge a partir de las obras de Georgescu-Roegen y la publicación de su obra *The Entropy Law and the Economic Process* (1970-1941).

La entropía se relaciona estrechamente con los fines de la raza humana y, aunque existe un vínculo permanente entre la termodinámica y la economía, no se consideran las leyes de estas en los diferentes procesos productivos y humanos. Las actividades económicas tienen como finalidad la conservación de la especie humana y como menciona Georgescu-Roegen (1996),

busca satisfacer las diferentes necesidades básicas a la vez que estas se encuentran en constante evolución. Ante ello, el autor señala la necesidad de considerar las actividades biológicas, propias del desarrollo humano y social como indispensables en los propios procesos de crecimiento económico.

Para Georgescu-Roegen (1996, 364), el proceso económico consiste en una transformación continua e irrevocable de materiales de baja entropía a materiales de alta entropía. Para comprender esta afirmación, iniciaremos aclarando los conceptos de entropía, seguido de la explicación de la primera y segunda ley de la termodinámica aplicadas a las ciencias económicas.

“La entropía es una función termodinámica de estado que mide la fase microfísica de desorden y la irreversibilidad de un proceso” (Jimenez Redondo 1976, 92). Podemos interpretar este concepto como el estado en el que se encuentran los materiales, medido por el grado de desorden a nivel de sus partículas. Si analizamos este concepto en términos de probabilidad, es poco probable alcanzar el estado inicial de un material una vez desordenadas sus partículas. Es decir, que la entropía es una medida de disipación de la materia o energía disponible. Por ejemplo, decimos que la energía tiene mayor grado de entropía posterior a que esta se ha utilizado para realizar un trabajo, dado que en estos procesos parte de esta energía se transforma en calor, es decir, la energía disponible se disipa.

El principio de conservación de la materia-energía o primera ley de la termodinámica relaciona al trabajo y al calor que se intercambian en un sistema, además, postula que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. Para ilustrar aquello, podemos analizar el caso del carbón vegetal que es quemado para producir energía dentro del proceso productivo, en este caso el carbón vegetal cambia de estado y desordena sus partículas para liberar energía y calor, resultando en un proceso irreversible. Ante esto, el subsistema económico no produce ni consume la energía, si no que la absorbe y luego la expulsa.

De acuerdo a Georgescu-Roegen y Bonaiuti (2003), cuando la materia-energía ingresa al subsistema económico lo hace con baja entropía, es a partir del proceso económico que se transforma en estado de alta entropía. Así, por ejemplo, al liberar la energía contenida en los combustibles fósiles, esta es transformada en trabajo mecánico y calor. El símil ocurre para todos los tipos de energía disponible y lo destacable es que, en el proceso de transformación la energía no disminuye ni aumenta, esta es disipada o cambia de estado. La energía pasa de disponible (para hacer trabajo) a energía no disponible (para el trabajo). En el ejemplo del

carbón vegetal, lo hace en forma de calor y residuos como humo y cenizas, que no pueden ser reutilizadas para volver a generar trabajo. Esta última afirmación se relaciona con el segundo principio de la termodinámica, que postula la irreversibilidad de los fenómenos físicos.

Por tanto, los materiales y energía, como el ejemplo del carbón, se pueden utilizar una sola vez, con excepciones en las que parte del material residual puede ser reciclado. Esto significa un drenaje de elementos de baja entropía ambiental. Este drenaje, a largo plazo, podría condicionar indiscutiblemente el destino de la humanidad, debido a las limitaciones que el proceso económico tiene por su evolución unidireccional e irreversible (Georgescu-Roegen y Bonaiuti 2003). Dados los posibles escenarios de crisis energéticas o de materiales.

El desarrollo de las actividades de los organismos vivos se caracteriza por baja entropía, sin embargo, existe una excepción notable únicamente con la especie humana. Esta eleva la entropía en el desarrollo de sus actividades, por ejemplo, al cocinar sus alimentos o al transformar los recursos naturales en bienes o servicios. Esta excepción es más notable en el desarrollo del proceso económico. Pero, ¿qué impulsa a la especie humana a este comportamiento? al respecto revisemos lo manifestado por Georgescu-Roegen y Bonaiuti (traducido por el autor) (2003):

El proceso económico solo transforma recursos naturales preciosos (baja entropía) en desechos (alta entropía) ... siempre tenemos ante nosotros el enigma de por qué este proceso debe continuar; y seguirá siendo un enigma hasta que entendamos que el verdadero resultado económico del proceso no es un flujo material de desechos, sino un flujo inmaterial: el disfrute de la vida. Si no reconocemos la existencia de este flujo, estamos fuera del mundo económico (Georgescu-Roegen y Bonaiuti 2003).

Sin embargo, es evidente que este disfrute de la vida, a costa de una alta producción de residuos y agotamiento de recursos, conlleva a crisis a largo plazo por la insostenibilidad de estos procesos. Por lo que se hace necesario un cambio consciente de las estructuras de producción y consumo de las sociedades. Esto implica un uso eficiente y racional de los recursos naturales, pues como vemos, los postulados de crecimiento ilimitado desde la teoría neoclásica pierden vigencia, y se fortalece un análisis distinto que involucra los límites físicos y biogeoquímicos naturales.

Lo anterior deja en evidencia que todo proceso económico demanda recursos para poder llevarse a cabo, sin embargo, existen en la actualidad procesos con déficit de materiales de baja entropía. Como se expuso anteriormente, es consecuencia de los modelos que no consideran el agotamiento de los recursos y la creación de residuos que aceleran los

fenómenos ambientales. Se demuestra entonces que, a pesar de saberse la relación entre las leyes de la termodinámica, los economistas han olvidado estas relaciones y suponen que pueden continuar creciente bajo los modelos actuales de manera infinita sin considerar la escasez de los recursos. Siguen siendo considerados los modelos económicos como cerrados sin tener en cuenta las constantes entradas de recursos al sistema, recursos que se transforman continuamente y pasan de baja a alta entropía. Esta situación, junto con los planteamientos anteriores, llevaron a Georgescu-Roegen (1996) a plantear que la relación existente entre el valor económico de los bienes y servicios creados y los recursos empleados de baja entropía es similar a la relación existente entre el valor económico y el precio de mercado de los productos finales.

En este punto destacamos las expresiones de Valero (1998) quien menciona que:

la economía está dirigida por el mercado y el mercado es el resultado de todas las fuerzas que confluyen en la sociedad en un momento dado. Pero la “ciencia de la casa”, la ciencia del “oikos”, ha sido convertida en algo profundamente ajeno a la misma. Todo es valorado o asignado con un precio. Sin embargo, nadie es consciente del coste de cualquier bien en términos de recursos naturales (Valero 1998, 10).

Hubbert en su documento *Nuclear Energy and the Fossil Fuel* (1956), aborda la situación futura del suministro de combustibles fósiles. A partir de un modelo matemático, no solo plantea un agotamiento inevitable de estos recursos, sino que, proyecta el pico máximo de producción para el carbón natural en 200 años y el para el petróleo 50 años. El modelo predice que el decrecimiento en el consumo será tan veloz como lo fue el de su extracción. Antes de llegar a su agotamiento, existirá un punto en el que la explotación, transporte y transformación consuma más energía de la que puede aportar el recurso. (Hubbert 1956).

La teoría ha sido ampliamente aceptada tanto por la comunidad científica como por la industria extractiva, ya que una de sus proyecciones ha sido confirmada, nos referimos al caso de EEUU. Hubbert predijo que el pico se alcanzaría entre los años 1965 y 1970, a partir de esta fecha la explotación ha venido decreciendo. Si bien estos cálculos pueden variar por el descubrimiento de nuevos yacimientos o el desarrollo de nuevas tecnologías de extracción, lo claro es que estamos entrando al inicio del fin del uso de combustibles fósiles.

A pesar de ello, en la actualidad, los sistemas económicos alrededor del mundo aún son dependientes de estos recursos. Como hemos analizado antes, no solo que estos recursos causan gravísimas consecuencias al sistema climático, sino que también sus existencias están

llegando a su pico máximo. De continuar con estos patrones de producción y consumo, en el futuro se prevén graves crisis de los sistemas económicos que incluyen al transporte, el abastecimiento y producción de alimentos, la industria química y la calefacción doméstica, entre otros.

A continuación, se analizan algunas de las alternativas para enfrentar esta problemática desde diferentes enfoques de pensamiento económico.

1.1.4. Sistemas económicos y externalidades

La constante interacción naturaleza-sociedad es un fenómeno que cada vez se hace más evidente y tiene implicaciones negativas como secuela del desgaste medioambiental. La idea del uso racional de estos recursos y su participación en el proceso económico ha sido abordada por varias escuelas de pensamiento entre las que destacan la Economía Ambiental y Economía Ecológica.

La primera lo hace mediante la minimización de las externalidades que surgen dadas las existentes fallas del mercado, buscando con ello la manera de asignar eficientemente los recursos naturales escasos. Como solución asigna un valor económico a las cuestiones medioambientales. Lo anterior es posible, ya que estas se incluyen en las funciones de producción.

Por su parte, la Economía Ecológica no solo busca una valoración monetaria, sino que, a partir de su visión transdisciplinaria, analiza las relaciones de dependencia existentes entre los servicios que prestan los ecosistemas y su aprovechamiento.

Las externalidades negativas en cuestiones medioambientales, son factores cada vez más perjudiciales sobre los recursos naturales y su utilización. De la mano de la economía ambiental se han desarrollado mecanismos de mercado que permiten cuantificar y plantear medidas de mitigación de emisiones o políticas de cambio climático.

En su artículo *Modelos y costos de la mitigación de emisiones* González-Eguino (2010) agrupa estos mecanismos o métodos en seis categorías.

Primero, modelos energéticos basados en modelos de programación lineal a los cuales se le fueron incluyendo funciones no lineales para representar la posibilidad de sustitución entre factores, estos modelos corresponden a equilibrios parciales y se los conoce también como modelos bottom-up.

Segundo, modelos de equilibrio general aplicado que se basan en la teoría neoclásica del comportamiento de los agentes y el funcionamiento de los mercados, son conocidos como *top-down* y tienen una sólida base microeconómica que permite captar múltiples interrelaciones económicas; son usados para analizar políticas con efectos directos e indirectos significativos. Los modelos input-output, se sitúan en esta categoría, aunque con ciertas matizaciones, ya que se basan en el supuesto de equilibrio y consideran a la economía en su conjunto, no consideran fallas en los mercados.

Tercero, modelos macroeconómicos neokeynesianos, la diferencia consiste en que sienta su base en las tendencias históricas y las series de datos, aquí encontramos modelos como G-CUBED o el modelo Oxford, estos tienen un importante componente econométrico en el establecimiento de sus correlaciones.

Cuarto, modelo de análisis integrado, se caracterizan por unificar fenómenos económicos y climáticos. Considera los efectos de las actividades económicas sobre el clima, y los efectos del cambio climático en la actividad económica, una de las ventajas es que permiten integrar costos y beneficios de las políticas, logrando sendas óptimas de reducción, un ejemplo son el modelo Integrado Dinámico del Clima y la Economía (DICE por sus sigla en inglés) y modelo Regional Integrado de Clima y Economía (RICE por sus siglas en inglés), su dificultad reside en la complejidad de los sistemas climáticos; estos modelos se incluyen dentro de la corriente de la denominada Economía del Cambio Climático plantada por William Nordhaus.

Quinto, modelos de comercio de emisiones, estos utilizan curvas de costo marginal de reducción de emisiones originarios de los modelos de equilibrio general aplicados para investigar aspectos estratégicos que se relacionan con los mercados de emisiones fundamentalmente aplicado en el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea.

Sexto, modelos espaciales ambientales los cuales incorporan la variable espacial en el análisis, plantean que, al no utilizar esta variable para zonificar, el mercado podría hacer que la política aumentara el daño sin los permisos, y por tanto las emisiones se concentran en las industrias más cercanas a los núcleos de población (González-Eguino 2010).

El objetivo de estos es la asignación de un costo monetario a las emisiones de GEI mediante la creación de un nuevo mercado para los bienes y servicios que eran considerados gratuitos.

En relación a los modelos de comercio de emisiones se puede encontrar algunas variantes. Una de ellas son los llamados *Cap and Trade* los cuales constituyen un régimen de comercio para los derechos de emisión de carbono. Son permisos o licencias otorgadas para fijar niveles de contaminación y basan su funcionamiento en el establecimiento previo de límites para el número de emisiones generadas por cada agente. El tratamiento de este mecanismo puede emplearse mediante el establecimiento de dos escalas.

La primera escala hace alusión al negocio de las emisiones a nivel nacional, mientras que la segunda lo hace a nivel internacional. El esquema de negociación se realiza de manera similar en ambos casos. Por ejemplo, dos industrias de un mismo país, cuyas estructuras productivas son similares, negocian sus niveles de emisiones de manera tal que una de ellas reduce mientras que otra continua con elevados niveles de contaminación. Para esto la empresa contaminante negocia la introducción de cambios en los sistemas productivos de su contraparte, permitiendo un incremento en los márgenes de maniobras de costos destinados a reducción de emisiones. Como vemos este mecanismo no busca la reducción de la contaminación, sino el incremento de los beneficios económicos. Lo mismo ocurre en las negociaciones internacionales donde en algunos casos estas reducciones son intercambiadas como unidades aparentes de reducción de emisión.

Por su parte, los MDL son mecanismos de compensación financiera que buscan alternativas de reducción de emisiones en territorios diferentes a su origen. Algunos ejemplos son los Mecanismos de Captura y Almacenamiento de Carbono o el mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques (REDDB). Estos son aplicados de manera frecuente y funcionan bajo un diseño de manera tal que los países del norte continúan con modelos de producción altos en emisiones, mientras que los países del sur se dedican a la conservación y/o disminución de las emisiones producidas dentro de sus fronteras. Este tipo de mecanismo no logra captar el total de emisiones que se logran reducir bajo determinados esquemas de actuación a causa del desconocimiento real de la cantidad de emisiones generadas. Otra de las deficiencias es de orden tecnológico, ya que las transferencias realizadas han sido monetarias y no en forma de tecnologías limpias.

Los esquemas antes mencionados comúnmente se denominan *quien contamina paga*. Esto permite suponer la existencia de mercados que actúan bajo competencia perfecta, cuyos agentes toman sus decisiones de manera racional y el nivel de precios se fija en el mercado. Lo anterior conlleva entonces al establecimiento de un equilibrio óptimo donde se produce una asignación eficiente de recursos y una compensación a los agentes afectados por las

externalidades negativas. No obstante, aunque se alcanza un equilibrio óptimo, la solución obtenida es puramente de mercado y en ella no se tienen en cuenta otros aspectos fuera del sistema económico, como lo es el caso de servicios ambientales.

Otra de las soluciones es la introducción de tecnologías tanto para la reducción de emisiones en el origen, como para la captura y almacenamiento de carbono. Estas se basan en el desarrollo de la geoingeniería y buscan la continuidad de la contaminación sin que esto implique una externalidad. Dichas soluciones son atractivas para el sector empresarial puesto que, de darse en el sector privado, convertirían al tratamiento de las emisiones en un negocio. Lo anterior dejaría de lado la búsqueda de alternativas sostenibles y centrarían su atención en el incremento de utilidades, sin dar solución a la inminente crisis de materiales y energía.

Las ideas anteriores han contribuido a que algunos países pongan en práctica la deslocalización de las emisiones. Esta deslocalización hace referencia al desplazamiento de empresas altamente contaminantes de países desarrollados hacia países en desarrollo. El traspaso de estas industrias supone la no contabilización real de las emisiones de CO₂, pues, a nivel de país las emisiones se reducen para los países que desplazan sus industrias y a nivel global las emisiones aumentan como consecuencia de la continua contaminación, pero ahora en los países en desarrollo.

Estos enfoques no se alinean a los principios de justicia ambiental y sostenibilidad que orientan teorías como la economía ecológica. Esta teoría relaciona los sistemas económicos y su invarianza en relación a los indicadores recogidos en las Cuentas Nacionales, para tratar el tema de las externalidades. Esta invarianza se debe a la ausencia de contabilidad de los desgastes del capital natural, dado el tratamiento brindado a los recursos naturales en comparación con el resto de los utilizados en procesos productivos, los cuales presentan asimetrías, destacando aspectos tales como la pérdida del patrimonio natural.

Dada la falta de información y la inexistencia de una forma adecuada de incluir en las estadísticas las funciones ambientales, una de las alternativas propuestas ha sido la introducción en los análisis a las Cuentas Satélites o el Sistema de Cuentas Ambientales Económicas Integradas. Estas cuentas buscan la inclusión en los datos estadísticos de la riqueza oculta a partir de la valoración de servicios ambientales, la evaluación del stock de capital natural o las pérdidas. Estos datos son expresados en términos físicos, de manera tal que recogen las variaciones de los recursos y cuya finalidad es complementar la contabilidad

macroeconómica habitual y registrar las actividades de remediación en forma de bienes o de renta final.

Como parte de la contabilización de los daños medioambientales, una cuestión relevante es también la conocida Deuda ecológica. Esta se ha generado como consecuencia del desigual consumo de recursos naturales, los niveles emitidos de GEI y la generación de desechos que se dan entre los países del norte y el sur. Se ha acumulado durante años y como señala Roberts y Parks (2007) “abarca la explotación histórica y moderna de los recursos naturales no occidentales y el uso excesivo del ‘espacio ambiental’ para verter desechos”.

Los actuales modelos de producción han creado grandes presiones sobre los organismos internacionales con el fin de que estos intervengan y velen por el pago de la deuda existente. La necesidad de los pagos viene dada por los patrones ecológicos insostenibles que presentan los países en desarrollo, los que se ven amenazados por la extinción de su patrimonio natural. Ante esto se ha abogado por el pago de la deuda ecológica o que los montos de esta sean utilizados para solventar las actuales deudas económicas del grupo de países en desarrollo y con ello, reducir la pobreza y promover el desarrollo de energías alternativas. Estos esfuerzos incluso con compromisos y acuerdos internacionales, no han tenido cumplimiento.

Sin embargo, en la actualidad, son los países de la periferia quienes continúan recibiendo el mayor número de desechos resultantes de la explotación de los recursos naturales a pesar de ser estos mismos, los mayores exportadores de materias primas.

En los esfuerzos por disminuir el deterioro medioambiental, son los países con mayor patrimonio natural los que resultan perdedores a causa de los vigentes patrones productivos y relaciones comerciales generados por el intercambio ecológicamente desigual. Como manifiesta Roberts y Parks (2007) “aunque las exportaciones han cambiado, las relaciones comerciales siguen desiguales ya que los países en desarrollo exportan producto con bajos precios y no incluyen en estos los costos ambientales de la extracción”.

Como consecuencia, desde lo económico, se siguen esquemas intensivos de explotación sin tener en cuenta el llamado metabolismo físico de los territorios. Se producen entonces, pérdidas cada vez mayores de energía y recursos, implicando, además, que los países desarrollados continúen adueñándose de los recursos periféricos. “Lo que dentro del sistema de precios aparece como un intercambio recíproco y justo enmascara una desigualdad biofísica de intercambio en la que uno de los socios no tiene más remedio que explotar y

posiblemente agotar sus recursos naturales y utilizar su medio ambiente como un basurero” (Roberts y Parks 2007).

Las ideas anteriores, que involucran el desgaste de los recursos naturales, han impulsado la búsqueda de vías que conlleven a un crecimiento económico que incluya al patrimonio natural.

1.2 Crecimiento y Desarrollo

Si se toman como referencia a los autores clásicos, las ideas sobre crecimiento económico se encuentran relacionadas a la dotación de factores productivos para alcanzar la riqueza.

Factores que, dado un determinado nivel de utilización, se convertirían en una limitante al crecimiento.

Entre los autores precursores de dichas ideas se puede mencionar a Thomas Robert Malthus, quien cuestionó el crecimiento desde la limitación de disponibilidad de recursos. La teoría malthusiana sostuvo que mientras que el crecimiento de la población se produce de manera geométrica y la producción de alimentos de manera aritmética, ocurriría una disminución de los medios de subsistencia y, por ende, un agotamiento acelerado de los recursos disponibles. Por otra parte, David Ricardo, quien planteó la Ley de los Rendimientos Decrecientes, cuestionó la idea de la limitación del factor de producción fijo (tierra), pues alcanzado un umbral en la utilización de este, los rendimientos cada vez serían menores debido al sobreuso. Estas ideas se extendieron hasta la obra de Marx, con su ruptura metabólica, o Stuart Mill con sus ideas sobre economía de estado estacionario.

Con la evolución del modo de producción capitalista se han planteado algunas ideas en relación al crecimiento económico sin límites. La economía ambiental (corriente neoclásica) se basa en la economía del bienestar. Como señala Usabiaga Ibañez (1996), bajo esta línea de pensamiento se tratan de adecuar los mecanismos que rigen el mercado y el sistema económico a las cuestiones relacionadas al agotamiento de recursos naturales. Manifiestan la existencia de fallas del mercado en las cuestiones medioambientales, principalmente las externalidades negativas que se generan y las cuestiones relacionadas al aumento de precios de los recursos como consecuencia de su escasez. Además de esto, se tienen en cuenta los llamados males económicos que provocan la disminución de los niveles de satisfacción de los agentes. La disminución en el consumo de determinados productos y servicios que propician utilidades negativas plantean la idea de que menos es mejor, sobre todo en aquellos relacionados a los niveles de contaminación ambiental y la explotación de recursos naturales.

La solución que se propone desde este enfoque ha sido la introducción de alternativas de crecimiento económico de manera que los recursos naturales empleados en el proceso productivo, puedan ser sustituidos mediante el empleo de tecnologías alternativas. Sin embargo, a pesar de los modelos matemáticos construidos por dicha escuela de pensamiento, los sostenes teóricos de estos muestran deficiencias por falta sustento físico. Esta última idea, hace alusión a la discusión sobre los límites del crecimiento cuando se incorporan las leyes de la termodinámica.

Por el lado del bienestar, defiende la idea de la existencia de una relación positiva entre niveles de ingreso y bienestar bajo el principio de más es mejor. Esta idea se sustenta en la teoría de las preferencias reveladas la que sugiere que, a mayor nivel de producto, mayor empleo, mayor ingreso, mayor canasta de consumo y, por ende, mayores niveles de bienestar. Esta teoría argumenta que los consumidores tienen preferencias establecidas, con patrones de consumos que son independientes de grupos de referencia, niveles de ingresos o consumo independientes de los niveles alcanzados en el pasado y sus expectativas futuras (Schuldt 2012).

Esto ha conducido a la necesidad de impulsar el crecimiento económico a toda costa, a pesar del aumento de los desequilibrio económicos, ambientales y conflictos sociopolíticos nacionales e internacionales. A lo anterior se suma el estancamiento de los niveles de bienestar de las personas, lo que se ha traducido en una paradoja entre crecimiento económico y estancamiento del bienestar a partir de un determinado umbral de ingresos.

Un ejemplo de esta paradoja se ilustra en el texto *Desarrollo a escala humana y de la naturaleza* de Schuldt (2012, 13), para el caso de EEUU el producto per cápita aumentó sostenidamente dos veces y media entre 1946 y 1990, mientras que los patrones de felicidad alcanzaron su máximo en 1957 y en 1970, momento a partir del cual comenzó a disminuir para luego permanecer constante. En el caso de Japón, este quintuplicó su producto per cápita de manera sostenida entre 1958 y 1990 sin embargo, su nivel de satisfacción de vida permanece constante con evidencia de una tendencia a la baja en el largo plazo.

Estos ejemplos evidencian que algunos países occidentales se han vuelto más ricos al mismo tiempo que sus niveles de bienestar son bajos. Por otro lado, en los países en desarrollo a medida que aumenta el PIB también se eleva el bienestar, esto ocurre hasta un determinado nivel de ingreso donde dicho bienestar ya no aumenta.

Para explicar esta contradicción se han incorporado al análisis otras disciplinas que plantean hipótesis alternativas como las mencionadas por Schuldt (2012), como el umbral de ingresos, la adaptación hedónica, expectativas, ingreso relativo al espacio social, externalidades, entre otras.

Por ejemplo, el umbral de ingresos postula que, luego de satisfacer las necesidades básicas, cualquier aumento en los niveles de ingreso no influirá en los niveles de satisfacción de las personas. Por otro lado, la hipótesis de la adaptación hedónica plantea que las personas se acomodan a cualquier evento, sea agradable o desagradable, para luego volver a su nivel original de felicidad. Esto significa que las personas, a medida que aumentan sus ingresos, tienden a saciarse y sus niveles de bienestar, pasado un tiempo, se mantienen constantes o decrecen. La hipótesis de las expectativas y las del ingreso relativo en el espacio social postulan que las personas siempre comparan sus ingresos actuales con los pasados y sus expectativas de ingreso a futuro, lo que en ocasiones resulta en la reducción de bienestar y frustración.

Como vemos la relación entre crecimiento económico y bienestar es mucho más compleja que lo que plantea la escuela convencional neoclásica, por lo que buscar un camino diferente al crecimiento económico se ha de sustentar en alternativas que frenen las actuales crisis políticas, sociales y ambientales.

Autores como Joan Martínez Alier y Jordi Roca Jusmet (2015) plantean y defienden la economía ecológica como una alternativa, analizando la economía como un subsistema dentro de un sistema global finito. Alineado a esta idea, “la expansión del subsistema económico está limitada por el tamaño del ecosistema global finito general, por su dependencia del soporte vital sostenido por intrincadas conexiones ecológicas que se alteran más fácilmente a medida que crece la escala del subsistema económico” (Munda 1997, 225). De igual manera, una fuerte dependencia de la economía a los recursos naturales. Estos autores también se refieren al hecho de que, bajo estas ideas, el capital natural es reconocido como un factor productivo complementario con capacidades limitadas para su sustitución.

Esta escuela parte del hecho de identificar cuándo preferir lo que en términos de política es conveniente y no sólo lo que se considera económicamente óptimo. Se opone a la idea de las externalidades ambientales dado que no busca hallar los costos monetarios de estas, sino que plantea la necesidad, como menciona Usabiaga Ibañez (1996), de completar los modelos económicos de manera que no quede espacio para la generación de externalidades negativas.

Lo anterior enuncia la obligación de redefinir los conceptos económicos teniendo en cuenta el bienestar de las personas, además de las interrelaciones con otras cuestiones como la contaminación, stock de capital natural, uso de energía (Foladori 2001).

A pesar de las ideas antes planteadas y la evidente necesidad de impulsar alternativas de desarrollo, algunas escuelas de pensamiento que aún defienden el enfoque tradicional de crecimiento económico no consideran correctas las reflexiones desde un enfoque ecológico. Según Bermejo (1990), estas escuelas dejan fuera las cuestiones ambientales a la hora de tomar decisiones o diseñar políticas, pues las consideran un freno al desarrollo por sus ideas sobre protección ambiental y el uso consciente de los recursos naturales.

Un corolario de estas ideas sería entonces que, la “protección del medio ambiente no es una opción sino una necesidad de carácter económico (...) y la política medioambiental no es causa de crecimiento sino una consecuencia” (Bermejo 1990, 31).

La discusión a lo largo de este capítulo ha girado en torno al análisis de las tasas de crecimiento económico. Como hemos visto hasta aquí, este crecimiento puede convertirse endógenamente en su propio obstáculo a la hora de establecer un modelo socioeconómico de crecimiento sostenido. Por lo que, las variaciones positivas en términos de crecimiento económico no necesariamente reflejan mejoras en el bienestar de las personas y como alternativa se han desarrollado propuestas que buscan su reducción. Nos referimos a las propuestas de *estado estacionario* y la teoría del *decrecimiento sostenible*.

La teoría del estado estacionario tiene su base en lo planteado por Daly (2005) en los siguientes preceptos:

- (1) Limitar el uso de todos los recursos a las tasas que en última instancia conduzcan a niveles de residuos que pueden ser absorbidos por el ecosistema, (2) Explotar los recursos renovables a tasas que no superen la capacidad del ecosistema para regenerar los recursos y (3) Agotar los recursos no renovables a tasas que, en la medida de lo posible, no excedan la tasa de desarrollo de sustitutos renovables (Daly 2005, 102).

Para dar solución a los procesos de agotamiento de recursos, la contaminación, las crisis del clima o la pérdida de la biodiversidad, se construye a partir de estos preceptos un modelo en el cual se recoge la relación existente entre la utilidad marginal social y los costos marginales sociales. Demuestra que el equilibrio en una economía se obtendría una vez que la utilidad marginal social sea igual al costo marginal social y sería a partir de este punto, donde cualquier incremento de los costos significaría un riesgo. Esto resultaría en la aparición de

externalidades negativas de tipo ambiental. Una alternativa para reducir estos costos sería, sin dudas, el progreso técnico, sin embargo, esto no solo acercaría más a un punto de utilidad nula o negativa, sino que por el lado de los costos repercutiría en el agotamiento de recursos (Schuldt 2012). Por lo que la economía debería mantenerse en este estado de equilibrio o de estado estacionario.

Sin embargo, a decir de algunos autores como Georgescu-Roegen (1975), el modelo de estado estacionario no es el más deseable, ya que por una parte un estado estacionario en un mundo finito conduce a desastres de todo tipo (Georgescu-Roegen 1975, 307). Por otro lado, si detenemos el crecimiento económico en todas partes eliminaríamos la posibilidad a los países pobres de mejorar su situación (Georgescu-Roegen 1975, 376).

Georgescu-Roegen, “explicó que si la actividad económica humana degrada recursos de baja entropía (...), no sólo existirá un límite a la capacidad de sustentación de cada período, sino también a la vida humana total que la Tierra puede mantener” (Martínez Alier y Roca Jusmet 2001, 367). Estas ideas llevaron al planteamiento de la teoría del decrecimiento económico. La propuesta está dirigida a disminuir el gasto y desperdicio exagerado de recursos, con énfasis en las actividades con mayor consumo de recursos naturales. Esto posibilitaría reducir las tasas de contaminación y las pérdidas de biodiversidad ambiental.

El decrecimiento, tal como menciona Leff (2009), no se refiere en sí a decrecer, sino que aboga por la toma de conciencia en los procesos que se han llevado a cabo por las sociedades y que atentan contra la vida del planeta y de la especie humana. Para ello se hace necesario una sólida argumentación teórica y estrategias de políticas que frenen el crecimiento desmedido del actual modelo de producción (Leff 2009, 4). Este decrecimiento no implica una reducción de la producción en todos los sectores económicos, sino un esquema selectivo enfocado en los sectores de alto consumo de materias y energías. Con respecto a la idea anterior, Latouche (2007) manifiesta que se hace necesario reducir los desperdicios energéticos mediante el establecimiento de límites al número de emisiones globales de CO₂ y los gastos en energía.

No solo que el decrecimiento no implica reducciones en todos los sectores económicos, este concepto también no se aplica para el análisis de todas las economías. Se ha de considerar un esquema de decrecimiento sostenible y selectivo, por un lado, dirigido fundamentalmente a las economías con consumos de materia y energía elevados quienes deberán decrecer. Y, por otro lado, aquellas economías que aún no han logrado cubrir las necesidades axiológicas,

capacidades y realización de sus habitantes si podrán seguir creciendo, con economías dirigidas al consumo bajo de materiales y energía (Schuldt 2012, 142).

Lo anterior se sustenta en las ideas planteadas sobre el decrecimiento sostenible desde la visión de la economía ecológica, la cual manifiesta la necesidad de romper con el actual modelo de producción mediante economías de menor consumo. Bajo esa línea se ha de pensar en un nivel de producción y consumo para las diferentes economías en el cual se tenga en cuenta las constantes dinámicas existentes, logrando un equilibrio entre los países. Dichas transformaciones no inciden solo en los aspectos económicos y medioambientales, estas también consideran las dimensiones relacionadas con la vida humana y sus niveles de bienestar. Dado que es necesario el cambio de los nuevos estilos y calidad de vida de las personas como resultado de los cambios en los patrones de producción y consumo, se debe garantizar por parte de los gobiernos la satisfacción de las necesidades básicas y un estado pleno de bienestar.

Se han desarrollado, en aras de lograr lo antes planteado, un conjunto de cambios tanto por el lado de la oferta, como por el lado de la demanda. Por el lado de la oferta, para el gobierno, empresas e instituciones, se propone la redistribución productiva de la tierra para actividades de agricultura intensiva de manera tal que se pase a un modelo agroecológico local que respete los ciclos de regeneración de los recursos naturales y de absorción de los desechos generados. Se propone además un reordenamiento fiscal para actividades intensivas en uso de energías y materiales; y la producción de bienes de mayor vida útil que sean fácilmente reparables y reciclables.

Por el lado de la demanda, se plantea regular cualquier desperdicio de energía hasta que no se alcance un uso completo de energía renovables; controlar las excentricidades humanas que exigen un inútil y desmedido consumo de materiales y; reducir el uso de bienes de corta temporalidad y centrarse en la durabilidad de las mercancías mediante el reciclaje y el mantenimiento de los bienes ya existentes.

Las críticas al modelo de decrecimiento surgen a raíz de la aparición de altas tasas de desempleo en sectores de alto consumo de materia y energía, incertidumbre para el pago de deudas al sistema financiero, inexistencia de estructura sociopolítica que sostenga el modelo y la necesidad de una transformación institucional a nivel macro. Además, no se ha analizado el impacto de estas transformaciones en las economías con modelos primarios-exportadores (Schuldt 2012, 135-143).

Sin embargo, es evidente como menciona Martínez Alier (1990), que para que el decrecimiento tenga éxito y sea sostenible debe desarrollarse a nivel internacional y debe actuar frente a las preocupaciones y necesidades concretas de las personas. Señala además que, aunque pareciera que los países del sur, dados sus niveles de dependencia económica, se perjudicarían por el decrecimiento ocurrido en los países del norte, las ideas sobre Justicia Ambiental que nacen en estos países del sur son la mayor fuerza impulsora para que se logre una economía sostenible. Son “estos movimientos de Justicia Ambiental y del Ecologismo de los Pobres del Sur son los mejores aliados del movimiento por el Decrecimiento Sostenible en el Norte” (Martínez Alier 1990, 58).

La justicia ambiental surge a partir de la lucha de los grupos de clases a favor de disminución de las actividades extractivas y contaminantes que se localizan en comunidades con bajos recursos y con altos niveles de riesgo ambiental. Esta visión, según plantean Ramírez, Galindo y Contreras (2015), se basa fundamentalmente en dos ejes de acción, el primero que se centran en la necesidad políticas públicas y segundo, en la sustentabilidad. Resaltan que para que sean efectivas estas políticas se debe tener en cuenta procesos participativos para la toma de decisiones, ya que son los habitantes de las diferentes regiones los pilares fundamentales de cada una de las propuestas. Estas ideas han puesto en evidencia a nivel mundial, sobre todo en los países en desarrollo quienes han sido las principales víctimas de los intensivos modelos de producción basados en explotación de recursos naturales, las crisis sociales y ambientales.

Los temas alrededor de la justicia ambiental han ampliado las actuales interpretaciones de los fenómenos medioambientales incorporando asuntos sociales y la equidad. Estas interconexiones entre las diferentes dimensiones han consolidado la justicia ambiental como “cuerpo interdisciplinar en la literatura de las ciencias sociales, incluyendo las teorías del medioambiente, las teorías de la justicia, las leyes medioambientales y la gobernanza, las políticas medioambientales y la planificación el desarrollo, la sostenibilidad y la ecología política” (Pardo y Ortega 2018, 92). La representatividad de los temas ambientales, en especial las constantes luchas por defender los derechos de la naturaleza y el cambio climático, conducen a que las ideas de justicia ambiental se concreten en una Justicia Climática.

Según mencionan Pardo y Ortega (2018), la idea de Justicia Climática posiciona el cambio climático como una consecuencia del mal funcionamiento de las cuestiones sociales, éticas y políticas, más allá de ser un propio fenómeno natural. Esto justifica lo que sucede alrededor

del planeta en lo referente la responsabilidad en los niveles de contaminación, pues los países con menores influencias en el fenómeno de cambio climático son quienes asumen las mayores secuelas.

Esta noción de justicia abre debates entorno a cuestiones importantes para los temas climáticos y sociales, pero también se contrapone a otras ideas desarrolladas por otras escuelas de pensamiento sobre el cambio climático y que se centran fundamentalmente en la mercantilización de las externalidades ambientales negativas o en iniciativas focalizadas solamente en la reducción de emisiones. Como señala Svampa (2020), las ideas sobre justicia climática van más allá de la lucha contra el cambio climático pues incluye en sus principios el respeto y la justicia de los pueblos. También plantea la necesidad de considerar los impactos en el presente y futuro del cambio climático, los cuales pueden ser controlados si se implementan modelos de desarrollo que sean sostenibles y se basen en el respeto a los derechos naturales y sociales.

Las ideas antes mencionadas guardan relación con otro término incorporado en la teoría económica y que hace alusión al “desarrollo sostenible”. Dicho concepto ampara la idea de poner en práctica un “desarrollo que satisface necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Bermejo 1990, 29). Centra su lógica en un desarrollo que debe tener presente el cuidado y preservación del medio ambiente, el respeto a la dignidad humana y la creación de riquezas.

Este concepto nace de la crítica realizada por los ecologistas en relación al concepto de crecimiento sostenible, mismo que posee una contradicción intrínseca entre el propio crecimiento y la sostenibilidad. Dicha contradicción se basa en que los actuales modelos de crecimiento se sustentan en la explotación de recursos naturales de manera desmedida y el no respeto a las leyes que rigen la naturaleza. Lo anterior pone en evidencia el alcance de lo que corresponde a la sostenibilidad, pues se necesitaría el rediseño de los modelos actuales de producción, extracción de recursos, acumulación y consumo para que el desarrollo en el ámbito económico se produzca de manera consciente.

El concepto se encuentra estrechamente ligado a los temas abordados por la teoría del decrecimiento sostenible. El desarrollo sostenible plantea, de igual manera, la necesidad de establecer esquemas de producción y consumo que sean capaces de satisfacer las necesidades básicas de la sociedad sustentándose en el respeto a los ecosistemas proveedores de recursos. Igualmente, a decir de Mora (2013), deja clara las necesidades de conservación de los

recursos naturales y existencia de los límites físicos de estos con énfasis en la satisfacción de necesidades, tanto individuales como colectivas de las sociedades. Esto involucra también una fuerte voluntad política que impulse los procesos de participación democrática y gobernabilidad.

Sin embargo, en la actualidad, el desarrollo sostenible es solo un proyecto ideal con notables ausencias de apoyo de políticas y voluntades que permita un ascenso hacia un futuro próspero. Sin una estrategia de desarrollo adecuada e impulsada a modo de consenso internacional, será imposible la construcción de una sociedad global justa, ecológicamente sostenida y económicamente viable, lo cual constituye una necesidad urgente en aras de la salvación del medio ambiente y la propia especie humana.

A estas ideas sobre el tratamiento del crecimiento y su relación con las cuestiones medioambientales se le suman otras ideas como las planteadas por la Economía del Bien Común, la Economía Evolutiva y la Economía tipo dona. La primera de estas fue planteada por el economista Felber (2012), quien estableció una propuesta de sistema económico alternativo cuyo centro se encuentra en la cooperación entre los agentes económicos, el respeto al ser humano y en especial, al medioambiente. Según mencionan Chavez y Monzón (2018), dicho paradigma se opone a la concepción tradicional de la economía que busca solo la maximización del beneficio y riqueza material de manera individual. Se orienta para ello en la búsqueda del bien común de manera tal que los logros individuales de los agentes tengan repercusión en el sistema económico en general. La Economía Evolutiva por su parte, considera la economía como un sistema dinámico que se encuentra en constante evolución lo que implica que esta no tienda al equilibrio. A decir de Berumen y Palacios (2007), dado que los agentes económicos poseen racionalidad limitada, estos no buscan la maximización de sus beneficios sino llevar a cabo procesos de transformación y aprendizaje. Estas ideas han permitido que hoy en día esta vertiente económica se aplique a temas relacionados al medio ambiente, primero por considerar la necesidad de los cambios tecnológicos y las costumbres sociales para preservar los recursos. Segundo, señala que para darse los cambios necesarios en los actuales modelos de producción se han de dar procesos que concuerden con estados socioeconómicos justos y en los cuales el equilibrio tenga en cuenta la evolución de la naturaleza y sus recursos. Por último, la Economía tipo dona planteada por la economista Kate Raworth, parte de las ideas de economía circular y pone en evidencia los elementos que son esenciales en la vida cotidiana de los seres humanos además de destacar la importancia de la sustentabilidad del planeta. Según Raworth (2017), el crecimiento de los países es medido

por los niveles de PIB lo cual acentúa las desigualdades existentes además de propiciar el colapso ecológico de una manera acelerada. Su modelo circular recoge todas las necesidades humanas que deben ser satisfechas, los modelos de producción que consideran las limitaciones del espacio natural y que permite alcanzar un desarrollo sostenible. De esta manera deja en evidencia los límites sociales y planetarios que se reflejan en las conductas sociales y ecológicas, y que son sustento del bienestar colectivo (Ferat 2021, 599).

Las posturas antes mencionadas en términos de cambio climático, modelos económicos y limitaciones existentes como resultado del agotamiento de los recursos naturales, indican que no es posible alcanzar niveles de desarrollo en los países del sur que se correspondan al nivel de desarrollo de los países del norte. Esto, ligado a la ausencia de proyectos de desarrollo sostenible concretos, hacen reflexionar sobre la adopción de modelos de decrecimiento sostenible propuestos.

1.3 Conclusiones parciales

Con el recorrido realizado a lo largo del capítulo se logró contrastar los enfoques de la economía ambiental y la economía ecológica. Por un lado, la economía ambiental carece de sustentos físicos para abordar los temas relacionados a la producción y la utilización de los recursos naturales, lo que hace que su abordaje sobre las externalidades negativas se realice esencialmente mediante intercambios monetarios. Por su parte, la economía ecológica al considerar los componentes físicos con sustento en la termodinámica, asegura la importancia de pensar el componente natural más allá de lo monetario. Para ello plantean la necesidad de reformulación de los modelos actuales de manera que no se produzcan externalidades ambientales negativas.

Bajo esta visión se considera al modelo planteado por la economía ecológica como la alternativa viable para reducir la brecha de la actual crisis de recursos y energía. Para ello se debe romper con la visión tradicional de las economías puramente de mercados y lograr la conexión entre la base física material de los procesos naturales y las nuevas propuestas de modelos de producción.

A partir de la discusión sobre crecimiento y desarrollo se logró una vinculación de los instrumentos de políticas para abordar el tema de las emisiones de GEI y cambio climático. La propuesta de crecimiento económico expone limitaciones endógenas, ya que esta se desarrolla en un medio natural finito regido por leyes naturales y procesos biogeoquímicos que no considera. Asimismo, sus aplicaciones no han logrado alcanzar el pleno bienestar de

las personas. Esta situación se repite en los postulados de la teoría del estado estacionario. En relación a la propuesta de decrecimiento sostenible, se plantea la necesidad de un cambio estructural que involucre esencialmente los modelos de producción y consumo, considerando, además, la satisfacción de las necesidades axiológicas, el bienestar y la realización de las personas.

Teniendo en cuenta estos argumentos se considera a la propuesta de decrecimiento sostenible como la alternativa para alcanzar los niveles de desarrollo deseados. Esto permitiría que las economías que aún no han alcanzado niveles plenos de bienestar puedan descarbonizar sus economías y sigan creciendo. Por su parte, las economías desarrolladas puedan identificar las actividades, desde el lado de la oferta, que son responsables de altos niveles de consumo de materia y energía. Dichas ideas son las que se corresponden y guiarán el presente estudio, en aras de dar respuesta al problema de investigación y objetivos planteados.

Capítulo 2. Panorama nacional y emisiones de GEI

Este capítulo busca realizar una revisión de las diferentes actuaciones que ha tenido el Ecuador para combatir la contaminación atmosférica, de manera particular lo que respecta a emisiones de GEI. Para ello, en la primera sección se analizan las actuaciones históricas relacionadas con acuerdos internacionales; seguido se aborda aquellas iniciativas de carácter nacional como acuerdos y convenios, que lo han ubicado al Ecuador como uno de los principales promotores en la región; el mismo análisis se desarrolla para otras iniciativas como fiscalidad ambiental, la iniciativa Yasuní-ITT o la incorporación de los temas ambientales en la gestión de los Gobiernos Autónomos Descentralizados. En la segunda sección, se realiza una caracterización de las emisiones de GEI, tratando de considerar la participación de estas emisiones dentro de los sectores económicos. Se evidencia que, a pesar de la serie de iniciativas impulsadas a nivel nacional e internacional, las variaciones de las emisiones no muestran cambios significativos. Finalmente, se analiza la iniciativa ecuatoriana recogida en la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional del Acuerdo de París con el fin de identificar su alcance.

2.1 Ecuador frente a las emisiones de GEI

Durante las últimas décadas del siglo XX se evidencia un patrón de crecimiento exponencial en la emisión de GEI. El CO₂ es uno de los principales, y ha evolucionado de 9,33 billones de toneladas en 1960 a 36,44 billones de toneladas en 2019 (GCP 2019). Estos gases son responsables directos del aumento de la temperatura media global, fenómeno conocido como: calentamiento global, cambio climático o efecto invernadero,

Este fenómeno causa alteraciones naturales graves como: precipitaciones intensas, inundaciones, sequías, aumento del nivel del mar, ocurrencia de desastres, propagación de enfermedades, olas de calor, alteraciones de ecosistemas y desaparición de especies (Useros Fernández 2013). Además, puede afectar al sistema económico, dado que se considera como una externalidad negativa para el proceso productivo, generando encarecimiento de bienes de consumo (Olabe y González 2008), baja en la productividad de alimentos (Lobell, Schlenker y Costa-Roberts 2011), o disminución de la productividad laboral por aumento de la temperatura (Parsons, y otros 2021). Su alcance también es social y puede desplazar poblaciones, contribuir al aumento de la pobreza, la falta de acceso al agua y los conflictos por explotación y posesión de recursos (Pardo Buendía 2007). Todo esto conduce a los límites físicos planetarios y al deterioro de las sociedades.

De acuerdo al sitio web *Global Carbon Atlas*, la República Popular China encabeza la lista con el 27,2% de las emisiones totales, en segundo lugar, encontramos a Estados Unidos con 14,6% del total de emisiones. Estos dos países producen la mayor cantidad de GEI en el mundo y, además, son considerados como los principales causantes del calentamiento global. En la lista, los siguen países como: India, Rusia, Japón y Alemania (GCP, 2019). Todas estas economías presentan un patrón de producción industrial, lo que justifica los altos índices de emisiones.

En el caso de América Latina y el Caribe las emisiones son inferiores. México encabeza la lista con 1,4% del total de emisiones (GCP, 2019), siendo el único país en la región con un patrón de producción industrial. En segundo lugar, encontramos a Chile, seguido de los países que conforman el Mercado Común del Sur¹ (MERCOSUR), a continuación, están los países de la Comunidad Andina de Naciones² (CAN) y, finalmente, los países que forman parte de Centroamérica y el Caribe³ (Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente 2016). Ecuador mantiene un nivel reducido de emisiones. Se ubica en el puesto 64 a nivel global y, representa el 0,1% de las emisiones globales (GCP, 2019). Este valor es marginal respecto a los dos mayores contaminantes que son la República Popular China y Estados Unidos. A pesar de no tener compromisos obligatorios de reducción de emisiones de GEI, desarrolló un importante número de acciones voluntarias de mitigación (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2017). Además, suscribió algunos acuerdos internacionales como se evidencia a continuación.

2.2 Mitigación de GEI en Ecuador

La mitigación de GEI en el Ecuador se ha desarrollado a partir de diferentes mecanismos como: suscripción de convenios internacionales, formulación de instrumentos de política nacional y otros proyectos e iniciativas ambientales.

2.2.1 Instrumentos internacionales

En las últimas décadas, los gobiernos han buscado alternativas para mitigar las causas y efectos del deterioro ambiental. Una estrategia ha sido la inclusión en cuerpos legales de fundamentos que permiten el combate de esta problemática. A decir de Montes Fuentes (2018):

¹ Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay, Venezuela

² Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú

³ Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Bahamas, Cuba, Haití, Jamaica, República Dominicana y Puerto Rico

las conferencias internacionales ambientales promovidas por las Naciones Unidas ... han impulsado la consolidación de los principios rectores y estructurantes del derecho ambiental, como el de prevención, precaución, el contaminador pagador, el de responsabilidades comunes pero diferenciadas, el de justicia intra e intergeneracional y el de acceso a la participación, información y justicia, entre otros (Montes Fuentes 2018, 8).

Ecuador ha participado activamente en los eventos internacionales ambientales, promoviendo esfuerzos a nivel regional y destacando la necesidad urgente de modificar los patrones de producción y consumo. Igualmente, ha buscado estrategias pertinentes para hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, así como para la creación de conciencia sobre la utilización de los recursos de una manera sostenible.

A partir de los años setenta, Ecuador formaliza las primeras iniciativas para combatir los efectos de las emisiones de GEI. Lo hace al igual del resto de países de la región, alineándose a la corriente impulsada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (Primera Cumbre para la Tierra) desarrollada en Estocolmo (1972). La discusión se desarrolló alrededor de los temas medioambientales y de manera particular, en aquellos relacionados a la degradación ambiental y la denominada *contaminación transfronteriza*. Esta última es la afectación al medio ambiente, salud y bienes a causa de la liberación en la atmosfera de sustancias sin considerar el origen de la contaminación.

La conferencia permitió que las diferentes naciones tomaran acciones encaminadas a la prevención y control de la contaminación ambiental. El resultado para Ecuador fue la promulgación de la Ley para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental⁴ (Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente 1984).

Años más tarde, en 1983, en el marco de la Asamblea General de las Naciones Unidas se crea la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, misma que en el año 1987 presentó su informe denominado *Nuestro futuro común* (conocido como Informe Brundtland). El mensaje principal del informe fue la imposibilidad de un crecimiento económico sostenido sin un medio ambiente sostenible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 1988). A efectos de este informe en 1986 se realizó el Primer Congreso Ecuatoriano del Medio Ambiente, que permitió la creación del Comité Ecuatoriano para la

⁴ Inscrita con registro oficial en junio de 1976

Defensa de la Naturaleza y el Medio Ambiente, focalizado el trabajo de los Organismos no Gubernamentales de corte ambiental.

Desde abril de 1990, Ecuador forma parte del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (Comisión Económica para América Latina y el Caribe s.f.b), cuyo objetivo fue establecer acciones de cooperación entre las partes integrantes para combatir el impacto de las actividades antrópicas. Como resultado se incluyeron en cuerpos legales o administrativos un conjunto de medidas para combatir la problemática.

Otra iniciativa similar fue el Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.⁵ Sus objetivos fueron, por un lado, limitar la producción y consumo de elementos que destruyen la capa de ozono, y por otro, combatir al cambio climático (Comisión Económica para América Latina y el Caribe s.f.c). Como consecuencia Ecuador cuenta con un sistema de licencia automática de importación y exportación⁶ que permite identificar los productos nocivos.

Años más tarde, un hito importante respecto a la problemática de las emisiones de GEI fue la celebración de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de la que Ecuador es parte desde febrero de 1993. El objetivo buscado por esta fue:

la estabilización de los GEI a una medida en la que las actividades humanas no afecten al cambio del clima y permitir que el ecosistema se estabilice y se adapte de manera natural a los cambios ya establecidos, asegurándose de esta manera que la producción de alimentos, así como el desarrollo económico no se vean amenazados (Lascano 2018, 35).

Impulsado por la resolución de esta convención, Ecuador desarrolló el Plan Ambiental Ecuatoriano en 1995 que contiene las estrategias, políticas y proyectos para enfrentar esta problemática. Para su implementación era necesario fortalecer la institucionalidad, por lo que, en octubre de 1996, se crea el Ministerio del Ambiente, organismo rector de la política ambiental en el país. Adicionalmente, para lograr los objetivos del Plan Ambiental Ecuatoriano, se diseñó e implantó el Sistema Nacional de Información Ambiental (SNA).

⁵ Ecuador se adhirió mediante Decreto Ejecutivo No. 1429 de abril de 1990, tanto al convenio principal como a sus enmiendas de Londres (1990), Copenhague (1992), Montreal (1997), Beijing (1999) y Kigali (2017) (Corte Constitucional del Ecuador 2017)

⁶ resolución no. 023-2017 del pleno del Comité de Comercio Exterior

Adicionalmente, se desarrolló el marco jurídico para temas medioambientales, destaca el establecimiento del Capítulo 5, Sección segunda de la Constitución de la República del Ecuador de 1998. En este se exponen los principios fundamentales sobre medio ambiente y el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano, ecológicamente equilibrado y que garantice el desarrollo sustentable. Igualmente, el Art. 91 a favor de las cuestiones medioambientales y el principio de precaución que enuncia, “El Estado ... tomará medidas preventivas en caso de dudas sobre el impacto o las consecuencias ambientales negativas de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica de daño” (Constitución de la República del Ecuador 1998, artículo 91).

Como parte de esta misma convención se crea el Programa 21 para promover el desarrollo sostenible gracias al cual Ecuador, junto a otros países, formulan la Agenda 21. Entre las actividades contenidas en la agenda se encuentran: la preparación de la Ley del Medio Ambiente; usos de combustibles sin plomo y de bajo especificaciones; programas de utilización eficiente de energía; control de emisiones en medios de transporte públicos y de carga; rehabilitación y modernización de sistemas de producción de energía y uso de fuentes renovables y manejo eficiente de desechos en ciudades como Quito, Cuenca y Loja (Organización de las Naciones Unidas 1997).

También se levanta el Inventario Nacional de Emisiones Gaseosas que producen Efecto Invernadero (1998). En este se puede evidenciar que, “el dióxido de carbono (33 223 Gg) proviene principalmente de los sectores energético (55,9%) y cambio en el uso del suelo y silvicultura (40,7 %), los cuales representan casi el 97 % del total de emisiones.” (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2000).

En el año 1997 la CMNUCC plantea el Protocolo de Kioto, cuyo objetivo fue el compromiso entre las partes que integraban la convención para la reducción de sus emisiones en al menos un 5,2%. Este instrumento fue ratificado por el Ecuador en enero de 2000, aunque entró en vigencia a partir del año 2005 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe s.f.d). Como efecto de este compromiso, en el año 1993, Ecuador pone en marcha el denominado Proceso del Cambio Climático en Ecuador (PCCE), el que perseguía implementar una capacidad institucional, analizar los posibles impactos en áreas estratégicas del país, definir respuestas y el cumplimiento de compromisos internacionales. (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2000).

A pesar de no tener compromisos obligatorios de reducción de emisiones de GEI, de acuerdo a las *Partes No Incluidas en el Anexo I (PNAI)*, el país desarrolló un importante número de acciones nacionales voluntarias de mitigación. Entre estas iniciativas encontramos:

apoyo internacional para la ejecución de los proyectos: Ecuador Climate Change Country Study, Ecuador-Holanda sobre Cambio Climático en la Región Costanera, CC: TRAIN-ECUADOR, Limitación de las Emisiones de los Gases de Efecto Invernadero y el ECU/99/G31 Cambios Climáticos. En el ámbito de políticas con Decreto ejecutivo No. 1.101 de 1999 se crea el Comité Nacional sobre el Clima (CNC). (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2000). También se establecieron dos parámetros que son que las empresas tengan en cuenta al medio ambiente y generar la creación de mercados de carbono (Lascano 2018, 38).

Años más tarde se desarrolló la XV Conferencia sobre Cambio Climático de la CMNUCC celebrada en Copenhague (2009), se llevó a cabo la reunión de las partes que integran el Protocolo de Kioto. El objetivo principal de esta fue la definición de acuerdos sobre el segundo período de vigencia del protocolo. Sin embargo, estas reuniones fracasaron por una fuerte influencia de los países industrializados y, como efecto, se llegó a un acuerdo no vinculante con un compromiso de limitar el calentamiento global a 2 grados centígrados, sin mencionar de forma clara los mecanismos para alcanzar esta meta. Ecuador junto con otros países de la región firmaron un documento manifestando su desacuerdo y, adicionalmente, como parte del G77 planteó la necesidad de que las naciones más contaminantes transfieran recursos para el apoyo de proyectos de conservación en países en vías de desarrollo.

A partir de lo anterior, Ecuador estableció un marco jurídico nacional en la Constitución de la República del Ecuador de 2008. En sus Art. 71, Art. 72, Art. 73, Art 413. y Art. 414 establece los Derechos de la Naturaleza. Además, en el Plan Nacional de Buen Vivir (PNBV), en su el Objetivo 4, garantiza los derechos de la naturaleza y promueve un ambiente sano y sustentable.

En el año 2009, el Gobierno del Ecuador declaró la mitigación y la adaptación al cambio climático como Política de Estado. Así mismo, en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) de 2012 en su objetivo general busca: “Crear condiciones favorables para la adopción de medidas que reduzcan las emisiones de GEI, y aumentar los sumideros de carbono en los sectores estratégicos” (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2016c).

Finalmente encontramos al Acuerdo de París dentro del marco de la CMNUCC, el cual fue suscrito por Ecuador en noviembre de 2017, sin embargo, rige a partir de enero de 2020. Está

enfocado a la reducción de emisiones de GEI y busca: “mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C, aumentando la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promoviendo la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de carbono” (Comisión Económica para América Latina y el Caribe s.f.a). Para conseguir su objetivo plantea mecanismos como la mitigación, la adaptación y el fortalecimiento de ecosistemas (Lascano 2018).

Como hemos visto hasta aquí, Ecuador ha participado en numerosos acuerdos internacionales que han servido para poner de manifiesto sus necesidades como nación, con el fin de frenar el deterioro medioambiental. Esto le han permitido diseñar estrategias y acciones para enfrentar el cambio climático, sin embargo, estas no necesariamente se han articulado a otros niveles de gobierno para garantizar su establecimiento en territorio (Lechón Sánchez 2020).

2.2.2 Instrumentos nacionales de mitigación

Las acciones llevadas a cabo por el Ecuador han estado orientadas a la exploración de alternativas de desarrollo teniendo en cuenta la conservación del medio ambiente y el bienestar de sus habitantes. Por ello, el país ha trazado una serie de normativas por las que se rigen sus acciones, las cuales se encuentra recogidas en la Constitución de la República, en el Código Orgánico del Ambiente (COA), en Políticas de Estado, Acuerdos Ministeriales, entre otros procedimientos legales.

Partiendo de lo establecido por la Constitución de la República, a decir de Moreira (2020): “diversos artículos se enfocan en la protección y el cuidado del medio ambiente, se incluye derechos a la naturaleza y derechos a la participación de las comunidades... (Art 57). Se cuenta con progresos en el ámbito de las políticas públicas, enfatizando en marcos normativos que tratan acerca del cambio climático” (Moreira 2020, 70).

Como consecuencia, el Estado ecuatoriano ha puesto en práctica iniciativas en defensa del medio ambiente. Uno de los ejemplos más notables resulta el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV). Dicho Plan, busca promover la mitigación del cambio climático a través de prácticas de economía diversificada con la inclusión de todos los actores del país. Se encuentra orientado a estimular una sociedad de bio-conocimiento con industrias propias bajo una visión de soberanía alimentaria y energética, “donde sus principales ejes radican en el cambio de la matriz productiva y la diversificación de la matriz energética” (Lascano 2018, 30). Igualmente, valora “el impacto del cambio climático sobre los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas; incorpora el cambio climático como variable a considerar en

los proyectos y en la evaluación de impactos ambientales, considerando las oportunidades que ofrecen los nuevos esquemas de mitigación” (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2012, 14). Esta visión del PNBV se encuentra igualmente respaldado en la Constitución mediante el Artículo 414, el cual, “busca la adopción de medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático mediante la limitación tanto de las emisiones de GEI, como de la deforestación y la contaminación atmosférica; adoptando además medidas para la conservación de los bosques y la vegetación; y para la protección de la población en riesgo” (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2012, 11)

Otra de las acciones llevadas a cabo fue la promulgación del COA.⁷ Este se centra en cuestiones específicas del cambio climático. Plantea los instrumentos de regulación, las normativas y las formas de gestión para con ello, mitigar los efectos del cambio climático. Promueve la participación ciudadana, la educación ambiental, así como políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. “Tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza. De este modo, se regulan los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la Constitución, (...), los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente” (Comisión Económica para América Latina y el Caribe s.f.c).

Esta ley para su ejecución, como lo menciona Montes Fuentes (2018), toma en cuenta además de los principios planteados en el PNBV, los siguientes acuerdos ministeriales:

1. Mecanismo para otorgar el Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental "Carbono Neutral"⁸
2. Lineamientos generales para la elaboración de Planes, Programas y Estrategias de Cambio Climático de Gobiernos Autónomos Descentralizados⁹

Junto a esta ley podemos mencionar también, como parte de los instrumentos nacionales empleados, la Política para la “Adaptación y Mitigación al Cambio Climático”, puesta en vigor en julio de 2009 y la "Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012-2025" (ENCC), de junio de 2010. La Estrategia Nacional de Cambio Climático actúa como “elemento integrador de los distintos sectores, que oriente la acción concertada, ordenada, planificada y concurrente, y que promueva la internalización del tema en instancias públicas y privadas en

⁷ Registro Oficial Suplemento 983 del 12 de abril de 2017 y vigente desde abril de 2018

⁸ Registro Oficial N.º 349 del 7 de octubre de 2014

⁹ Acuerdo Ministerial 137, Registro Oficial 287 de 11 de julio de 2014

todo el país, considerando el marco político, normativo e institucional existente” (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2012, 9).

La estrategia, busca promover la participación para facilitar la preparación de investigaciones, estudios y acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático en los proyectos de inversión pública. Incentiva la creación de equipos de trabajo multidisciplinarios que aprueben la puesta en marcha de acciones de carácter objetivo, teniendo en cuenta las crecientes necesidades climáticas. Permite, de igual manera, reconocer los sectores prioritarios que deben ser adaptados a las nuevas condiciones medioambientales entre los que se encuentran la agricultura, ganadería y soberanía alimentaria; pesca y acuicultura; salud; recursos hídricos; ecosistemas naturales; grupos humanos vulnerables; turismo; infraestructura; y asentamientos humanos. A partir de esta exploración, diseña políticas y agendas sectoriales con el fin de salvaguardar los principios planteados en el PNBV y la Constitución vigente. Para lo anterior tiene en cuenta tres criterios: “los sectores que generan las mayores emisiones en el país, la importancia relativa del sector en la economía del país; y los futuros compromisos que el país tendrá que cumplir con la finalidad de generar bianualmente un reporte de emisiones de gases contaminantes” (Moreira 2020, 73).

Otro de los instrumentos vigentes es la llamada Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional para el Acuerdo de París (NDC), aprobada en marzo de 2019. De acuerdo a lo planteado en Artículo 4, párrafo 2 del Acuerdo de París (2015) “cada parte deberá preparar, comunicar y mantener las sucesivas NDC que tenga previsto efectuar (...) procurarán adoptar medidas de mitigación internas, con el fin de alcanzar los objetivos de esas contribuciones” (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2015, artículo 4).

De igual forma en el párrafo 3 manifiesta que “representará una progresión con respecto a la contribución determinada a nivel nacional que esté vigente para esa Parte y reflejará la mayor ambición posible de dicha Parte, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus capacidades respectivas, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales” (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2015, artículo 4).

El objetivo general de la NDC para el Ecuador es implementar políticas, acciones y esfuerzos que promuevan la reducción de gases de efecto invernadero y el aumento de la resiliencia y disminución de la vulnerabilidad a los efectos adversos del cambio climático en los sectores priorizados en la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Estas acciones y esfuerzos se

verán guiados por las líneas estratégicas y medidas identificadas (Gobierno de la República del Ecuador 2019, 12).

Entre sus líneas de acción propone la creación de escenarios de evaluación con el apoyo de los diferentes organismos nacionales e internacionales para la búsqueda de medidas concretas de mitigación y reducción de emisiones de GEI. La NDC tiene como ejes la intersectorialidad, la participación y el enfoque de género en relación con los principios planteados en la ENCC.

De esta forma en el 2019 el Ecuador¹⁰ declaró como política de Estado la implementación de la NDC. Esta fue incorporada a los procesos de planificación de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) por ser el organismo rector de las políticas de ordenamiento territorial y por su rol de liderazgo en los procesos de actualización de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de los diferentes niveles de gobierno descentralizados.

La NDC del Ecuador contiene dos escenarios para su implementación, por un lado, el denominado incondicional, este hace referencia “a las medidas y acciones que el país puede implementar en función de sus propios recursos y dentro de sus propias capacidades”, y por otro lado, el escenario condicional, que son aquellas medidas o acciones que “ el país está dispuesto a emprender si se dispone de medios de apoyo desde la cooperación internacional y otras fuentes de financiamiento” (Gobierno de la República del Ecuador 2019, 7).

El organismo a cargo de la definición de las políticas y de su formulación es el Comité Interinstitucional de Cambio Climático.¹¹ Este organismo conformó mesas técnicas integradas por sectores públicos, privados, académicos, investigadores, gremiales según corresponda. En el caso de los gobiernos provinciales y municipales estos no participaron directamente, sino que lo hicieron a través de la academia (Gobierno de la República del Ecuador 2019, 10).

De acuerdo al análisis realizado por Lechón Sánchez (2020, 72) la participación de los GADs fue limitada y sesgada. En el caso de los GADs participantes, estos desconocían sobre la NDC. Y en lo que respecta a los procesos de validación del instrumento, los actores considerados para la construcción no fueron considerados.

Por otro lado, el diseño de este instrumento se logra sobre un análisis agregado por sectores de intervención entre los que encontramos: energía; agricultura; procesos industriales;

¹⁰ Decreto Ejecutivo Nro. 840 de 06 de agosto de 2019

¹¹ Decreto Ejecutivo Nro. 495 en 2010 y reformado en 2017 mediante el Decreto Ejecutivo 064

residuos y uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS). Y se implementa bajo la formulación de 34 líneas de acción y 21 iniciativas, que entran en vigencia a partir del 01 de enero de 2020 y finalizan el 31 de diciembre de 2024.

Como vemos la estructura del instrumento considera las competencias de intervención directa de los gobiernos provinciales y municipales (manejo de residuos y USCUSS), sin embargo, estos niveles de gobierno no fueron considerados en la formulación, validación y se puede cuestionar seriamente sobre la implementación de las políticas debido a restricciones de orden financiero, técnicas y capacidades que poseen.

Aún existen barreras y vacíos que impiden el éxito de las políticas nacionales de combate del deterioro del medio ambiente entre las que podemos encontrar: falta de políticas que integren la adaptación y mitigación del cambio climático a la hora de realizar planificaciones y proyecciones futuras para el desarrollo, falta de capacidades técnicas para los análisis de riesgo, y ausencia de coordinación por parte de las instituciones ministeriales y los GADs.

Las cuestiones antes mencionadas, sumadas a otras relacionadas a temas económicos y/o fiscales, han derivado en la implementación de otras iniciativas medioambientales, tal como veremos a continuación.

2.2.3 Otras iniciativas

Ecuador, como parte de sus iniciativas adicionales a favor del medio ambiente, desarrolla lo que se conoce como fiscalidad ambiental o ecológica. Esta puede definirse como “la utilización del sistema fiscal como medio para incentivar cambios de comportamiento que se consideran positivos desde el punto de vista ambiental” (Céleri 2018, 13). Por ello en la Constitución de la República vigente, en el Artículo 300, se encuentran reconocidos los derechos de la naturaleza y las cuestiones referidas a esta en materia tributaria. Para ello se reconocen por parte del Estado medidas de control mediante el uso de regulaciones legales como las prohibiciones, licencias para el funcionamiento de determinadas actividades y especificaciones para la producción de algunos bienes y servicios. Igualmente se emplean mecanismos de mercado o instrumentos económicos, “denominados así porque buscan ‘corregir’ los precios de bienes y servicios para que incorporen el costo social, además del privado, incurrido en su producción o consumo” (Céleri 2018, 22).

Es así que en Ecuador encontramos vigentes dos impuestos cuyo fin es contribuir a la protección de la naturaleza: a) Impuesto ambiental a la contaminación vehicular, esto como una forma de gravar proporcionalmente y de acuerdo a las características físicas del vehículo

por la contaminación que produce, adquisición de autos híbridos o eléctricos. y b) Impuesto redimible a las botellas plásticas no retornables, que tiene como fin evitar la contaminación con plásticos al medioambiente, pero también incentivar el reciclaje como una práctica de cuidado de la naturaleza (Célleri 2018, 14).

Como resultado de la aplicación del impuesto a la contaminación vehicular, el Gobierno ha logrado recaudar millones de dólares por parte del Servicio de Rentas Internas (SRI). También desde su implementación se ha logrado una reducción en la compra de vehículos de mayor cilindraje, características que favorecen a disminuir la contaminación medioambiental. En relación a los impuestos a las botellas plásticas se han visto resultados como la reducción del número de botellas producidas gracias a los procesos de reciclaje, la reducción de la degradación ambiental y sobre todo la concientización, por parte, de los ciudadanos en los procesos de reutilización de artículos.

Otra de las iniciativas la constituye las Emisiones Netas Evitadas (ENE), presentada por Ecuador en el año 2010. Dicha propuesta “representaba una oportunidad para que los países en desarrollo puedan recibir beneficios económicos, transferencia de tecnología y construcción de capacidades por evitar la emisión de GEI” (Moreira 2020, 79). Propone un proceso con el cual, como menciona Ortega (2012), los GEI que pudieron ser producidos en dependencia de las capacidades productivas actuales de los países en desarrollo, no son emitidas. De esta manera se crea un mecanismo cuyo objetivo es “conseguir una reducción neta de emisiones y evitar nuevas emisiones a la atmósfera” (Moreira 2020, 79). Esto significa para el país, no explotar los recursos naturales para no afectar los ecosistemas y evitar la producción de carbono. El valor económico de dichas ENE se encuentra “asociado al servicio de no-emitir emisiones y que es equivalente al precio total de las toneladas de carbono no emitidas, con el componente adicional de protección de la biodiversidad” (Ortega 2012, 5).

Como ejemplo de estas ENE está el caso de la Iniciativa Yasuní – ITT, propuesta por Ecuador en el período 2007- 2013. Esta diseña “un mecanismo innovador para proteger la región del Yasuní localizada en la Amazonía ecuatoriana con un área aproximada de 17 570 km², que comprende el Parque Nacional Yasuní y el territorio Huaorani” (Moreira 2020, 80).

Según Larrea (2007), abre un nuevo mecanismo para evitar emisiones de GEI, manteniendo de forma indefinida las reservas de combustibles fósiles en áreas ambientales frágiles inexploradas. Bajo las ideas de esta iniciativa se proponía la no explotación de los recursos

petroleros en una parte de esta región a cambio de una compensación financiera de la comunidad internacional, la cual equivaldría al “50% del valor de las reservas de petróleo en esa zona que representaría unos 846 millones de barriles de petróleo, (...) e invertir lo recaudado en la creación de energías alternativas respetuosas con el medio ambiente y en políticas sociales” (Moreira 2020, 81). De ahí que su objetivo principal constituía la lucha contra el cambio climático y a la vez, comenzar un programa de cambio de la matriz productiva del país y de la matriz energética.

Este tipo de iniciativas no han sido consistentes con sus objetivos. En el caso de los impuestos se promueve la recaudación fiscal y no los cambios de conducta de las personas que logren una disminución sostenida en el tiempo. Así mismo, en el caso de los fondos recaudados, estos no son reinvertidos en proyectos que promuevan hábitos de consumo y producción sostenibles. En el caso de los proyectos de emisiones netas evitadas, uno de sus referentes internacionales, el Yasuní-ITT no pudo ser implementado por falta de interés de la comunidad internacional.

En lo que respecta a políticas regionales y locales, se han delegado las funciones del cuidado del medio ambiente desde el gobierno central a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), revisemos lo que para el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012) representan:

[son] niveles de gestión regional, provincial, cantonal y parroquial, [que] tienen competencias, deberes y niveles de participación delimitadas que cumplir para organizar su gestión. (...) En este sentido, es necesario enfatizar el rol protagónico que deben jugar los GADs en la implementación de las políticas, medidas y acciones sobre cambio climático en el país (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2012, 19).

De esta forma, a partir de esta delegación, según Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012), entre algunas de las acciones llevadas a cabo por estos niveles de gobierno encontramos: la incorporación de variables de cambio climático en los Planes de Ordenamiento Territorial, la elaboración de políticas de gestión de riesgos, la planificación sostenible de los asentamientos poblacionales, el manejo eficiente de los derechos sólidos y el impulso de las energías renovables.

Según el análisis de la Gobernanza climática en Ecuador para los gobiernos provinciales de Lechon Sanchez (2020), tres Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales (GADP) de 23 han desarrollado estrategias provinciales de cambio climático (Azuay, Guayas y Pichincha) y un GADP ha elaborado un Estudio de vulnerabilidad (Cotopaxi). El resto de

provincias cuentan con Planes de Cambio Climático. Sin embargo, “hasta el momento no se cuenta con información relacionada a los niveles de implementación y cumplimiento de estos planes y estrategias” (Lechón Sánchez 2020, 44) peor aún del registro de un levantamiento de inventarios de reducción.

De acuerdo a lo planteado por este mismo autor, las iniciativas de los niveles provinciales y parroquiales para enfrentar el cambio climático únicamente se centran en medidas de adaptación, dadas por las competencias específicas que poseen. Mientras que los gobiernos municipales se centran en actividades de mitigación por sus competencias como el transporte, manejo de residuos, producción y modos de consumo.

Sin embargo, las limitaciones de orden financiero, tecnológico y técnico limitan considerablemente la implementación de todas estas iniciativas. En relación a la inversión para el financiamiento de proyectos de gestión ambiental en 2019, 17 GAD Provinciales destinaron alrededor de 9 millones de dólares en 108 proyectos de gestión ambiental.

En Ecuador y la región aún no se ha logrado definir políticas que logren mitigar las emisiones de GEI. Se han desarrollado con éxito iniciativas de adaptación y disminución de la vulnerabilidad de los efectos del cambio climático, mas no se no han logrado resultados efectivos en mitigación. El país ha desarrollado esfuerzos tanto nacionales como internacionales que han buscado un uso eficiente de los materiales y la energía, así como la consecuente reducción de residuos y emisiones. Sin embargo, a pesar de la aplicación de cada uno de estos mecanismos, el panorama no es alentador.

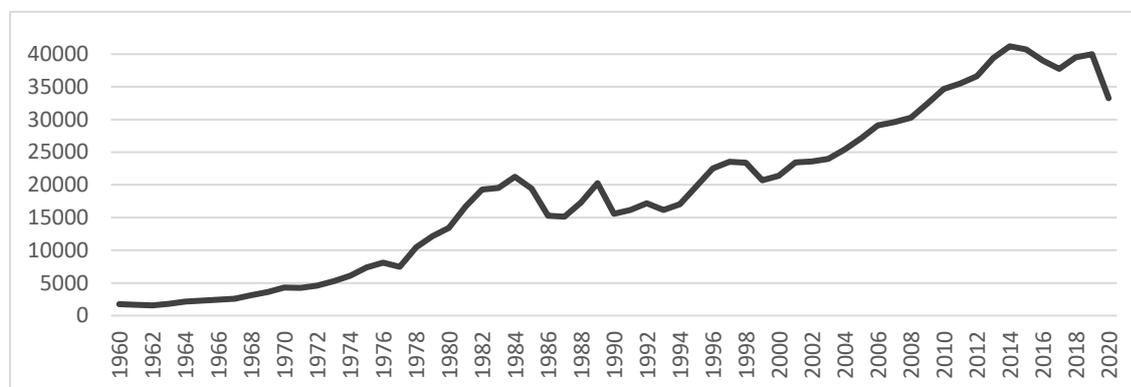
De acuerdo a datos del Banco Mundial, los registros de emisiones de CO₂ para Ecuador, tal como lo indica la Figura 2.1., presentan un patrón de crecimiento continuo y acelerado (Banco Mundial 2021). Esta situación es aún más grave ya que se presenta un comportamiento similar para todos los países de la región.

Es necesario aclarar que, a partir del 2020, la situación es atípica debido a las medidas de aislamiento por la ocurrencia de la pandemia por SARS-CoV-2 (COVID-19), mas no por la aplicación de otros mecanismos de mitigación.

Partiendo de las cifras antes vistas, así como cada una de las iniciativas llevadas a cabo, se puede concluir que estas no han sido suficientes o apropiadas para reducir la emisión de GEI en el país. Se pudieran relacionar a este comportamiento las necesidades a nivel nacional que

de una forma u otra limitan la buena implementación de las iniciativas, así como la óptima ejecución de estas una vez puestas en marcha.

Figura 2.1. Serie histórica de emisiones de CO₂ (kt), Ecuador.



Elaborado por el autor con base en Banco Mundial (2021) y Datosmacro (2021)

Entre estas necesidades están aquellas relacionadas a los temas de planificación y diseño de políticas por la falta de información climática o por dificultad para el acceso a dicha información. Además, otras como la falta de capacitación para los análisis de riesgo y la falta de coordinación entre diferentes niveles de gobierno. A estas se le suman limitaciones de términos financieros y tecnológicos.

En cuanto a los instrumentos internacionales que ha firmado el Ecuador, estos le han permitido diseñar estrategias y acciones para enfrentar el cambio climático sin embargo estos no se han logrado articular a los niveles provinciales y locales de gobierno.

Otra de las grandes limitaciones se encuentra también en la debilidad institucional, ya que, a pesar de que existen instrumentos de política fiscal y ambiental, estos no han sido debidamente ejecutados para lograr los objetivos de mitigación planteados. Para Lechón Sánchez (2020) la gobernanza climática en Ecuador solo se maneja discursivamente y no es conocida por los gobiernos regionales o locales.

Igualmente, para poder llevar a cabo estas estrategias, se hace indispensable un cambio del modelo de desarrollo, que actualmente presenta elevados niveles de explotación de insumos naturales acompañados de un alto e indiscriminado consumo de energía. Para ello, es preciso identificar aquellas áreas en las cuales es conveniente aplicar políticas de mitigación, para luego poder establecer un plan que favorezca el uso adecuado de los mecanismos con que cuenta el país.

2.3 Mitigación de GEI y la NDC

La contaminación atmosférica es producto de la liberación de partículas o gases que alteran su composición y crean riesgo. En el caso del material particulado, Ecuador no mantiene registros nacionales que sean continuos o precisos sobre este tipo de contaminación. De acuerdo a los datos de la Organización Mundial de la Salud (2016) respecto a contaminación por material particulado (PM_{2.5}), Santo Domingo es la ciudad con mayor contaminación por PM_{2.5} con valores de 33ug/m³; seguida de Milagro con 32ug/m³ y Quito con 18ug/m³. Estas tres ciudades rebasan el límite establecido por la OMS de 15ug/m³ de PM_{2.5}. Ciudades como Latacunga, Manta, Portoviejo, Ambato, Cuenca e Ibarra se encuentran debajo de este umbral con valores entre 14 y 9 ug/m³ de PM_{2.5} (Organización Mundial de la Salud 2016).

Este tipo de contaminación afecta directamente la salud de las personas que habitan estos territorios, constituyendo una de las principales causas de enfermedad y muerte. En el caso de Santo Domingo, a decir de los empleados del GAD Municipal, el parque automotor sería uno de los principales causantes de esta situación dado que no ha sido renovado (Notimundo 2016). En el caso de Milagro responde a la presencia de industrias dentro y fuera del área urbana. En el caso de Quito se acusa a la utilización de combustibles de baja calidad, sumado a la rápida expansión urbana que incrementa el desarrollo del parque automotor y el desarrollo industrial.

Por otro lado, en cuanto a emisión de gases hacia la atmosfera, el Ecuador desde 1994 como signatario de la CMNUCC, reporta periódicamente tanto *comunicaciones nacionales* como *informes bienales de actualización*, donde los denominados Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) resultan un insumo básico. El Ecuador ha levantado inventarios para 1990, 1994, 2000, 2006, 2010 y 2012. A partir del 2010 implementó el Sistema de Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero (SINGEI), con el fin de generar y sistematizar la información. Estos instrumentos, para su análisis, están estructurados por sectores y son: energía, agricultura, residuos, procesos industriales y USCUS.

En el caso del 2010, de acuerdo a lo indicado en el INGEI correspondiente, tenemos los siguientes datos:

emisiones totales (...) 80.504,23 Gg de CO₂ eq, siendo el sector Energía el que se ubica en primer lugar con 35.812,52 Gg de CO₂ eq, que representa un 44,49% de las emisiones (...) [e]n segundo lugar, se encuentra el Sector USCUS con 24.171,11 Gg de CO₂ eq que supone el 30,02% (...) el sector Agricultura es el tercer emisor con 14.515,94 Gg de CO₂ eq alcanzando el 18,03%, el sector Residuos reporta 3.345,41 Gg de CO₂ eq que representa el

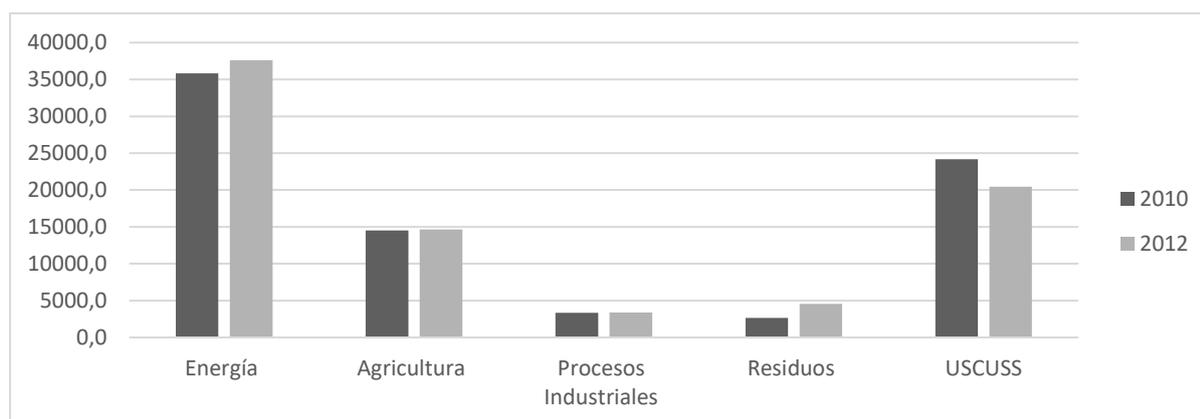
4,16%, mientras que el sector Procesos Industriales registra 2.659,25 Gg de CO₂ eq que representa el 3,30% (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2016b, 12).

En el caso del 2012, de acuerdo a lo indicado en el INGEI correspondiente, tenemos los siguientes datos:

emisiones totales (...) 80.627,16 Gg de CO₂ eq, de los cuales el sector Energía genera el mayor aporte con el 46,63% (...), seguido del sector USCUS con el 25,35% (...). El tercer lugar lo ocupa el sector Agricultura con el 18,17% (...). Los sectores Procesos industriales y Residuos (...) registra[n] el 5,67% y 4,19%, en cada caso (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2016a, 10).

En principio se puede apreciar que las emisiones totales netas se incrementaron de 2010 a 2012 en 122,93 Gg de CO₂ eq. Mientras que, en lo que tiene que ver al análisis sectorial, se aprecia un crecimiento para los sectores energía y residuos, mientras que el sector USCUS presenta una reducción, tal como se aprecia en la Figura 2.2. respectivamente.

Figura 2.2. Emisiones totales netas de Gg de CO₂ eq, Ecuador 2010-2012

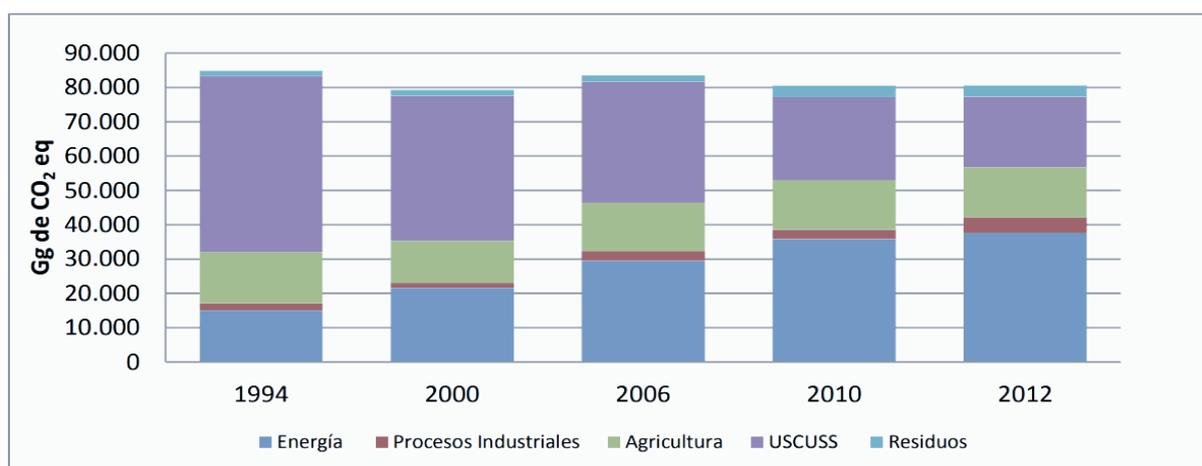


Fuente: Ministerio del Ambiente de Ecuador (2016b)

Este análisis puede brindar información más completa mediante el uso de una serie histórica más amplia, sin embargo, hasta la fecha del levantamiento de información de esta investigación, el Ecuador no reporta datos de INGEI para el 2014 o 2016, que son los insumos necesarios para el desarrollo del *segundo informe bienal de actualización*. Por ello, para el presente trabajo, realizaremos una revisión de la evolución hacia atrás del comportamiento de las emisiones de GEI por sectores desde el año 1992 hasta 2012, tal como se muestra en la Figura 2.3.

Las variaciones intertemporales de las emisiones totales netas no son tan significativas respecto a las variaciones dentro de cada sector. Estas corresponden en promedio a reducciones de 1,16% entre cada periodo.

Figura 2.3. Emisiones de GEI en Ecuador incluyendo USCUS, serie 1994 – 2012



Fuente: Ministerio del Ambiente de Ecuador (2016b).

Sin embargo, es notable la evolución intertemporal dentro de los sectores USCUS y Energía. El caso del USCUS representa una disminución hasta 2012 del 60,18% respecto a 1994, la cual se debe al incremento de las absorciones y la reducción de emisiones brutas en la categoría de Tierras agrícolas.

En el caso del sector energía, se nota una tendencia de crecimiento con un incremento hasta el 2012 del 150,71% respecto a 1994. Este incremento responde principalmente a la quema de combustibles fósiles en manos de subsectores como el transporte, generación de electricidad, refinación de petróleo, entre otros (Ministerio del Ambiente de Ecuador 2016a). El resto de sectores presenta variaciones no tan significativas en relación a los dos sectores analizados.

Dado que el sector energía preocupa por la marcada tendencia de crecimiento, miremos que es lo que está sucediendo al interno de este sector. Para esto revisaremos la información contenida en el *Balance energético nacional* (2019), que indica que “las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) han presentado una tendencia creciente debido al incremento en la demanda de energía en los últimos 10 años. En este sentido, durante el período comprendido entre 2009 y 2019 se incrementó de 32 743 kton CO₂ a un valor de 39 058 kton CO₂, lo cual representa un incremento de 19,3%” (Instituto de Investigación Geológico y Energético 2019, 44). Como vemos la tendencia analizada desde 1994 hasta la actualidad se mantiene creciente. Esto se puede apreciar en la Tabla 2.1.

Si revisamos los valores a partir del año 2014, notamos que estos han empezado a disminuir progresivamente, a decir del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2021) esto respondería a que “el factor de emisión de CO₂ anual de la operación y

funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado (SNI) ha presentado una disminución del 42%” (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables 2021). Esta disminución se da por el uso de tecnologías amigables en la generación eléctrica a través del desarrollo hidroeléctrico.

Tabla 2.1. Serie histórica de emisión de GEI, Ecuador 2009-2019

Contaminante	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂	32 417	34 712	35 352	36 727	39 150	41 039	40 182	38 713	37 867	39 381	38 670
N ₂ O	91	99	102	104	110	119	118	116	116	118	117
CH ₄	235	251	258	259	263	272	269	270	271	272	271
Total	32 743	35 061	35 712	37 091	39 523	41 429	40 570	39 099	38 254	39 770	39 058

Fuente: Instituto de Investigación Geológico y Energético (2019, 154)

A pesar de las disminuciones presentadas en los últimos años, aún se mantienen niveles altos comparados con la serie de 1994. Por lo que es necesario analizar otros subsectores como el transporte. Este subsector, por su alta demanda de combustibles fósiles, representa el 50,1% de las emisiones totales del sector. La fuente que generó mayor cantidad de emisiones en el transporte es el diésel con 37%, que se relaciona directamente con las actividades de transporte de carga y pasajeros. Lo sigue la gasolina con el 29,3% (Instituto de Investigación Geológico y Energético 2019). Lo anterior indica entonces, que para lograr reducciones significativas en este sector es necesario desarrollar esfuerzos que apunten al tratamiento del mismo. En el país se ha desarrollado la *política nacional de movilidad urbana sostenible*, a parte de la implantación de proyectos como el tranvía de Cuenca y el Metro de Quito que buscan reducir las emisiones en este sector.

En algunos trabajos de investigación se han logrado identificar los sectores y actividades económicas claves en la generación de emisiones de CO₂ del Ecuador. Por ejemplo, Buenaño (2014), indica los sectores: transporte, electricidad, derivados del petróleo, la construcción, las telecomunicaciones y los servicios administrativos gubernamentales. Por su parte, Vallejo (2021, 247-248), identifica al transporte, la construcción, los productos refinados de petróleo, la generación y captación eléctrica, y actividades inmobiliarias como los sectores claves.

Es importante en este punto verificar si los sectores de intervención que plantea la NDC coinciden con los sectores claves y los de mayor emisión de gases de efecto invernadero antes identificados. Por lo que a continuación la Tabla 2.2. resume los indicadores planteados en la NDC.

Tabla 2.2. Potencial de reducción en el sector energía de la NDC 2020-2025

Sector	Escenario	Categoría Energética	Potencial de reducción
Energía	Incondicional	Generación eléctrica	6 053,3
		Derivados de petróleo	420,0
		Biogás	1,7
		Transporte (pasajeros)	85,0
	Condicional	Electricidad	2 300,0
		Derivados de petróleo	1 300,0
		Generación eléctrica	2 700,0
		Transporte (carga)	1 000,0
		Transporte (pasajeros)	740,0
		Petróleo	500,0

Fuente: Ministerio de Agua y Ambiente del Ecuador (2021).

En el escenario incondicional (recursos propios) el mayor potencial de reducción se plantea para los proyectos de generación eléctrica con 6 053,3 Gg de CO₂ eq, seguido de Gases de hidrocarburos con 420 Gg de CO₂ eq y transporte de pasajeros con 85 Gg de CO₂ Eq. Si bien en este escenario existe coincidencia con los sectores antes identificados, existe una mayor concentración de esfuerzos hacia la generación eléctrica, descuidando al sector que genera mayores emisiones que es el Transporte.

En el caso del escenario condicional (con cooperación internacional) se aumentan esfuerzos para los sectores electricidad, petróleo y derivados de petróleo, generación eléctrica y transporte tanto de carga como de pasajeros. Sin embargo, al igual que en el escenario incondicional, se descuida al sector transporte que es el mayor generador de emisiones.

De acuerdo a este análisis se puede concluir que la NDC enfoca sus esfuerzos en sectores claves de emisión de gases de efectos de invernadero. Sin embargo, deberían focalizar sus políticas en mayor medida en sectores como el transporte y el sector electricidad, al mismo tiempo que mantiene sus labores para la transformación de su matriz energética con el desarrollo hidroeléctrico.

Dentro de este análisis sectorial, también es necesario evaluar qué es lo que sucedería por la posible aplicación de estas medidas de mitigación de GEI. Para esto revisemos lo que plantea el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Este organismo asegura que el Ecuador tiene una economía altamente vulnerable a la aplicación de políticas de mitigación y adaptación al

Cambio Climático. El país depende en un alto porcentaje del sector agro-exportador primario y las industrias manufactureras asociadas a este (Banco Interamericano de Desarrollo 2013). El sector transporte y eléctrico está altamente vinculado a estas industrias. Por lo que es importante considerar que los intereses de la política ambiental no pueden superponerse a los intereses de la política económica, sobre todo por la estructura económica del Ecuador.

El Banco Interamericano de Desarrollo (2013) en el marco de la preparación de la Estrategia 2012-2017 en Ecuador, también menciona que:

El Ecuador necesita reducir la vulnerabilidad de su economía al cambio climático, y al mismo tiempo, prepararlo para una senda baja en carbono que limite las futuras emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Las posibles sinergias entre las acciones de adaptación y las acciones de mitigación del cambio climático son importantes para sostener un desarrollo sostenible de la economía (Banco Interamericano de Desarrollo 2013).

Con el objetivo de evaluar las posibles implicaciones en el sistema económico ecuatoriano de la aplicación de las medidas de mitigación en el sector energético contenidas en la NDC, el capítulo siguiente busca, a partir del análisis de insumo producto y el análisis de la energía primaria incorporada, verificar estos efectos.

2.4 Conclusiones parciales

Ecuador no es una economía que genera altas emisiones de GEI, al contrario, sus emisiones son marginales frente a sus pares más contaminantes. A pesar de aquello Ecuador ha suscrito diversos compromisos internacionales, regionales y locales para reducir las emisiones, que se complementan con el desarrollo de políticas sectoriales y esfuerzos de diversa índole de carácter nacional que se han focalizado en el uso disminuido y eficiente de energía.

A pesar de los esfuerzos mencionados no se encontró en el análisis un cambio de tendencia que permita ver que el país disminuye sus emisiones de CO₂, y logre hacer frente a los efectos de la contaminación atmosférica sobre la crisis ambiental.

Se identifican problemas de gobernanza, gestión y administración de las políticas que no permiten su ejecución completa, destacamos aquí los relacionados a limitaciones de orden financiero, tecnológico y técnico, como también la falta de información climática actualizada para una planificación y diseño en todo el territorio.

Existe una desconexión entre la ejecución de las políticas diseñadas por el gobierno nacional y sus niveles descentralizados y desconcentrados, que no permite el desarrollo multinivel de las políticas.

En cuanto al análisis de la NDC, se deberían focalizar sus esfuerzos hacia los sectores que actualmente generan mayor contaminación, nos referimos al sector transporte y el sector electricidad. Es importante considerar también, dado el alto porcentaje de dependencia, posibles consecuencias para el sector primario exportador y las industrias manufactureras asociadas a este.

En cuanto a las iniciativas de USCUS, estas no dejan de ser importantes, sin embargo, en una economía como la ecuatoriana es preciso concentrar los esfuerzos económicos en la inversión de proyectos que disminuyan las emisiones actuales y estimulen al sistema económico.

Capítulo 3. Marco Metodológico

En este capítulo se hace una descripción de la metodología empleada para determinar, a partir de datos económicos y de energía, aquellos sectores que constituyen las actividades más contaminantes y que son responsables del mayor número de emisiones de GEI dentro de la estructura productiva ecuatoriana. Para ello se realiza en un primer momento un recorrido sobre los autores que han empleado el modelo insumo producto en unidades físicas, incluyendo variables relacionadas a la energía, para medir los impactos de determinados cambios en estas variables sobre el sistema económico. Dentro del recorrido se muestran estudios para el caso ecuatoriano que sirven como referencia para realizar comparaciones en cuestión de resultados obtenidos. En un segundo momento del capítulo se realiza una descripción del proceso de selección y preparación de los datos empleados. Con los datos obtenidos se prosigue con la preparación del balance energético y la matriz de insumo producto nacional. Finalmente se muestra el desarrollo de la metodología de Alcantara y Roca (1995) que junto con la metodología de precios implícitos y el uso de los factores de conversión de GEI de la OLADE, permite realizar los cálculos correspondientes para determinar las emisiones de GEI sectoriales.

3.1 Antecedentes metodológicos

El modelo de Leontief, además de sus aplicaciones económicas, ha sido utilizado en diversas áreas entre las que destacan las relacionadas a temas ambientales. Esto es posible por su capacidad de construcción no solo en términos monetarios sino también en términos físicos o híbridos, permitiendo analizar los impactos que tienen sobre el medio ambiente las actividades económicas.

Las interacciones entre las dimensiones estructurales y físicas de las economías son poco conocidas. Estas permiten determinar la relación existente entre la estructura económica y los flujos físicos, pero, además, complementan el análisis con información sobre los efectos negativos que se generan en el ambiente a partir de los cambios en las relaciones productivas. El empleo de la metodología insumo-producto justifica las interacciones antes planteadas entre economía y medio ambiente y, como manifiesta Gálvez (2012), permite la “evaluación físico-monetaria de lo que la economía extrae de los ecosistemas y de lo que incorpora a estos, es decir, en el análisis de impactos sobre la naturaleza” (Gálvez 2012, 6).

Lo anterior coincide con lo mencionado por Miller y Blair (2009), quienes afirman que el análisis insumo-producto proporciona un marco útil para rastrear el uso no solo de la energía,

sino de otras características relacionadas como la contaminación ambiental o los flujos de materiales físicos asociados con la actividad interindustrial (Miller y Blair 2009, 399).

A decir de Duchin y Steenge (1999), los estudios de las interacciones del análisis insumo-producto frente a cuestiones medioambientales se originaron entre los años 60 y 70. Algunos de los precursores fueron Ghosh (1958), Leontief (1970) y Leontief y Ford (1972) con su aplicación para la contaminación del aire.

Estos usos surgieron a partir del incremento de la contaminación por la quema de carbón y de la crisis del petróleo de los 70's. Su objetivo fue encontrar la relación entre el uso de energía y el cambio climático, logrando de esta forma centrar el uso del modelo en temas energéticos. Así surgen autores como Cumberland (1966), Strout (1967), Ayres y Kneese (1969), Bullard y Herendeen (1975), Griffin (1976), Blair (1979, 1980) , quienes incursionaron en esta extensión del modelo.

La extensión generalizada de este modelo es la de “agregar un conjunto de coeficientes de energía lineales que definen el uso de energía por valor de dólar de producción de los sectores industriales” (Miller y Blair 2009, 400). A pesar de sus limitaciones metodológicas continúa su uso, en gran medida por la dificultad que deriva de la obtención de datos para otras extensiones.

La presente investigación adapta una de estas extensiones. Para ello se basa en las líneas de estudio de Alcántara y Roca (1995) quien plantean una extensión del cálculo desagregado de la elasticidad producción/demanda propuesta por Pulido y Fontela (1993, 82–84). Para analizar la estimación de la demanda de energía y las emisiones de CO₂ generadas por cada tipo de energías en el caso español. Así mismo en Alcántara y Padilla (2006), quienes analizaron los sectores productivos claves responsables de las emisiones de CO₂ en la economía española mediante la metodología Input-Output por el lado de la oferta. En Alcántara (2007) quien utiliza un modelo abierto de Leontief para analizar de manera sectorial la economía española, identificando el número de emisiones directas sectoriales de CO₂ y los sectores claves en emisiones mediante encadenamientos productivos entre industrias. Y en Alcántara, Padilla y Roca (2008), quienes emplearon un modelo de Leontief para analizar el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂ mediante matriz Input-Output en términos físicos para Cataluña. Se basan en un balance energético para transformar los consumos finales de energía en requerimientos de energía primaria y determinar, de estos requerimientos, aquellos directos e indirectos por cada uno de los sectores.

Este tipo de extensiones han sido muy poco aplicadas en el caso ecuatoriano. La primera fue en manos de Artola Jarrín (2009), quien desarrolla para Ecuador un primer estudio energético usando la metodología insumo-producto. La autora en su trabajo, mediante la identificación de las características de la estructura productiva del país, analiza el consumo de energía primaria mediante la identificación de los productos claves en el consumo de energía. También realiza una descomposición estructural de los diferentes sectores de la economía e identifica las necesidades directas e indirectas de energía para cada uno de estos sectores mediante el reconocimiento de los requerimientos de energía. Como señala la autora, este primer trabajo “aporta una estimación analítica de la cantidad de energía que consume cada producto dentro de la estructura productiva del Ecuador, permitiendo así determinar que productos que son los responsables por un mayor consumo de energía primaria” (Artola Jarrín 2009, 5).

Otro estudio aplicado al Ecuador fue desarrollado por Buenaño (2017), quien empleó el método insumo-producto para estudiar las relaciones existentes entre las actividades económicas y las emisiones de CO₂. Para esto se basa en la estructura económica ecuatoriana y los flujos materiales que se producen dentro de esta, lo cual le permitió establecer las relaciones existentes por tipo de energía y actividades económicas. Mediante las relaciones identificadas estudia los encadenamientos productivos existentes entre los sectores económicos con el fin de identificar los sectores claves en la generación de emisiones de CO₂.

El trabajo más reciente sobre las relaciones existentes entre actividad económica y energía para Ecuador fue desarrollado por Vallejo (2021). En este trabajo la autora, mediante la extensión de la metodología insumo-producto a términos físicos, realiza un análisis de los sectores económicos ecuatorianos partiendo de los balances energéticos y cuenta ambientales publicadas para el país. A partir de dicha información construye matrices que le permiten identificar los requerimientos de energía primarios de los diferentes sectores para llevar a cabo sus actividades productivas. Identifica también los sectores claves de la economía en términos de consumo de energía y emisiones de CO₂, partiendo de los encadenamientos productivos que se producen entre los sectores. Para esto divide los sectores en económicos y energéticos.

A pesar de que estos dos últimos trabajos de investigación identifican sectores claves en la emisión de CO₂, esta información no ha sido incorporada a la formulación de la política pública nacional. Por lo que este trabajo busca utilizar esta herramienta para evaluar el impacto dentro de la economía nacional de la aplicación de las medidas de mitigación no solo

de CO₂ sino de 6 GEI contenidas en la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) con miras al cumplimiento del Acuerdo de Paris.

3.2 Descripción y preparación de datos

Las unidades de medida utilizadas para la información económica son miles de dólares, para la información energética son Kilo Barriles Equivalentes de Petróleo (KBEP) y para la información de emisiones de GEI son Giga gramos de CO₂ equivalente (Gg de CO₂ eq).

En cuanto a notación, las matrices se identifican utilizando letras mayúsculas y negritas (***X***), los vectores letras minúsculas y negritas (***x***), las matrices o vectores transpuestos utilizan un apóstrofe (***x'***), los vectores diagonalizados usan el acento circunflejo (***x̂***), los vectores unitarios usan el número (**1**), mientras que, la matriz de identidad se identificará por la letra (**I**). Dos subíndices indican la ubicación de un elemento de una matriz (***X* = [*x_{ij}]***), uno solo indica la ubicación en un vector (***x* = [*x_i]***). Finalmente, para distinguir entre unidades físicas y monetarias, las unidades físicas utilizarán el supra índice P (***x^P***), mientras que la información monetaria no agrega supra índice.

La nomenclatura de las variables y parámetros que se utilizaron son:

x: vector de producción total

f: vector de demanda final

s: vector fila de valor agregado

A: matriz de coeficientes técnicos

a: vector de coeficientes técnicos

Z: matriz de flujos

E: matriz de flujos energéticos

IE: matriz de intensidad de emisiones

GEI: vector de emisiones de GEI sectoriales.

A continuación, se presenta el detalle de las bases de datos utilizadas, así como los diferentes procesos desarrollados para su ajuste a la metodología aplicada.

Dado que la información es de dos tipos: energética y económica, iniciamos identificando su correspondencia.

3.2.1 Correspondencia de sectores energéticos y económicos

Este procedimiento se basa en Vallejo (2021) quien utiliza la información de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), en nuestro caso, utilizamos la información de la

Matriz del balance energético del Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador (IIGE).

Fue necesario analizar 23 categorías energéticas frente a 277 productos de las industrias nacionales. El identificativo de correspondencia fue el código CPCN de 9 dígitos de la Tabla de utilización Nacional. Como apoyo se utilizó la *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas* (CIIU) (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos 2012), el *Manual de balances de energía útil* (Organización Latinoamericana de Energía 2017a) y la metodología de formulación de *Balance Energético Nacional* (Instituto de Investigación Geológico y Energético 2019). El resultado de la correspondencia se consolidó en 16 productos energéticos y uno no energético, tal como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Correspondencia de categorías energéticas y estructura económica

Categoría de Balance Energético 2020	Actividad Económica Nacional		Categoría Energética final
	CPCN	Denominación	
Petróleo	009001001	Petróleo crudo	Petróleo
Líquidos de gas natural	009001002	Gas natural	Gas natural
Gas natural			
Hidroenergía	033001001	Energía eléctrica	Generación eléctrica
Eólica			
Solar			
Leña	006001001	Madera sin elaborar	Leña
Productos de caña	004002007	Caña de azúcar	Productos de caña
Otra biomasa	033001003	Servicios de saneamiento y remediación	Captura de metano
Otras primarias	004002006	Otras oleaginosas n.c.p.	Aceite de piñón
Electricidad	033001002	Servicios de transmisión y distribución eléctrica	Electricidad
Gas licuado de petróleo	024001007	Gases de hidrocarburos	Gases de hidrocarburos
Gas de refinería			
Gasolina	024001001	Gasolinas	Gasolina
	024001002	Naftas y gasolina natural	
Kerosene /jetfuel	024001006	Otros combustibles y aceites de petróleo (incluye lubricantes)	Kerosene /jetfuel
Diésel oil	024001003	Diésel	Diésel oil

Categoría de Balance Energético 2020	Actividad Económica Nacional		Categoría Energética final
	CPCN	Denominación	
Fuel oil	024001004	Fuel oil	Fuel oil
Otros productos de petróleo y gas	024001009	Otros productos y subproductos de petróleo; coque y alquitrán	Otros productos de petróleo y gas
Etanol	020001001	Alcohol etílico y bebidas alcohólicas	Etanol
Biogás	033001002	Gas de productos diferentes al petróleo y distribución de gas por tuberías	Biogás
Otras fuentes secundarias	02400100	Spray oil	No energéticos

Elaborado por el autor basado en la correspondencia de Vallejo (2021, 41)

3.2.2 Preparación del balance energético

La matriz de balance energético proviene del IIGE y corresponde al año 2020, está expresada en KBEP. “Se estructura en forma matricial (...) las columnas corresponden a las fuentes de energía o combustibles desagregados, tanto en fuentes primarias como secundarias; y las filas, a las actividades que detallan el proceso de oferta, transformación y demanda de energía” (Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE 2021).

Esta información requirió tres ajustes. Primero, eliminación de las fuentes de energía secundaria denominadas biodiésel y *otras fuentes secundarias* ya que no corresponden a la estructura productiva nacional, por tanto, no son compatibles con las industrias y actividades económicas. Es necesario aclarar que estas categorías no registran valores numéricos, por lo que, su eliminación no implica pérdida de información.

Segundo, en el caso de los centros de transformación, no se considera las categorías *carboneras* y *coquería* que no operan en el país. Además, para las categorías *refinerías*, *centrales eléctricas* y *autoproductores* solo se toma los valores totales de las categorías y no subcategorías.

Finalmente, en el caso de la demanda final energética, dado el limitado nivel de desagregación de las actividades económicas, consideramos todos los valores de las subcategorías de consumo energético.

3.2.3 Preparación de la matriz insumo producto nacional

Utilizamos la información de la tabla de utilización de 277 productos y 71 industrias del año 2020 del Banco Central de Ecuador. Es necesario considerar que, el uso de matrices simétricas es básico en el marco del análisis insumo producto, ya que permite obtener la

matriz inversa de Leontief (Artola Jarrín 2009, 9). Por lo que, se ajustó la tabla con la correspondencia anterior, de manera que a nivel de productos e industrias presenten igual número de elementos, sin que esto implique perder la condición de balance original de la matriz. Esto se logra agregando a nivel de productos y desagregando a nivel de industrias. Para el caso de la agregación, se realizó la suma de vectores fila a nivel de productos de acuerdo a su correspondencia con cada industria nacional, se utilizó como guía el código CPCN de 9 y 6 dígitos.

En el caso de la desagregación a nivel de columnas, se utilizó un coeficiente técnico β_{ij} que calculados individualmente de cada categoría a desagregar:

$$\beta_{ij} = z_{ij} / 1'z_j \mid j = \text{sector a desagregar} \quad (1)$$

donde z_{ij} es el consumo interindustrial. El coeficiente resulta de la división entre z_{ij} y el consumo intermedio total por industria a nivel de columna $1'z_j$.

Así mismo fue necesario calcular un coeficiente técnico δ_i que refleja la participación del consumo intermedio de cada producto a nivel de filas dentro de cada industria, tal como sigue:

$$\delta_i = z1_i / \sum_i^n z1_i \quad (2)$$

Donde $z1_i$ es el consumo intermedio a nivel de productos (filas). El coeficiente resulta de la división entre el consumo intermedio total y la sumatoria del consumo intermedio de cada industria. Obtenemos tantos coeficientes como productos necesitemos desagregar por industria.

$$\delta_i = \delta_1 + \delta_i + \dots + \delta_n \quad (3)$$

Con (2) es posible desagregar el consumo intermedio total a nivel de columna $1'z_j$. Para esto multiplicamos el valor del consumo intermedio total por industria a nivel de columna $1'z_j$ por el coeficiente δ_i . Tal como sigue:

$$1'z_j^* = (1'z_j)\delta_i \quad (4)$$

Donde $1'z_j^*$ es el nuevo valor de consumo intermedio desagregado. Obtenemos tantos valores de consumo intermedio como productos necesitemos desagregar por industria.

Finalmente, para encontrar los nuevos valores de consumo interindustrial para las desagregaciones, realizamos el producto del coeficiente técnico calculado en (1) con el nuevo valor de consumo intermedio encontrado en (4), tal como sigue:

$$z_{ij}^* = (1'z_j^*)\beta_{ij} \quad (5)$$

El procedimiento se realiza bajo el supuesto de que la demanda de insumos producidos por el sector j está estrechamente ligada a la cantidad de bienes producidos por el sector i durante el mismo periodo (Miller y Blair 2009, 11). Las desagregaciones se realizaron de acuerdo al detalle de la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Desagregación por industrias

CPCN 6D	Categoría Original	CPCN 9D	Categoría desagregada
004002	Cultivo oleaginosas e industriales	004002	Cultivo oleaginosas e industriales
		004002006	Otras oleaginosas n.c.p.
		004002007	Caña de azúcar
006001	Silvicultura, extracción de madera y actividades relacionadas	006001	Silvicultura, extracción de madera y actividades relacionadas
		006001001	Madera sin elaborar
009001	Extracción de petróleo crudo y gas natural	009001001	Petróleo crudo
		009001002	Gas natural
020001	Elaboración bebidas alcohólicas	020001	Elaboración bebidas alcohólicas
		020001001	Alcohol etílico y bebidas alcohólicas
024001	Fabricación de productos refinados de petróleo y de otros	024001001	Gasolinas + Naftas y gasolina natural
		024001002	
		024001004	Diésel
		024001005	Fuel Oil
		024001006	Spray oil
		024001007	Otros combustibles y aceites de petróleo (incluye lubricantes)
		024001009	Gases de hidrocarburos
		025001001	Otros productos y subproductos de petróleo; coque y alquitrán
033001	Generación, captación y distribución de energía eléctrica	033001001	Energía eléctrica
		033001002	Servicios de transmisión y distribución eléctrica
033002		033002	Captación, depuración y distribución de agua; y saneamiento

CPCN 6D	Categoría Original	CPCN 9D	Categoría desagregada
	Captación, depuración y distribución de agua; y saneamiento	033002002	Gas de productos diferentes al petróleo y distribución de gas por tuberías
		033002003	Servicios de saneamiento y remediación

Elaborado por el autor basada en la correspondencia de Vallejo (2021)

Adicionalmente fue necesario reajustar algunos valores alineados a sectores energéticos dado que el grado de desagregación no es suficiente para el análisis.

Nos referimos, por un lado, al *Kerosene/jetfuel*, ya que su correspondencia monetaria es *otros combustibles y aceites de petróleo (incluye lubricantes)*, es necesario transferir la porción de lubricantes a la categoría *Spray oil* de tipo no energética. Para esto mantenemos los valores de consumo de *Kerosene /jetfuel* solo para las industrias *transporte y almacenamiento y construcción*, el resto de valores se adjudica a la categoría *No energéticos*. Por otro lado, es necesario redistribuir el consumo energético de la categoría Leña. Por análisis de los datos de la matriz de balance energético, sabemos que el consumo energético de leña se da en los procesos industriales y uso residencial, por lo que, a manera de ejemplo, no es posible considerar como uso energético a la *fabricación de muebles*, entre otros.

Finalmente, para aplicar la metodología es necesario trabajar con una matriz de estructura 17x88. En filas 16 sectores energéticos y uno no energético, mientras que a nivel de columnas 88 sectores económicos resultantes de la desagregación. El resultado de este procedimiento es la matriz Z de flujos monetarios.

3.3 Construcción de la matriz de entrada y salida de energía

Este procedimiento se basa en Alcántara y Roca (1995), Artola Jarrín (2009) y Vallejo (2021). A partir de los ajustes realizados a la información del balance energético del Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador (2020) es necesario la construcción de una Matriz Z^P de entradas y salidas de los flujos energéticos.

La matriz Z^P es simétrica en filas y columnas y contiene las formas de energía. Los elementos que la componen son z^P_{ij} que representan la cantidad de energía i que se transforma para obtener la energía j . Una particularidad de esta matriz es que la diagonal principal contabiliza los consumos propios y pérdidas.

Para obtener los elementos de z^P_{ij} donde $i \neq j$, desarrollamos matrices individuales de centros de transformación. Para nuestro caso hemos considerado los siguientes: refinerías, centrales eléctricas, autoprodutores, centros de gas, destilerías, y otros centros.

En esta fase,

se emplea un supuesto similar al que corresponde a las matrices insumo-producto monetarias, por el cual, la cantidad de producción está estrechamente vinculada a la cantidad de insumos empleados para generar la producción en una relación de retornos constantes de escala, es decir, que el uso de insumos sufre cambios proporcionales a los cambios en la producción (Vallejo 2021, 25).

Antes de iniciar es necesario indicar que los valores negativos del balance de energía para los centros de transformación representan los insumos o consumos, mientras que, los valores positivos representan la producción. Estos valores están representados por la letra griega γ .

Primero, se calcula un coeficiente técnico a , que indica la proporción de uso del insumo energético. Para esto tomamos cada valor de la producción de energía $\gamma > 0$ del centro transformación en análisis y lo dividimos para la sumatoria (en fila) de toda la producción de ese mismo centro $\sum \gamma$. Tal como sigue:

$$a = \gamma / \sum \gamma \mid \gamma > 0 \quad (6)$$

A continuación, calculamos los valores γ^P_{ij} que representan la cantidad de energía i que se transforma en ese centro para obtener la energía j . Para esto tomamos los valores $\gamma < 0$ y los multiplicamos por su coeficiente a calculado en (6).

$$z^P_{ij} = (\gamma)a \mid \gamma < 0 \quad (7)$$

Lo antes indicado se resume en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Estructura de la Matriz para centros de transformación

Centro de transformación (a)	Productos	Proporción de uso del insumo energético	Fuente energética 1	Fuente energética n
Fuente energética 1	$\gamma_1 > 0$	$a_1 = \gamma_1 > 0 / \sum \gamma$	γ^P_{11}	γ^P_{1j}
Fuente energética n	$\gamma_n > 0$	$a_n = \gamma_n > 0 / \sum \gamma$	γ^P_{i1}	γ^P_{ij}
	$\sum \gamma$		$\gamma_1 < 0$	$\gamma_n < 0$

Dado que este procedimiento se aplica para cada uno de los centros de transformación, es necesario sumar las matrices de insumos resultantes ($n \times n$) para cada uno de los centros de transformación. Para luego transponer el resultado dado que requerimos una estructura de insumo-producto.

$$\boldsymbol{\gamma}^{P'} = (\boldsymbol{\gamma}a^P + \boldsymbol{\gamma}b^P + \dots + \boldsymbol{\gamma}n^P)' = \mathbf{Z}^P \quad (8)$$

Esta nueva matriz contiene los elementos z^P_{ij} donde $i \neq j$.

Al completar la matriz \mathbf{Z}^P , esta puede post multiplicarse por un vector unitario para obtener un vector columna cuyos elementos son la suma de las filas de la matriz.

$$\mathbf{Z}^P \mathbf{1}_n = \sum_j^n z_{ij} \quad (9)$$

A este vector $\mathbf{Z}^P \mathbf{1}_n$ es posible sumar el vector \mathbf{f}^P que corresponde a los datos transpuestos del consumo energético del balance energético para cada una de los sectores económicos (demanda final), resultando el vector de energía total \mathbf{x}^P , tal como sigue:

$$\mathbf{Z}^P \mathbf{1}_n + \mathbf{f}^P = \mathbf{x}^P \quad (10)$$

Este resultado corresponde a la matriz final de entradas y salidas de energía \mathbf{Z}^P

3.3.1 Demanda final de energía

Dado que la estructura económica de demanda final de energía contenida en el balance energético no corresponde con la estructura de industrias de la MIP nacional, es necesario realizar un ajuste complementario. Al respecto Alcántara, del Río y Hernández (2010), plantea una metodología que ha sido utilizada en Ecuador por Artola Jarrín (2009), Buenaño (2017) y Vallejo (2021) para calcular un vector de consumos de energía primaria que mantenga todos los productos. Se logra a partir de la aplicación de un método de precios implícitos.

Seguimos lo indicado por Vallejo (2021). Primero, calculamos una matriz de coeficientes técnico \mathbf{B} de la matriz de flujos monetarios \mathbf{Z} , tal como se indica a continuación:

$$\mathbf{B} = (\widehat{\mathbf{Z}\mathbf{1}_n})^{-1} \mathbf{Z} \quad (11)$$

donde $\mathbf{Z}\mathbf{1}_n$ es el consumo intermedio total (en fila) de la matriz \mathbf{Z} de flujos monetarios. Esta matriz de coeficientes técnicos explica la distribución de las unidades monetarias con respecto al consumo intermedio total $\mathbf{Z}\mathbf{1}_n$, para cada una de las fuentes energéticas. Se puede notar que la sumatoria en filas es igual a la unidad.

Los coeficientes B que utilizan de base la información en miles de dólares, puede vincularse a la distribución del consumo final de energía f^P expresada en KBEP, para lograr encontrar la matriz de consumo final de Energía E^P . Esta matriz muestra la distribución final entre las industrias de la estructura nacional y ya no la original del balance energético. Se calcula tal como sigue:

$$E^P = (\widehat{f^P})B \quad (12)$$

La ecuación (12) responde a un modelo con esquema de precios implícitos homogéneos, según autores como Merciai y Heijungs (2014) este supuesto no necesariamente cumple la ley de conservación de la energía.

Al respecto Buenaño Hermosa (2017) indica que este supuesto es adecuado dado el sistema de precios controlados, modificado únicamente con un sistema de bandas $\pm 5\%$ en el modelo de comercialización de combustibles. Actualmente, a partir del cuarto trimestre de 2020 Ecuador implementó un sistema de fijación de precios controlado, con fijación de precios cada mes con variación máxima del 5%.

Es importante analizar lo sostenido por Vallejo (2021) que indica que:

en términos físicos será necesario verificar el cumplimiento de las condiciones de balance que caracterizan a los intercambios de materia o energía desde el principio de la conservación (...) una matriz de insumos y productos originada en la descripción de intercambios económicos requiere condiciones de balance específicas para esos intercambios económicos, que podrán ser diferentes (o seguramente serán diferentes) a las condiciones de balance de la matriz de flujos energéticos (Vallejo 2021).

El resultado de este procedimiento es una matriz F^P que contiene la distribución de consumo final de energía con la estructura de la economía nacional. Para obtener la estructura energética similar a la de la MIP_(71x71) sumamos la información de la matriz Z^P y F^P de acuerdo a la desagregación de la Tabla 3.2. para obtener el vector de energía total x^P .

3.3.2 Condiciones de balance

Como define Vallejo (2021), para la construcción de matrices insumo-producto en términos físicos se hace necesario el establecimiento de condiciones de balance. Dichas condiciones no son más que ecuaciones de equilibrio que permiten igualar las entradas y salidas que se dan en el sistema. La autora señala la necesidad de incorporar a la metodología tradicional insumo-producto, vectores filas satélites que permiten complementar la igualdad entre los totales por filas y columnas del modelo para aquellos sectores que son consumidores y proveedores de

energía al mismo tiempo (Vallejo 2021, 32). Dichos vectores satélites se agrupan en cuatro tipos de manera tal que el primero, expresado en términos monetarios, corresponde a la remuneración de los factores primarios. Los otros tres restantes, insumos del sistema que incluyen los recursos naturales, uso u oferta de desperdicios y las emisiones son expresados en términos físicos. Una vez identificados estos vectores y para la construcción de matrices de flujos en términos físicos se hace necesario ordenar los sectores de manera que los primeros correspondan a sectores proveedores primarios o secundarios de energía y el resto, los sectores que consumen energía.

Para establecer la condición de balance en términos físicos se hace necesario igualar las ofertas tanto por filas como por columnas. Por filas se determina la oferta total de energía de cada sector mediante el criterio tradicional del modelo insumo-producto, la cual se calcula como la suma del consumo intermedio de cada uno de los sectores más la demanda final de este. Por columna se hace necesario determinar la oferta total de los sectores energéticos y no energéticos mediante las cuentas satélites. Se requiere sumar a las transacciones interindustriales los recursos naturales y los residuos y/o descontar el vector de emisiones. La inclusión de estos vectores satélites hace necesario que se realice un ajuste para que coincidan los totales de ofertas calculados, el cual se realiza mediante el empleo de las cuentas correspondientes a la disponibilidad neta de insumos en el sistema. Estas cuentas corresponden a las importaciones netas de recursos, la variación de inventarios descontando el consumo propio y las pérdidas y, los recursos energéticos no aprovechados. Una vez establecida la condición de balance y teniendo en cuenta que el vector de residuos puede presentar valores negativos o positivos, como menciona Vallejo (2021), se asumen entonces que las cuentas correspondientes a los residuos y emisiones son los ítems de balance. Lo anterior permite entonces garantizar el cumplimiento de la condición de balance del sistema (Vallejo 2021, 35).

3.4 Cálculo de las emisiones de GEI

Para este cálculo nos valemos de factores de emisión de GEI publicados en el *Manual de estadística energética 2017* (Organización Latinoamericana de Energía 2017b, 110-115). Analizamos los siguientes GEI: dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, anhídrido sulfuroso y partículas.¹²

¹² No se consideran como GEI por su estado sólido, sin embargo, provocan un efecto invernadero significativo.

Estos factores han sido calculados en función de las actividades y tecnologías utilizadas para el aprovechamiento de la energía en América Latina y el Caribe; por lo que son específico y se alinean a las directrices del IPCC (Organización Latinoamericana de Energía 2017b, 107).

En esta sección seguimos la metodología explicada por Vallejo (2021, 46,47). Con estos factores es necesario armar una matriz con similar estructura a la matriz Z^P . Dado que los factores de emisión se encuentran en el formato del Sistema de Información Económico Energético (SIEE) (Organización Latinoamericana de Energía 2017b, 108) y que, los balances energéticos utilizados manejan el mismo sistema, la construcción responde a la misma lógica aplicada a la construcción de la matriz Z^P . La matriz resultante se denomina matriz de intensidad de emisiones IE .

Adicionalmente, y dado que los factores de emisión están expresados en kilogramos por Tera Joule (kg/TJ), es necesario una conversión de las cuentas energéticas de la matriz Z^P de KBEP a Julios (J), el factor de conversión a utilizarse es 5,8066 TJ³ por KBEP.

Con estas dos matrices calculamos la nueva matriz de Emisiones de GEI $EGEI$ que se expresa en Kg de CO₂ eq tal como sigue:

$$EGEI = [egei_{ij}] = [z^P_{ij} * ie_{ij}] \quad (13)$$

Es necesario convertir la matriz $EGEI$ de kg de CO₂ eq a Gg de CO₂ eq, por lo que utilizamos el factor de conversión 1 Gg por cada 1 000 000 Kg.

De la matriz $EGEI$ utilizamos únicamente el vector final de emisiones que se define como $egei1_n$ y que es la sumatoria en fila de esta matriz para cada fuente energética. Es necesario aclarar que, de este vector excluimos los valores del sector de consumo final *residencial*, dado que representa en su mayoría el consumo doméstico, por lo que, ya que estos datos no constituyen un consumo intersectorial se utilizaran directamente en la MIP como consumo de hogares.

Para obtener la matriz final que contiene las emisiones totales interindustriales es necesario calcular antes el vector e de emisiones de GEI por unidad de energía como sigue:

$$e = [e_i] = \begin{cases} \frac{egei1_i}{x^P_i} & si \ x^P_i \neq 0 \\ 0 & si \ x^P_i = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Finalmente, este vector se distribuye de acuerdo a la estructura sectorial calculada en E^P , como sigue:

$$GEI = (\hat{e})E^P \quad (15)$$

El procedimiento se replica para cada uno de los GEI a calcular.

3.5 Multiplicadores de Leontief y su extensión para el análisis ambiental

Utilizando la misma estructura de (10), en esta ocasión evaluamos unidades monetarias, la identidad contable es como sigue:

$$Z\mathbf{1}_n + \mathbf{f} = \mathbf{x} \quad (16)$$

Donde Z representa la matriz de transacciones interindustriales, $\mathbf{1}$ un vector unitario, \mathbf{f} el vector total de demanda final y \mathbf{x} al vector de producción total.

A continuación, seguimos lo indicado en el modelo básico de Leontief (1936, 1937) y sus aplicaciones para análisis ambientales (Leontief 1970, 1972).

A partir de la matriz Z , construimos una matriz de coeficientes técnicos que notaremos como A , esta matriz simétrica se calcula como sigue:

$$A = Z_{ij}(\hat{x}_i)^{-1} \quad (17)$$

Esta matriz muestra las unidades de insumos que requiere la industria i para generar cada unidad de la oferta de la industria j .

Luego, partiendo del modelo $A\mathbf{x} + \mathbf{f} = \mathbf{x}$, obtenemos la solución al modelo tal como sigue:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} \quad (18)$$

Siendo la variable exógena \mathbf{x} , representada como una combinación lineal de \mathbf{y} . La expresión $L = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ se conoce como la inversa de Leontief que resuelve el modelo.

La expresión anterior se resume en:

$$\mathbf{x} = L\mathbf{f} \quad (19)$$

Los efectos sobre la oferta total pueden también reflejarse en efectos sobre variables como empleo, valor agregado, energía o emisiones contaminantes, no solo en términos monetarios sino también en términos físicos (Miller y Blair 2009, 24).

En esta sección seguimos lo planteado por Leontief (1970, 271) y Miller y Blair (2009, 256). Esta extensión del modelo permite cuantificar los efectos directos e indirectos que ocurren en las otras variables que se ubican en el tercer cuadrante correspondientes al valor agregado y otras variables como energía y emisiones contaminantes. Los datos de energía y GEI son los que previamente hemos calculado en (12) y (15) respectivamente.

Definimos el vector fila \mathbf{s} , según corresponda el análisis, para cada una de las variables que conforman el tercer cuadrante. A continuación, calculamos el vector \mathbf{c} de coeficientes sectoriales de para cada variable en cuestión tal como sigue:

$$\mathbf{c} = \mathbf{s}_j(\hat{\mathbf{x}}_i)^{-1} \quad (20)$$

A partir de cambios de la variable \mathbf{y} obtenemos el vector \mathbf{s}^* que cuantifica los cambios directos e indirectos de cada variable del cuadrante para cada industria

$$\mathbf{s}^* = \mathbf{c}(\mathbf{L}\mathbf{f}) \quad (21)$$

Finalmente, los cambios en la oferta agregada y que utilizaremos en nuestra investigación para calcular los nuevos valores de \mathbf{s}^* son los contenidos a partir de la construcción de los vectores de intervenciones públicas.

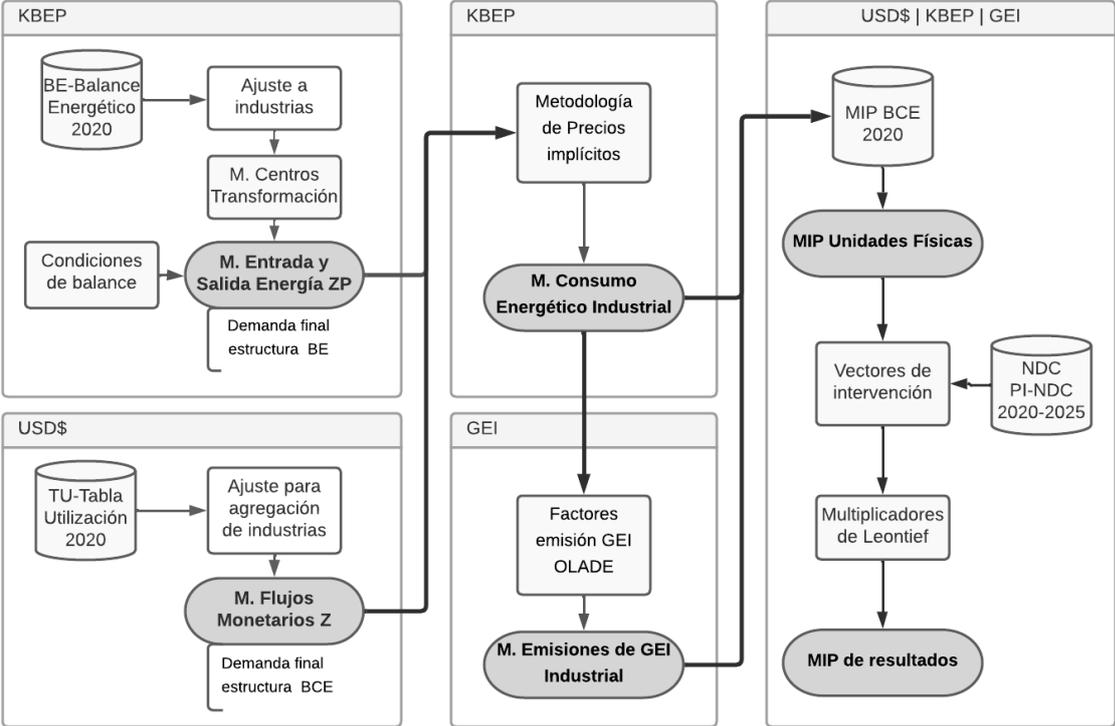
3.6 Construcción del vector de intervención pública de reducción de GEI

La construcción de los vectores a ser utilizados como instrumento de política para la evaluación de cada una de las intervenciones públicas en sus diferentes escenarios se desarrolló de manera diferenciada. Para ello se considera la naturaleza y especificidad de cada uno de los programas y proyectos, de tal manera que su detalle se encuentra contenido previo a la presentación de los resultados correspondientes.

Se utilizó la información de la *Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (NDC) (Gobierno de la República del Ecuador 2019), y se complementó con el documento del *Plan de implementación de la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional de Ecuador 2020-2025 (PI-NDC)* (Ministerio del Ambiente y Agua 2021).

El procedimiento hasta aquí descrito se resume en la representación gráfica del flujo metodológico en la Figura 3.1. que se presenta a continuación:

Figura 3.1. Representación gráfica del flujo metodológico



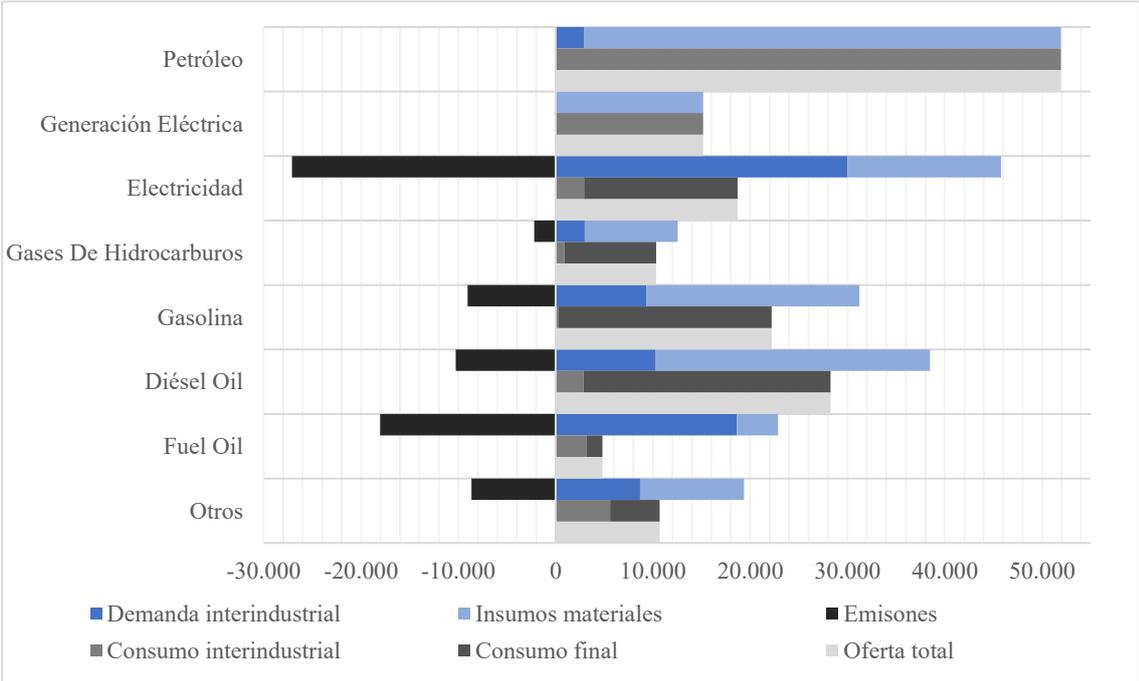
Capítulo 4. Resultados y Discusión

En esta sección se presenta los resultados y discusión para cada uno de los momentos de la investigación, nos referimos al análisis del sistema energético, emisiones de GEI e intervenciones públicas de reducción de emisiones.

4.1 Sistema energético

En lo que respecta al análisis de la información de fuentes primarias de energía contenida en la matriz de insumo producto energética, la Figura 4.1. deja ver que el petróleo es la principal fuente energética para el país, representando el 32% de la oferta total. Por el lado de la demanda utiliza 6% para consumo propio, mientras que, el 94% restante es destinado hacia otros sectores; por el lado de la oferta, el 100% se destina al consumo interindustrial. En la misma línea de las fuentes primarias encontramos a la generación eléctrica en segundo lugar y representa el 9% de la oferta total de energía; por el lado de la demanda no registra consumos, mientras que por el lado de la oferta el 100% de su generación es destinado al consumo interindustrial.

Figura 4.1 Oferta y demanda interindustrial de energía, 2020



Por otro lado, en el caso de las fuentes secundarias de energía, de acuerdo a la Figura 4.1., la principal fuente es el diésel con el 17% de la oferta total; este sector por lado de la demanda utiliza 36% de su oferta total de energía, mientras que, la diferencia es destinada hacia otros sectores; por el lado de la oferta destina el 10% para el consumo interindustrial y 90% para el consumo final. Seguido está la gasolina que representa el 14 % de la oferta total, por el lado

de la demanda emplea el 42% de su oferta total, mientras que, la diferencia la destina a otros sectores; con respecto a la oferta el 1% representa el consumo interindustrial y el 99% el consumo final. A continuación, encontramos a la electricidad con el 12% de la oferta total; por el lado de la demanda su requerimiento es superior a su oferta total en 161%; mientras que, por el lado de la oferta el 16% se destina al consumo interindustrial y el 84% al consumo final. Siguiendo encontramos a los gases de hidrocarburos con el 6% de la oferta total de energía; por el lado de la demanda utiliza el 29% de su oferta total; por el lado de la oferta destina el 9% al consumo interindustrial, mientras que, el 91% a la demanda final. Luego encontramos al fuel oil con el 3% de la oferta total, el consumo de este sector por el lado de la demanda es superior a su oferta en 386%, esta energía proviene del sector petróleo; por el lado de la oferta destina el 65% al consumo interindustrial y el 35% al consumo final.

Finalmente, en la categoría otros se han agrupado las categorías que nos son representativas. Estas representan el 7% de la oferta total de energía; por el lado de la demanda consumen el 81% de la energía que ofertan, la diferencia es destinada al resto de sectores; por el lado de la oferta, el 53% es destinado al consumo interindustrial y el 47% al consumo final. Aquí podemos encontrar al gas natural, leña, productos de caña, captura de metano, aceite de piñón, kerosene/jetfuel, otros productos de petróleo y gas, etanol, biogás y no energéticos.

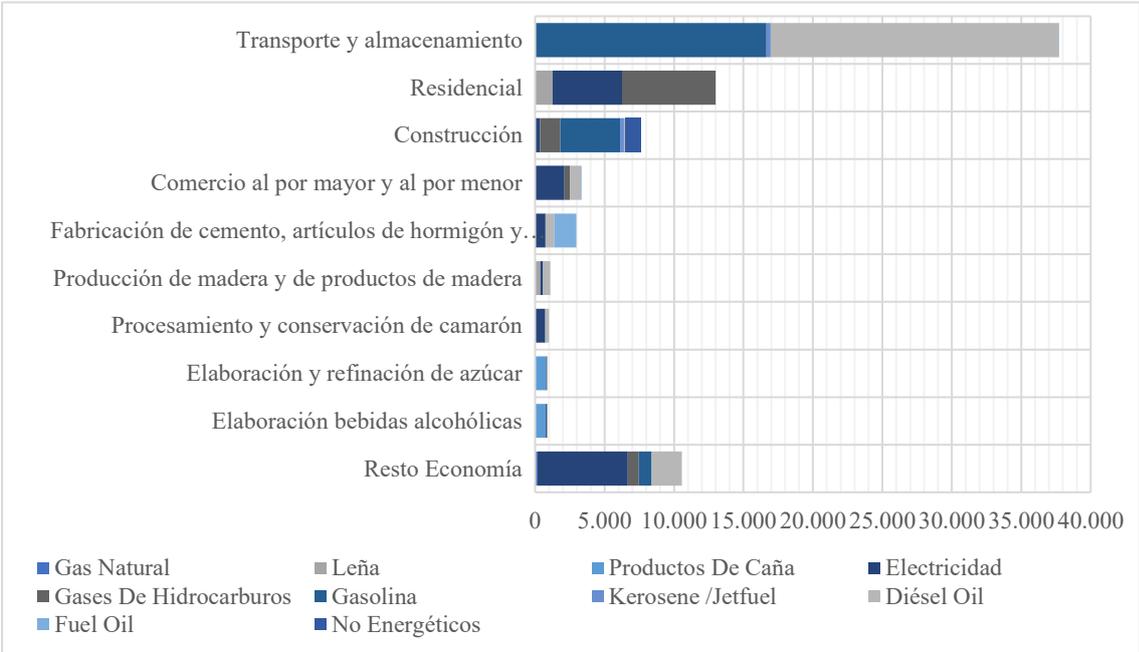
Hasta aquí se puede apreciar de manera clara que, respecto a la oferta de energía nacional predominan las fuentes energéticas petróleo y sus derivados, categorías que se corresponden con las categorías económicas *extracción de petróleo crudo y gas natural y fabricación de productos refinados de petróleo y de otros* respectivamente, sectores que como se vio en la revisión de literatura son altos generadores de GEI, junto con el resto de sectores categorizados como altos contaminantes componen el 91% de la oferta total de energía. Mientras que, las fuentes de energía alternativa entre las que encontramos a hidroeléctricas, eólicas y solar ocupan el 9% de la oferta total de energía.

Una vez que se aplicó la metodología para determinar la demanda final de energía que permite la distribución del consumo final F^P del balance de energético hacia los sectores de la economía, es necesario indicar que la investigación marca diferencia con autores como Artola (2009), Buenaño (2014, 2017) y Vallejo (2021), en vista de que, al momento de aplicar los precios implícitos se lo desarrolla de manera diferenciada de acuerdo a la correspondencia de cada industria nacional con las categorías de demanda final del balance energético. Esto se logró con el apoyo de la metodología de cálculo de los balances energéticos (Organización Latinoamericana de Energía 2017a) y de la clasificación internacional de actividades

económicas (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos 2012). Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

En lo que respecta al análisis de los flujos de la demanda final de energía, tal como se parecía en la Figura 4.2., destaca la industria de transporte y almacenamiento con el 47,7%, resaltando el consumo de diésel y gasolina. En segundo lugar, el sector residencial con 16.4%, destaca el uso de gases de hidrocarburos, consumo de electricidad y leña. En tercer lugar, el sector de la construcción con 9,7% resaltando el consumo de gasolina, gases de hidrocarburos y no energéticos. A estos sectores les siguen el comercio y la industria del cemento y hormigón con 4,2% y 3,7% respectivamente. El consumo energético de demanda final del resto de la economía representa el 18,2%.

Figura 4.2 Composición de la demanda final energética, 2020



En el caso del análisis del consumo de energía de la demanda final las principales fuentes de energía utilizadas para mover las industrias son el diésel, gasolina, electricidad y gases de hidrocarburos con un 91% de participación total. Estas fuentes de energía son altamente contaminantes especialmente aquellas que se derivan de la refinación de productos de petróleo.

A continuación, y con el objetivo de construir la matriz de energía total **E** que se alinea a la estructura de la MIP nacional, se sumó la matriz **Z^P** y **F^P** que contienen la energía total del sistema distribuidos por sector económico. Es necesario indicar que el consumo final de hogares se corresponde con el consumo residencial y no ha sido distribuido por precios

implícitos dentro de los otros componentes de la demanda final. Por lo que al analizar los resultados se lo presenta como un sector independiente. Los resultados son como se indican en la Tabla 4.1.

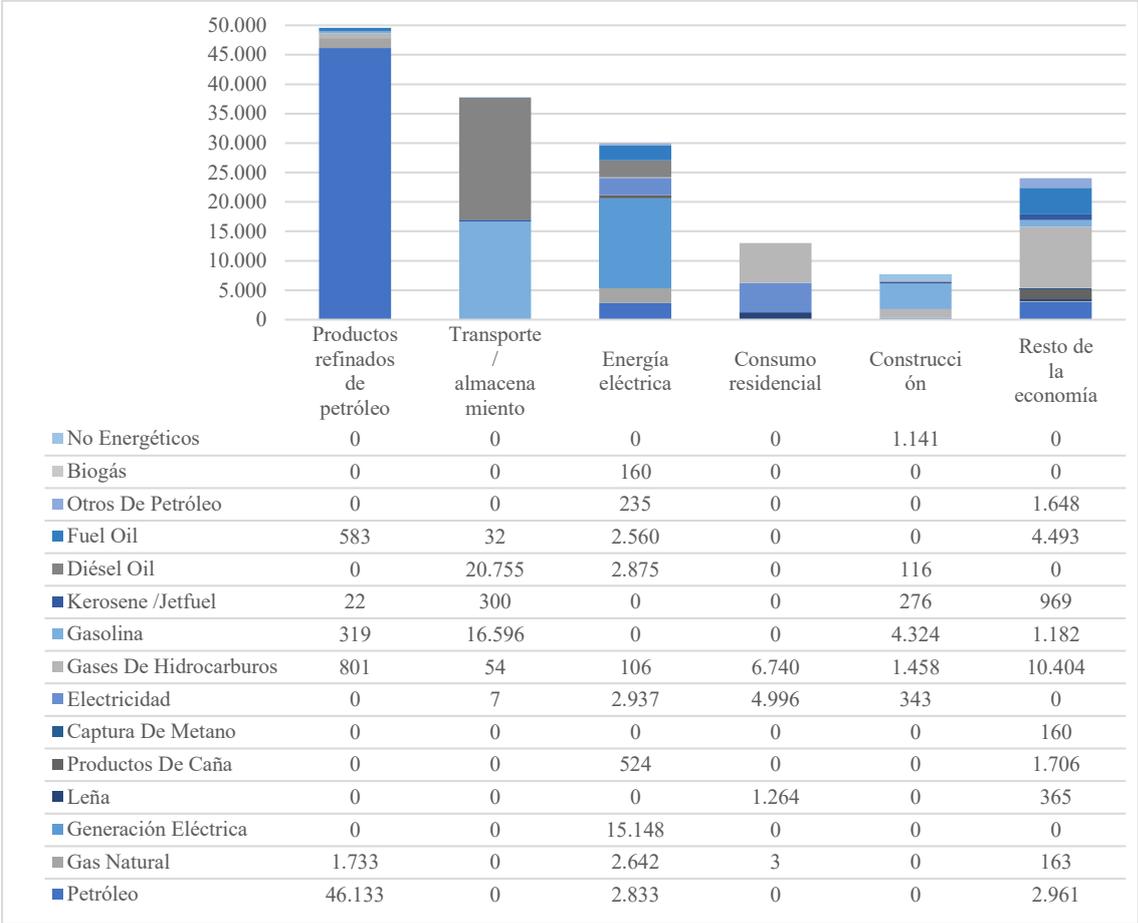
Tabla 4.1 Consumo total de energía por industrias nacionales $Z^P + F^P$, 2020

N Actividad Económica	Z^P	F^P	Oferta Total	%
1 Fabricación de productos refinados de petróleo y de otros	49 549	0	49 548,7	30,6
2 Transporte y almacenamiento	0	37 744	37 744,1	23,3
3 Generación, captación y distribución de energía eléctrica	30 021	0	30 021,1	18,5
4 Consumo residencial	0	13 003	13 003,4	8,0
5 Construcción	0	7 657	7 657,0	4,7
6 Comercio	0	3 344	3 344,4	2,1
7 Fabricación de cemento, artículos de hormigón y piedra	0	2 969	2 969,0	1,8
8 Extracción de petróleo crudo y gas natural	2 961	0	2 961,5	1,8
9 Producción de madera y de productos de madera	0	1 096	1 096,4	0,7
10 Elaboración bebidas alcohólicas	141	904	1 044,3	0,6
11 Resto de la economía	160	12 476	12 635,7	7,8
Total	82 832	79 194	162 025,6	

Según muestra la Tabla 4.1. las actividades económicas que mayor cantidad de energía de la oferta total consumen son: en primer lugar, la fabricación de productos refinados de petróleo con el 30,6%, tal como se aprecia en la Figura 4.3. su principal fuente de energía es el petróleo. En segundo lugar, encontramos al transporte y almacenamiento con 23,3%, su fuente de energía principal es la gasolina y el diésel. En tercer lugar, la generación, captación y distribución de energía eléctrica con 18,5%, su fuente de energía principal es la generación eléctrica y en menor medida el petróleo, gas natural, electricidad, diésel y fuel oíl. En cuarto lugar, tenemos al consumo residencial con 8%, que utiliza gases de hidrocarburos, electricidad y leña. En quinto lugar, tenemos al sector de la construcción con 4,7%, utiliza gasolina, gases de hidrocarburos y no energéticos. Sexto se ubica el comercio con 2,1%, su fuente principal es la electricidad y en menor medida el diésel y gases de hidrocarburos. Séptimo encontramos a la industria del cemento con 1,8% con consumos de fuel oíl y en menor proporción electricidad y el diésel. En octavo están las actividades de extracción de petróleo y gas natural con 1,8%, su fuente es el petróleo. En noveno lugar encontramos a la industria de la madera con 0,7%, con consumo de diésel y en menor media la electricidad y

leña. En décimo lugar encontramos a la industria de bebidas alcohólicas con 0,6% sus consumos principales son productos de caña, y en menor medida la electricidad y diésel.

Figura 4.3 Consumo de energía por sector económico y fuente energética, 2020



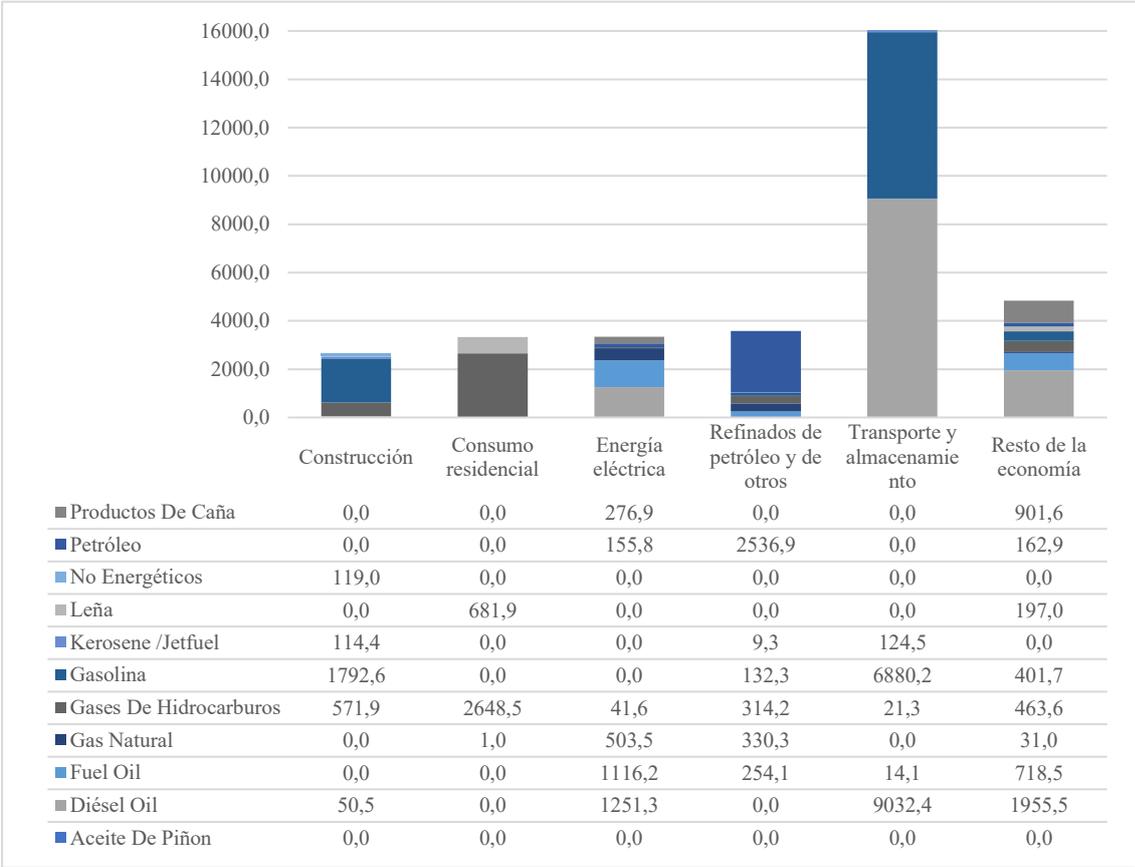
Tal como vimos antes, el análisis por sectores económicos se corresponde con el análisis inicial (Figura 4.1.), sin embargo, a diferencia de este, se observa la inclusión de nuevos sectores de tipo económico. Podemos destacar al transporte y almacenamiento, el sector residencial, el comercio, la construcción, entre otros que componen la estructura productiva del país. La ventaja de este análisis recae sobre la identificación por actividad económica de las principales fuentes de energía utilizadas, así como su posterior uso para el cálculo de las emisiones generadas por cada una de estas actividades y fuente de energía.

4.2 Emisiones de GEI

A continuación, se analizan los resultados de aplicar la metodología para la determinación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero GEI en la estructura económica nacional. De igual forma que hicimos con los datos de energía, el sector residencial se considera como demanda final de hogares por lo que se considera como un sector independiente.

Iniciamos este análisis con el dióxido de carbono CO₂. El total de emisiones por uso de energía de la economía nacional es de 33 806 Ggr de CO₂ eq, tal como lo indica la Figura 4.4., el sector transporte y almacenamiento produce el 47,6% de las emisiones totales de este gas, sus fuentes contaminantes principales son el diésel y la gasolina. En segundo lugar, encontramos a la actividad de fabricación de productos refinados de petróleo y de otros con 10,5% de las emisiones totales, cuya fuente contaminante es el petróleo. En tercer lugar, encontramos al consumo residencial 9,9% de participación en emisiones totales, su principal fuente de emisión son los gases de hidrocarburo, especialmente el GLP y en menor proporción la leña. Cuarto se ubica la generación, captación y distribución de energía eléctrica con una participación del 9,9% del total de las emisiones, sus fuentes de contaminación principales son el diésel, fuel oil y gas natural. En quinto lugar, encontramos al sector de la construcción con 7,8% del total de emisiones, sus principales fuentes son la gasolina y los gases de hidrocarburos. Finalmente, el resto de la economía abarca el 14,3% de las emisiones totales, con fuentes contaminantes como el diésel, productos de caña, fuel oil, gases de hidrocarburos, gasolina, entre otros.

Figura 4.4 Emisiones de CO₂ por actividad económica y fuente de energía, 2020

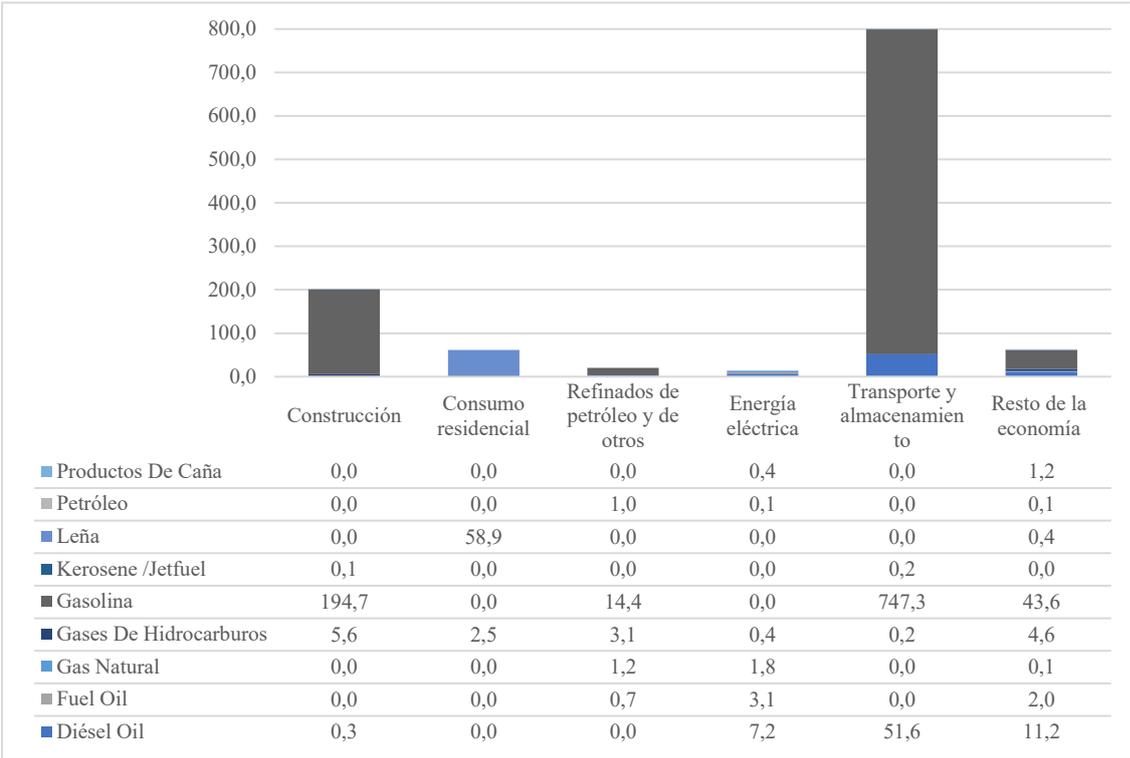


En el análisis por fuente energética vemos que la mayor fuente de emisión de CO₂ proviene del diésel y representa el 36,3% del total de emisiones de este gas. Segundo encontramos a la gasolina con el 27,2% de las emisiones totales. Seguidamente están los gases de hidrocarburos con 12% de las emisiones totales. Cuarto encontramos al petróleo con 8,5%. En quinto lugar, encontramos al fuel oíl con 6,2% de las emisiones. El resto de fuentes energéticas alcanzan el 9,7% de las emisiones.

Al respecto Buenaño (2017) en su análisis, al construir el vector de usos energéticos solo considera la parte productiva. Lo anterior implica que en análisis detallado de las emisiones directas e indirectas de este gas para cada uno de los sectores se excluyan las provenientes del sector residencial. El encuentra que las actividades responsables del mayor número de emisiones son el transporte y almacenamiento, seguido de la actividad de refinación de petróleo y otros, la electricidad, el petróleo y gas natural, y otros servicios. Apuntando hacia el sector manufacturero como responsable de concentrar la mayor cantidad de emisiones. Por otro lado, Vallejo (2021) en su análisis incorpora al sector residencial y su consumo energético para luego determinar su participación en las emisiones de CO₂. A partir de esto, primero, por el lado de la intensidad de emisiones identifica que los principales sectores responsables son la industria, seguido del transporte, y el comercio y servicios públicos. Segundo, que la principal fuente de emisiones se encuentra en los derivados de petróleo, estos resultados se presentan de modo general, en vista del nivel de agregación que por fines didácticos realiza la autora.

Continuando con los resultados, encontramos al monóxido de carbono CO. El total de emisiones de este gas por uso de energía es de 1 158 Ggr de CO₂ eq, tal como se observa en la Figura 4.5., el transporte y almacenamiento es el responsable de emisión del 69% del total de este gas, su fuente principal de contaminación es la gasolina y en menor proporción el diésel. En segundo lugar, encontramos a la construcción con 17,3% de las emisiones totales, su fuente principal de contaminación es por el uso de gasolina. El tercer puesto es para el consumo residencial con un 5,3% del total de emisiones, su principal fuente la constituye la leña. En cuarto lugar, está la fabricación de productos refinados de petróleo y de otros con un 1,7% de las emisiones, estas se originan principalmente por el uso de la gasolina. En quinto lugar, lo ocupa la generación, captación y distribución de energía con el 1,1% de las emisiones, su fuente de contaminación está en el diésel y fuel oíl. Finalmente, el resto de la economía genera el 5,5% de las emisiones totales que provienen del uso de gasolina y diésel.

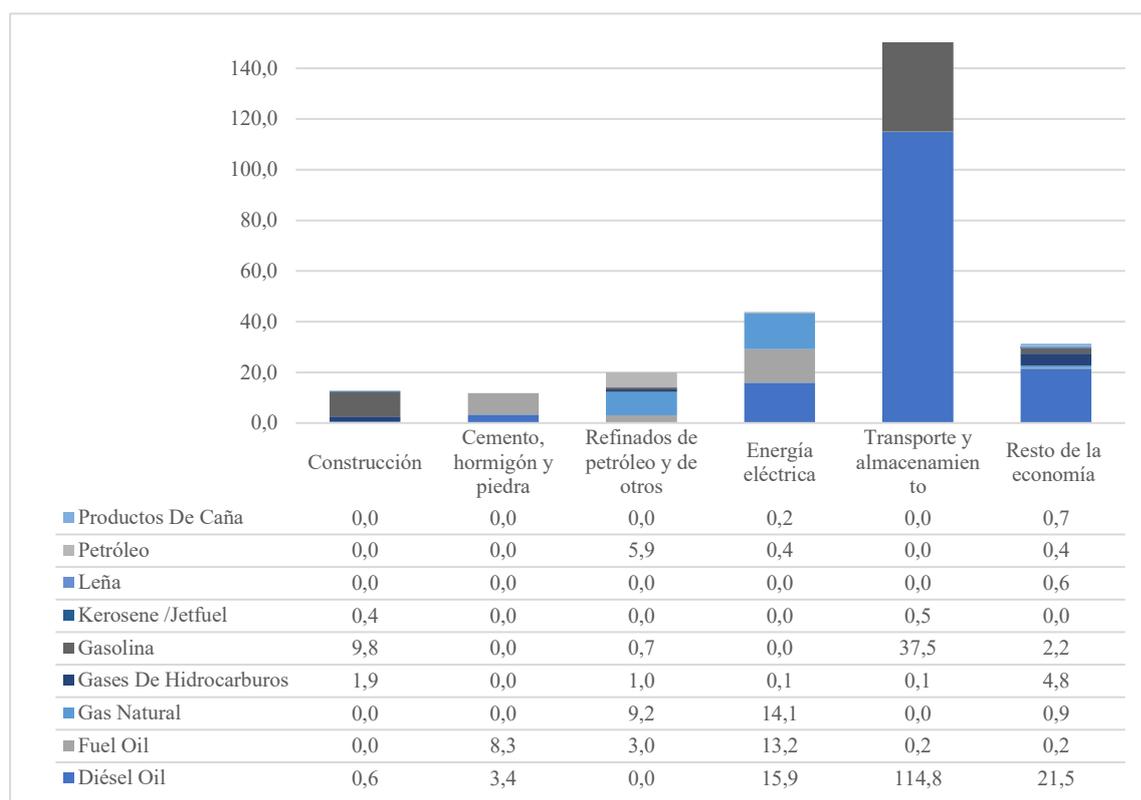
Figura 4.5. Emisiones de CO por actividad económica y fuente de energía, 2020



Si analizamos al monóxido de Carbono considerando las emisiones por fuente energética, vemos que la mayor porción proviene de la gasolina con 86,4%, seguido encontramos al diésel con 6,1% de emisiones, luego encontramos muy cerca a la leña con el 5,1% de emisiones. El resto de fuentes energéticas producen emisiones marginales que representan el 2,4% del total.

El siguiente gas son los óxidos de nitrógeno NOx. El total de emisiones por uso de energía de la economía es de 273 Ggr de CO₂ eq Tal como se puede apreciar en la Figura 4.6., el transporte y almacenamiento producen el 56,3% de las emisiones totales de ese gas, estas se originan principalmente por el uso de diésel y la gasolina. Segundo se ubica la captación y distribución de energía eléctrica con el 16,1%, las principales fuentes son el diésel, el gas natural y el fuel oíl. Tercero se ubica la fabricación de productos refinados de petróleo y de otros con el 7,2%, sus principales fuentes son el gas natural y el petróleo. Cuarto tenemos a la construcción con el 4,7%, la principal fuente de emisión es la gasolina. En el quinto lugar, se ubica la fabricación de cemento, artículos de hormigón y piedra con el 4,3%, su principal fuente es el fuel oíl y el diésel. El resto de las actividades ocupan el 11,5% de emisiones de este gas, y las emisiones proviene principalmente del diésel.

Figura 4.6. Emisiones de NO_x por actividad económica y fuente de energía, 2020

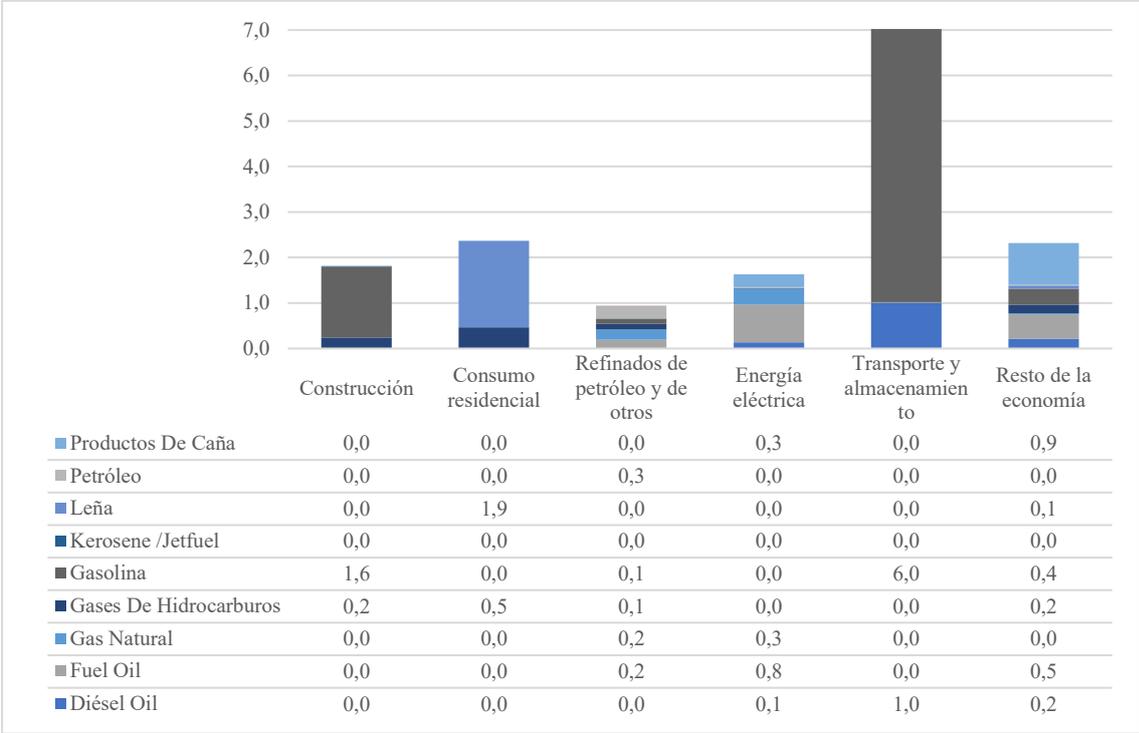


En lo que respecta al análisis de emisiones por fuente de energía para los óxidos de nitrógeno NO_x hemos encontrado que, la mayor porción proviene del diésel con 57,3%, seguido de la gasolina con 18,4%, en tercer lugar, está el fuel oil con 9,2%, y por último el gas natural con el 8,9 %. El resto de las fuentes de energía responsables de las emisiones de este gas ocupan el 6,2% del total.

Seguidamente analizamos las emisiones provenientes de hidrocarburos. El total de emisiones de este gas por uso de energía de la economía nacional es de 16 Ggr de CO₂ eq, según muestra la Figura 4.7., el transporte y almacenamiento es el responsable del 43,7% del total de emisiones de este gas, estas se originan principalmente por uso de gasolina y diésel. Segundo encontramos al consumo residencial con 14,7% de emisiones, generadas por el uso de leña y gases de hidrocarburos. Tercero está la construcción con 11,3% de las emisiones, su principal fuente es la gasolina. En cuarto lugar, la generación, captación y distribución de energía eléctrica con 10,1% de emisiones y sus principales fuentes son el fuel oil, gas natural y productos de caña. Quinto está la fabricación de productos refinados de petróleo y de otros con 5,8% del total de emisiones, sus principales fuentes son petróleo, gas natural y fuel oil. El resto de las actividades agrupan el 5,8% de las emisiones, se dan por el uso de productos de

caña, el fuel oil y la gasolina. Vemos la aparición de industrias relacionadas a descomposición orgánica en su proceso productivo como el alcohol, azúcar y madera.

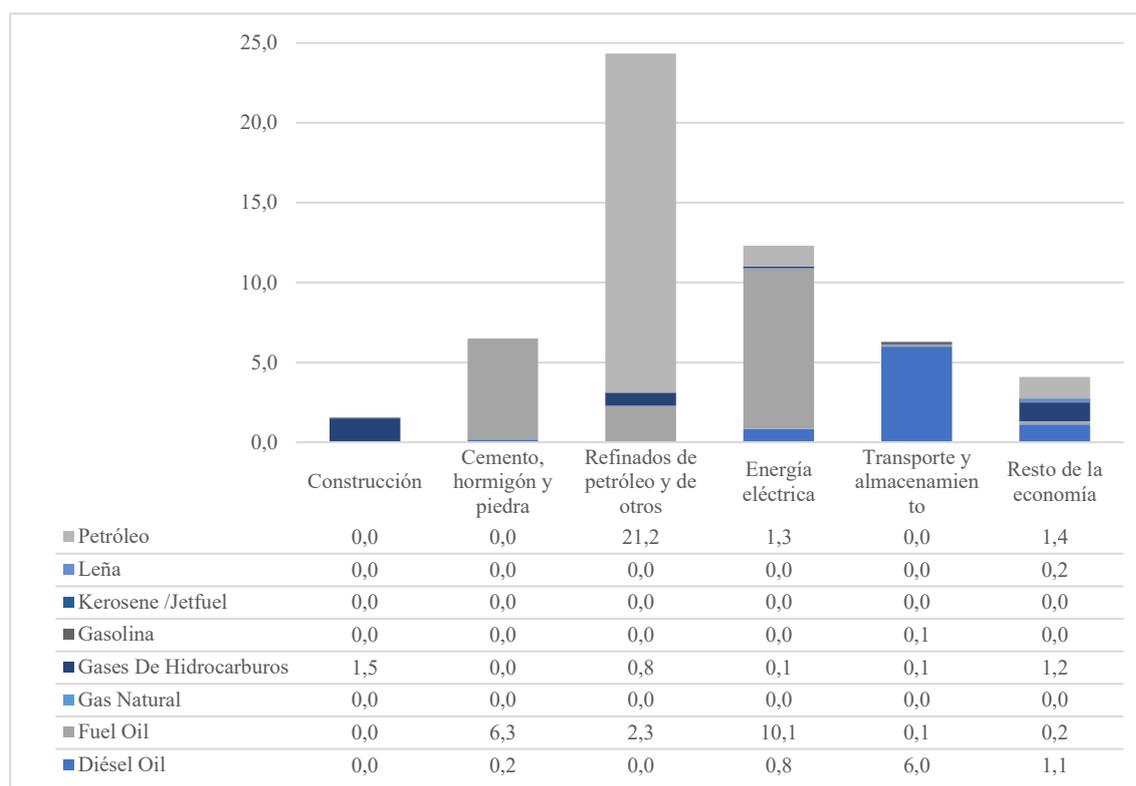
Figura 4.7. Emisión hidrocarburos, actividad económica y fuente de energía, 2020



En relación a las emisiones por fuente de energía para los hidrocarburos, se evidencia que, la mayor porción proviene de la gasolina con el 49,8%, seguido de la leña con 12,3%, el fuel oil con 9,7%, el diésel con el 8,5 %, los productos de caña con el 7,4%, y en último lugar los gases de hidrocarburo con el 6,5% de las emisiones totales. El resto de las fuentes de energía corresponde al 5,8% del total de emisiones de estos gases.

Seguido analizaos las emisiones causadas por anhídrido sulfuroso. El total de emisiones de este gas por uso de energía de la economía nacional es de 55 Ggr de CO₂ eq, Como se muestra en la Figura 4.8., la industria de refinados de petróleo y otros produce el 44,2% de las emisiones totales de este gas, el petróleo aparece como su principal fuente contaminante. Seguido se ubica la generación, captación y distribución de energía eléctrica con 22,4% de las emisiones, el fuel oil constituye la principal fuente contaminante. En tercer lugar, la fabricación de cemento, artículos de hormigón y piedra con 11,8% de emisiones y el fuel oil como principal fuente. Cuarto el transporte y almacenamiento con 11,4% del total de emisiones, su principal fuente es el diésel. Al final vemos a la construcción con 2,8%, la principal fuente son los gases de hidrocarburo. El resto de la economía recoge el 7,4% de las emisiones y sus principales fuentes son el petróleo, gases de hidrocarburo y el diésel.

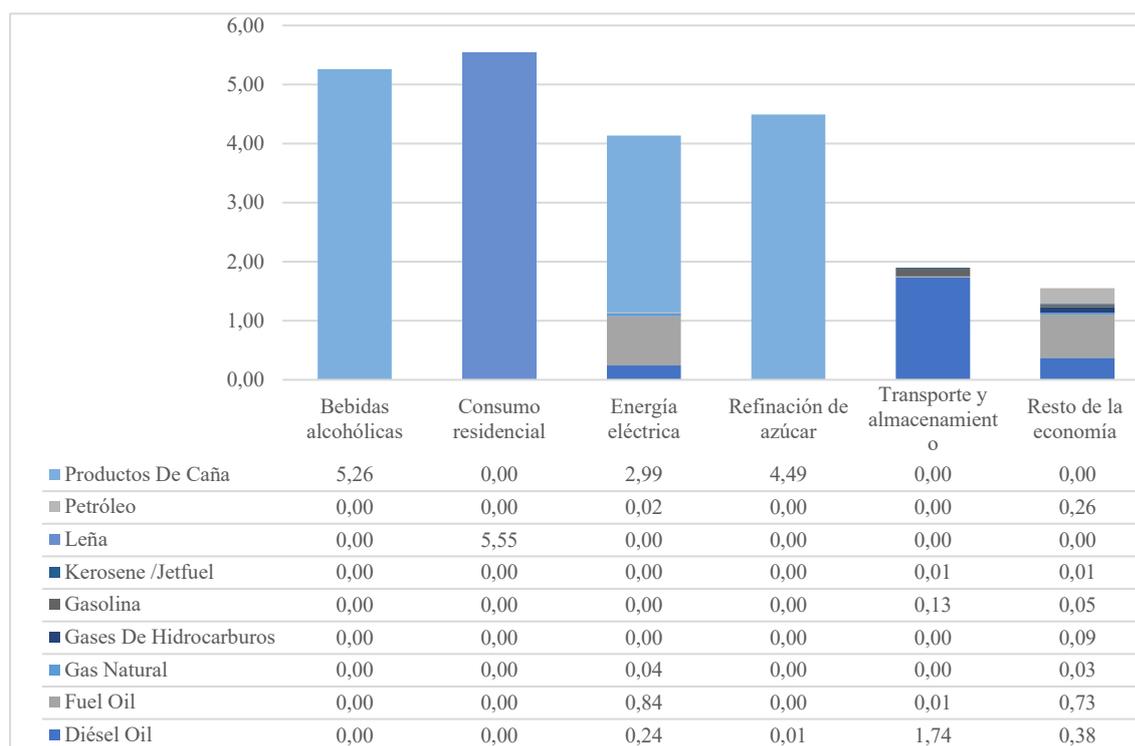
Figura 4.8. Emisiones de SO₂ por actividad económica y fuente de energía, 2020



Si analizamos al anhídrido sulfuroso teniendo en cuenta sus emisiones por fuente energética, vemos que la mayor concentración proviene del petróleo con 43,5%, seguido está el fuel oil con 34,5%, luego encontramos al diésel con 14,7%, y al final se encuentran los gases de hidrocarburos con 6,6%. El resto representan fuentes marginales de emisiones con el 0,8%.

Además de la contaminación por GEI, también existe la contaminación por material particulado, que aporta considerablemente al fenómeno de calentamiento global. El total de emisiones por uso de energía en la economía nacional es de 23 Ggr de CO₂ eq, como se muestran en la Figura 4.9., el consumo residencial produce el 24,2% de las emisiones totales, la leña es su única fuente contaminante. En segundo puesto se encuentra la elaboración de bebidas alcohólicas con 23%, su fuente de contaminación son los productos de caña. En tercer lugar, la elaboración y refinación de azúcar con 19,6%, los productos de caña son fuente contaminante. Le sigue la generación, captación y distribución de energía eléctrica con el 18,1%, los productos de caña y el fuel oil son las principales fuentes. A continuación, se ubica el transporte y almacenamiento con el 8,3%, el diésel es la principal fuente de contaminación. El resto de actividades económicas agrupa el 6,8% de las emisiones totales y sus principales fuentes son el fuel oil, el diésel y el petróleo.

Figura 4.9. Emisión partículas por actividad económica y fuente de energía, 2020



En relación a las emisiones por fuente de energía para el material particulado, la mayor proporción procede de los productos de caña con el 55,7%, seguido de la leña con 24,2%, el diésel con 10,3% y en último lugar el fuel oil con 6,9%. El resto de las fuentes de energía corresponde al 2,9%. La mayor parte de las emisiones de partícula provienen de fuentes primarias de energía y representa el 81,4%.

En el análisis consolidado de emisiones generadas por uso de energía vemos que el sistema económico nacional durante el ejercicio fiscal 2020, generó 35 308 Ggr de CO₂ eq, el detalle por tipo de contaminante y fuente emisora se puede apreciar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Emisiones por contaminante y fuente emisora en Ggr de CO₂ eq, 2020

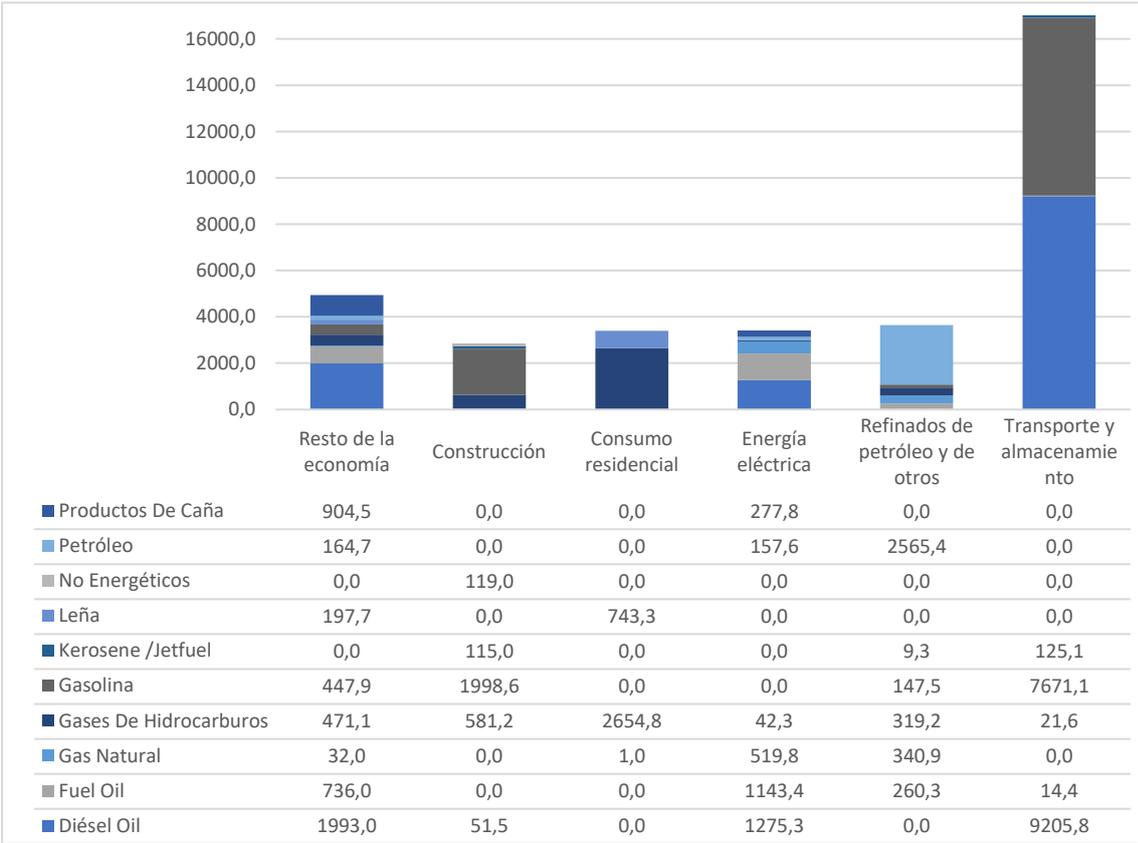
Industria	CO ₂	CO	NO _x	HC	SO ₂	Total
Petróleo	2 855,58	1,13	6,69	0,32	23,90	2 887,6
Gas Natural	865,83	3,09	24,17	0,59	0,01	893,7
Generación Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Leña	878,86	59,30	0,61	1,98	0,24	941,0
Productos De Caña	1 178,57	1,59	0,96	1,19	0,00	1 182,3
Captura De Metano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Aceite De Piñon	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

Industria	CO₂	CO	NO_x	HC	SO₂	Total
Electricidad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Gases De Hidrocarburos	4 061,15	16,49	7,87	1,04	3,61	4 090,2
Gasolina	9 206,69	1 000,01	50,21	8,03	0,15	10 265,1
Kerosene /Jetfuel	248,13	0,30	0,90	0,03	0,04	249,4
Diésel Oíl	12 289,66	70,27	156,27	1,36	8,15	12 525,7
Fuel Oíl	2 102,84	5,80	24,96	1,57	18,98	2 154,1
Otros de Petróleo Y Gas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Etanol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Biogás	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
No Energéticos	119,00	0,00	0,00	0,00	0,00	119,0
Total	33 806,35	1 157,98	272,64	16,12	55,07	35 308,1

Las emisiones por uso de energía en el país provienen principalmente de los combustibles fósiles. Por un lado, tenemos al diésel y la gasolina que acaparan el 65% de las emisiones, seguidos de los gases de hidrocarburos con el 12%. Esta problemática se entiende por la dominancia de vehículos a motor de combustión en el país y, porque los combustibles producidos y consumidos por estos presentan bajos niveles de octanaje (súper 93 octanos, extra y ecopaís 87 octanos), que no alcanzan los límites establecidos en la norma internacional EURO V que se encarga de controlar las emisiones (Llanes, y otros 2018). Sin embargo, según la norma nacional, estos mismos combustibles registra valores inferiores a los permitidos. Estas contradicciones entre la normativa nacional e internacional permiten que en el país se comercialicen aún combustibles con bajos niveles de octanaje y altos contenidos de azufre que generan mayor grado de contaminación. Así mismo, la aceptación del uso de cocinas a gas en el país como consecuencia de su bajo costo de operación ha permitido una dominancia y permanecía de esta tecnología, a esto se suma el subsidio al GLP existente. Adicionalmente las emisiones por refinación tampoco deben descuidarse ya que alcanzan el 8%.

Estos resultados se complementan con el análisis de emisiones por sector económico, los que se aprecian en la Figura 4.10.

Figura 4.10. Emisiones de GEI por sector económico, 2020



Como vemos, el sector que reporta mayor número de emisiones es el transporte y almacenamiento con el 48,3%, esto se entiende por el alto consumo de diésel y gasolina. La actividad que sigue es la fabricación de productos refinados de petróleo y de otros con el 10,3%, las emisiones surgen principalmente en el proceso de transformación del petróleo, especialmente por la ineficiencia en el procesamiento de crudo pesado. En tercer lugar, encontramos las emisiones por generación, captación y distribución de energía eléctrica con el 9,7%, según datos del balance energético cerca del 50% de la energía es producida aun por fuentes térmicas, destaca el uso de diésel, fuel oil, gas natural, y productos de caña. Cuarto se encuentra el consumo residencial con 9,6%, principalmente por el consumo de gas de uso doméstico además de leña, esta última podría aumentar los registros dado que su contabilización es incompleta y mantiene aún un uso extensivo es sectores rurales. Quinto encontramos al sector de la construcción con el 8,1% que se explica por el alto consumo de combustibles como la gasolina y gas, y también de lubricantes que se encuentran en la categoría de no energéticos. El resto de la economía genera el 14% las emisiones y provienen principalmente del uso de diésel, productos de caña, fuel oil, gases de hidrocarburos, gasolina, leña y petróleo.

4.3 Intervenciones públicas de mitigación de GEI

Una vez obtenidos los resultados de las emisiones, es importante alinearlos a las intervenciones públicas correspondientes a los programas y proyectos de mitigación de GEI en materia de energía de la NDC para determinar su estado de avance, pertinencia y efectos sobre otras variables en la economía. Es importante señalar que, en algunos casos para este análisis, las intervenciones se agruparán por su ámbito y en otros casos se analizan de forma individual.

Las intervenciones de mitigación para el escenario incondicional son:

1. Desarrollo de Centrales Hidroeléctricas.
2. Programa de Eficiencia Energética – Optimización de Generación Eléctrica y Eficiencia Energética (OGE&EE).
3. Energía Renovable No Convencional.
4. Programa de Cocción Eficiente.
5. Transporte Público Eficiente.
6. Captura activa de metano y generación eléctrica del relleno sanitario de Pichacay (Cuenca).

Iniciamos con el ámbito de la generación eléctrica, para esto se plantean dos alternativas: *desarrollo de centrales hidroeléctricas y energía renovable no convencional*. Estas intervenciones buscan aprovechar fuentes hídricas, eólicas, solares, y biogás de rellenos sanitarios para la generación eléctrica. Plantean desplazar el uso de diésel y fuel oíl utilizado en la generación eléctrica con un potencial de reducción de 6 055 Ggr de CO₂ eq hasta el 2025.

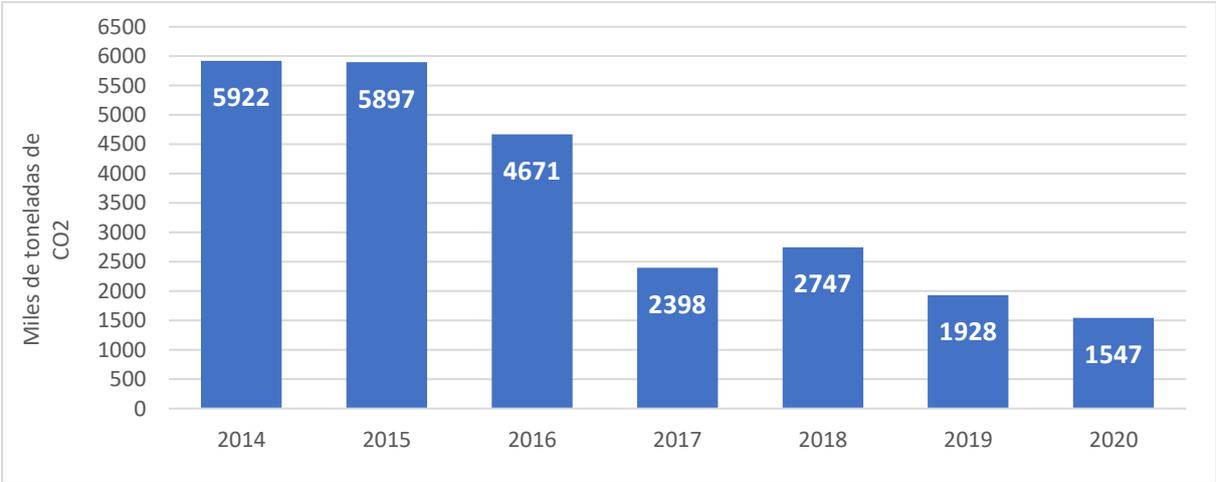
De acuerdo a los resultados obtenidos, las emisiones de generación eléctrica térmica por diésel y fuel oíl durante el 2020 fueron de 2 419 Ggr de CO₂ eq, correspondientes al 7% de emisiones de todo el sistema. De los cuales, 1 320 Ggr de CO₂ eq corresponden a centrales térmicas y 1 100 Ggr de CO₂ eq para autoprodutores térmicos.

Es importante añadir que, existen cifras de consumo, especialmente en el componente interindustrial para generación de fuentes primarias, que provienen de generación térmica y que son difíciles de ver en el balance energético. Estas cifras de acuerdo a los resultados alcanzan hasta 997 Ggr de CO₂ eq y se generan no solo por el consumo de otras fuentes de energía sino también diésel y fuel oíl. Esto permite adelantar que el 50% de la energía eléctrica en el Ecuador se origina aun en combustibles fósiles, que no necesariamente es

energía eléctrica disponible, sino que se utiliza previamente en el consumo interindustrial y que también genera emisiones. Un ejemplo lo podemos evidenciar en autoprodutores de explotaciones de petróleo o gas natural que no se encuentran conectados al Sistema Interconectado Nacional.

Como la intervención plantea la reducción de emisiones para estaciones de generación termoeléctricas, a continuación, comparamos los 1 320 Ggr de CO₂ eq mencionados anteriormente con los datos del Operador Nacional de Electricidad (CENACE) (2021), quien presenta la serie histórica 2014-2020 para emisiones de CO₂ (Figura 4.11.).

Figura 4.11. Emisiones de CO₂ de centrales térmicas 2014-2020



Fuente: Operador Nacional de Electricidad (2021a, 36)

Como vemos, los resultados guardan relación. Sin embargo, es importante analizar la evolución de la serie histórica. Como punto de partida tenemos al 2014 como el año con mayor cantidad de emisiones por generación térmica, luego, el 2016 marca una tendencia a la baja. Esta tendencia se explica por el inicio de operaciones de los proyectos de generación energía alternativa, tal como lo evidencia la Tabla 4.3., ya que fueron construidos e iniciaron su operación antes del inicio del Acuerdo de París.

Tabla 4.3. Iniciativas de generación eléctrica no convencional

Proyecto	Inicio de construcción	Operación	Avance
Coca Codo Sinclair	julio 2010	noviembre 2016	100%
Delsitanisagua	noviembre 2011	diciembre 2018	100%
Minas San Francisco	julio de 2012	noviembre 2019	100%
Manduriacu	mayo de 2012	marzo 2015	100%
Toachi Pilatón	enero de 2008	--	92,9%

Proyecto	Inicio de construcción	Operación	Avance
Villonaco	agosto de 2011	enero 2013	100%
Tropezón	s/d	octubre de 2007	100%
Pichacay (Cuenca)	s/d	Fase I sep 2001, Fase II: 2009	100%

Fuente: CELEC (2021b) y Ministerio de Energía y Minas (2021).

Estos proyectos permitieron que Ecuador desde el año 2016 se consolide como exportador de energía, registrando las mayores cifras para el 2019 con \$68 millones de USD y 2020 con \$55,5 millones USD. Cifra que demuestra que el país está en condiciones de remplazar parte de su esquema de producción térmica por el excedente en producción de energía. Sin embargo, este costo sería alto en términos de variables económicas como se demuestra más adelante.

Hasta aquí el análisis permite adelantar que las estaciones térmicas aún se encuentran operando. De tal forma que esta intervención no permitiría una reducción por el lado de la inversión en estos proyectos, sino que lo lograría únicamente desde el cese de las operaciones de las centrales térmicas. Sin embargo, Ecuador ha priorizado la búsqueda de beneficio económico frente a la pérdida por el cierre de sus centrales térmicas.

El país registra exportaciones netas de \$42 802 830 USD equivalentes a 1 088,6 GWh para el año 2020 (Operador Nacional de Electricidad 2021b), esto implica no solo beneficio económico sino también una translocación de reducciones de emisiones hacia sus países vecinos, que no deberían ser contabilizadas en sus cuentas de reducción sino en la de los compradores. Sin embargo, en el escenario de que el país decida dejar de exportar y cerrar sus estaciones térmicas significaría una reducción de 52,7% de las emisiones de centrales térmicas, equivalente a 695,4 Ggr de CO₂ eq. Esto se traduce en una inversión de \$61,5 mil USD por cada Ggr de CO₂ eq reducido.

Dado que el análisis se ha centrado en la sustitución de exportaciones de energía, no es posible mostrar datos adicionales de reducción de GEI más que lo que ya se han presentado. Únicamente se medirá el impacto en las variables de empleo y producción a partir de una variación en el vector de exportaciones del sector Generación, captación y distribución de energía por un monto de \$42 802 830 USD. Los resultados se pueden observar en la Figura 4.12. para empleo y Figura 4.13. para producción.

Figura 4.12. Impacto de la generación eléctrica sobre el empleo en miles de dólares

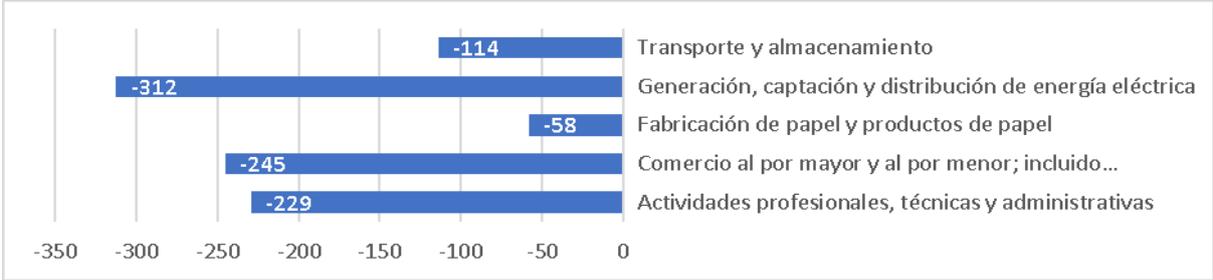
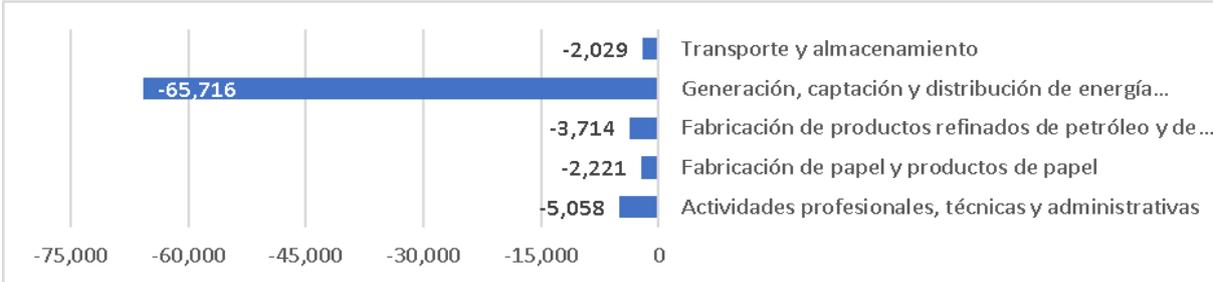


Figura 4.13. Impacto de la generación eléctrica sobre la producción en miles de dólares



La siguiente intervención respecta al *programa de eficiencia energética – optimización de generación eléctrica y eficiencia energética (OGE&EE)*. Este programa, de acuerdo al PI-NDC, busca reducir la quema de gas asociado a antorcha de las explotaciones petroleras aprovechándolo para generación eléctrica y producción de gas licuado de petróleo (GLP), su potencial de reducción es de 270 Ggr de CO₂ eq hasta el 2025.

De acuerdo a los resultados, la actividad de extracción de petróleo crudo y gas natural registra 165 Ggr de CO₂ eq generados para el 2020, esto representa el 0,5% de las emisiones totales. Sin embargo, es necesario indicar que, estas emisiones no corresponden a la actividad de quema en antorcha, ya que, al no ser una actividad energética, no se registra en los balances nacionales. A pesar de aquello, se analizará en esta sección por su utilización futura en generación eléctrica y producción de GLP, que además generan emisiones por producción o consumo.

La intervención alcanza un costo de \$60 millones USD lo que significa, dado el potencial de reducción que plantea, una inversión de \$222 mil USD por cada Ggr de CO₂ eq disminuido.

El GLP, al ser un producto secundario, se puede originar en extracciones petroleras o de gas natural y en refinado de petróleo. En ambos casos, cuando no es utilizado, es venteado o quemado en antorcha. Esto desaprovecha su capacidad para producir energía a la par que genera emisiones con alto potencial de calentamiento global.

En el caso de venteo se emite CH₄ principalmente y en el caso de la quema en antorcha CO₂, NO_x y SO₂. Estos gases actúan de forma diferente en los procesos de calentamiento global. Así, por ejemplo, el CH₄ tiene un potencial de calentamiento global de 23,4, que significa que cada 100 años 1 kg de metano calienta 23,4 veces más que el CO₂, sin embargo, su tiempo de vida útil en la atmósfera es de solamente 12 años. En el caso del CO₂ su potencial de calentamiento global es 1, sin embargo, su vida útil en la atmósfera puede ir de 5 a 200 años. Como vemos tanto la actividad de venteo como de quema de estos gases son contaminantes y generan calentamiento global.

Dado que esta intervención considera el cambio de una actividad no energética a una energética, es claro que no hay sustitución por usos de fuentes energéticas. Sin embargo, dado que el GLP es considerado como la fuente energética de combustión más limpia frente a otras como gasolina, diésel, fueloil, la madera o el carbón, es necesario conocer sus efectos sobre el ambiente.

Así, por ejemplo, un vehículo impulsado por GLP, reduce las emisiones de CO₂ hasta en 12% frente a gasolina, y puede ser hasta cinco veces más eficiente que los combustibles tradicionales. Así mismo el GLP es menos contaminante que la gasolina para consumo vehicular urbano y extra urbano (Tasic, Pogorevc y Brajlilh 2011). En la combustión del GLP se generan GEI como dióxido de carbono, y en menor medida óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de azufre (Samaniego-Ojeda, Álvarez y Maldonado 2016). En cuanto a emisiones de NO_x y CO estas son similares en comparación con la gasolina y en el caso del CO₂, estas son significativamente más bajas (Ryskamp y Nourigat 2017).

Como hemos visto hasta aquí, tanto las actividades de venteo, quema en antorcha y el uso energético del CH₄ son contaminantes, si bien la forma química de estos cambia dependiendo de su uso, siempre generan emisiones. Esto es posible corroborar con los resultados de emisiones de GEI del sector residencial obtenidos en esta investigación, que ubican a este sector como el cuarto mayor emisor, con el 7,5% de las emisiones totales por consumo de GLP.

El uso del GLP se considera una alternativa viable en términos ambientales cuando su uso significa el remplazo de una energía con un potencial de emisiones superior, como por ejemplo cuando se remplaza por la combustión de gasolina, diésel, gasóleo, el fueloil, madera o carbón. Y se sobre entiende que, continúa siendo contaminante si remplaza el uso de energías alternativas.

Esta intervención plantea la reducción de emisiones por quema en antorcha para producción energética y GLP, es decir que no reemplaza ningún combustible de origen fósil, por el contrario, la energía producida entra a sumar al stock de energía nacional con un alto componente de producción alternativa. Esto decanta en una contradicción a la intervención de energías alternativas. Adicionalmente la producción de GLP genera contradicción con la intervención de cocción eficiente que propone el uso de energía eléctrica frente al uso de GLP. Es importante puntualizar que, el coeficiente de emisión de CO₂ de generación termo eléctrica para gases de hidrocarburos es de 16 kg de CO₂/Tj, y para consumo residencial es de 65 kg de CO₂/Tj (Organización Latinoamericana de Energía 2017a).

Asimismo, la intervención justifica la generación eléctrica por el remplazo del diésel utilizado en las propias explotaciones o comunidades cercanas, sin embargo, es evidente que el beneficio es meramente económico, ya que una intervenciones efectiva y permanente sería conexiones directas al Sistema Interconectado Nacional para el consumo de energía alternativa. Otras soluciones podrían ser, implementación de tecnologías para reducir la generación del gas residual, la reinyección del gas residual en las explotaciones, o inclusive disminuir los niveles de explotación. Esta última sería poco viable dada la dependencia del modelo primario exportador para el caso del petróleo.

Es importante destacar que esta intervención tiene beneficios como la reducción de contaminación *in-situ*, o la contaminación por ruido que produce la quema en antorcha. Situaciones que causan problemas de salud a los habitantes de las comunidades cercanas a las explotaciones.

Para evaluar los efectos de esta intervención se inyecta al sector de petróleo y sus derivados una inversión por parte del Gobierno de \$60 millones de USD. Dado que no se mide las emisiones de quema en antorcha como energía, los resultados suponen un aumento de las emisiones como se aprecia en la Figura 4.14. Los impactos en las variables empleo y producción se aprecian en la, Figura 4.15 y Figura 4.16.

Figura 4.14. Impacto de reducir quema en antorcha sobre emisiones en Ggr de CO₂ eq

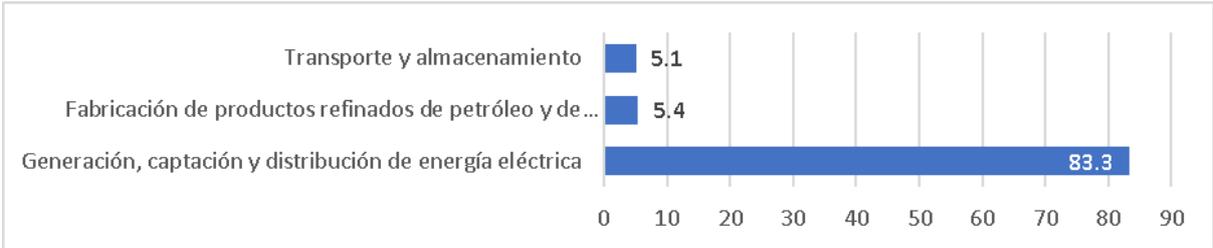


Figura 4.15. Impacto de reducir quema en antorcha sobre empleo en miles de dólares

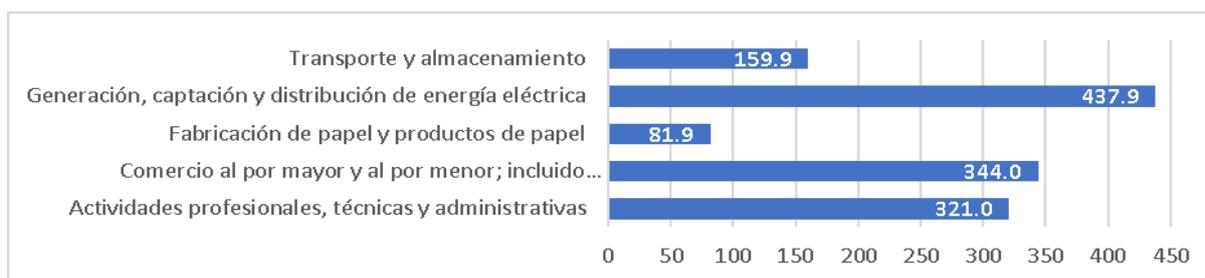
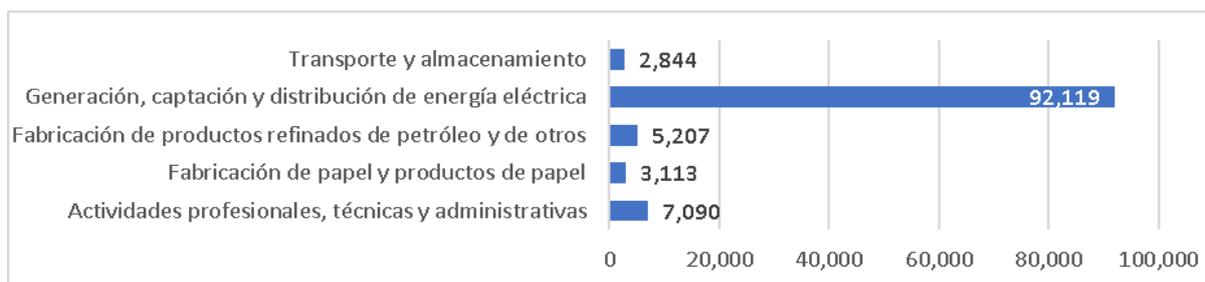


Figura 4.16. Impacto de reducir quema en antorcha sobre producción en miles de dólares



La siguiente intervención es el *programa de cocción eficiente (PCE)*. De acuerdo al PI-NDC busca reemplazar 595 343 cocinas de GLP hasta octubre de 2018. La intervención plantea desplazar el uso de Gases de hidrocarburos por uso de energía eléctrica para la cocción residencial. Su potencial de reducción es de 150 Ggr de CO₂ eq. Partimos por señalar que en el planteamiento de la información de este proyecto hay una imprecisión al definir al año 2018 como fecha fin.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el sector residencial emite 2 655 Ggr de CO₂ eq para el año 2020. Esto equivale al 8% de las emisiones totales, y está muy por encima de la meta establecida en NDC.

El costo calculado referencial del PCE asciende a \$678,8 millones USD. Con este monto y considerando el potencial de reducción, la intervención invierte \$905 mil USD por cada Ggr de CO₂ eq reducido.

Este programa fue diseñado e inició su ejecución previa al periodo de vigencia del Acuerdo de París. Buscaba contribuir al aprovechamiento eficiente del excedente energético de generación eléctrica renovable para el cambio de la matriz energética, como también reducción de importaciones de GLP, reducir el gasto en subsidio al GLP, apoyar a la balanza comercial, estimular producción nacional de cocinas y disminuir las emisiones. Su meta era el cambio de 3 035 128 cocinas de inducción en un periodo de 10 años a partir de 2016.

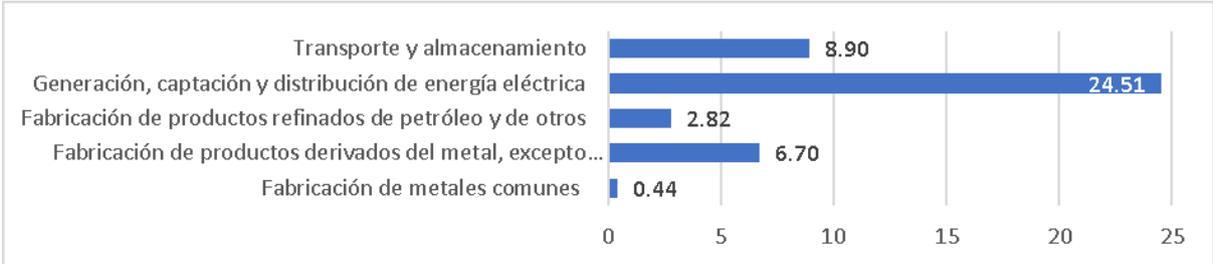
De acuerdo a la ficha informativa del programa (Ministerio de Energía y Minas 2022), en el primer año de ejecución se vendieron 572 587 unidades, cifra que se incrementó hasta septiembre de 2018 hasta alcanzar 783 944 unidades. Sin embargo, a partir de aquí las ventas disminuyen por problemas en la gestión y administración. En el siguiente año el programa fue congelado alcanzando apenas la venta de 2 800 unidades aproximadamente. Durante todo el año 2020 el programa se mantuvo congelado, a pesar de esto se reportan 220 unidades vendidas. Finalmente, entró en fase de cierre desde agosto de 2021, esto a pesar de que en marzo de ese mismo año se declaró como prioritario (Ministerio de Energía y Minas 2022).

El problema en los avances surge dado que la demanda de cocinas era superior a la oferta, lo que implicó que el estado importara desde China las unidades faltantes para cubrir el excedente. La consecuencia principal de esto es que las ventas se realizaron fuera de las empresas autorizadas originalmente en el programa, dificultando su contabilización.

Todo esto significa que el programa no logrará alcanzar las metas establecidas para la NDC, esto a pesar de las implicaciones positivas para el país por inversión en la fabricación de cocinas y accesorios y la inversión en la instalación de circuitos para el abastecimiento y uso de electricidad. Tal como se muestra en la Figura 4.18. y Figura 4.19. para las variables empleo y producción.

Las inversiones estimadas se realizan, en el caso de la actividad fabricación de productos derivados del metal, excepto maquinaria y equipo, por el valor que equivaldría al costo mínimo de fabricación de una cocina de inducción multiplicada por el número de cocinas proyectadas a implementar, monto que asciende a \$119 millones de USD. En el caso de la generación, captación y distribución de energía se estimó \$16,7 millones USD por concepto de gasto en la instalación de nuevos circuitos. En ambos casos los montos inyectados mediante el vector de demanda final provienen de gastos del Gobierno.

Figura 4.17. Impacto del PCE sobre la emisión de GEI en Ggr de CO₂ eq



Finalmente, se debe considerar que las inversiones en los sectores antes indicados causaran un aumento de emisiones en otros sectores, sin embargo, estas son inferiores a las evitadas como se aprecia en la Figura 4.17.

Figura 4.18. Impacto del PCE sobre empleo en miles de dólares



Figura 4.19. Impacto del PCE sobre producción en miles de dólares



La siguiente intervención es el *transporte público eficiente*. De acuerdo al PI-NDC incluye la construcción del metro en la ciudad de Quito con una cobertura de 22 km y la implementación del tranvía en la ciudad de Cuenca con un recorrido de 12 km. Estos proyectos plantean aprovechar la energía eléctrica de fuentes renovable para la movilidad de pasajeros de forma masiva, reduciendo los tiempos de viaje y haciendo efectivo el uso de transporte público. Plantea un potencial de reducción de 85 Ggr de CO₂ eq Su ámbito de aplicación se enfoca al transporte de pasajeros únicamente. Para el caso del Metro de Quito se plantea el desplazamiento en el consumo de diésel por \$50 millones USD al año, en el caso del tranvía de Cuenca no se ha logrado encontrar información precisa sobre su impacto en el consumo de diésel.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el sector transporte y almacenamiento produjo 17 038 Ggr de CO₂ eq durante el 2020, correspondiente al 48,3% de emisiones totales. Consideramos que la meta planteada para este escenario es reducida, dado que solo considera el 0,04% de reducciones en su sector.

El costo calculado referencial del proyecto de transporte público eficiente asciende a \$ 40,5 millones USD. Con este monto y considerando el potencial de reducción, la intervención invierte \$ 370 588,23 mil USD por cada Ggr de CO₂ eq reducido.

El Metro de Quito aún no ha iniciado sus operaciones por problemas de administración y financiamiento, por lo que no reporta aún reducciones de GEI. En el caso del Tranvía de Cuenca, este inició sus operaciones en mayo de 2020 y al finalizar este mismo año registro una ejecución de 97,62% (GAD Municipal de Cuenca 2021). El proyecto ha sido criticado por su baja demanda, de 13 147 pasajeros en promedio por día (GAD Municipal de Cuenca 2021), cifra muy por debajo de la meta propuesta de 40 000 usuarios. Esto no solamente genera al proyecto perdidas en términos económicos, sino que deriva en un consumo energético no justificado, sobre todo si este transporte es alimentado por el Sistema Nacional Interconectado que aun contiene energía proveniente de fuentes térmicas originadas en la quema de diésel y fuel oíl que generan emisiones.

Esta intervención, en ambos casos por sus problemas de administración, no ha logrado alcanzar sus metas. A pesar de ser proyectos que aportan en el desplazamiento de consumo de diésel, dado que son impulsados con energía, no han logrado este cometido, más bien es posible que hayan agravado la problemática, por ejemplo, se acusa al tranvía de cuenca de causar tráfico vehicular, sin embargo, no se han encontrado datos oficiales que lo confirmen.

Para evaluar los efectos de esta intervención se inyecta al sector transporte y almacenamiento, para el caso del Metro de Quito, una inversión en gasto de consumo final del Gobierno General por \$26, 6 millones de USD más un monto de inversión por parte de la propia empresa del Metro e inversión extranjera que asciende a \$ 9 millones de USD. Para el caso del Tranvía de Cuenca, se inyecta mediante inversión del Gobierno un monto de \$ 4,76 millones de USD. En ambos casos corresponden a las inversiones del año 2020. Estas intervenciones, de ser efectivas, no solo mejoran las condiciones ambientales, sino que por su inversión en obra pública estimulan variables como el empleo y la producción como se aprecian en la, Figura 4.20. y Figura 4.21. respectivamente.

Figura 4.20. Impacto del transporte eléctrico sobre empleo en miles de dólares



Figura 4.21. Impacto del transporte eléctrico sobre producción en miles de dólares



A continuación, analizamos a la *captura activa de metano y generación eléctrica del relleno sanitario de Pichacay (Cuenca)*, esta intervención busca la captura activa de metano para generación eléctrica y plantea una reducción de 30 Ggr de CO₂ eq.

Dado que la actividad de generación de biogás en un relleno sanitario no es de tipo energética no es posible mostrar resultados de emisiones actuales utilizando los valores del Balance Energético, sin embargo, al ser almacenado para luego aumentar el stock de energía en el sistema nacional es pertinente su análisis.

El costo calculado referencial de la captura activa de metano y generación eléctrica del relleno sanitario de Pichacay en su fase actual de funcionamiento (Fase Norte II) asciende a \$ 4,7 millones USD. Con este monto y considerando el potencial de reducción, la intervención invierte \$ 34 977,63 mil USD por cada Ggr de CO₂ eq reducido.

Antes de iniciar el análisis, es preciso mencionar que, de acuerdo a la información de PI-NDC este proyecto se encuentra duplicado, ya que consta tanto en esta intervención como en la de *Energía Renovable No Convencional*, provocando que su potencial de reducción de emisiones sea duplicado.

Iniciamos considerando que, el Metano CH₄ se genera a partir de la descomposición biológica, para el caso de rellenos sanitarios, por la descomposición de residuos sólidos de origen orgánico. Es importante considerar que a la par de la emisión de metano también se produce dióxido de carbono. Este metano, de acuerdo a la intervención, será capturado, almacenado y distribuido para consumo energético.

Como ya se analizó previamente en la intervención *programa de eficiencia energética – optimización de generación eléctrica y eficiencia energética*, este gas es contaminante tanto en su fase de venteo, quema en antorcha o consumo energético final.

En este caso, el metano no es sustituido por otro combustible con mayor intensidad de contaminación, consideramos que el beneficio no es mayor, dado que actualmente el Ecuador

tiene un excedente de producción de energía. Esto solo permitiría aumentar los stocks del combustible o reducir los volúmenes de importación de GLP, en ambos casos el beneficio es económico. Si bien, el proceso de captura activa de metano en los rellenos sanitarios reduce significativamente su emisión directa hacia el medio ambiente, en cierta medida deslocaliza emisiones de CO₂ hacia el sector de la generación eléctrica por quema de GLP, cuyo ciclo de vida es más extenso que el del propio metano. Así mismo, a pesar de que el factor de calentamiento global del metano es superior al dióxido de carbono, no hay que olvidar que su vida útil en la atmósfera es menor. No hemos logrado encontrar estudios que comparen valores en términos Ggr de CO₂ eq y vida útil estos dos gases y permitan comprobar esta observación.

Consideramos que la alternativa válida para reducir efectivamente estos gases es partir de la disminución de la cantidad de residuos generados. Especialmente porque la producción de metano continua una vez iniciada la fase de cierre de los rellenos sanitarios, sin considerar el daño ambiental colateral por la contaminación de agua y suelo.

Para evaluar los efectos de esta intervención se inyecta al sector *captación, depuración y distribución de agua; y saneamiento* una inversión por parte de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC) de \$1,6 millones de USD en el año 2020. Esta inyección aporta en términos económicos a variables como el empleo y producción tal como se muestra en la Figura 4.22. y Figura 4.23. respectivamente.

Figura 4.22. Impacto de la captura de metano sobre empleo en miles de dólares



Figura 4.23. Impacto de la captura de metano sobre producción en miles de dólares



A continuación, revisamos las intervenciones de mitigación para el escenario condicional:

1. Plan Nacional de Eficiencia Energética.
2. OGE&EE – Fase 2.
3. Energías Renovables.
4. NAMA de transporte de carga y pasajeros.
5. Eficiencia energética en el sector de Hidrocarburos

Iniciamos con el ámbito de la eficiencia energética, para esto se plantean tres alternativas:

Plan Nacional de Eficiencia Energética, OGE&EE – Fase 2 y Eficiencia energética en el sector de Hidrocarburos. Estas intervenciones plantean diversas iniciativas que incluyen mayor eficiencia en el manejo de la energía para los sectores residencial, comercial, público, industrial, transporte, y petrolero. El potencial de reducción de emisiones de estas intervenciones es de 4 100 Ggr de CO₂ eq.

De los resultados obtenidos para el 2020, el sector residencial genera 3 399 Ggr de CO₂ eq, el comercial 526 Ggr de CO₂ eq, el público 1 Ggr de CO₂ eq, el industrial 7 447 Ggr de CO₂ eq, y la extracción de petróleo 16 Ggr de CO₂ eq. En suma, estos sectores contribuyen 11 389 Ggr de CO₂ eq que representa el 32% de emisiones de todo el sistema.

La intervención alcanza un costo de \$397,76 millones USD. De acuerdo a este presupuesto y a su potencial de reducción, tenemos que, esta intervención invierte \$97 mil USD por cada Ggr de CO₂ eq reducido.

En cuanto a eficiencia energética, autores como Díaz Cordero (2012) y Santamarta (2020) señalan la necesidad de financiamiento estatal en proyectos que contribuyan a aumentar la eficiencia energética y el uso de energía renovable, como solución sostenible y fiable al cambio climático; especialmente en economías primario exportadoras.

Estas iniciativas se han aplicado de manera eficiente en países como Brasil, Chile y México, quienes desarrollaron una estructura institucional dedicada a elevar la eficiencia con resultados positivos. Sin embargo, de acuerdo al PI-NDC las intervenciones han sido incorporadas al escenario condicional que requiere para su ejecución de cooperación internacional, la que aún no se ha materializado. Esta intervención por los altos costos, resulta difícil de financiar mediante recursos nacionales y más en una economía que aún no ha logrado satisfacer las necesidades básicas en todo su territorio.

En comparación a las iniciativas hasta aquí analizadas, consideramos que esta intervención favorece directamente a la mitigación de GEI. Hacemos esta apreciación dado que, su diseño se enfoca en la reducción del consumo energético y la búsqueda de la eficiencia, generando no solo beneficio ambiental sino también económico por su aporte en la reducción de importaciones de energía de origen fósil. Se enmarcan como intervenciones directas para descarbonizar la economía, al contrario de las iniciativas que se analizaron con anterioridad, cuyo beneficio principal es el económico y que afectan colateralmente con reducciones de emisiones.

Es necesario destacar que el Plan no cuenta con un presupuesto detallado para las áreas de intervención de estas iniciativas, por lo que se afectará únicamente al sector de generación, captación y distribución de energía eléctrica con una inversión del gobierno por \$23 millones USD que corresponde a la del Plan Nacional de Eficiencia Energética. Para el caso de la Eficiencia energética en el sector de Hidrocarburos se afectará mediante inversión del gobierno por \$35,4 millones USD a la actividad de extracción de petróleo y derivados. No es posible incluir en este vector de inyecciones montos relacionados a OGE&EE – Fase 2, dado que no existen presupuestos detallados. Estas iniciativas impulsarían fuertemente al sector empleo, especialmente al altamente calificado, así como también movería fuertemente a la producción. Tal como se puede apreciar en la Figura 4.24. y Figura 4.25. respectivamente.

Figura 4.24. Impacto de la eficiencia energética sobre empleo en miles de dólares



Como ya se analizó en el escenario incondicional, y de acuerdo a los resultados obtenidos, las emisiones de generación eléctrica por combustibles de origen fósil y orgánico durante el 2020 fueron de 3 416 Ggr de CO₂ eq, esta cifra incluye los valores de quema de diésel, gas natural y fuel oíl de centrales térmicas, como también los consumos de los autoprodutores térmicos. Es importante rescatar que, el 50% de la energía del país aún procede de fuentes térmicas, alguna de la cual se consume en procesos primarios y el resto entra como energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional.

Figura 4.25. Impacto de la eficiencia energética sobre producción en miles de dólares



La intervención, a través del Plan Maestro de Electricidad 2018 -2027, analiza la viabilidad para la puesta en marcha de 71 centrales hidroeléctricas, 3 centrales de biomasa, 3 centrales de energía eólica, 2 de biogás y 34 de energía solar. De estos, plantea la construcción de 22 nuevos proyectos de generación eléctrica alternativa de tipo hidroeléctrica para su operación hasta el año 2027. Se conoce que únicamente los proyectos Santiago I, Santiago II y Carderillo presentan a la fecha estudios de diseño definitivo; a estos se suman proyectos de energía eólica ubicado en Saraguro, Loja.

La ejecución de estas iniciativas entre 2020 y 2025 alcanza una inversión de \$5 161,9 millones USD. No es posible calcular el costo por unidad de Ggr de CO₂ eq reducido para esta intervención a, dado que el potencial de reducción de emisiones propuesto abarca la ejecución del Plan Maestro de Electricidad 2018 -2027 y únicamente se conoce la inversión de 5 proyectos.

Como ya se adelantó en la discusión del escenario incondicional, el Ecuador, a pesar de ser un exportador de energía, aún no ha logrado cerrar sus operaciones térmicas. La ejecución de esta intervención permitiría ampliar el stock de energía alternativa. Sin embargo, el Plan Maestro de Electricidad 2018-2027 contempla la ejecución de dos nuevas plantas termoeléctricas. Adicionalmente, CELEC-EP ha puesto en marcha un plan de recuperación de 16 estaciones termoeléctricas por problemas de erosión regresiva presentados en el Rio Coca que provee el caudal a la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. Esto sumaría a los 2 266 MW de oferta termoeléctrica 2020 (Operador Nacional de Electricidad 2021a) 187 MW de los nuevos proyectos y 553 MW del proceso de recuperación, alcanzando 3 006 MW.

A pesar de lo anterior, la intervención plantea la generación de 3 582,19 MW adicionales de energía alternativa, por lo que consideramos que su esquema de ejecución cumple con el objetivo de sustitución de la energía termoeléctrica, siempre y cuando este tipo de infraestructura sea utilizada en actividades de mantenimiento o situaciones emergentes como las ocurridas en el Rio Coca.

La implementación permite alcanzar la capacidad de producción energética para remplazar las importaciones de combustibles y los consumos propios de las centrales térmicas y los autoprodutores térmicos que aún no se conectan al sistema interconectado y que utilizan petróleo, gas natural, productos de caña, diésel, fuel oíl para producirla. Y dan paso a una exportación justificada de energía limpia.

Para el análisis de impactos de esta intervención sobre el sistema económico, se toma como supuesto los montos de inversión estimados en el Plan Maestro de Electricidad 2018-2027. Dado que aún se desconoce el financiamiento de gran parte de los proyectos, se afectará únicamente al sector de *generación, captación y distribución de energía eléctrica*. Se inyecta una inversión a los Gasto de consumo final del Gobierno General por un monto de \$754,9 millones USD. Sus implicaciones se muestran en las Figura 4.26. y Figura 4.27. respectivamente.

Figura 4.26 Impacto de la generación energética sobre empleo en miles de dólares

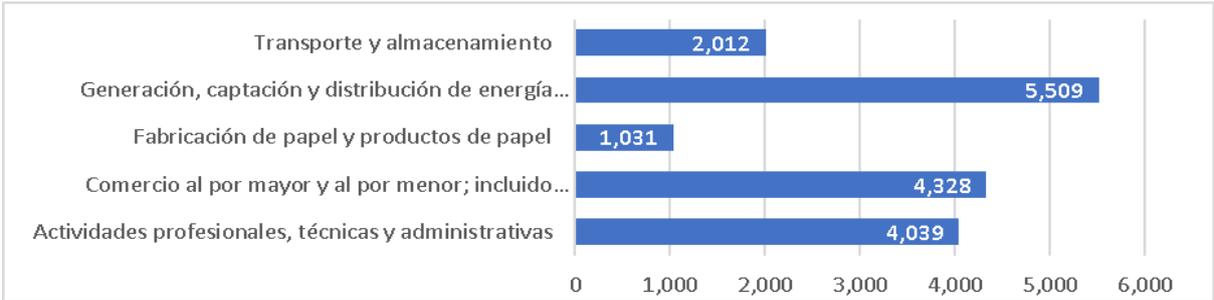


Figura 4.27 Impacto de la generación energética sobre producción en miles de dólares



Finalmente tenemos la iniciativa denominada *NAMA¹³ de transporte de carga y pasajeros*. Para el sector carga plantea acciones con costo beneficio aplicables al sector que generen alto impacto en reducción de emisiones de GEI a un bajo costo. Para el caso del transporte de pasajeros basa su acción en los tres principales focos de consumo del país: Quito, Guayaquil y Cuenca. El potencial de reducción de emisiones para el componente de transporte de carga es

¹³ Acciones nacionales apropiadas de mitigación

de 1 000 Ggr de CO₂ eq. Para el caso del transporte de pasajeros plantea un potencial de reducción de emisiones de 740 Ggr de CO₂ eq. Totalizando 1 740 Ggr de CO₂ eq para toda la intervención.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el sector transporte y almacenamiento produce 17 038 Ggr de CO₂ eq durante el 2020, correspondiente al 48,3% de emisiones totales. La intervención considera reducciones de hasta el 10% de reducciones en su sector.

Dado el presupuesto asignado para llevar a cabo la intervención y los potenciales de reducción de emisiones establecidos para cada uno de los subsectores, se puede decir que la intervención invierte \$ 867 mil USD por cada Ggr de CO₂ eq reducido.

La intervención surge por el crecimiento poblacional que ha experimentado el Ecuador y que ha derivado en un aumento en la demanda de servicios de transporte terrestre tanto a nivel público como privado. Como ya se mostró en los resultados de 4.2 Emisiones de GEI, este sector es el principal causante de emisiones por consumo de diésel y gasolina. Para el caso del transporte de carga, la propuesta está encaminada a la renovación de las flotas y mejora de tecnologías, a la formalización del sector mediante el monitoreo del transporte de mercancías y, la mejora de la gestión logística. En lo referido al transporte de pasajeros se plantea la mejora en la eficiencia energética y operación del transporte público mediante la renovación del parque vehicular. También promueve programas de conducción eficiente, la gestión de los usos del suelo mediante políticas de estacionamiento, gestión de la demanda de tráfico e incentivos al transporte no motorizado a través del aumento en el número de ciclocarriles y ciclovías.

Esta intervención afecta directamente a la mitigación de GEI y busca eficiencia en el consumo de combustibles. Genera adicionalmente beneficio económico por las reducciones en el consumo de combustibles. Al igual que la iniciativa de eficiencia energética, esta iniciativa se considera como una intervención directa para descarbonizar la economía.

Sobre esto coinciden autores como Arango y Valencia (2017) quienes argumentan que la puesta en marcha de NAMA de transporte sostenible permiten una mejor gestión y eficiencia en los usos de los sistemas de transporte terrestre de los países en desarrollo. Sustenta también la idea de que este tipo de iniciativas constituye uno de los instrumentos primordiales para la implementación de las NDCs a nivel nacional. A decir de esto, Barbero y Rodríguez (2012) plantean que estas iniciativas, mediante la elaboración de estrategias, políticas y la asignación

de recursos para el desarrollo integral del sector del transporte, reúne esfuerzos destinados a la reducción de las emisiones de GEI y lucha contra el cambio climático.

Hasta aquí los resultados obtenidos, por otro lado, en cuanto a las limitaciones que estos resultados presentan podemos mencionar que la investigación realiza el análisis utilizando como base la información del balance energético, esto limita sus resultados al considerar emisiones de GEI únicamente del sector energético. Sin embargo, el sistema económico tiene otros sectores que aportan emisiones, nos referimos al caso de la actividad industrial no energética, la agricultura, el manejo de residuos y el USCUS, por lo que esta investigación pudiera ampliarse con un análisis integral que incluya todos estos sectores. Esto permitiría no solo identificar cuáles son los sectores que mayor cantidad de emisiones generan, sino que permitiría, a partir del análisis de encadenamiento, identificar los sectores claves que pudiesen ser considerados a la hora de la formulación de políticas públicas efectivas.

Otra de las limitaciones que se puede considerar como resultado de la utilización de un modelo insumo-producto radica en uno de los supuestos del mismo. El supuesto de proporcionalidad limita algunos de los resultados del estudio al asumir que los coeficientes técnicos deben mantenerse constantes en al menos el corto plazo. Para el conjunto de programas y proyectos planteados en esta investigación, la mayoría supone un cambio en las actuales tecnologías en aras de lograr los objetivos establecidos en términos de reducción de emisiones.

Conclusiones

La aplicación de las medidas de reducción de emisiones de GEI propuestas en la NDC sí tienen efectos sobre las variables empleo, producción y emisiones de GEI. A excepción de la intervención que plantea el desplazamiento de uso de diésel y fuel oíl utilizado en la generación eléctrica, todas las intervenciones analizadas tienen un efecto positivo en los sectores económicos intervenidos, tanto para la variable empleo como para la variable producción.

Los efectos positivos sobre estas variables son el resultado de que Ecuador sea una economía con emisiones de GEI marginales, propiciando que los proyectos incluidos en la NDC no sean iniciativas de reducción forzada de emisiones, sino más bien, han sido propuestas desde otros sectores que aportan cifras de reducción.

A partir de la matriz de consumo energético interindustrial construida para el año 2020 se observa que sobre la oferta energética nacional predomina como fuente energética primaria el petróleo, seguido de la generación eléctrica. En el caso de las fuentes secundarias predomina el diésel, la gasolina, la electricidad, gases de hidrocarburos y el fuel oíl.

Asimismo, se han identificado por el lado de la demanda que las actividades con mayor consumo energético son refinación de productos de petróleo; transporte y almacenamiento; generación, captación y distribución de energía eléctrica; consumo residencial y actividades de construcción. Las principales fuentes de energía consumidas por estos sectores son petróleo, diésel, gasolina y gases de hidrocarburo.

Mediante la construcción de la matriz de emisiones de GEI para el Ecuador para el año 2020 se puede apreciar que las principales actividades responsables de la contaminación en el país son: transporte y almacenamiento por el consumo de diésel y gasolina; refinación de productos de petróleo por consumo de petróleo; generación, captación y distribución de energía eléctrica por el consumo de fuel oíl y diésel en las termoeléctricas; consumo residencial por el consumo de GLP; y la construcción por el consumo de gasolina.

De la construcción de vectores de inyección para la evaluación de cada una de las intervenciones públicas de mitigación de GEI contenidas en la NDC, se llegaron a las siguientes conclusiones:

La intervención de *Desarrollo de centrales hidroeléctricas* no cumple con el potencial de reducción de emisiones propuesto, dado que actualmente en el sistema existe oferta energética

por parte de centrales térmicas. El cierre de estas últimas, implica no solo afectaciones negativas en variables como empleo y producción, sino que afecta el gasto del Estado dirigido hacia otras áreas prioritarias.

La intervención *OGE&EE* no cumple con los criterios de mitigación de GEI ya que no genera un proceso de sustitución energética, sino que por el contrario aporta al sistema energía nueva de origen fósil. Esta intervención afecta positivamente variables como empleo y producción.

El *Programa de Cocción Eficiente* si cumple con los parámetros de mitigación de GEI y también genera beneficios en variables económicas y productivas, sin embargo ha sido paralizado por problemas de gestión y administración.

La intervención de *Trasporte Público Eficiente* cumple con los parámetros de reducción de GEI y genera beneficios positivos en variables económicas, sin embargo, presenta problemas de gestión y administración.

La intervención de *Captura activa de metano y generación eléctrica del relleno sanitario de Pichacay* no cumple con los parámetros de mitigación de emisión de GEI, dado que en su proceso no sustituye una fuente energética más contaminante, sino que aporta con un combustible de origen fósil al sistema. Esta intervención también reporta beneficios en términos de variables empleo y producción.

En relación a las intervenciones de *Eficiencia Energética* estas si aportan a las reducciones de GEI al mismo tiempo que reportan beneficios a variables como empleo y producción. Los altos costos de implementación de estas, se traducen en problemas de financiamiento, así como mejoras en las capacidades técnicas y tecnológicas instaladas.

El conjunto de intervenciones de *Energías Renovables* del escenario incondicional si aportan a la reducción de emisiones al igual que reportan beneficios en variables como empleo y producción. Sus altos costos de ejecución se traducen en problemas de financiamiento, así como mejoras en las capacidades técnicas y tecnológicas instaladas.

La intervención *NAMA de transporte de carga y pasajeros* aporta en términos de reducción de emisiones de GEI al igual que en las variables de empleo y producción. Sus altos costos de ejecución implican problemas de financiamiento, así como mejoras en las capacidades técnicas y tecnológicas instaladas.

De manera general el país presenta graves problemas de gobernanza, gestión y administración que no han permitido el desarrollo de políticas públicas encaminadas a la descarbonización de

la economía. A esto se le suman los fuertes problemas de financiamiento y de capacidades técnicas y tecnológicas con las que cuenta el país. Estas limitaciones nos permiten considerar que el Ecuador es un país que debe seguir creciendo, procurando una disminución en los niveles consumos de energía y materiales, pero sobre todo asegurar el bienestar actual y futuro.

Referencias

- Agoglia, Ofelia. 2010. *La crisis ambiental como proceso. Un análisis reflexivo sobre su emergencia, desarrollo y profundización desde la perspectiva de la teoría crítica*. Tesis doctoral, Girona: Universitat de Girona.
- Alcántara, Vicent , Pablo del Río, and Félix Hernández. 2010. "Structural analysis of electricity consumption by productive sectors. The Spanish case." *Energy* 35 (5): 2088-2098. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.01.027>.
- Alcántara, Vicent. 2007. "Análisis Input-Output y emisiones de CO₂ En España: un primer análisis para la determinación de sectores clave en la emisión." Barcelona: Departamento de Economía Aplicada, UAB, Julio.
- Alcántara, Vicent, Emilio Padilla, y Jordi Roca. 2008. "De los consumos finales de energía a los requerimientos de energía primaria y las emisiones de CO₂. Aproximación a partir de los balances de energía. Aplicación a Cataluña, 1990-2005." *Ekonomiaz* (67): 302-337.
- Alcántara, Vicent, y Emilio Padilla. 2006. "An input-output analysis of the 'key' sectors in CO₂ emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy." Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Alcántara, Vicent, y Jordi Roca. 1995. "Energy and CO₂ emissions in Spain: Methodology of analysis and some results for 1980–1990." *Energy Economics* 17 (3): 221-230.
- Arango, Jacobo, y Ivan Dario Valencia. 2017. "Contexto del concepto NAMA, Origen y futuro de las NAMAs a nivel global y nacional." Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Artola Jarrín , Verónica Elizabeth. 2009. "Evolución del consumo de energía primaria en el Ecuador entre los años 2000 y 2006: un análisis de productos clave y descomposición estructural a través del modelo insumo – producto." Barcelona, Barcelona : Universidad Autónoma de Barcelona.
- Ayres, Robert U., y Allen V. Kneese. 1969. "Production, consumption and externalities." *The American economic review* (JSTOR) 59 (3): 282-297.
- Banco Interamericano de Desarrollo. 2013. *ECUADOR: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático*. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad.

- Banco Mundial. 2021. “Emisiones de CO₂ (kt) - Ecuador.” *Indicadores de Desarrollo Mundial*. 09 de 10.
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?locations=EC>.
- Barbero, José A., y Rodrigo Rodríguez. 2012. “Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono.” *Transporte y Territorio* (6): 8-26.
- Barkhas, Jalil. 2015. “El conflicto Economía-Ecología y los principios necesarios para el desarrollo económico sostenible.” *Revista DELOS, Desarrollo Local sostenible* 8 (24): 1-19. <https://www.eumed.net/rev/delos/24/>.
- Bermejo, Roberto. 1990. “Ecología versus crecimiento económico: un falso dilema.” *Ekonomiáz No. 17* 26- 39.
- Berumen, Sergio A., y Octavio Palacios. 2007. “Los principios de la teoría de la evolución biológica y su utilidad para la administración de empresas.” *Contaduría y Administración* (223): 137-154.
- Blair, Peter. 1979. “Multiobjective Regional Energy Planning.” *MA: Martinus Nijhoff*.
 — 1980. “Hierarchies and Priorities in Regional Energy Planning.” *Regional Science and Urban Economics* 10: 387-405.
- Brewer, Anthony . 2005. *Cantillon, Quesnay, and the Tableau Economique*. Discussion Paper No. 05/577, Bristol: Department of Economics, University of Bristol.
- Buenaño, Edwin. 2014. “Sectores" clave" en las emisiones de CO₂: análisis input-output para Ecuador.” *Comercio & Negocio* (UPEC, ECEYNCI –) (4): 22.
 — 2017. *Actividad económica y emisiones de CO₂: Ensayos empiricos para el Ecuador*. Tesis Doctoral, Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Bullard, Clark W, y Robert A Herendeen. 1975. “The energy cost of goods and services.” *Energy policy* (Elsevier) 3 (4): 268-278.
- Célleri, Christian Paúl Murillo. 2018. “Los impuestos ambientales en La Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno: Efectividad en torno a su finalidad extra fiscal.” Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Cerdá, Emilio, y Aygun Khalilova. 2016. “Economía Circular.” *Economía industrial* 401 (3): 11-20.
- Chavez, Rafael, y José Luis Monzón. 2018. “La economía social ante los paradigmas económicos emergentes: innovación social, economía colaborativa, economía circular, responsabilidad social empresarial, economía del bien común, empresa social y economía solidaria.” *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa* 93: 5-50.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. s.f.a. *Observatorio del Principio 10 en América Latina y el Caribe: Acuerdo de París*. Último acceso: 18 de Abril de 2021. <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/acuerdo-paris-la-convencion-marco-cambio-climatico>.
- s.f.b. *Observatorio del Principio 10 en América Latina y el Caribe: Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono*. Último acceso: 16 de Abril de 2021. <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convenio-viena-la-proteccion-la-cap-a-ozono>.
- s.f.c. *Observatorio del Principio 10 en América Latina y el Caribe: El Protocolo De Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*. Último acceso: abril de 2021. <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/protocolo-montreal-relativo-sustancias-que-agotan-la-cap-a-ozono>.
- s.f.d. *Observatorio del Principio 10 en América Latina y el Caribe: Protocolo de Kyoto*. Último acceso: 19 de Abril de 2021. <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/protocolo-kyoto-la-convencion-marco-cambio-climatico>.
- Constitución de la República del Ecuador. 1998. Quito: Asamblea Nacional Constituyente, 11 de agosto.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 2015. *Acuerdo de París*. Acuerdo, París: Conferencia de las Partes - período 21.
- Corte Constitucional del Ecuador. 2017. *Informe del caso N.º 0016-17-TI: Enmienda del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*. Enmienda, Quito: Corte Constitucional del Ecuador.
- Cumberland, John H. 1966. “A regional interindustry model for analysis of development objectives.” *Papers of the Regional Science Association* 65-94.
- Daly, Herman E. 2005. “Economics in a Full World.” *Scientific American* 293 (3): 100-107.
- Datosmacro. 2021. “Ecuador - Emisiones de CO₂.” *Datosmacro*. Último acceso: 12 de 10 de 2021. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/ecuador>.
- Díaz Cordero, Gerarda. 2012. “El cambio climático.” *Ciencia y Sociedad* 37 (2): 227-240.
- Duchin, Faye, y Albert E Steenge. 1999. “Input-Output Analysis, Technology and the Environment.” En *Handbook of Environmental and Resource Economics*, editado por

- Jeroen Cornelis Johannes Maria van den Bergh, 1037-1059. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Felber, Christian. 2012. *La economía del bien común*. Barcelona: Deusto.
- Ferat, Margarita. 2021. “El origen de la economía circular.” En *Responsabilidad social y sostenibilidad: Disrupción e innovación ante el cambio de época*, de Lorena Miranda Navarro y Miguel Ángel Santinelli, 583-603. México: Universidad Anáhuac .
- Foladori, Guillermo. 2001. “La economía ecológica.” En *Sustentabilidad?: desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*, de Naina Pierrri y Guillermo Foladori, 189-196. Montevideo: Universidad de la República.
- GAD Municipal de Cuenca . 2021. *Rendición de cuentas Alcaldía de Cuenca 2020* . Cuenca: GAD Municipal de Cuenca .
- Gálvez, Francisco Navarro. 2012. *Modelos multisectoriales input-output en el estudio de los impactos ambientales: Una aplicación a la economía de Cataluña*. Tesis Doctoral, Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- GCP. 2019. *Global Carbon Atlas*. Último acceso: 05 de Junio de 2020.
<http://www.globalcarbonatlas.org/>.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. 1975. “Energy and Economic Myths.” *Southern Economic Journal* 41 (3): 347-381.
- 1996. *Ley de la entropía y proceso económico*. Madrid, España: Gráficas Rógar. Navalcarnero .
- Georgescu-Roegen, Nicholas, y Mauro Bonaiuti. 2003. *Bioeconomía*. Editado por Mauro Bonaiuti. Turín: Bollati Boringhieri editore s.r.l.
- Ghosh, A. 1958. “Input-Output Approach in an Allocation System.” *Economica* 25 (97): 58-64.
- Gobierno de la República del Ecuador. 2019. “Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional Para el Acuerdo de París Bajo la Convención Marco De Naciones Unidas Sobre Cambio Climático.” Quito.
- González-Eguino, Mikel. 2010. “Modelos y costos de la mitigación de emisiones.” *El trimestre económico* 77 (305): 185-217.
- Gregory Mankiw, Nicolas. 2014. *Macroeconomía*. Traducido por Traducción de M. Esther Rabasco. Barcelona, España: Antoni Bosch editor, S.A.
- Griffin, James. 1976. “Energy Input-Output Modeling.” *CA: Electric Power Research Institute*.

- Hubbert, M. King. 1956. "Nuclear Energy and the Fossil Fuel." *Documento presentado en Drilling and Production Practice*. Nueva York: American Petroleum Institute.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. 2019. *Balance energético nacional 2019*. Quito: Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables.
- 2021. *Balance energético nacional 2020*. Evaluación, Quito: Ministro de Energía Y Recursos Naturales No Renovables.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2012. *Clasificación Nacional de Actividades Económicas*. Quito.
- Jimenez Redondo, Manuel. 1976. *Diccionarios Rioduero: Física*. Segunda Edición. Madrid: Ediciones Rioduero.
- Larrea, Carlos. 2007. *Iniciativa Yasuni- ITT. La propuesta de un país pequeño*. Quito.
- Lascano, Mishel Carolina Badillo. 2018. "Análisis del cambio climático y su incidencia en el sector agrícola en el Ecuador en el año 2017." Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, enero.
- Latouche, Serge. 2007. "The globe downshifted." *globe* 11.
- Lechón Sánchez, Luis Wilson. 2020. *¿Gobernanza climática en Ecuador? Los gobiernos subnacionales frente al reto de implementar las Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC), establecidas en el Acuerdo de París: el caso de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales del Ecuador*. Tesis maestría, Quito: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Leff, Enrique. 2009. "Decrecimiento o desconstrucción de la economía: Hacia un mundo sustentable." *Polis* (21). <http://journals.openedition.org/polis/2862>.
- Leontief, Wassily, y Daniel Ford. 1972. "Air pollution and the economic structure : empirical results of input-output computations." En *Input-output techniques: proceedings of the Fifth International Conference on Input-Output Techniques*, de Andrés Bródy y A. P. Carter, 9-23. Amsterdam: International Conference on Input Output Technique.
- Leontief, Wassily. 1936. "Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States." *The MIT Press* 18 (3): 105-125.
- 1937. "Interrelation of Prices, Output, Savings, and Investment." *The MIT Press* 19 (3): 109-132.
- 1970. "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach." *The Review of Economics and Statistics* 52 (3): 262-271.

- Llanes, Edilberto, Juan Carlos Pocha, Diana Belen Zurita, y Julio Cesar Milla. 2018. “Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador.” *Enfoque UTE* 9 (2): 149-158.
- Lobell, David B., Wolfram Schlenker, y Justin Costa-Roberts. 2011. “Climate Trends and Global Crop Production Since 1980.” *Science* 333 (6042): 616-620.
doi:10.1126/science.1204531.
- Martínez Alier, Joan. 1990. “Decrecimineto Sostenible: París abril de 2008.” *Ecología Política* 51-58.
- Martínez Alier, Joan, y Jordi Roca Jusmet. 2001. “El debate sobre la sustentabilidad.” En *Economía ecológica y política ambiental*, de Joan Martínez Alier y Jordi Roca Jusmet, 367- 401. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- 2015. *Economía ecológica y política ambiental*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Meek, Ronald L. 1975. *La Fisiocracia*. Traducido por José García-Durán. Barcelona España: Ariel quincenal; 103.
- Merciai, Stefano, y Reinout Heijungs. 2014. “Balance issues in monetary input–output tables.” *Ecological Economics* 102: 69-74.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.03.016>.
- Miller, Ronald E, y Peter D Blair. 2009. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. 3ra edición. Nueva York: Cambridge University Press.
- Ministerio de Energía y Minas. 2022. *Ficha Informativa del proyecto K016 MEER, programa de cocción eficiente*. Ficha Informativa, Quito: Ministerio de Energía y Minas.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. 2021. “Disminuyen las emisiones de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador.” *Portal web Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables*. Último acceso: 10 de 11 de 2021. <https://www.rekursyenergia.gob.ec/disminuyen-las-emisiones-de-co2-del-sistema-nacional-interconectado-de-ecuador/>.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2000. *Primera comunicación nacional sobre cambio climático*. Quito: Comité Nacional sobre el Clima.
- 2012. *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador, ENCC 2012-2025*. Quito: Ministerio del Ambiente, Gobierno del Ecuador.
- 2016a. “Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador Serie Temporal 1994-2012.” Quito.

- 2016b. “Reporte del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2010 de Ecuador.” Quito.
- 2016c. *Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador*. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- 2017. *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Quito: Dirección Nacional de Mitigación al Cambio Climático.
- Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador. 2021. “Plan de implementación de la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional del Ecuador 2020-2025 (PI-NDC).” Quito.
- Montes Fuentes, Andrés Fabián. 2018. “El cambio climático en el contexto del Derecho Internacional Ambiental y su internalización en la legislación ambiental del Ecuador.” Quito: Universidad San Francisco de Quito, 22 de marzo.
- Mora, Leonel Vega. 2013. “Dimensión Ambiental, Desarrollo Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Desarrollo.” *11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. Cancún, 14-16 de agosto.
- Moreira, María Isabel Sandoval. 2020. “Análisis de las iniciativas del Ecuador en las negociaciones internacionales sobre cambio climático COP21 y COP23.” Quito: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Munda, Giuseppe . 1997. “Environmental Economics, Ecological Economics.” *Environmental Values* 6: 213-233.
- Naredo, José Manuel . 2011. “Fundamentos De La Economía Ecológica.” En *De La Economía Ambiental A La Economía Ecológica*, de Federico Aguilera Klink y Vicent Alcántara, 252. Barcelona: CIP-Ecosocial.
- Notimundo. 2016. “La contaminación en Santo Domingo es exclusivamente por el parque automotor.” 30 de mayo. <https://notimundo.com.ec/la-contaminacion-santo-domingo-exclusivamente-parque-automotor/>.
- Olabe, Antxón, y Mikel González . 2008. “Cambio climático, una amenaza para la seguridad global.” *Política Exterior* 22 (124): 175-185.
- Operador Nacional de Electricidad. 2021a. *Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador 2020*. Quito: CENACE.
- 2021b. *Informe anual 2020*. Quito: CENACE.

- Organización de las Naciones Unidas. 1997. *Desarrollo sostenible: aspectos del desarrollo sostenible referentes a los recursos naturales en el Ecuador*. Abril. Último acceso: 18 de abril de 2021. <https://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/ecuador/natur.htm>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1988. “Ambiente: Nuestro futuro común.” *Unasylva* 40 (159). <http://www.fao.org/3/s5780s/s5780s00.htm#Contents>.
- Organización Latinoamericana de Energía. 2017a. *Manual de balances de energía útil*. Vol. 2da edición. Quito: OLADE.
- 2017b. *Manual estadística energética*. 2da edición. Quito, EC: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).
- Organización Mundial de la Salud. 2016. *WHO's Ambient Urban Air Pollution database*. Organización Mundial de la Salud.
- Ortega, Daniel V. 2012. “La Iniciativa Yasuní ITT y Emisiones Netas Evitadas.” *Seminario de Diálogo sobre la ampliación del financiamiento para la diversidad biológica*. Quito: Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración, 8 de marzo.
- Pardo Buendía, Mercedes. 2007. “El impacto social del cambio climático.” *Panorama social* (5): 22-35.
- Pardo, Mercedes, y Jordi Ortega. 2018. “Justicia Ambiental y Justicia Climática: El cambio lento pero sin retorno, hacia el desarrollo sostenible.” *Barataria* (24): 83-100.
- París, Juan Marcos . 2007. *El “Tableau Economique”, un precedente de la matriz de insumo producto*. Tesis, Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Económicas.
- Parsons, Luke A., Drew Shindell, Michelle Tigchelaar, y Yuqiang Zhang . 2021. “Increased labor losses and decreased adaptation potential in a warmer world.” *Nature Communications* 12 (7286). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27328-y>.
- Pearce, David W. 2011. “Los Límites Del Análisis Coste-Beneficio Como Guía Para La Política Del Medio Ambiente.” En *De La Economía Ambiental A La Economía Ecológica*, de Federico Aguilera Klink y Vicent Alcántara, 252. Barcelona: CIP-Ecosocial.
- Pearce, David W., y Giles D. Atkinson. 1993. “Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of “weak” sustainability.” *Ecological Economics* 8 (2): 103-108.

- Pearce, David W., y Kerry R. Turner. 1995. *Economía de los recursos naturales y del medioambiente*. Madrid: Celeste ediciones.
- Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. 1984. *Legislación ambiental en América Latina y El Caribe*. México, D.F.: Oficina Regional para América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente.
- 2016. *GEO-6 Regional Assessment for Latin America and the Caribbean*. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- Pulido San Román, Antonio, y Emilio Fontela. 1993. *Análisis input-output: modelos, datos y aplicaciones*. Madrid: Pirámide.
- Ramírez, Sonia J., María G. Galindo, y Carlos Contreras. 2015. “Justicia ambiental. Entre la utopía y la realidad social.” *Culturales III (I)*: 225-250.
- Raworth, Kate. 2017. “Conozca el Donut: una revolución en el pensamiento económico sobre la desigualdad.” *World Economic Forum (WEF)*. 25 de mayo.
<https://es.weforum.org/agenda/2017/05/conozca-el-donut-una-revolucion-en-el-pensamiento-economico-sobre-la-desigualdad/>.
- Roberts, J. Timmons, y Bradley C. Parks. 2007. “Fueling Injustice: Globalization, Ecologically Unequal Exchange and Climate Change.” *Globalizations* 4:2: 193-210.
doi:10.1080/14747730701345218.
- Rodríguez Tapia, Lilia, y Daniel Ruiz Sandoval Valverde. 2001. “El concepto de capital natural en los modelos de crecimiento exógeno.” *Análisis Económico XVI (33)*: 109-128.
- Ruiz-Nápoles, Pablo. 2011. “Estimación de los costos relativos de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ramas de la economía mexicana.” *El Trimestre Económico LXXVIII (1) (309)*: 173-191.
- Ryskamp, Ross, y Cécile Nourigat. 2017. “Emissions and Performance of Liquefied Petroleum Gas as a Transportation Fuel: A Review.” *World LPG Association*.
- Samaniego-Ojeda, Carlos, Orlando H. Álvarez, y Jorge Maldonado. 2016. “Emisiones provocadas por combustión de GLP a partir de calefones en la ciudad de Loja y su posible relación con enfermedades respiratorias agudas (ERA's).” *CEDAMAZ (6)*: 60-67.
- Santamarta, José. 2020. “Los agujeros del cambio climático.” *WorldWatch* 12: 62-65.
- Schuldt, Jürgen. 2012. *Desarrollo a escala humana y de la naturaleza*. 1ra edición. Lima: Universidad del Pacífico.

- Schumpeter, Joseph A. 1986. *History of economic*. Great Britain: British Library.
- Solow, Robert M. 1974. "The Economics of Resources or the Resources of Economics." *American Economic Association* 64 (2): 1-14.
- Stern, N. 2006. *Stern Review: The Economics of Climate Change*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica S.A.
- Strout, Alan Mayne . 1967. *Technological change and United States energy consumption, 1939-1954*. Tesis Doctoral, Universidad de Chicago.
- Svampa, Maristella. 2020. "¿Hacia dónde van los movimientos por la justicia climática?" *Nueva Sociedad* (286): 108-121.
- Tasic, T, P Pogorevc, y T Brajlilh. 2011. "Gasoline and LPG exhaust emissions comparison." *Advances in Production Engineering & Management* 6 (2): 87-94.
- Usabiaga Ibañez, Carlos . 1996. "Economía Ambiental y Economía Ecológica: dos enfoques para el problemático binomio Economía-Medio Ambiente." *La hacienda pública ante la globalización económica* 1-10.
- Users Fernández, José Luis. 2013. "El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales." *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid* 50: 71-98.
- Valero, Antonio. 1998. "Termoeconomía: El punto de encuentro de la Termodinámica, la Economía y la Ecología." *Boletín CF+S* 1-12.
- Vallejo, María Cristina. 2021. *Cuando la moneda es la energía. Manual de cuentas ambientales de la economía ecuatoriana desde un enfoque insumo-producto*. Quito: FLACSO - Ecuador.