

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador

Departamento De Desarrollo, Ambiente Y Territorio

Convocatoria 2019 - 2021

Tesis para obtener el título de Maestría De Investigación En Economía Del Desarrollo

INCIDENCIA DE LOS CAMBIOS EN LAS POLÍTICAS ENERGÉTICAS EN EL PERFIL
METABÓLICO DEL ECUADOR. UN ANÁLISIS DE MÚLTIPLES ESCALAS

Beltrán Segovia José David

Asesora: Vallejo Galárraga María Cristina

Lectores: Barrera Rodríguez Cinthya Daniela, Cuenca Lozano Pablo Fernando

Quito, octubre de 2024

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a las personas que estuvieron cerca de mí en este proceso incluso en lo momento que se veía mucho más complicado, a mis abuelos, mi mamá, y mis mejores amigos.

Son la luz cuando el camino se vio más oscuro.

Índice de contenido

Resumen	7
Introducción	9
Capítulo 1. Marco Teórico	21
1.1. Antecedentes	23
1.2. La sociedad como un sistema complejo	23
1.2.1. La energía y su papel en la sociedad	25
1.2.2. Metabolismo Social.....	29
Capítulo 2. Evolución del marco regulatorio energético: Ecuador 2000-2021	42
2.1. Marco regulatorio energético (1996-2021)	44
2.1.1. Constitución de 1998 a la constitución del 2008.....	44
2.2. Planes estratégicos para el desarrollo energético en el Ecuador	46
2.2.1. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013 (Rafael Correa).....	47
2.2.2. Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017.....	54
2.2.3. Plan Nacional para el Buen Vivir 2017 – 2021.....	58
2.3. Modificaciones Normativas del Sector Eléctrico (1996-2016).....	61
2.4. Estadísticas del sector energético	66
2.4.1. Producción y consumo energético.....	67
2.4.2. Importación y exportación de energía.....	75
2.5. Observaciones finales.....	78
Capítulo 3. Marco Metodológico	81
3.1. Desarrollo MuSiaSEM (Multi – Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism).....	84
3.1.1. Escalas y flujos y fondos.....	88
3.2. Agrupación en clúster.....	91
3.2.1. Algoritmo K - MEANS	92
3.3. Datos disponibles	95
Capítulo 4. Evolución del perfil metabólico de la sociedad 2007 – 2021	98
4.1. Nivel nacional n-0	99
4.2. Nivel n-1: sector productivo (PW) y hogares (HH)	103
4.3. Nivel n-2: perfil metabólico del sector productivo	106
4.3.1. Análisis del sector productivo (PW)	107

4.3.2. Análisis de hogares (HH) 119

Conclusiones 122

Referencias 127

Anexos 130

Lista de ilustraciones

Ilustraciones

Ilustración 2.1 - Población del Ecuador	43
Ilustración 2.2 - Participación de fuentes primarias en la generación de electricidad año 2000... 68	
Ilustración 2.3 - Producción de eléctrica por fuente 2000 - 2020	69
Ilustración 2.4 - Evolución energías alternativas (2000-2020)	70
Ilustración 2.5 - Relación de Oferta y demanda (2007-2021).....	71
Ilustración 2.6 - Variación de la demanda energética (2007-2021)	72
Ilustración 2.7 - Variación de las pérdidas en el sector energético (2007-2021)	73
Ilustración 2.8 - Transformación (Fuente primaria), 2007-2021.....	74
Ilustración 2.9 - % de energía primaria transformada en el Ecuador	74
Ilustración 2.10 - Inversión en el sector eléctrico	75
Ilustración 2.11 - Variación de las importaciones	76
Ilustración 2.12 - Variación de las exportaciones	77
Ilustración 2.13 - Exportación de energía secundaria	78

Tablas

Tabla 2.2 - Metas para el sector energético 2009 - 2013	58
Tabla 2.3 - Metas para el sector energético 2017 - 2021	61
Tabla 2.4 - Resumen cambios normativos (1996-2016)	61
Tabla 2.5 - Subsidios otorgados por el Estado Ecuatoriano (2006-2021).....	63
Tabla 2.6 - Políticas Tarifarias del Sector Eléctrico (1999-2021).....	65

Declaración de cesión de derecho de publicación de tesis

Yo, José David Beltran Segovia, autor de la tesis titulada “INCIDENCIA DE LOS CAMBIOS EN LAS POLÍTICAS ENERGÉTICAS EN EL PERFIL METABÓLICO DEL ECUADOR. UN ANÁLISIS DE MÚLTIPLES ESCALAS”, declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de especialización/ maestría/ doctorado, 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, octubre de 2024

JOSE DAVID
BELTRAN
SEGOVIA



Firmado digitalmente
por JOSE DAVID
BELTRAN SEGOVIA
Fecha: 2024.10.21
22:54:22 -05'00'

Firma

Jose David Beltran Segovia

Resumen

Los cambios implementados en el ámbito normativo y constitucional se dirigían hacia la instauración de una transformación continua en el sector energético. Esta iniciativa buscaba promover un cambio en la percepción de la energía, así como la centralización de su planificación y gestión, junto con la inversión en proyectos y mantenimiento entre los años 2007 y 2021. Estos esfuerzos han propiciado una evolución en los indicadores del sector energético del país, tal como se evidencia en diferentes momentos del período analizado, donde se observó un aumento en el consumo, una mayor tasa metabólica y una reducción en las pérdidas del sector. No obstante, estos avances no se han logrado mantener a lo largo del tiempo.

Durante este lapso, a pesar de los avances en la diversificación de la matriz energética hacia el empleo de fuentes renovables y en la mejora de la eficiencia energética, la dependencia en la explotación petrolera persiste. Esto se refleja en un marco regulatorio que favorece la extracción de materias primas, a pesar de que se ha identificado la necesidad de cambiar la matriz productiva en los planes de desarrollo. Sin embargo, esta transformación no se ha traducido en una verdadera modificación, al menos en términos de consumo energético.

El concepto de perfil metabólico adquiere una relevancia significativa, ya que ofrece una herramienta para comprender las complejas interacciones entre la sociedad y sus flujos. El perfil metabólico abarca desde la extracción hasta la utilización de recursos naturales, así como la generación de residuos. Al entender cómo estos procesos influyen en la dinámica energética de un país, podemos identificar los puntos críticos que requieren intervención para avanzar hacia una ruta de desarrollo más sostenible y eficiente en términos energéticos. El alcance del presente trabajo se enfoca en los flujos de uso final y la transformación de la sociedad a partir de la implementación de los cambios previamente mencionados.

El objetivo del presente trabajo es comprender la transformación del perfil metabólico, identificando posibles patrones y vínculos desde la perspectiva de la economía ecológica y los modelos de flujos y fondos. Estas transformaciones permiten comprender la utilización de recursos por parte de las distintas sociedades.

Palabras clave: Energía, matriz energética, MuSiaSEM, metabolismo socioeconómico

Agradecimiento

Deseo agradecer a todos los profesores que forman FLACSO y a todo el personal. Fue una experiencia increíble. Me mostraron una realidad más allá de lo que conocía y alimentaron mi entusiasmo y curiosidad. Especialmente a María Cristina Vallejo que supo guiarme durante este largo recorrido para completar el presente trabajo.

Finalmente, a mis colegas Gabriela Colmenarez por el apoyo moral y de su experiencia en investigación y Mauricio Rosales por siempre estar pendiente y aportar con buenas energías e ideas

Introducción

Definición del problema

La presente investigación se centra en analizar el impacto de las políticas energéticas implementadas en Ecuador durante el período 2007-2021 en el perfil metabólico socioeconómico en distintas escalas. Se abordará cómo estas políticas han influenciado los patrones de consumo energético, la distribución de recursos y la huella ambiental en diferentes sectores y regiones del país y, a su vez, identificar los cambios en la composición de la matriz energética y en la eficiencia energética que han tenido lugar en Ecuador en los últimos doce años. La comprensión de este problema es crucial debido a la creciente importancia de la sostenibilidad energética y el impacto ambiental en el desarrollo socioeconómico. La evaluación de las políticas energéticas ecuatorianas permitirá identificar los cambios en el metabolismo social y ambiental del país.

El período de análisis abarca desde 2007 hasta 2021. Durante este tiempo, el sector energético experimentó una transformación significativa en cuanto a políticas y la implementación de planes, así como la centralización del sector como clave para el desarrollo económico del Ecuador. Estos cambios se alinearon con el objetivo de modificar la matriz productiva, lo que conllevó una transformación en la forma de utilizar la energía.

En este trabajo se utilizará el marco teórico de la economía ecológica, que permite analizar la energía y la energía primaria como insumos fundamentales de la economía. Mientras que la economía tradicional considera la energía y los recursos naturales como resultados de un proceso de producción económico, la economía ecológica ofrece una visión más compleja de la relación entre la sociedad y los recursos naturales.

De igual modo, para examinar el estado actual del sector energético y su evolución a nivel nacional, se emplea el método MuSIASEM para determinar las diferentes escalas de análisis de la evolución del perfil metabólico de la sociedad. Sin embargo, para poder abordar esta metodología es necesario definir una serie de conceptos asociados a lo que entendemos por energía, matriz energética y metabolismo socioeconómico, que establece un paralelismo entre los flujos de energía que interactúan entre el cuerpo y los órganos, en forma de alimentos. Asimismo, el cuerpo humano, los cambios en actividades y hábitos generan modificaciones en el consumo de energía.

Definición de energía

Según Giampietro, Mayumi y Şorman (2013), el concepto de *energy commodities* ha sido adoptado en las estadísticas energéticas de entidades como la Agencia Internacional de Energía. (Giampietro, Mayumi y Şorman 2013). En esta misma línea, Arbex y Perobelli (2010) sostienen que es fundamental abordar los desafíos energéticos, incluyendo la diversificación de fuentes, la mejora de la eficiencia energética y la inversión en tecnologías sostenibles, para asegurar un desarrollo económico sostenible y próspero en el futuro (Arbex y Perobelli 2010). Ellos afirman lo siguiente:

Las diversas definiciones de energía coinciden en que puede ser vista como un flujo que se distribuye a través de la sociedad y tiene múltiples usos. Su disponibilidad y capacidad de uso están determinadas por el sistema, que puede referirse a un país, región, comunidad, ciudad o individuo, y la sociedad en cuestión. Fischer-Kowalski y Haberl (2000) explican que los insumos de materiales y energía per cápita de una sociedad están, en gran medida, determinados por el modo de producción y el estilo de vida asociados, lo que se conoce como el perfil metabólico característico de una sociedad (Kowalski y Haberl 2000).

El perfil metabólico es un concepto que ilustra la interrelación entre la sociedad humana y su entorno ecológico. Este complejo sistema incluye la extracción, transformación y uso de recursos naturales, así como la generación de residuos. Puede ser analizado en diversas escalas, desde un individuo hasta un continente o región. Factores como el desarrollo económico, la estructura social, las políticas públicas y las preferencias de los consumidores pueden influir en la variabilidad del perfil metabólico de una sociedad.

Matriz energética

Para comprender qué es la matriz energética, cabe señalar el origen de esta para comprender como funcionan los flujos de energía de una sociedad y cómo esta se relaciona directamente con la matriz energética. Los flujos de energía en la sociedad pueden ser categorizados como endosomáticos y exosomáticos. Los flujos endosomáticos aluden a las calorías en forma de alimentos y energía relacionada con el cuerpo humano, mientras que los flujos exosomáticos se refieren a la energía empleada en actividades externas al sistema corporal. Los flujos de energía endosomáticos están comúnmente asociados con políticas de nutrición, alimentación, seguridad y

soberanía alimentaria, mientras que los flujos exosomáticos están relacionados con políticas de transformación de la matriz energética.

La matriz energética se refiere a la composición de las fuentes de energía primaria empleadas en una determinada región, país o sector. Esta matriz describe la proporción en la que se utilizan diferentes fuentes de energía para satisfacer las necesidades de consumo de una sociedad. Las fuentes de energía pueden ser diversas, incluyendo combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón, así como fuentes de energía renovable como la solar, la eólica, la hidroeléctrica, la biomasa y la geotérmica. La matriz energética varía de un lugar a otro en función de los recursos naturales disponibles, las políticas energéticas, las tecnologías disponibles y otros factores.

La matriz energética diversificada implica el uso de una amplia gama de fuentes de energía primaria, lo que incrementa la seguridad energética al no depender de una sola fuente. Por el contrario, una matriz energética no diversificada es más susceptible a shocks externos, como fluctuaciones en los precios del petróleo o desastres naturales, y puede generar asimetrías en el uso de la energía debido a la disponibilidad limitada de ciertas fuentes en determinados sectores y zonas. La diversificación de la matriz energética es esencial para garantizar la seguridad energética, el acceso equitativo a la energía y la soberanía.

En síntesis, una matriz energética diversificada suele ser considerada como más segura y sostenible a largo plazo, ya que reduce la dependencia de una sola fuente de energía y puede ayudar a mitigar los impactos ambientales negativos asociados con la producción y el consumo de energía. Por otro lado, una matriz energética dominada por una sola fuente de energía, es decir, no diversificada, como el petróleo o el carbón, puede ser más vulnerable a interrupciones en el suministro y a los cambios en los precios del mercado.

Situación del sector energético en el Ecuador

La transformación energética del Ecuador entre el año 2000 al 2021 es un tema de gran relevancia para el desarrollo sostenible del país. Durante este periodo, el Ecuador ha avanzado en la diversificación de su matriz energética, promoviendo el uso de fuentes de energía renovable y mejorando la eficiencia energética. Sin embargo, aún persisten desafíos en cuanto a la dependencia del petróleo y la necesidad de mejorar la infraestructura y el marco regulatorio para fomentar la inversión en energías renovables. Para comprender la situación actual de Ecuador, se

debe analizar cómo está utilizando las fuentes energéticas primarias y secundarias. Estas fuentes tienen la siguiente definición:

Mientras que las primeras aluden a las diversas energías en el estado en que se extraen de la naturaleza sin mediar procesos que la transformen (hidráulica, eólica, solar, gas natural, petróleo, etc.), la segunda de las fuentes incluye los diversos productos energéticos elaborados a partir del procesamiento del primer tipo (Barrera 2011,16-21).

La Agencia Internacional de la Energía (IEA 2024), institución creada con el objetivo de coordinar esfuerzos políticos en el ámbito energético, establece que existen cuatro categorías de fuentes de energía primaria: 1) carbón, 2) gas natural, 3) petróleo y 4) derivados y renovables con desperdicios. Las fuentes renovables pueden ser subdivididas en fuentes de energía solar junto a otros medios renovables, energía nuclear y fuentes de energía hídrica. Los datos presentados por la IEA evidencian que los países desarrollados utilizan en igual medida de tres a cuatro fuentes energéticas primarias, mientras que los países en desarrollo dependen de dos fuentes.

Asimismo, para la Agencia Internacional de la Energía (IEA 2024), la producción energética del Ecuador proviene de cinco fuentes primarias: 1) energía solar, 2) petróleo y derivados, 3) gas natural, 4) energía hídrica y 5) biocombustible. No obstante, el 80 % del consumo energético en el Ecuador se origina de una sola fuente primaria, los combustibles fósiles. En consecuencia, la producción de toda la energía secundaria demandada en el país depende principalmente de una sola fuente primaria.

Por otro lado, según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE 2018), la producción de electricidad del Ecuador depende principalmente de dos fuentes: hidro energía y térmica no renovable. La última fuente está fuertemente asociada a las emisiones de CO₂. Para sostener la producción energética, dependiente de petróleo y derivados, se ha hecho un gran gasto en importaciones. La dependencia que tiene la economía ecuatoriana con la exportación de petróleo para la matriz energética ha causado distorsiones en la balanza comercial.

Según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE 2021), la producción de electricidad en Ecuador depende principalmente de dos fuentes: hidro energía y térmica no renovable. Esta última fuente está estrechamente relacionada con las emisiones de CO₂. Para mantener la producción de energía eléctrica, que depende del petróleo y sus derivados, se ha incurrido en un elevado gasto en importaciones. La dependencia de la economía ecuatoriana en la

exportación de petróleo para su matriz energética ha generado distorsiones en la balanza comercial. Al respecto, Guamán Cuenca (2007) argumenta lo siguiente:

(...) históricamente ha requerido importar grandes volúmenes de derivados (de petróleo) para atender la demanda, solo en el 2012 se importaron 16,95 millones de barriles de diésel a un costo de USD 2.317,5 millones y se vendió en el mercado local en USD 717,16 millones, además se importaron 14,23 millones de barriles de naftas de alto octano, con un precio de USD 2.048,15 millones y se vendió en el país USD 766 millones (...) (Guamán Cuenca 2007, 9).

Desde esta perspectiva, puede establecerse que existe una paradoja en la balanza comercial, que se explica por la dependencia en las exportaciones petroleras para generar ingresos. En 2018, se exportó un total de 129.69 millones de barriles, equivalentes a 7.853,41 millones de dólares (Banco Central de Ecuador 2019) A pesar de que Ecuador es un exportador de petróleo, el recurso no puede ser utilizado para el consumo interno. Esta dinámica se replica en toda Latinoamérica, y María Cristina Vallejo (2013, 152-169) reflexiona sobre este hecho diciendo que “en cuanto al consumo, una buena proporción de los requerimientos energéticos de la región son cubiertos a partir de importaciones”.

El crecimiento de la demanda energética ha sido constante en los últimos años “(...) en el período 1999- 2011 la tasa de crecimiento fue de 5,8%” (Salazar y Panchi 2014). Hasta el año 2015 las fuentes térmicas no renovables representaban la principal fuente de energía eléctrica.

Posteriormente la fuente hídrica comenzó a producir 63% del total de electricidad consumida en el país. Adicionalmente se puede observar un incremento importante, del 39,98%, en el total de electricidad producida desde que entró en funcionamiento la hidroeléctrica Coca Codo, el año 2016 (OLADE 2021).

Seguridad energética

La seguridad energética es un concepto complejo que involucra múltiples factores, tales como la disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad y sostenibilidad de la energía. Es decir, se refiere a la capacidad de un país o una región para garantizar un suministro confiable y sostenible de energía para satisfacer sus necesidades económicas y sociales, tanto en el presente como en el futuro. Implica asegurar el acceso continuo a fuentes de energía a precios razonables, minimizando la vulnerabilidad a interrupciones en el suministro y promoviendo la sostenibilidad ambiental.

La seguridad energética se ve influenciada por una serie de factores, entre ellos:

- **Diversificación de fuentes de energía:** Dependiendo de una sola fuente de energía puede aumentar la vulnerabilidad a interrupciones en el suministro debido a eventos como conflictos geopolíticos, desastres naturales o fluctuaciones en los precios del mercado. Por lo tanto, la diversificación de las fuentes de energía, incluyendo tantos recursos fósiles como renovables, puede mejorar la seguridad energética.
- **Infraestructura y logística:** Una infraestructura energética bien desarrollada y mantenida es fundamental para garantizar un suministro confiable de energía. Esto incluye sistemas de producción, transporte, almacenamiento y distribución de energía.
- **Resiliencia:** La capacidad de recuperación frente a eventos imprevistos, como desastres naturales, ciberataques o conflictos, es esencial para mantener la seguridad energética.
- **Eficiencia energética:** Mejorar la eficiencia en el uso de la energía puede reducir la dependencia de los recursos energéticos y disminuir la presión sobre el suministro.
- **Políticas energéticas:** Políticas claras y consistentes que fomenten la diversificación de fuentes de energía, promuevan la eficiencia energética y aborden los desafíos ambientales pueden contribuir significativamente a mejorar la seguridad energética.

En el caso de Ecuador, la fuente hídrica es la segunda fuente energética primaria más importante, representando el 92% de la generación eléctrica del país. Sin embargo, su dependencia de esta fuente la hace vulnerable a factores climáticos, como las sequías. En 2009, una sequía afectó a todo el territorio nacional, incluyendo a la planta hidroeléctrica del Río Paute. Como consecuencia, se produjeron racionamientos y apagones en todo el país. Este evento no fue la primera vez que Ecuador se enfrentaba a una crisis energética de este tipo. En 1993, bajo el gobierno de Sixto Durán-Ballén, se instaló la hora sixtina, adelantando los relojes una hora, debido al estiaje en la zona de Paute y, en 2006, el país estuvo a punto de sufrir una crisis energética de similares magnitudes.

Estos fenómenos evidencian la fragilidad de la seguridad energética de Ecuador en relación con la fuente hídrica. La dependencia de esta fuente la hace vulnerable a factores climáticos que pueden afectar la producción de energía eléctrica.

Cambio en materia energética

En el año 2007, tras la elección de Rafael Correa, se planteó un nuevo modelo de desarrollo para Ecuador, basado en la plurinacionalidad y la interculturalidad. Este modelo se plasmó en la Constitución de Monte Cristi, en la cual se explica el cambio del rol del gobierno central respecto al sector energético y establece el rol programático del Plan nacional para el buen vivir. La nueva constitución define al sector energético como uno estratégica, lo cual implica que su gestión inicial desde el gobierno central. En cuanto a los planes, el primero desarrollado por SENPLADES (2009) define a la matriz energética del Ecuador como un reflejo de la situación del país, reafirmando la característica de país exportador de bienes primarios de bajo valor agregado e importador de bienes industrializados (Senplades 2009).

En línea con este nuevo modelo, el gobierno ecuatoriano estableció la Agenda Energética 2007-2011, con el objetivo de transformar la matriz energética del país. Esta agenda estableció la necesidad de diversificar y optimizar el uso de las fuentes energéticas del país, con el fin de reducir la dependencia del petróleo y mejorar la seguridad energética. La necesidad de la transformación de la matriz energética era evidente, en tanto que el sistema eléctrico del país presentaba importantes deficiencias. En 2009, se tuvieron que realizar racionamientos eléctricos, lo que evidenció la vulnerabilidad del sistema ante factores climáticos, como las sequías (Ministerio de Energía y Minas 2007).

Como resultado de esta agenda, se incrementó la capacidad instalada de generación eléctrica en un 50%, y se redujo la dependencia del petróleo como fuente energética. La transformación de la matriz energética de Ecuador en el período 2007-2011 fue un proceso importante para mejorar la seguridad energética del país. Sin embargo, aún queda camino por recorrer, en tanto que la matriz energética ecuatoriana sigue siendo dependiente del petróleo.

La Agenda Energética 2007-2011, impulsada por el gobierno ecuatoriano, se centró en el desarrollo de energías renovables, como la hidroelectricidad, la energía solar y la energía eólica, con el objetivo de reducir la dependencia del petróleo y avanzar hacia un escenario post-petrolero.

“(…) hay que hacer un esfuerzo enorme y sostenido para maximizar los efectos positivos que se puedan obtener de la actividad petrolera, sin perder de vista que el petróleo se acaba y que el desarrollo no se logra simplemente en base a la extracción de los recursos naturales (Ministerio de Energía y Minas 2007).

Este enfoque se sustenta en la idea de que la explotación de recursos ambientales no es sostenible a largo plazo, ya que muchos de estos recursos requieren un tiempo de recuperación que no se le puede otorgar si se pretende desarrollar la economía del país. El ejemplo más claro es el petróleo, el cual, dependiendo de la temperatura, la presión y el material biológico puede tardar un millón de años. Además, el proceso de explotación petrolera también puede verse reflejado en efectos nocivos para la salud de comunidades que viven cerca de los yacimientos. “Estos recursos no han sido una palanca para avanzar en el camino de un desarrollo equilibrado, dinámico y autosostenido; por el contrario, se ha incrementado el endeudamiento externo, el empobrecimiento, la inequidad, así como la destrucción ambiental y cultural.” (Ministerio de Energía y Minas 2007, 4)

El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 hace énfasis en la mejora que ha tenido el sector energético en Ecuador. En particular, destaca el aumento de la capacidad de generación con fuentes de energía renovable, que se ha duplicado en los últimos años. Este aumento se ha logrado principalmente con la operación de las centrales Coca Codo Sinclair, Sopladora, Manduriacu y Villonaco, entre otras. Las centrales renovables han generado un ahorro histórico en el consumo de combustibles, lo que ha contribuido a reducir la dependencia del petróleo y a mejorar la seguridad energética del país (SENPLADES 2017).

En el contexto de la matriz productiva, “se prevé la implementación de las Industrias Básicas (aluminio, cobre, astilleros y petroquímica) que generarán crecimiento económico en el país y un significativo incremento en la demanda de energía eléctrica.” (Ministerio de Energía y Recursos No Renovables 2019, 22). Sin embargo, esta proyección no pone en consideración otras industrias, como alimentos procesados, que pueden tener un crecimiento mucho mayor en los próximos años.

Según la última actualización de la balanza energética, las actividades industriales y comerciales representan el 41,21% de la demanda efectiva de electricidad. No obstante, la planificación del Plan Maestro de la Electricidad no estima un crecimiento en estos sectores. Este análisis se concentra en el impacto que tendría en la matriz energética un crecimiento significativo de la demanda de electricidad por parte de las actividades industriales y comerciales.

Hay considerar que las industrias no dependen únicamente de la electricidad, también usan combustibles fósiles para completar la cadena productiva. A partir del 2016 la producción de

Electricidad comenzó a utilizar menos recursos derivados de combustible fósil (fuente térmica no renovable). Pese a que la dependencia de los combustibles fósiles para producir electricidad fue disminuyendo desde el 2016, la tendencia de las emisiones de Co2 continua en aumento. “El sector transporte del Ecuador ha tenido la principal participación en la matriz de consumo en la última década, equivalente al 46,1% en 2006 y 44,2% en 2014 del CFT.” (Guamán Cuenca 2007,69).

El segundo punto esencial que se establece con la Constitución de Montecristi es eliminar el modelo de competencia en la generación de electricidad y se establece que la prestación del servicio público de energía eléctrica es estratégica y debe estar sujeto a una planificación centralizada en el gobierno. Esta transformación se da principalmente por el cambio de la LRSE¹ por el Mandato Constituyente No. 15 en 2006 y la LOSPEE² en 2015.

Los cambios establecidos por el gobierno apuntaron tanto a la transformación de la matriz energética como a la reforma de las leyes y normativas que rigen el sector energético. Sin embargo, surge la pregunta: ¿fueron estos cambios verdaderamente asimilados por la sociedad ecuatoriana?

Estado actual de la matriz energética en Ecuador

Ecuador posee una capacidad instalada para la generación de energía eléctrica de 8.036,34 MW. Las fuentes primarias de energía que integran su matriz energética son diversas: el petróleo representa el 88%, seguido por el gas natural con un 5%, la energía hidráulica con un 4%, los productos derivados de la caña de azúcar con un 2%, la leña con un 1%, y otras fuentes primarias con un 0,03%.

Bajo este precepto, es importante indicar que en la actualidad el 92% de la generación de energía en el país proviene de centrales hidráulicas, el 7% de térmicas y el 1% de fuentes no convencionales (fotovoltaica, eólica, biomasa, biogás, geotermia, entre otras). Esta producción, marcada por energías amigables con el ambiente, satisface la demanda nacional de electricidad, así como la exportación de electrones a los países vecinos (Colombia y Perú) (Plataforma para el desarrollo del hidrógeno verde en Latinoamérica y el Caribe s.f.).

¹ Ley de Régimen del Sector Eléctrico

² Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica

Desde una perspectiva económica, el Gobierno Nacional de Ecuador está implementando políticas destinadas a fortalecer la confianza de los inversionistas en proyectos energéticos para el país, con un enfoque en la promoción de una matriz energética más limpia. Estas políticas se basan en un marco legal que prioriza la seguridad jurídica y la transparencia en los procesos públicos, incluyendo mecanismos de alianzas público-privadas. Además, se establecen regulaciones claras y simplificadas, junto con esquemas tarifarios favorables e incentivos para el sector privado.

Ecuador ha atraído la presencia de reconocidas empresas internacionales provenientes de España, Canadá, Corea, China y otros países, que ven al país como un lugar atractivo para invertir en proyectos de energías renovables. Un ejemplo de esta tendencia es el proyecto eólico Villonaco II y III³, que será desarrollado por el consorcio español Cobra Zero – E Villonaco, con una inversión privada significativa y una concesión a largo plazo. Otro proyecto relevante es el fotovoltaico El Aromo, adjudicado a la empresa española Solarpackteam, que también representa una inversión importante y contribuirá a la generación de energía renovable en la provincia de Manabí (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019).

Además, se han lanzado iniciativas como el proyecto fotovoltaico Conolophus en las Islas Galápagos, que aprovechará el abundante recurso solar para generar electricidad limpia y reducir significativamente las emisiones de CO₂ en la región.

El Gobierno Nacional también está llevando a cabo acciones para promover la eficiencia energética en los sectores residencial, industrial y de transporte, incluyendo la implementación de programas de certificación de eficiencia energética, la promoción de la movilidad eléctrica y la capacitación en prácticas de consumo energético eficiente.

El 19 de julio de 2023 Ecuador presentó su “Hoja de Ruta y Estrategia Nacional para la producción de hidrógeno verde”, o H2V, la cual establece un plan detallado para aprovechar el potencial del hidrógeno como vector energético clave en el país. Este enfoque se basa en estudios que demuestran diversos beneficios en el corto y mediano plazo relacionados con el uso de H2V (Ministerio de Energía y Minas 2023).

³ Véase más sobre el proyecto Villonaco en Proyecto Eólico Villonaco 2 y 3 en la página web del Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables.

En primer lugar, se destaca la capacidad del H2V para mejorar la calidad del crudo mediante su empleo en procesos de refinación. Además, se identifica su potencial para la producción de amoníaco, un insumo vital en la fabricación de fertilizantes nitrogenados, así como en la producción de metanol.

Otro punto relevante es la mejora en la seguridad, confiabilidad y calidad de los servicios energéticos que el H2V puede proporcionar, especialmente con la implementación de tecnologías adecuadas de almacenamiento.

Para lograr estos objetivos, se establecen metas ambiciosas en términos de capacidad instalada de generación eléctrica. Se proyecta duplicar esta capacidad para el año 2030 y aumentarla significativamente, entre 4 y 7 veces, para el año 2050. Esto implicará una expansión considerable de la infraestructura energética del país, así como la adopción de tecnologías más eficientes y sostenibles.

En síntesis, la Hoja de Ruta y Estrategia Nacional para la producción de hidrógeno verde en Ecuador propone un enfoque integral para aprovechar el potencial del H2V en diversos sectores, con metas claras a corto y mediano plazo para mejorar la calidad del crudo, impulsar la producción de fertilizantes y metanol, garantizar la seguridad energética y promover la transición hacia un sistema energético más sostenible y diversificado.

Los cambios en el sector energético, derivados de alteraciones políticas, se manifiestan de diversas formas: mejoras en el acceso y la infraestructura de transmisión, mayor eficiencia en el uso de la energía y la diversificación de fuentes primarias. Surge entonces la pregunta crucial, sobre cómo se adapta la sociedad a estos cambios. Es fundamental reflexionar sobre la sostenibilidad y la deseabilidad de estos procesos de transformación.

Objetivo y pregunta de investigación

Pregunta de investigación

¿Cómo las políticas energéticas del período 2007-2021 modificaron el perfil metabólico de la economía ecuatoriana en distintas escalas?

Objetivo General

Analizar el impacto de las políticas energéticas implementadas en Ecuador durante el período 2007-2021 en el perfil metabólico de la economía.

Objetivos específicos

- Identificar los cambios en la composición de la matriz energética y en la eficiencia energética que han tenido lugar en Ecuador en los últimos años.
- Recopilar información detallada sobre las políticas energéticas implementadas en Ecuador durante el período 2007-2021
- Establecer el aporte del metabolismo socioeconómico y los modelos de flujo y fondos para las propuestas de cambio de la matriz energética en múltiples escalas.

Hipótesis

La transformación de la matriz energética y los cambios institucionales en Ecuador no tuvieron un impacto sinérgico en el perfil metabólico de la sociedad ecuatoriana, en comparación con la situación previa a estos cambios.

Capítulo 1. Marco Teórico

El metabolismo socioeconómico es un concepto que se deriva del campo de estudio conocido como metabolismo social, el cual busca comprender las interacciones entre la sociedad humana y su entorno natural, especialmente en lo que respecta al uso de recursos y la generación de residuos. En este contexto, el metabolismo socioeconómico se refiere a la forma en que las actividades económicas y sociales de una sociedad influyen en el uso de recursos naturales, la producción de bienes y servicios, así como en la generación de desechos y emisiones.

El metabolismo socioeconómico se estudia utilizando herramientas y métodos propios de disciplinas como la economía, la ecología, la geografía y la sociología, entre otras. Se analizan flujos de materiales y energía a través de la economía, desde la extracción de recursos naturales hasta la producción, distribución, consumo y disposición final de bienes y servicios. Esto permite comprender cómo estas actividades afectan al medio ambiente y a la sociedad en su conjunto.

Marina Fischer-Kowalski y Helmut Haberl (2000) hacen una definición más detallada sobre lo que es el metabolismo económico y dicen lo siguiente:

(...) podemos pensar en dos maneras razonables de analizar la escala del metabolismo de una sociedad: podemos calcularla como flujo de materiales o energía y, por lo tanto, contabilizarlas como kilos o Joules al año. Es posible que el mismo material sea parte de ambos flujos (por ejemplo, el combustible mineral), si bien algunos sólo serán relevantes como flujo de materiales (por ejemplo, la grava, la arena), y otros, como la electricidad, pueden ser materialmente irrelevantes, pero una importante fuente de energía. Los materiales se extraen de la naturaleza, se utilizan y transforman de una u otra manera en la sociedad, y eventualmente vuelven a los ciclos naturales como desechos o emisiones. Utilizando estadísticas económicas habituales, esto puede explicarse en un cálculo más o menos sencillo de insumos de producción/producción en unidades materiales (kg. /año) sobre la base de supuestos y convenciones metodológicas que están siendo adoptadas progresivamente a nivel internacional (...). El resultado es un «producto nacional» material, donde en lugar del dinero como unidad contable figuran kilos o toneladas. Dividida por el tamaño de la población, esta cifra proporciona una medida del metabolismo per cápita de un ciudadano medio de esa sociedad, es decir, el perfil metabólico característico. (...) (Fischer-Kowalski y Haberl 2000)

Lo mencionado indica que el metabolismo socioeconómico proporciona una comprensión profunda de cómo las sociedades humanas se apropian y utilizan los flujos de energía y materiales para el mantenimiento y desarrollo de sus estructuras y funciones. Este marco

conceptual se inspira en la analogía con el metabolismo biológico, en el que los organismos extraen recursos de su entorno, los transforman para adquirir energía y materiales esenciales, y finalmente excretan residuos de vuelta al entorno.

En el ámbito socioeconómico, los “recursos” se definen como los flujos energéticos y materiales disponibles en la naturaleza, que incluyen elementos como el agua, los minerales y la energía solar, entre otros. La “transformación” hace referencia a los procesos mediante los cuales estos insumos se convierten en recursos disponibles para la sociedad y se utilizan para la generación de bienes y servicios. Los “residuos” representan los subproductos no deseados de estos procesos, como las emisiones de gases de efecto invernadero y los residuos sólidos.

El metabolismo socioeconómico se centra en comprender cómo estos procesos están interconectados y cómo pueden ser gestionados para lograr una mayor eficiencia. Este marco teórico proporciona una visión integral de las dinámicas de uso de recursos en la sociedad, permitiendo identificar oportunidades para mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental. Al hacerlo, se busca promover un equilibrio entre el desarrollo socioeconómico y la preservación del medio ambiente.

Según Funtowicz y Ravetz (2000,23) la ciencia posnormal reconoce a los sistemas sociales reales como entidades complejas y dinámicas. Para analizar estos sistemas, es necesario adoptar un enfoque científico que se base en la incertidumbre, el control incompleto y una pluralidad de perspectivas legítimas. Además de la definición proporcionada por Funtowicz y Ravetz, es importante destacar que los sistemas sociales son autopoieticos, es decir, son capaces de autoorganizarse y autorreproducirse. “De manera similar a un sistema biológico los sistemas sociales son conceptualizados como uno que reproduce sus elementos en base a esos mismos elementos” (Seidl 2004,2). Esta noción se asemeja al funcionamiento de los sistemas biológicos, donde los elementos individuales interactúan y se organizan de manera autónoma para mantener y perpetuar la existencia del sistema en su conjunto.

Desde una perspectiva socioeconómica, esta conceptualización resalta la capacidad inherente de los sistemas sociales para generar y mantener sus propias estructuras y dinámicas internas sin depender completamente de factores externos. Esto implica que los sistemas sociales tienen la capacidad de adaptarse y evolucionar en respuesta a cambios en su entorno, así como de reproducir sus patrones y características fundamentales a lo largo del tiempo.

1.1. Antecedentes

Muchos estudios abordan el estudio de patrones socio-metabólicos y análisis de la matriz energética, no obstante, la literatura es limitada en cuanto a la exploración de estos patrones mediante escalas. Entre los trabajos que han servido de antecedente para esta tesis, cabe mencionar el artículo “*Clustering Analysis of Energy Consumption in the Countries of the Visegrad Group*” donde se analiza el consumo de energía en los países del Grupo de Visegrado, examinando sus sectores económicos principales. Este documento busca identificar los cambios en la absorción de energía, su productividad y la estructura sectorial, comparándolos con otros países de la Unión Europea (UE). Todos los miembros del Grupo de Visegrado, incluyendo Polonia, Hungría, Eslovaquia y la República Checa, fueron seleccionados para el estudio hasta el 31 de diciembre de 2018, y se analizó el período de 1990 a 2018. Se emplearon diversas técnicas de análisis, como análisis explicativos, representaciones gráficas y tabulares, así como estadísticas descriptivas y de dinámica. Además, se utilizó el análisis de agrupamiento mediante métodos como k-means, agrupaciones jerárquicas aglomerativas y Análisis Divisivo ANALysis (DIANA) (Gostkowski et al. 2021)

Los resultados revelaron que la dinámica del crecimiento de la productividad en los países del Grupo de Visegrado fue similar al promedio de la UE durante el período estudiado, sugiriendo que estos países no mejoraron significativamente su eficiencia energética en comparación con la UE en general. A través del análisis de agrupamiento, se identificaron cuatro grupos distintos de países de la UE, con Polonia, la República Checa y Hungría ubicados junto a los países de Europa Occidental, lo que sugiere una convergencia de estas economías con sistemas económicos altamente desarrollados. En este sentido, este estudio no solo contribuye a la teoría económica, sino que también ofrece una visión práctica sobre el impacto de la transformación económica en el consumo de energía en diferentes sectores, la cual sirve como un modelo del impacto que tiene la matriz energética y los cambios institucionales del país en el perfil metabólico de la sociedad ecuatoriana.

1.2. La sociedad como un sistema complejo

Según Martínez-Alier y Roca (2013,17) “La economía ecológica considera al sistema económico como un subsistema de un sistema más amplio, la Tierra o biosfera”. En este modelo, se conceptualiza al planeta Tierra como un sistema cerrado, en el cual solo la energía solar penetra, pero no se observa ningún flujo material entrante o saliente. A partir de la interacción con la

radiación solar, se originan todos los demás sistemas: económicos, ecosistemas, sociedades, naciones, hogares e individuos. Por lo tanto, la biosfera está compuesta por subsistemas más pequeños que, a su vez, se derivan de componentes aún más diminutos. Esta perspectiva enfatiza la interconexión y la interdependencia de todas las partes del sistema global. Esto se conoce como *holón*, la cual es una parte de un sistema que al mismo tiempo está conformado de otras partes más pequeñas.

En el contexto científico y filosófico, el término "holón" fue acuñado por el escritor Arthur Koestler en su libro "El Espíritu de la Máquina" en 1967. Un holón se refiere a una entidad o unidad que es a la vez un todo autónomo en sí mismo y una parte integrante de un sistema mayor.

(...) siendo una totalidad en un contexto, es simultáneamente una parte en otro contexto; por tanto, un *holón* representa un sistema o fenómeno que es un todo en sí mismo y a su vez forma parte de un sistema superior (...) (Koestler 1967,48)

Es decir, un holón tiene una doble naturaleza: es un todo completo en sí mismo y, al mismo tiempo, una parte de una estructura o sistema más grande.

En el mismo texto, Joan Martínez Alier y Jusmet Roca aclaran que el sistema económico requiere tanto de flujos energéticos como de materiales para llevar a cabo los procesos productivos (Martínez-Alier y Roca 2013,17). Los resultados de estos procesos se manifiestan en forma de calor disipado o energía degradada, así como residuos materiales. Por lo tanto, las actividades productivas generan "entropía".

La "entropía" es un concepto fundamental en la termodinámica y la física que se refiere a la medida del desorden o la falta de organización en un sistema. La entropía también se puede entender como una medida de la cantidad de energía en un sistema que no está disponible para realizar trabajo útil. En un sentido más amplio, la entropía se relaciona con la tendencia natural de los sistemas a evolucionar hacia un estado de mayor desorden o aleatoriedad con el tiempo. Esto se conoce como el segundo principio de la termodinámica, que establece que la entropía total de un sistema aislado siempre aumenta con el tiempo, lo que implica que la energía tiende a dispersarse y distribuirse de manera más uniforme a medida que el sistema evoluciona.

Nicholas Georgescu-Roegen (1986,3) define la entropía de la siguiente manera:

The concept of entropy is so involved that even physicists may go wrong with it (...) But entropy, like energy, force, distance, and other physical concepts, has a phenomenological

meaning, the only one of primary interest for both experts and outsiders. (...) The only isolated system is the whole universe, to which Clausius (1867, p. 365) significantly referred his famous formulation as a stanza of the thermodynamic laws: The energy of the universe is constant. The entropy of the universe tends to a maximum. (Georgescu-Roegen 1986,3)

La entropía, al igual que otros conceptos físicos como la energía y la fuerza, tiene un significado fenomenológico de interés tanto para expertos como para no expertos. La comprensión de la entropía comienza con la distinción entre energía disponible e indisponible, una distinción que refleja la relación antropomórfica entre los humanos y la energía. Esta perspectiva subraya la naturaleza intrínsecamente entrópica de los sistemas económicos y la necesidad de gestionar eficientemente los recursos para minimizar la generación de entropía. “En un sistema cerrado, la cantidad de energía se mantiene constante (primera ley), mientras que la energía disponible deja de estarlo en un proceso continuo (segunda ley)” (Georgescu-Roegen 1986,3)

Los subsistemas, de igual manera, están en constante interacción, generando un ciclo retroalimentado. Todo acto realizado por el sistema económico termina repercutiendo en el ecosistema. Las decisiones tomadas por un hogar pueden estar influenciadas por cambios en el ecosistema, cambios que fueron provocados por las acciones de los mismos hogares. Las partes que componen el sistema evolucionan de manera continua, razón por la cual se describe a este como un sistema vivo y complejo. Esta perspectiva resalta la interdependencia y la dinámica de cambio constante que caracteriza a los sistemas socioeconómicos y ecológicos. Estas son las características de un sistema complejo:

(1) una fuerte (usualmente no lineal) interacción entre las partes; (2) bucles de retroalimentación complejos que dificultan distinguir entre causa y efecto; (3) retrasos en tiempo y espacio representativo, discontinuidad, límites; todo esto resulta en (4) la incapacidad de simplemente sumar o agregar comportamiento a pequeña escala para llegar a un resultado amplio (Costanza et al. 1993, 55).

1.2.1. La energía y su papel en la sociedad

Según Morton (2007,52) “cuando el ciclo de Calvin- Benson transforma el dióxido de carbono, del cual los seres vivos no pueden obtener energía, en carbohidratos, de donde sí se puede, se requiere una fuente de energía.” (Morton 2007, 52) Esa fuente de energía es el sol, por medio de

la fotosíntesis. La energía solar actúa como catalizador de un proceso que genera otro tipo de energía y material. Esta energía se conserva en forma de carbohidratos, que posteriormente son aprovechados por otro ser vivo. Simultáneamente, este ser vivo puede convertirse en una fuente de energía, ya que a través de su metabolismo transforma los carbohidratos en grasas y proteínas. Para que este proceso se lleve a cabo, se requieren otros recursos como el agua, la tierra y el sol. Por ejemplo, las plantas utilizan la energía solar para transformar el dióxido de carbono y el agua en glucosa, un tipo de carbohidrato. Los animales consumen la glucosa de las plantas para obtener energía, crecer y reproducirse. Cuando los animales mueren, sus cuerpos se descomponen y liberan sus nutrientes al medio ambiente. Estos nutrientes son utilizados por las plantas para producir nuevos carbohidratos.

Numerosos animales establecen sus agrupaciones en torno a las fuentes de energía, en forma de alimentos, y a las fuentes de agua. Este comportamiento no es ajeno a las sociedades humanas, que inicialmente eran nómadas y posteriormente se establecieron como sedentarias. Estos asentamientos se ubicaban en lugares propicios para el desarrollo de actividades de recolección y caza, con el objetivo de satisfacer la demanda de energía (en forma de alimentos) y materiales (utilizados para la fabricación de herramientas) de la sociedad.

Estos asentamientos requieren un flujo determinado de energía y materiales, principalmente en forma de alimentos y materiales para herramientas. Este patrón de consumo y utilización de recursos es el perfil metabólico de una sociedad pre agrícola y sedentaria.

Al igual que un cuerpo humano, las sociedades pueden ser conceptualizadas como sistemas compuestos por diversos subsistemas, que son análogos a los órganos en un organismo. Estos subsistemas requieren de flujos constantes de energía y materiales para su funcionamiento y mantenimiento. “Los materiales se extraen de la naturaleza, se utilizan y transforman de una u otra manera en la sociedad, y eventualmente vuelven a los ciclos naturales como desechos o emisiones” (Fischer-Kowalski y Haberl 2000,24). Además de los materiales, también se requiere energía para transformar estos flujos materiales en productos útiles, como lanzas en el caso de las sociedades recolectoras y cazadoras. Por ejemplo, para fabricar una lanza, se necesita energía (humana) para cortar la madera, afilar la piedra y atar las dos piezas.

Al igual que la sangre distribuye nutrientes en el cuerpo, la energía se distribuye en la sociedad para que todos sus componentes puedan utilizarla. Los países requieren diversificar su sector

energético para reducir su dependencia de un único recurso, ampliar la oferta energética, reforzar la seguridad, soberanía y adaptarse a shocks externos. En el artículo “Energía: conocimientos libres, energía distribuida y empoderamiento social para un cambio de matriz energética” se menciona que la oferta energética “[es] un sector estratégico en toda economía, conformando el flujo sanguíneo del sistema productivo y un factor clave para la satisfacción de necesidades humanas” (Dafermos et al. 2015). Pero, antes de avanzar con el tema, en primer lugar, cabe preguntarse ¿Qué es la energía? La palabra «energía» proviene del griego *fuera de acción*⁴, relacionada a la capacidad de transformar o poner en movimiento y, en el siglo IV a.C., Aristóteles la definió y relacionó con la física como la capacidad de producir movimiento, cambios y trabajo. Es evidente que la palabra energía conlleva diversos significados según su contexto, los cuales serán explicados brevemente a continuación:

- Definición científica: La energía es la capacidad de realizar un trabajo, entendiendo «trabajo» como un desplazamiento. En este contexto podemos identificar diferentes formas de energía como es: el calor, la luz, la química eléctrica, nuclear y gravitatoria, etc.; cada una con su respectiva unidad de medida.
- Definición semántica: La mejor explicación semántica de energía la hacen Giampietro, Mayumi y Şorman (2013). y dicen que: “energía es todo. Usamos energía para todo lo que hacemos, desde respirar, saltar, hacer galletas, hasta enviar a un astronauta al espacio.” De este significado se puede definir incluso un número mayor de formas de energía. Por ejemplo, frutas que transforman tanto energía solar y nutrientes del suelo en químicos y nutrientes necesarios para el cuerpo humano.
- Definición económica: En el campo de la economía una de sus ramas, específicamente el campo de la economía de los recursos naturales utiliza el concepto de energía como un *commodity* clave en los procesos de producción estratégicos. Según Giampietro, Mayumi y Şorman (2013), el concepto de *energy commodities* en la actualidad ha sido adoptada en las estadísticas energéticas de entidades como la IEA (Agencia Internacional de energía). Siguiendo esta misma línea Arbex y Perobelli (2010, 23-53) plantean que es crucial abordar los desafíos relacionados con la energía, incluida la diversificación de fuentes, la

⁴ Este concepto se aplica principalmente en las ciencias exactas.

mejora de la eficiencia energética y la inversión en tecnologías sostenibles, para garantizar un desarrollo económico sostenible y próspero en el futuro; a lo cual dicen lo siguiente:

la energía es un insumo esencial para el crecimiento y el desarrollo en las economías modernas (...) la energía usada es un factor limitante de crecimiento económico, otros factores como mano de obra y capital no pueden funcionar sin energía (Arbex y Perobelli 2010, 23-53)

El enunciado destaca la importancia fundamental de la energía como un recurso esencial para el funcionamiento y el crecimiento de las economías modernas. En el contexto de los energy commodities, la energía se considera un insumo clave que impulsa la producción y el desarrollo económico.

- Definición economía ecológica: Parte del modelo propuesto por Georgescu Roegen (1986) de la economía como un sistema abierto que coexiste con otros sistemas dentro de la biosfera establece a la energía como un flujo, el uso de este flujo provoca un desgaste en forma de entropía o energía desecha que tiene que ser absorbida por el ambiente. En esta misma línea se comienza a cuestionar los flujos de energía a donde van y quien lo utiliza. De igual manera, este concepto de economía como sistema abierto existiendo dentro de una biosfera determina que existen límites para el uso de los recursos energéticos. El sistema no puede usar más energía de la que está disponible y no puede generar mayor cantidad de desperdicios que el ambiente pueda soportar. Además, la energía económica ecológica incorpora los conceptos de energía endosomática y exosomática (Georgescu Roegen1986).

Las diferentes definiciones de energía se resumen en que ésta puede ser considerada como un flujo que se distribuye a través de la sociedad y que tiene múltiples usos. Su disponibilidad y capacidad de uso están determinadas por el sistema, la referencia a un sistema es amplia, dado que se puede hablar de un país, región, comunidad, ciudad o un individuo; y la sociedad en cuestión. Fischer-Kowalski y Haberl (2000) explican que, al año, los insumos de materiales y energía *per cápita* de una sociedad están en gran medida determinados por el modo de producción y el estilo de vida asociado con éste, que se conoce como el perfil metabólico característico de una sociedad (Fischer-Kowalski y Haberl 2000).

El perfil metabólico constituye un constructo que ilustra la interrelación entre la sociedad humana y su entorno ecológico. Este sistema intrincado comprende la extracción, transformación y utilización de recursos naturales, así como la generación de residuos. Puede ser examinado en diversas escalas, desde un individuo hasta un continente o región. Factores como el desarrollo económico, la estructura social, las políticas públicas y las preferencias de los consumidores pueden influir en la variabilidad del perfil metabólico de una sociedad (Fischer-Kowalski y Haberl 2000).

Las sociedades presentan diferentes perfiles metabólicos. Por ejemplo, las sociedades agrícolas tienen un perfil metabólico más intensivo en energía y materiales que las sociedades recolectoras y cazadoras. A lo largo del tiempo, las sociedades experimentan transiciones que transforman la manera en que requieren y utilizan la energía y los materiales. Por ejemplo, la Revolución Industrial dio lugar a un aumento significativo en el consumo de energía y materiales.

1.2.2. Metabolismo Social

La preservación de la vida y la contemplación del futuro constituyen dos de los ejes fundamentales que preocupan a la ciencia contemporánea. La humanidad ha modificado su entorno a un ritmo acelerado, sin lograr comprender plenamente las consecuencias ambientales derivadas de dichas transformaciones. Esta dinámica pone de manifiesto la necesidad de un enfoque más reflexivo y sostenible hacia nuestra interacción con el medio ambiente. “La idea común de que la evolución cultural es un progreso eterno comenzó a trazar un camino donde el crecimiento de la economía industrial llegaba a causar la devastación de la vida humana” (Fischer-Kowalski 2013) Al respecto, Toledo argumenta lo siguiente:

... la ciencia en su conjunto está obligada a conocer el pasado para aprender de él (obtener lecciones); adoptar una rigurosa perspectiva histórica que permita la cabal comprensión de las situaciones del presente, lo cual implica: a) El desarrollo de un marco conceptual integrador (interdisciplinario) de carácter socioecológico, capaz de orquestar la investigación sobre las relaciones entre la sociedad y la naturaleza; y b) que sea funcional (útil) para el análisis de esas relaciones, es decir, a través de la historia (tiempo) y a diferentes escalas (espacio) (Toledo 2013, 42).

El surgimiento de un nuevo marco conceptual, que integra de manera conjunta las ciencias ambientales y sociales, ha dado lugar al metabolismo social. Este enfoque innovador tiene sus raíces en el término *Stoffwechsel*, que fue utilizado por primera vez en el Tomo 1 de “El Capital”

y se traduce como intercambio orgánico o metabolismo. El autor emplea este concepto para representar el intercambio entre la sociedad y la naturaleza, entre la tierra y el ser humano.

Francisco Quesada-Rodríguez hace un análisis sobre el concepto de naturaleza y metabolismo en El Capital I de Karl Marx y anuncia lo siguiente:

(...) Las investigaciones del siglo XXI sobre la ecología en la obra de Marx muestran la importancia del “metabolismo” (...) pero fue interpretado por Marx para hablar del “metabolismo social” en relación con la teoría de la alienación, no así en términos estrictamente biológicos y ecológicos. Por eso, se discute hasta la actualidad si Marx realmente era consciente de una tal crisis ecológica como se concibe en la actualidad o si, simplemente, él analizó la naturaleza como objeto de la economía política.

El “metabolismo social” es una categoría filosófica que se ha redescubierto en la filosofía de Marx, útil para entender la actual crisis ecológica, pero requiere ser analizada cuidadosamente porque las interpretaciones hechas de Marx desde las décadas de 1960 y 1970 muestran otra versión opuesta a la cuestión ecológica actual (...) (Quesada-Rodríguez 2022, 11).

Para Marx, el capitalismo implica una relación social específica entre los seres humanos y su entorno natural, en la que la naturaleza se convierte en un recurso explotable para la producción de bienes y servicios destinados al mercado. Esta explotación de la naturaleza tiene implicaciones tanto en términos de agotamiento de recursos como de degradación ambiental, y afecta a las condiciones de vida y trabajo de las personas involucradas en el sistema económico. Además, Marx analiza cómo el capitalismo también transforma las relaciones sociales entre las personas, creando una división del trabajo, clases sociales y desigualdades económicas que afectan el metabolismo social. La explotación de la fuerza de trabajo humana en el proceso de producción capitalista, donde el trabajo se convierte en una mercancía, también es fundamental en su análisis.

Aunque Marx no utilizó explícitamente el término "metabolismo socioeconómico", su análisis crítico del capitalismo y su relación con la naturaleza y el trabajo humano tienen implicaciones que pueden relacionarse con dicho concepto. Según Marx, el metabolismo entre el ser humano y la naturaleza es esencial para la producción y reproducción de la vida material. En su obra, Marx examina cómo el sistema económico capitalista transforma tanto la naturaleza como el trabajo humano en mercancías para el intercambio en el mercado. Esta relación de intercambio, sin embargo, conlleva consecuencias sociales y ambientales que pueden ser consideradas como un tipo de metabolismo socioeconómico

Sin embargo, no fue hasta 1997 cuando Marina Fisher-Kowalski introduce el término en uno de los capítulos del libro *Handbook of Environmental Sociology*. En el capítulo titulado *Society's Metabolism: On the Childhood and Adolescence of a Rising Conceptual Star*, la autora reflexiona sobre el cambio de paradigma y la forma de entender el desarrollo industrial a finales de los años sesenta. Esta nueva visión proporcionó la oportunidad para rescatar el concepto de metabolismo socioeconómico que Marx había establecido.

Marina Fisher – Kowalski (2013) describe el metabolismo socioeconómico como los insumos materiales, el procesamiento y los desechos de la sociedad, así como la producción energética. Además, caracteriza la colonización de la naturaleza como las actividades que modifican deliberadamente los sistemas naturales con el propósito de hacerlos útiles para la sociedad. Estos dos conceptos, metabolismo económico y colonización, se encuentran en constante interacción. El ser humano coloniza los servicios naturales a través de transformaciones orientadas a generar flujos energéticos y materiales. Dichos flujos ingresan al metabolismo de la sociedad, desempeñando un papel esencial en la satisfacción de las necesidades de esta.

“El metabolismo entre la naturaleza y la sociedad contiene dos dimensiones o esferas: un material, visible o tangible y otra inmaterial, invisible o intangible” (Toledo 2013, 46) . En el caso de la primera dimensión tenemos que establecer una relación entre 3 tipos de flujos: entrada, interiores y de salida. Estos flujos al mismo tiempo se dividen en dos grupos más importantes: materiales y energéticos. Por otro lado, Toledo (2013, 51) define la parte intangible como un armazón para los procesos materiales del metabolismo de la sociedad en la que opera. Lo intangible corresponde al lado más abstracto de la vida del ser humano como sociedad: las leyes, estructuras políticas, normas, moralidad y ética también constituyen precisamente determinantes importantes del metabolismo exosomático (Toledo 2013, 51).

Por otro lado, la dimensión intangible actúa como un armazón para los procesos materiales del metabolismo de la sociedad en la que opera. Lo intangible corresponde al aspecto más abstracto de la vida del ser humano como sociedad: las leyes, estructuras políticas, normas, moralidad y ética también constituyen un componente crucial de los metabolismos. Esta interrelación entre los aspectos tangibles e intangibles configura el metabolismo socioeconómico, subrayando la complejidad y la interdependencia inherentes a estos sistemas.

“El proceso metabólico se ve entonces representado por cinco fenómenos que son teórica y prácticamente distinguibles: la apropiación (A), la transformación (T), la circulación (C), el consumo (Co) y la excreción (E).” (Toledo 2013, 47). En cada sociedad, hay una articulación única de los cinco procesos metabólicos y una configuración específica de las relaciones sociales que los forman. Estos procesos tienden a la reproducción y continuidad, reflejando un consenso social en la satisfacción de las necesidades básicas.

Ley de jerarquías en sistemas sociales

Para O’Neill, Johnson, y King (1989, 193) “la teoría de las jerarquías conceptualiza los sistemas como si estuvieran compuestos por niveles, cada uno de estos niveles operan en distintas escalas de tiempo y espacio”. Lo que funciona para un país (escala nacional) no impacta de la misma forma a una empresa o a una familia (unidad económica). Otra forma de encontrar contradicciones es con mismos niveles de escala espaciales, pero en diferentes escalas temporales. Por ejemplo, los efectos del cambio climático son intertemporales y complejos. Las políticas en mitigación del cambio climático aplicadas en un país, a una escala de tiempo, pueden no siempre ser adecuadas debido a que los países que producen más emisiones y huella de carbono no asumen el costo total del impacto en el cambio climático.

Según Giampietro (1994, 617) la teoría de las jerarquías permite conceptualizar los problemas que se encuentran en sistemas multiescalares. Las sociedades, al ser sistemas complejos y autopoieticos, son holones (totalidades y a la vez partes de un sistema) compuestos por otros subsistemas. Estos son sistemas que se van ajustando y evolucionando a lo largo del tiempo. Un ejemplo de esta evolución son las transiciones energéticas de las sociedades. “Tres propiedades básicas son analizadas: (1) estructura jerárquica, (2) desequilibrio y (3) metastabilidad” (Giampietro 1994). El sistema socioeconómico no es ajeno a estas tres propiedades, ya que son las propiedades de todo sistema complejo.

Las estructuras jerárquicas están presentes en diversos sistemas (por ejemplo, el cuerpo humano está compuesto por órganos, y los órganos por tejidos). De la misma forma que se puede analizar en diferentes escalas otros sistemas. La biosfera también está compuesta por distintos sistemas naturales y sociales. La ruta de flujos planteada por Fischer-Kowalski (2013) va escalando a un nivel más bajo, de la biosfera hasta las unidades económicas, es un ejemplo de cómo la teoría de las jerarquías se aplica a sistemas sociales. Esta perspectiva enriquece los debates sobre

desarrollo sostenible, cambio de matrices energéticas y productivas y las políticas económicas. La teoría de las jerarquías aplicado a sistemas sociales es una herramienta valiosa para abordar los desafíos relacionados con la sostenibilidad y el desarrollo económico en un mundo interconectado. Esta mirada jerárquica permite entender cómo las decisiones y acciones en un nivel dado afectan a los niveles más altos y bajos, y viceversa. En pocas palabras permite descubrir cómo funcionan las producciones de diferentes productos o servicios, desde las empresas, naciones y sus sistemas económicos y políticos, hasta comunidades locales.

Si las sociedades se construyen a partir de sistemas más pequeños, lo que determinará su dirección de cambio serán estos subniveles y sus restricciones. “Este concepto enfatiza que el comportamiento de un sistema ecológico está limitado (1) por el comportamiento de los componentes y (2) por las restricciones del ambiente que son impuestas por los niveles superiores” (O’Neill, Johnson, y King 1989, 195). Los sistemas complejos dentro de este marco teórico están en constante retroalimentación.

Se pueden definir dos escalas o niveles principales en relación con el sistema. El nivel interno, del cual está compuesto el sistema (niveles bajos), por ejemplo, el sector productivo y las familias para un país. El nivel externo, que son las restricciones ambientales (niveles altos), por ejemplo, la geografía de un país o su clima. La interacción dinámica de niveles, internos y externos es fundamental para comprender cómo los sistemas sociales se adaptan y responden a su entorno y cómo influyen en su entorno a su vez. Esta interacción constante entre el nivel interno, compuesto por los elementos que constituyen el sistema, y el nivel externo, representado por las restricciones y condiciones ambientales, da forma a la estructura y la dinámica del sistema en su conjunto. Por lo tanto, al analizar un sistema dado, es crucial considerar tanto sus componentes internos como las influencias externas que lo rodean para comprender completamente su funcionamiento y sus posibilidades de desarrollo.

Existen diversas restricciones en un sistema que permiten predecir su comportamiento a lo largo de la escala de tiempo. Estas restricciones pueden estar dadas por los componentes del sistema (interno) y por los límites del ecosistema (externo). “Algunas limitaciones en la dinámica del sistema ecológico provienen de los niveles más bajos y son impuestas por el potencial biótico de los componentes” (O’Neill, Johnson, y King 1989, 194). El potencial biótico también es conocido

como las condiciones iniciales. Aunque este término se aplica a los ecosistemas, las estructuras sociales también tienen condiciones iniciales.

Dentro de una escala de tiempo, estas condiciones iniciales son, por ejemplo: el tamaño de la población económicamente activa, las industrias que operan dentro de un país, las instituciones formales e informales que ejercen una influencia en el consumo energético, y las capacidades y habilidades de la sociedad para controlar y aprovechar una determinada fuente energética. Todas estas características interactúan entre sí y construyen el perfil metabólico del sistema social.

Por otro lado, tenemos limitaciones externas, las cuales están dadas por los límites ambientales. “Por ejemplo, las limitaciones de la dinámica de una población van a estar impuestas por su comunidad y el ecosistema” (O’Neill, Johnson, y King 1989, 194). En estas restricciones encontramos una característica particular en el caso de las sociedades. El ser humano es observador y observado al mismo tiempo. La introducción de leyes o cambios institucionales puede afectar el comportamiento del sistema. Entonces, parte de estas restricciones están dadas por los componentes internos. Sin embargo, las condiciones ambientales escapan del control de las personas. Los límites ambientales determinan los cambios de los niveles más bajos.

Giampietro (1994, 619) hace una observación importante sobre la teoría de escalas. Cuando se estudia un proceso específico de un sistema desde la perspectiva de jerarquías, es importante adoptar una descripción que evite el impacto del comportamiento de los niveles altos y bajos. Un análisis a nivel energético puede evitar el análisis de la salud de los individuos. Aunque la salud de las personas puede afectar el metabolismo socioeconómico, este comportamiento puede no ser relevante.

Diversos enfoques del metabolismo social

Marina Fisher Kowalski (2013,119) propone dos enfoques para la interpretación de los flujos materiales y energéticos. El primero considera a la sociedad como una máquina, mientras que el segundo adopta una perspectiva de ecosistema. Ambos enfoques pueden ser aplicados en diversos niveles de análisis. Cabe mencionar que en el texto de Marina Fischer – Kowalski escribe niveles para referirse a las diversas estructuras sociales. Otros autores prefieren usar el término escalas. El análisis de los metabolismos está influenciado por la temporalidad; hay elementos que en el corto plazo son considerados como fondos, mientras que en el largo plazo

pueden ser percibidos como flujos⁵. Adicionalmente, la autora destaca que existen múltiples rutas metodológicas para el análisis de los flujos, lo que refleja la complejidad y diversidad de este campo de estudio.

Maquina vs ecosistema

“La primera forma de análisis es desarrollada como un marco analítico por las ciencias sociales, el segundo es impulsado por las ciencias naturales” (Fisher Kowalski 2013,119). El primer enfoque se centra en las dinámicas desarrolladas por el ser humano, examinando cómo se organiza y estructura la sociedad en sí misma. Este enfoque puede describirse como el análisis de una máquina, donde cada componente contribuye al funcionamiento general mediante el uso de recursos obtenidos del ecosistema. El segundo enfoque está estrechamente relacionado con el funcionamiento del medio ambiente, adoptando una perspectiva más centrada en el deterioro de los servicios ambientales causado por la presión de la actividad humana. Ambas perspectivas no son mutuamente excluyentes, sino que ofrecen diferentes ángulos para entender la compleja interacción entre la sociedad y su entorno.

La ruta de los flujos

Al abordar el análisis del metabolismo social, un aspecto esencial que determina su estructura son la energía y los materiales. En forma de flujos, el ser humano, los transforma en bienes, otro tipo de energía, otros tipos de materiales o servicios a través de fondos. Aunque esta puede ser la descripción más simple, el análisis de los flujos puede seguir distintas rutas. “Algunos miran al rol de un determinado insumo en el proceso metabólico y determinan que necesita el metabolismo y como lo transporta por el sistema.” (Fisher Kowalski 2013,120).

El primer enfoque busca seguir la trayectoria de un input (flujo material o energético), entender su interacción y cómo se distribuye dentro del nivel o escala en cuestión. Mientras que otra ruta que se puede tomar es analizar un determinado output y reconstruir los flujos que se utilizaron para llegar a él.

Asimismo, se puede analizar la disponibilidad de un flujo en un determinado ecosistema. Se pueden generar escenarios donde el consumo de un flujo se incrementa, o si se decide producir más de un determinado insumo. Las rutas que se pueden analizar son bastante diversas.

⁵ Elementos que, en un determinado periodo de tiempo, están en constante variación.

Niveles/Escalas

Fischer-Kowalski (2013) identifica cuatro niveles de metabolismos sociales: global (geo-biosfera); nacional (países/estados); regional (ciudades/regiones/provincias); y unidad funcional (familias/industrias/comunidades de menor escala que una ciudad/empresas). Cada nivel presenta sus propias limitaciones y ventajas al momento de realizar un análisis. A medida que el metabolismo se vuelve más pequeño, se vuelve más complicado enfocarlo desde el marco ecosistémico, pero las características sociales se vuelven mucho más claras. Esta estructura multinivel proporciona un marco útil para entender la complejidad y diversidad de los metabolismos socioeconómicos.

Global. – El marco global proporciona una comprensión mucho más completa del enfoque ecosistémico. La biosfera es un sistema complejo en el que los diversos ecosistemas interactúan constantemente. Como el periodista Sergio Urquijo Morales (2017, 6) describe, lo fascinante de la circulación atmosférica, no es la escala global en sí misma, sino que demuestra cómo este gran sistema dinámico está conformado por las conexiones de regiones más pequeñas y locales. Esta perspectiva resalta la interdependencia inherente en los sistemas ecológicos y su papel en la configuración de nuestro planeta.

La siguiente proposición puede parecer paradójica, sin embargo, es más preciso comprender el sistema en su totalidad, incluyendo sus respectivas interacciones, en lugar de centrarse exclusivamente en una parte de este. El deshielo de los polos es un ejemplo adicional de cómo las variaciones en una región pueden impactar al resto del planeta. En contraste, el enfoque social no puede ser abordado con la misma precisión. La información, las industrias, las políticas y las instituciones dentro de cada país carecen de homogeneidad. Según Fischer-Kowalski (2013, 124), este enfoque no ha tenido una influencia significativa en la investigación de los metabolismos sociales, principalmente debido a la falta de datos apropiados y al desinterés en generarlos. Intentar comprender la “sociedad global” como una entidad única puede resultar en un reduccionismo innecesario.

Nacional. – A esta escala, se ha observado un mayor desarrollo de ideas, políticas, investigaciones y evidencias. Resulta que a nivel nacional existe una mayor homogeneidad de información en relación con los flujos energéticos y materiales. No obstante, se presenta una

limitante significativa dentro de este nivel. No es posible establecer un análisis que integre todo el sistema ecológico complejo dentro de un espacio territorial.

Como bien señalan Fischer-Kowalski (2013,125) la atmósfera, los ecosistemas, el agua y la fauna no respetan límites territoriales. Por ejemplo, los flujos de residuos no se limitan a las aguas de un país A o B. Al mismo tiempo, se menciona que la gran excepción se encuentra en los flujos de energía secundaria. Estos flujos son muy precisos y se distribuyen sobre el territorio nacional. Un ejemplo de esto puede ser la cantidad de combustible fósil consumido.

En la escala nacional, existe un *trade-off*. En el análisis, se renuncia, hasta cierto punto, a la posibilidad de entender el ecosistema como un todo a cambio de tener información de mayor y mejor calidad. El mecanismo de la sociedad está mucho más marcado en el territorio nacional a través de normas, creencias y capacidades.

Regional. – Este nivel de análisis permite identificar áreas donde los límites naturales coinciden con los límites políticos o artificiales. Este puede ser el caso de un área protegida, o una región natural como la sierra, la costa y el oriente en el caso de Ecuador. Este tipo de análisis permite de manera más integral examinar algunos comportamientos del metabolismo dentro de un entorno natural determinado, o incluso dos zonas con marcos institucionales similares, pero con un metabolismo diferente debido a las características ecosistémicas. El presente análisis permite comparar e identificar de manera mucho más clara las causas y efectos de las políticas o del mismo ambiente natural. Un caso puede ser el análisis de una misma zona de planificación con provincias ubicadas en diferentes regiones naturales.

Unidad económica. – Este constituye el nivel de análisis más reducido, ya que puede llegar a abarcar hogares, empresas o incluso individuos. Este nivel de análisis puede proporcionar la mayor cantidad de detalles, pero requiere el mayor grado de análisis. Permite identificar comportamientos de consumo más específicos, desde el tipo de transporte que utiliza un hogar hasta la comida que se consume. Sin embargo, requiere un esfuerzo de análisis considerablemente mayor.

Cada uno de estos niveles de manera individual es un holón y de manera conjunta se retroalimentan entre ellos.

Transiciones energéticas

Una sociedad industrial no tiene la misma intensidad energética en los procesos productivos que una sociedad recolectora. Como señalan Martínez-Alier y Roca Jusmet (2013, 19) “lo que ha cambiado radicalmente y lo que diferencia unas sociedades de otras es la cantidad y tipología de recursos extraídos de la naturaleza”. Los flujos energéticos y materiales evolucionan a medida que la sociedad se transforma, de la misma manera que la sociedad se adapta a nuevos descubrimientos. Existen sociedades que serán más intensivas en mano de obra, mientras que otras tendrán una intensidad energética mucho mayor. Estos procesos se logran mediante la colonización de los recursos naturales y la construcción de instituciones sociales (religión, política, educación).

Por ejemplo, Fischer-Kowalski y Haberl (2000, 27) mencionan que las sociedades agrícolas, que son altamente intensivas en mano de obra, adoptan una forma de organización que garantiza este trabajo intensivo. Esta forma de organización está sostenida por sus creencias religiosas, jerarquías y leyes de propiedad. Las instituciones proporcionan directrices para la colonización de los recursos, lo que genera relaciones con la naturaleza y sus flujos que son muy diferentes en cada sociedad.

Otra característica distintiva de una sociedad recolectora es el tipo de fuente de energía principal. Al ser intensivas en mano de obra, las personas constituyen en sí mismas el capital con el que se produce. Este tipo de sociedades requiere un consumo de alimentos para mantener a la mano de obra energizada y saludable. Martínez Alier y Roca Jusmet (2013, 19), indican que antes de la industrialización, una de las fuentes energéticas principales era la solar, transformada mediante la fotosíntesis en los alimentos que requería la mano de obra. Esta energía es endosomática, la cual se refiere a la biomasa que es consumida por las personas y que se transforma, a su vez, es aprovechada y transformada en el metabolismo del ser humano. Además de esta fuente energética, también se aprovechaba la energía cinética generada por las corrientes de viento y la caída del agua.

El inicio de la colonización de los recursos naturales comenzó de manera más intensiva con las sociedades agrícolas. Según Fischer-Kowalski y Haberl (1993, 420) (se estructuró una sociedad más sedentaria. El poder político y las infraestructuras se centralizaron en un espacio específico, históricamente cerca de alguna fuente de agua para la creación de los sistemas de riego. Como

consecuencia, se desplazaron masas de rocas para construir hogares, caminos y otras infraestructuras necesarias para este nuevo sistema productivo. Los animales no solo se consumían, sino que también ayudaban con el trabajo en el campo, generando una competencia entre los animales y los humanos por las calorías producidas.

Las sociedades agrícolas requerían una expansión considerable en términos de territorio físico. Las instituciones políticas estaban predominantemente enfocadas en la conquista y control de territorios, así como en su colonización. A raíz de la creciente expansión de territorios y la formación de los estados, surgió la necesidad de medios de transportes ⁶. La transformación de los ecosistemas se intensificó para satisfacer las necesidades calóricas predominantes de esa época.

Una economía industrializada presenta un perfil de consumo mucho menos eficiente en términos de energía y materiales, pero más eficiente en tiempo. Cuando hablamos de alimentación y de los ciclos naturales que permiten tener alimentos, el enfoque está en la energía endosomática. En las sociedades campesinas era importante contar con fuentes energéticas de los alimentos, y el sistema de producción estaba determinado por los ciclos naturales, como los cambios de estación. La industrialización, en cambio, se enfoca en alimentar de energía a objetos que son ajenos al cuerpo humano. “En primera instancia el trabajo de las personas y animales es sustituido por maquinas. Las maquinas a diferencia de los animales no compite con las calorías que consume el humano, pero requiere una cantidad amplia de recursos subterráneos” (Fischer-Kowalski y Haberl 1993, 421). La energía exosomática se convierte en uno de los flujos más importantes durante esta época hasta la edad moderna.

El cambio en la forma de producir provocó nuevamente una evolución en las instituciones sociales. El carbón y el petróleo se convirtieron en recursos preciados para la producción. Se desarrollaron nuevas formas de fertilizar la tierra para que fuera más productiva. Si bien no se produjo el mismo proceso de colonización de territorios, se desarrollaron mecanismos de control de yacimientos de petróleo fuera de los límites de los estados por medio de empresas que se encargaban de extraer petróleo y otros minerales. La intensidad energética y material necesaria se incrementó.

⁶ En esta sección se omitieron detalles históricos ya que no es parte del tema principal del presente trabajo.

“Para la región de Europa central, hemos calculado que el perfil metabólico actual es de una escala 40 veces más grande que la de los cazadores y recolectores” (Fischer-Kowalski y Haberl 2000, 26). Estos cambios resultaron en una mayor presión sobre los ecosistemas y una necesidad de conquistar otras fuentes de energía. Los cambios en los perfiles metabólicos ocurren principalmente debido al control y la gestión que una sociedad puede ejercer sobre estos.

Según Siefertle (1982), la principal diferencia que existió entre una sociedad recolectora y la sociedad agrícola es el régimen de gestión sobre la energía solar, que se traducía en alimentos. La situación se repite: el descubrimiento de una nueva fuente energética que conquistar conduce a un cambio en el perfil metabólico. De la misma forma, los cambios en las necesidades de la sociedad llevan a una búsqueda de una nueva fuente energética y material. Las sociedades, al ser sistemas complejos, evolucionan sus metabolismos dependiendo tanto de la energía disponible como del modelo de producción (comportamiento de las partes del sistema).

Relación entre crecimiento y consumo energético

La relación entre la energía consumida (exosomática) y el crecimiento económico o Producto Interno Bruto (PIB) ha sido objeto de estudio a lo largo de los años. Una de las metodologías principales para analizar esta relación es el estudio de series temporales.

No existen dudas que el desarrollo de un país está hoy estrechamente ligado a la energía con la que pueda contar para desarrollar sus actividades productivas, de transporte y de construcción de infraestructuras, entre otras necesidades de la vida moderna (Cárdenas 2011,1).

La relación entre la producción y la energía ha sido establecida tanto desde la teoría ortodoxa como la heterodoxa; en ambas teorías, la energía es un insumo que forma parte del proceso de producción para la transformación de materias. “La función de producción indica que en el largo plazo producción, capital, trabajo y consumo eléctrico se mueven juntos” (Soytas y Sari 2003, 153). Históricamente, este debate sobre la relación entre la matriz energética y el crecimiento ha tenido una conclusión poco satisfactoria: “Hasta ahora, la causalidad puede ir en ambas direcciones” (Lee, 2005). Esto puede verse como un problema, especialmente al establecer un marco analítico en países en desarrollo.

Algunos estudios encontraron evidencia de que en los Estados Unidos existe una relación positiva (Kraft, J. y Kraft, A. 1978, 178) Esto demuestra que primero debe existir un crecimiento del PIB per cápita y eso impulsa el consumo energético. Es decir, el incremento del PIB incrementa el

consumo de energía. Mientras que Soyta y Ramazan (2003) encuentran evidencia de que en Argentina la relación es bidireccional. A diferencia de Estados Unidos, en Argentina no existe un efecto de acción y reacción; puede que el consumo energético incida en el PIB y que el incremento en el PIB dé como resultado un consumo mayor de energía en sus diferentes formas. Estos análisis se enfocan en la energía exosomática.

La presente investigación se basa en la importancia de la energía en el proceso productivo. Sin embargo, no se descarta que en Ecuador la direccionalidad de la relación entre el consumo energético y la producción esté definida en sentido opuesto o exista bidireccionalidad. Es evidente que este tipo de análisis tiene sus limitaciones. Los sistemas complejos tienden a retroalimentarse entre los distintos actores y sistemas, por lo que un análisis determinístico no es acertado.

Como se evidencia, la direccionalidad de causa y efecto puede variar considerablemente de un país a otro. Esto se debe a que cada metabolismo social es distinto y posee particularidades que un análisis econométrico no puede tomar en consideración. Aunque estos estudios proporcionan evidencias importantes entre países, para realizar un análisis correcto es necesario adoptar las metodologías propuestas por la economía ecológica, las cuales consideran aspectos más profundos de los sistemas.

Capítulo 2. Evolución del marco regulatorio energético: Ecuador 2000-2021

El sector energético de Ecuador ha experimentado transformaciones significativas en las últimas dos décadas, que abarcan aspectos institucionales e infraestructurales. Este capítulo tiene como objetivo profundizar en la evolución del sector energético ecuatoriano entre los años 2000 y 2020. Durante este período, el país ha experimentado una notable inestabilidad política, con cambios en la visión del Estado y su papel en la sociedad. Un cambio significativo ocurrió a finales de los años 90 y principios de los 2000, con el proceso de dolarización.

Este proceso tuvo un impacto considerable en todas las esferas de la economía ecuatoriana, incluyendo el sector energético. La dolarización, junto con otros factores políticos y económicos, influyó en la dirección y el ritmo de desarrollo del sector energético. En este capítulo, se analizarán estos cambios y se discutirá su impacto en el sector energético del Ecuador. Se examinarán las políticas implementadas, los desafíos enfrentados y las soluciones propuestas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sector energético.

Este análisis proporcionará una comprensión más profunda de la evolución del sector energético en Ecuador durante este período crítico y ofrecerá perspectivas sobre las posibles direcciones futuras para este sector vital de la economía ecuatoriana. Durante este mismo período, se implementaron dos constituciones diferentes y se sucedieron seis gobiernos distintos. Un punto de inflexión importante fue durante el 2009, cuando la constitución de Montecristi reconoce a la energía como un sector estratégico. De igual forma, se crearon una serie de instrumentos de planificación y gestión, como el Plan Nacional de Desarrollo 2009-2013, que delinean el papel de la energía en el país.

La demografía de Ecuador ha experimentado cambios significativos en las últimas dos décadas. Según datos del Banco Mundial (2023), durante este período, la población del país aumentó de 13 millones a 18 millones de habitantes (Ilustración 2.1 - Población del Ecuador). Este crecimiento demográfico ha ejercido una mayor demanda sobre los recursos naturales, incluyendo la energía.

Ilustración 2.1 - Población del Ecuador



Fuente: Elaboración propia Banco Mundial 2023

Con el objetivo de satisfacer la demanda energética en constante crecimiento, Ecuador emprendió la construcción de una serie de infraestructuras dedicadas a la producción y transmisión de energía. Estas infraestructuras han desempeñado un papel fundamental en el suministro de energía a una población en expansión y en la mitigación del impacto ambiental derivado del consumo energético.

En lo que respecta a la infraestructura, Ecuador ha logrado incrementar de manera significativa su capacidad instalada. Basado en datos de la OLADE (2023) en el sector de la energía eléctrica, el país ha aumentado su capacidad de producción de 3 mil MW a 8 mil MW. En términos de producción petrolera, Ecuador ha incrementado su producción diaria de aproximadamente 395 mil barriles a 483 mil barriles. No obstante, este incremento en la producción energética ha conllevado un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, pasando de 19 mil gg a 32 mil gg.

De acuerdo con los datos proporcionados por el Banco Mundial (2023), el Producto Interno Bruto (PIB) de Ecuador ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas dos décadas. Durante este período, el PIB ha aumentado de 18 mil millones de dólares a 99 mil millones de dólares, lo que representa un crecimiento promedio anual del 9%. La principal fuente de ingresos para Ecuador es el petróleo, que en promedio ha representado el 10% del PIB total durante este período.

En conclusión, Ecuador ha experimentado una serie de cambios estructurales e institucionales en su sector energético en las últimas dos décadas. Estos cambios han sido influenciados tanto por las necesidades cambiantes de la sociedad como por los diferentes planes sociales implementados

por cada gobierno. Estos cambios proporcionan un marco útil para comprender el metabolismo socioeconómico del país.

2.1. Marco regulatorio energético (1996-2021)

Durante las últimas tres décadas, el marco regulatorio energético en Ecuador ha sufrido transformaciones significativas en tres aspectos clave:

- El primer cambio se produjo con la promulgación de la “Ley de Régimen del Sector Eléctrico “dé 1996⁷. Este marco jurídico estableció un conjunto de normas y regulaciones para el sector eléctrico, proporcionando así un fundamento para el desarrollo y expansión de la infraestructura eléctrica en el país, en consonancia con una visión de competencia.
- El segundo cambio relevante se dio con la Constitución de Montecristi (2008) y el Mandato Constituyente Nro. 15. Este documento constitucional y su mandato asociado introdujeron cambios sustanciales en la estructura y operación del sector energético, incluyendo la reestructuración de las instituciones energéticas y la introducción de nuevas políticas energéticas. Este mandato constituyente se promovió en paralelo a una visión de centralización de los sectores estratégicos del Ecuador.
- Finalmente, la “Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica”⁸ marcó el tercer cambio importante en el marco regulatorio energético. Estas transformaciones son el reflejo de la visión política que los diferentes gobiernos buscaban implementar.

2.1.1. Constitución de 1998 a la constitución del 2008

Este estudio se desarrolla en un contexto temporal que abarca dos constituciones: la de 1998 y la de 2008. Ambas presentan visiones divergentes sobre la energía en términos de sus respectivos artículos.

La Constitución de 1998 carece de un marco definido y no establece una dirección clara respecto al papel del sector energético en el país. Las únicas dos referencias son:

- Artículo 35, norma número 10, que reconoce y garantiza el derecho de los trabajadores a la huelga y el de los empleadores al paro, de conformidad con la ley. En relación con esta

⁷ Ley de Régimen del Sector Eléctrico – LRSE (1996). Registro Oficial No. 43 (Suplemento). https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/ley/Ley_de_regimen_del_sector_electrico.pdf

⁸ Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015). Registro Oficial Suplemento 418. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2019/03/LEY-DE-ELECRICIDAD.pdf>

norma, se especifica que está completamente prohibida la paralización de cualquier servicio público, especialmente "los de salud, educación, justicia y seguridad social; energía eléctrica, agua potable y alcantarillado; procesamiento, transporte y distribución de combustibles; transportación pública, telecomunicaciones." (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 35).

- Artículo 89, que menciona que el estado tomará acciones para promover los objetivos que beneficien al medio ambiente, como puede ser el uso de energías alternativas no contaminantes en el sector público y privado (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 89).

Este enfoque del rol del estado, con una mínima intervención en este sector, está en consonancia con la Ley de Régimen del Sector Eléctrico. Sin embargo, el cambio de paradigma se produce en 2008 con la llegada de un nuevo presidente. Este nuevo paradigma presenta de manera más explícita el rol que tiene el estado en el sector energético.

La Constitución Política del Ecuador de 2008 articula de manera explícita el papel del Estado en relación con el sector energético. Asimismo, establece la soberanía energética como un tema recurrente y central dentro de los objetivos gubernamentales.

- Artículo 15: “El Estado fomentará, tanto en el sector público como en el privado, la utilización de tecnologías ecológicamente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se logrará en perjuicio de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.” (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 15).
- Artículo 261: “El Estado central mantendrá competencias exclusivas sobre: ‘Los recursos energéticos; minerales, hidrocarburos, hídricos, biodiversidad y recursos forestales.’” (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 261).
- Artículo 284: “La política económica perseguirá, entre sus objetivos, garantizar la soberanía alimentaria y energética.” (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 284).

- Artículo 304: “La política comercial buscará, entre sus objetivos, contribuir a garantizar la soberanía alimentaria y energética, y a reducir las desigualdades internas.” (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 304).
- Artículo 334: “El Estado promoverá el acceso equitativo a los factores de producción, para lo cual le corresponderá, entre otras responsabilidades, desarrollar políticas de fomento a la producción nacional en todos los sectores, especialmente para garantizar la soberanía alimentaria y la soberanía energética, generar empleo y valor agregado.” (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 334).

La Constitución del 2008 define los sectores estratégicos de la siguiente manera:

- (...) son aquellos que, por su trascendencia y magnitud, tienen una influencia decisiva en los ámbitos económico, social, político o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social. (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 313).

En conclusión, este documento legal articula de manera más precisa el papel del Estado en relación con el sector energético, tanto en su conjunto como en lo que respecta a los recursos naturales que constituyen la energía primaria. Un cambio significativo es la designación de la energía como un sector estratégico, lo que altera completamente la lógica de competencia prevaleciente en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico

2.2. Planes estratégicos para el desarrollo energético en el Ecuador

La Constitución promulgada en 2008 establece un instrumento de planificación que centraliza los ejes principales a los que deben orientarse las políticas públicas del gobierno. Este instrumento es el “Plan Nacional de Desarrollo”. Según la Constitución:

El Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento que regirá las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; y la inversión y asignación de los recursos públicos; y coordinará las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados. Su observancia será obligatoria para el sector público e indicativa para los demás sectores. (Constitución de la República del Ecuador 2008, art. 280).)

Esta planificación es de carácter público y está sujeta a auditoría pública. Incluso la política de los gobiernos descentralizados debe alinearse con esta herramienta. El enfoque del plan estará sujeto a la orientación política que propone el gobierno. Esta planificación se actualiza con cada nuevo

gobierno que asume el poder. El mismo plan debe estar sujeto a la aprobación del Consejo Nacional de Planificación, no es un proceso en el que el gobierno impone unilateralmente una idea. Al mismo tiempo, la herramienta no debe ser un punto de referencia para el siguiente gobierno.

La Constitución del 2008 determina que la ejecución presupuestaria, así como el presupuesto del ejecutivo y de los gobiernos descentralizados, se determina en el Plan Nacional de Desarrollo. Por lo tanto, este documento contempla de manera general a qué tipo de infraestructura se destinará el presupuesto del estado. El objetivo estratégico definido en el plan es el eje que debería impulsar el desarrollo de mercados tanto locales como extranjeros. Al ser la energía un sector estratégico, todos sus proyectos y programas deben estructurarse en función de esta planificación.

Finalmente, la obstrucción o incumplimiento del plan representa una posible causa de destitución tanto a nivel de asamblea como ejecutivo. Es importante dimensionar lo que significa, según la Constitución, esta herramienta para el desenvolvimiento del sector energético en Ecuador.

Cada administración entrante tiene la obligación de presentar un Plan Nacional de Desarrollo. Desde 2009 hasta 2020, se han presentado un total de cuatro instrumentos:

- Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013 (Rafael Correa)
- Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017 (Rafael Correa)
- Plan Nacional para el Buen Vivir 2017 – 2021 (Lenin Moreno)

El desarrollo de los tres primeros instrumentos estuvo sujeto a las diferentes directrices de cada gobierno. Se evidencia cambio en la estructura y en los enfoques. En el presente análisis, se compararán los objetivos estratégicos establecidos en torno al sector energético en los cuatro planes, en caso de existir.

2.2.1. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013 (Rafael Correa)

El primer Plan Nacional de Desarrollo se compone de nueve partes principales: proceso de construcción, orientaciones éticas y programáticas, paradigma planteado, diagnóstico, propuesta, estrategias, objetivos, estrategia a nivel territorial y criterios de planificación. En esta sección, se realizará un resumen de los puntos más relevantes para el sector energético en estas nueve partes.

El plan define cinco pilares: justicia social y económica, justicia democrática participativa, justicia intergeneracional e interpersonal, justicia transnacional y justicia como imparcialidad. Estos pilares buscan construir un estado más democrático para garantizar la participación, seguridad y bienestar de la población ecuatoriana.

En cuanto a la orientación programática, se incluyen: revolución constitucional y democrática, revolución ética, revolución económica-productiva y agraria (donde se incluye la energía como un factor de transformación), revolución social, y revolución por la dignidad, soberanía e integración latinoamericana (donde la soberanía energética es parte de los enfoques de la transformación de la matriz). La orientación programática, como su nombre indica, determina la dirección del programa y la construcción de los proyectos vinculados al mismo.

Se establece una narrativa de sostenibilidad al mencionar que el planeta no puede soportar un consumo energético como el de los países industrializados, promoviendo una mayor eficiencia y energía más limpia. "No se trata de mantener incólume el patrimonio natural (...) sino de resguardarlo a un nivel adecuado" (Senplades 2009). Se mantiene la idea de aprovechar la capacidad de producción de bienes primarios que tiene el país.

Enfoque de la economía desde la economía ecológica: La economía no puede verse únicamente como un circuito cerrado entre productores de mercancías y consumidores, siendo el mercado su mecanismo descoordinación a través de los precios. En realidad, la economía constituye un sistema abierto que necesita el ingreso de energía y materiales, como insumos del proceso productivo que, al ser procesados generan un flujo de residuos: el calor disipado o energía degradada y los residuos materiales, que en ese estado retornan a la naturaleza, pero no pueden reciclarse completamente" (Falconi 2005)

Se define un modelo diferente de acumulación que afecta al sector energético: "Desarrollo endógeno con vinculación estratégica al sistema mundo para satisfacer necesidades básicas" (Senplades 2009) Se establece cuatro fases para la implementación de la estrategia endógena sostenible para la satisfacción de las necesidades básicas. La primera fase se desarrolla en un escenario de total dependencia de los bienes primarios, y en la estructura que debe ir evolucionando para construir una nueva industria en el país. En esta fase se impulsa un proceso de sustitución selectiva de importaciones, orientado a industrias más relacionadas con servicios, como es el caso del turismo. También se busca impulsar la inversión pública para poder sentar las bases del cambio de la industria y que sea un catalizador del cambio de la matriz energética. Aquí

se menciona que la energía es vista como un motor que genera riquezas. En esta fase, se busca impulsar y proteger sectores que tengan una alta intensidad de mano de obra. Se dará importancia a la energía endosomática al mencionar que se dará apoyo y preferencia a iniciativas que provienen de la economía popular y solidaria para garantizar la soberanía alimentaria.

En la segunda fase, se busca incrementar el peso de la industria del país, en otras palabras, el valor agregado. De igual forma, con la infraestructura construida durante la primera fase, se busca generar un superávit energético, principalmente de fuentes primarias de energía limpia y bioenergía. En esta fase, el turismo ecológico comunitario gana un mayor protagonismo. Otra industria importante en esta etapa es la industria vinculada a la academia (universidad e institutos de investigación). Paralelamente, se busca consolidar la inversión en educación para poder tener investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. En esta etapa, los ingresos del Ecuador aún dependen del extractivismo y la explotación de recursos naturales.

En una tercera etapa, ya se consolida la estrategia de diversificación y sustitución de exportaciones. En esta etapa, la industria genera excedentes para la exportación de bienes de valor agregado. En esta etapa, la producción de la industria es igual de importante que el sector primario exportador. La importación de bienes con valor agregado se reduce por la mejora del sector primario en el Ecuador.

En una cuarta fase, el sector de servicios y conocimiento tiene un peso superior en la economía que el sector primario. Esta innovación en los servicios tiene un fuerte vínculo con las industrias que se han ido desarrollando a lo largo de las cuatro fases. "Podríamos resumir que el centro de la estrategia endógena de generación de riqueza es convertir la principal ventaja comparativa que tiene el Ecuador, su biodiversidad, en valor agregado" (Senplades 2009)

Estrategias para el periodo 2009 - 2013

El apartado de estrategias es uno de los componentes más relevantes del plan de desarrollo. Se definen doce estrategias para asegurar el cumplimiento de las fases previamente mencionadas durante el periodo 2009 - 2013. Estas son (Senplades 2009):

1. "Democratización de los medios de producción, redistribución de la riqueza y diversificación de las formas de producción y organización".

2. "Transformación del patrón de especialización de la economía, a través de la sustitución selectiva de importaciones para el Buen Vivir".
3. "Incremento de la productividad real y diversificación de las exportaciones, exportadores y destinos mundiales".
4. "Inserción estratégica y soberana en el mundo e integración latinoamericana".
5. "Transformación de la educación superior y transferencia de conocimiento a través de ciencia, tecnología e innovación".
6. "Conectividad y telecomunicaciones para la sociedad de la información y el conocimiento".
7. "Cambio de la matriz energética".
8. "Inversión para el Buen Vivir en el marco de una macroeconomía sostenible".
9. "Inclusión, protección social solidaria y garantía de derechos en el marco del Estado Constitucional de Derechos y Justicia".
10. "Sostenibilidad, conservación, conocimiento del patrimonio natural y fomento del turismo comunitario".
11. "Desarrollo y ordenamiento territorial, desconcentración y descentralización".
12. "Poder ciudadano y protagonismo social".

El sector energético se entrelaza a lo largo de las 12 estrategias, siendo la más central la que hace referencia al cambio de la matriz energética.

La primera estrategia enfatiza los procesos sostenidos de democratización de los medios de producción y los recursos para estos procesos. La segunda y tercera estrategia se centran en la transformación del sector productivo, que demanda insumos energéticos. Esta transformación hacia una economía del conocimiento y con un sector industrial potenciado cambiaría la intensidad energética. La cuarta estrategia se enfoca en la soberanía de recursos e insumos, incluyendo los energéticos endosomáticos y exosomáticos. Finalmente, la transformación de la matriz energética sintetiza los cambios en el sector energético que van en sinergia con las otras estrategias.

La primera estrategia se centra en cambiar la forma de organización y gestión de la sociedad. En esta línea, se menciona la eliminación de las brechas entre el área rural y el área urbana. Esto implica la democratización de los medios de producción, pero también su organización de tal forma que sea un proceso sostenido. Se busca eliminar las brechas que existen entre el modelo de gestión propuesto y el modelo antiguo.

La segunda y tercera estrategia se centran en el cambio de los patrones de especialización de la economía. Se busca pasar de una economía primario-exportadora (agro, pesca, minas y petróleo) a una economía de servicios que también impulse al sector industrial. Esta transformación va de la mano del aumento de la productividad real, estrategia que busca generar excedentes en la producción industrial para sustituir las exportaciones. Se debe garantizar el acceso a tecnologías más eficientes, incrementar y mejorar las capacidades de los trabajadores, desarrollar la infraestructura necesaria y descentralizar la economía que se enfoca únicamente en el sector primario.

La inserción soberana en el mundo plantea que se deben generar capacidades para autodeterminarse en las "decisiones públicas, en materias política, territorial, alimentaria, energética, económica, financiera, comercial y cultural" (Senplades 2009,113) En esta estrategia también se define la importancia de las alianzas con actores externos al Ecuador en forma de inversión extranjera directa para modernizar la producción.

La transición energética es transversal a las estrategias previamente descritas. Se enfoca principalmente en tres aspectos. El primero es contar con fuentes primarias limpias para la generación de electricidad, sustituyendo a las plantas que funcionan con derivados de petróleo, lo cual se consigue con infraestructura más moderna y eficiente. El segundo punto es la construcción de una refinería, lo que permite la reducción de importaciones de derivados, garantizando de esa forma una mayor soberanía energética y también da un valor agregado a la producción en el Ecuador. Finalmente, la eficiencia tanto en el consumo como en la producción. El programa de las cocinas de inducción es central en este apartado, pero también lo es el trabajo con el sector de transporte y las empresas.

Los procesos se encaminan a construir soberanía energética a partir de obras e inversión pública. "Son particularmente negativas aquellas políticas de privatización total o parcial de los servicios públicos (salud, educación, energía, distribución del agua)" (Senplades 2009, 119).. Estas obras

deben conectarse con el enfoque policéntrico de las estructuras territoriales. La inversión no debe concentrarse de manera exclusiva de manera céntrica en las grandes ciudades.

Objetivos

Se establecen un total de 12 objetivos para alcanzar el Buen Vivir. Esta sección proporciona una visión más concreta de hacia dónde se dirige el plan y qué resultados se pretenden alcanzar.

El primer objetivo es "Fomentar la igualdad, cohesión e integración social y territorial en la diversidad" (Senplades 2009), lo que implica la reducción de las desigualdades a nivel territorial, reconociendo la diversidad. "El desarrollo pleno de la vida se articula con el derecho a un trato de igualdad que reconoce y respeta las diversidades" (Senplades 2009, 140) Las políticas planteadas para este objetivo se centran en mecanismos de inclusión social y económica, garantizando y mejorando los servicios básicos necesarios para una vida digna.

El segundo objetivo es "Mejorar las capacidades y potencialidades de la ciudadanía" (Senplades 2009). Para poder lograr un cambio en la producción del país y una transición a una economía de servicios, es necesario garantizar y potenciar las capacidades de las personas. El alcance de este objetivo parte desde los servicios de salud hasta la educación. En esta misma línea, el tercer objetivo es mejorar la calidad de vida de la población, con metas enfocadas en la salud y la reducción de enfermedades y mortalidad.

El cuarto objetivo se centra en los derechos de la naturaleza y las garantías de contribuir a un ambiente sano y sostenible. La Constitución de Montecristi ofrece un nuevo paradigma para la gestión de los recursos naturales, otorgando derechos que el Estado debe garantizar. En esta línea, la energía juega un papel fundamental, ya que se parte de una dependencia de los combustibles fósiles, dependencia que afecta a los indicadores ambientales. Los indicadores relacionados con el sector energético buscan alcanzar el 6% de participación de energías primarias limpias hasta el 2013 y que el 97% de las familias tenga acceso al servicio eléctrico. El quinto objetivo se centra en la paz y las relaciones con otros países. Este punto tiene una relación directa con la soberanía del país, incluida la energética. En este apartado se plantean estrategias de inversión en energías alternativas y la construcción de una refinería, en una política que busca reducir la vulnerabilidad y dependencia de las importaciones. El sexto objetivo está relacionado con garantizar el trabajo gracias a la transformación del perfil productivo del país. Los objetivos siete y ocho están planteados sobre metas culturales y de identidad del país, y guardan una relación con el impulso

al turismo que se busca establecer. Los objetivos nueve y diez tienen un enfoque de garantizar la justicia y la participación democrática de la población.

El undécimo objetivo es la transformación económica del país. Se busca que el sistema económico sea sostenible y que no excluya a ninguna persona. Dentro de las políticas planteadas para el cumplimiento de este objetivo, se menciona nuevamente la necesidad de la inversión pública en infraestructura que garantice el acceso a la electricidad y el cambio de los patrones de consumo, vinculado a la estrategia del cambio de la matriz energética. Entre las metas que se determinan está el incremento de la producción minera.

Estrategia Territorial

Esta sección del plan determina la operatividad en el territorio. Tanto el plan como la constitución enfatizan la importancia de trabajar y garantizar en el territorio el Buen Vivir, con el objetivo de hacer funcionales las estrategias para este periodo. A nivel del sector energético, la producción y distribución se centralizan en la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC). "El desarrollo del sector energético es estratégico para el Ecuador. En esta perspectiva, el desarrollo del sector deberá garantizar el abastecimiento energético" (Senplades 2009, 385).

En conclusión, el enfoque principal del plan radica en la infraestructura construida a partir de la inversión pública para garantizar energía de fuentes primarias limpias y también el acceso a territorios históricamente olvidados. Este cambio en la matriz energética debe ir acompañado de la transformación de la matriz productiva.

Tabla 2.1 - Metas para el sector energético 2009 - 2013

Indicador	Fecha limite
Alcanzar el 97% las viviendas con servicio eléctrico hasta el 2013	2013
Alcanzar el 98% las viviendas en zona urbana con servicio eléctrico hasta el 2013	2013
Alcanzar el 96% las viviendas zona rural con servicio eléctrico hasta el 2013	2013
Alcanzar el 6% de participación de energías alternativas en el total de la capacidad instalada hasta el 2013	2013

Disminuir a la mitad el uso inadecuado de GLP doméstico hasta el 2013.	2013
--	------

Fuente: Elaboración propia basado en Senplades (2009), Plan Nacional para el Buen Vivir 2009

2.2.2. Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017

El Plan Nacional de Desarrollo, correspondiente al periodo 2013-2017, se compone de nueve partes. Este se distingue del primer plan en que no presenta estrategias específicas para ser analizadas durante el periodo en cuestión. Sin embargo, los objetivos del plan se mantienen consistentes con los planteados en el primer Plan Nacional para el Buen Vivir.

En este instrumento, se omite la mención del modelo de 'Desarrollo endógeno con vinculación estratégica al sistema mundo para satisfacer necesidades básicas', un enfoque que era clave en el desarrollo de industrias y la transición energética.

El enfoque ecologista en la gestión de recursos económicos continúa siendo parte de los principios y las orientaciones programáticas. Según él, “debe también priorizar una gestión ecoeficiente de los recursos materiales y energéticos, mediante la aplicación de tecnologías y prácticas que posibiliten la integridad de los ecosistemas” (Senplades 2013, 26). En este instrumento, el enfoque se centra en la sociedad ideal que se plantea, sin repetir el término de justicia.

La planificación se estructura en torno a los aspectos de un nuevo pacto social, que consta de cuatro ejes fundamentales: la instauración de un estado constitucional, la transformación institucional, el desarrollo de una economía más justa y la recuperación de la soberanía, incluyendo en materia energética. Para la planificación futura, se definen un total de cuatro estrategias.

La primera estrategia es el cierre de las brechas de desigualdad y acceso a servicios, lo que permite a las personas acceder a un buen vivir. La segunda se centra en tecnología, innovación y conocimiento, con el desarrollo de tecnologías más eficientes para reducir el impacto ambiental y aprovechar el conocimiento de la biodiversidad. La tercera estrategia se enfoca en la sustentabilidad ambiental, mediante el desarrollo de actividades económicas que sean sostenibles y que la” “transformación de la matriz productiva se enmarque en un contexto de respeto a los derechos de la naturaleza y de justicia intergeneracional” (Senplades 2013,69). Finalmente, la cuarta estrategia se refiere a la matriz productiva, que debe ser apoyada por el gasto público, poniendo énfasis nuevamente en los bionegocios o el conocimiento de la biodiversidad. Este

enfoque se utilizó previamente en el primer plan de desarrollo, que mencionaba la necesidad de fortalecer estos negocios."

Enfoque en obras públicas para la transformación energética

El enfoque en obras públicas para la transformación energética es un tema recurrente. Se hace hincapié en la necesidad de fortalecer la producción de energía renovable. Como se menciona en el Plan Nacional del Buen Vivir, "la energía es el flujo sanguíneo del sistema productivo, de ahí la relevancia de incrementar la representatividad de la energía obtenida de fuentes renovables" (Senplades 2013, 74). Durante el periodo de ejecución del primer plan, se potenciaron las fuentes energéticas limpias, proyectando que para el 2021, la representatividad de las fuentes energéticas primarias renovables alcanzaría hasta un 69%.

Se introduce un ligero cambio de enfoque, estableciendo que a partir del 2030 se comenzará a trabajar en el acceso a la energía. Para continuar con el proceso de sustitución de importaciones, se vuelve a mencionar a la refinería como una obra necesaria.

Para complementar la nueva infraestructura energética, se menciona la aplicación de medidas que garanticen la eficiencia energética, mediante ajustes en las tarifas tanto a empresas como a hogares. Estas medidas buscan asegurar un uso responsable y eficiente de los recursos energéticos, alineado con los principios de sostenibilidad y equidad.

Objetivos nacionales para el Buen Vivir

Aunque se mantienen doce objetivos similares al primer plan, tres de ellos fueron actualizados para responder a nuevos enfoques y necesidades identificadas. El primer objetivo se enfoca en fortalecer al estado dentro de los territorios, respetando la independencia y el derecho de la sociedad civil a organizarse. Se menciona la consolidación de las empresas públicas en los sectores estratégicos a través de la transformación de las matrices productiva y energética.

El segundo objetivo, "Auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial en la diversidad" (Senplades 2013), se mantiene respecto al primer plan, con énfasis en cerrar las brechas sociales y eliminar cualquier tipo de exclusión por las condiciones de las personas.

El tercer objetivo, que también se mantiene respecto al primer plan, se enfoca en la salud de las personas y el acceso a la vivienda. En este objetivo, el acceso a la vivienda está vinculado a la

garantía de los servicios básicos como la electricidad y otros tipos de energía. Las metas son una continuación de las planteadas en la primera herramienta.

El cuarto objetivo sigue la misma línea de mejorar las capacidades de la población, vinculándose al acceso a la educación y a la nutrición para poder desarrollar capacidades que se adapten a la transformación de la matriz productiva.

El quinto objetivo es “construir espacios de encuentro común y fortalecer la identidad nacional, las identidades diversas, la plurinacionalidad y la interculturalidad” (Senplades 2013). Este objetivo sigue la línea iniciada en el primer plan que buscaba fortalecer la diversidad y la cultura a través de la inversión en espacios públicos.

El sexto objetivo está enfocado en alcanzar una mejora y transformación de la justicia, al mismo tiempo que se incrementa la credibilidad de la población en esta institución.

El séptimo objetivo tiene como eje central el medio ambiente y los derechos de la naturaleza, siguiendo la misma lógica del primer plan. Se mantiene en la línea de tener una política ambiental que impulse “la conservación, la valoración y el uso sustentable del patrimonio natural, de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad” (Senplades 2013, 222). Uno de los mecanismos planteados para conseguirlo es la implementación de tecnología eficiente energética e incrementar la participación de las energías limpias, lo cual forma parte de la transformación de la matriz energética planteada en el plan de desarrollo del 2013. Entre las políticas se mantiene el “Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental” (Senplades 2013, 236). No se plantean nuevas metas o hitos a ser alcanzados en materia energética.

El octavo objetivo es 'consolidar el sistema económico social y solidario de forma sostenible'. Este objetivo consolida diferentes aspectos de la economía, estableciendo nuevas metas en materia de recaudación de impuestos, aportes al sistema de seguro social y la mejora de la economía popular y solidaria. Uno de los ejes que guarda relación con la demanda energética es el impulso de la industria y el valor agregado, aunque no se establecen metas claras en esta línea hasta el 2017.

El noveno objetivo, que parte del cumplimiento de una economía social sostenible, es “garantizar el trabajo digno en todas sus formas”. Los indicadores de las metas están en función de la tasa de desempleo y la creación de trabajos formales.

El décimo objetivo se centra en impulsar la transformación de la matriz productiva. Este objetivo está relacionado con la transformación de las cuatro etapas de la economía presentadas en el primer plan de desarrollo. Se destaca la importancia de incrementar el consumo energético por parte de los sectores industriales y el fortalecimiento de las industrias estratégicas desde el sector público, especialmente aquellas que surgen de la reestructuración de la matriz energética. No se establecen metas con indicadores energéticos (Senplades 2013),

El undécimo objetivo es “asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica” (Senplades 2013), La Constitución del 2008 establece que el sector energético es estratégico para el desarrollo de Ecuador. En este objetivo, uno de los ejes es garantizar la soberanía energética a través de la inversión en obras públicas. Dentro de las políticas y lineamientos estratégicos, se enfatiza la importancia de la reestructuración de la matriz energética bajo criterios de transformación de la productividad, inclusión, calidad, soberanía energética y sostenibilidad, con un incremento de la participación de la energía renovable. La eficiencia energética es un punto clave, así como el impulso a la generación de energía limpia. En este apartado, también se menciona la importancia de la capacidad para refinar el petróleo producido. Se destaca la importancia de estudiar las tendencias de consumo energético. En esta línea, estos cambios energéticos van acompañados de la tecnificación del sector minero y metalúrgico como eje de transformación de la matriz productiva.

El duodécimo objetivo se enfoca en la soberanía y la paz desde un enfoque de inserción estratégica en el mundo. “Pensar en los grandes problemas del mundo desde una perspectiva global, pero con fuertes raíces en una identidad cultural y civilizatoria propia” (Senplades 2013, 233). Los sectores estratégicos son los que deben crear condiciones propicias para la transformación de la matriz productiva desde la planificación del estado. Las metas se establecen en función de los cambios en la cooperación y las exportaciones que se realizan. El objetivo es diversificar tanto los mercados como los productos para reducir la dependencia del petróleo.

Estrategia Territorial

El enfoque principal de la estrategia nacional a nivel territorial es el desarrollo y utilización de energía renovable. Para alcanzar este objetivo, se propone un incremento en las inversiones en el sector energético, estableciendo una meta de 1.150 millones de dólares. Sin embargo, el plan no define metas específicas por regiones.

Tabla 2.1 - Metas para el sector energético 2009 - 2013

Indicador	Fecha limite
Alcanzar el 60% de potencia energética instalada renovable	2017
Alcanzar el 8.741 megavatio de capacidad instalada.	2017

Fuente: Elaboración propia basado en Senplades 2009, Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013

2.2.3. Plan Nacional para el Buen Vivir 2017 – 2021

El gobierno del expresidente Lenin Moreno implementó dos planes de desarrollo, una particularidad que se atribuye a la inestabilidad política que experimentó el partido del mandatario. Durante su gobierno, se contó con la participación de cuatro vicepresidentes: Jorge Glas durante el 2017 y 2018, María Alejandra Vicuña durante el 2018, Otto Sonnenholzner, entre 2018 y 2020: y finalmente, María Alejandra Muñoz entre 2020 y 2021. Uno de los planes implementados fue el ‘Plan Nacional para el Buen Vivir 2017 – 2021’.

Este plan fue diseñado en torno a nueve ‘Objetivos Nacionales de Desarrollo para el Buen Vivir’, agrupados en tres ejes principales: ‘Derechos para todos durante toda la vida’, “Economía al servicio de la sociedad” y “Más sociedad, mejor estado”. En lo que respecta al enfoque energético, se priorizó la transformación de una matriz energética basada en combustibles fósiles a una que se sustenta en energía limpia, con el objetivo de alcanzar la soberanía energética." (Senplades 2017).

Objetivos nacionales para el Buen Vivir

Eje 1: Derecho para todos durante la vida

"El ser humano es reconocido como sujeto de derechos, sin discriminación alguna. Se espera que el Estado asuma tres obligaciones fundamentales: respetar, proteger y realizar los derechos, especialmente de los grupos de atención prioritaria" (Senplades 2017, 41) El primer eje se centra en el ser humano y sus derechos, buscando generar mecanismos de inclusión para todas las personas, con un enfoque especial en los grupos prioritarios (como los adultos mayores y las personas con discapacidad) en diversas áreas de la sociedad, como la educación y el ámbito laboral. Este eje también destaca la importancia de la conservación de los ecosistemas marino-costeros.

El primer objetivo es "garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas" (Senplades 2017). Este objetivo trabaja en diversos campos para garantizar el bienestar

de todas las personas, especialmente de los grupos históricamente marginados. Su alcance está definido en las áreas de economía, salud, urbanismo y sostenibilidad. Se espera que el Estado juegue un papel fundamental en el acceso a la salud, la educación y también en la generación de empleo a través de políticas que fomenten la formalidad. Entre las políticas se encuentra el acceso a una vivienda digna con todos los servicios incluidos, como la energía. Sin embargo, no se definen metas específicas relacionadas con el acceso a la energía.

El segundo objetivo se centra en la afirmación de las identidades diversas en Ecuador. Este objetivo está enfocado en garantizar la pluriculturalidad en Ecuador y eliminar la discriminación. También se incluye el enfoque de salvaguardar los territorios ancestrales. No se plantea ninguna política que tenga incidencia en el sector energético en este objetivo (Senplades 2017).

El tercer objetivo está relacionado con el reconocimiento de la naturaleza como sujeto de derechos y cómo se planea garantizar estos derechos. Se resalta la importancia de disminuir la dependencia de los recursos extraídos de la naturaleza, tanto en el patrón energético como en el patrón productivo. "La revolución ecológica debe ser la consolidación de la matriz productiva y la matriz energética" (Senplades 2017). Esta transición se buscaba apoyar mediante incentivos al sector privado y asociativo para poder ampliar la matriz energética. Sin embargo, no se establecen metas claras para el sector energético.

Eje 2: Economía al servicio de la sociedad

La economía de Ecuador, según la constitución, es social y solidaria, uniendo tres sectores: privado, público y economía social y solidaria, dentro del mismo sistema. Este eje se enfoca en la construcción de un entorno propicio a través de políticas, incentivos y regulaciones. También se centra en las transformaciones estructurales necesarias para el fortalecimiento de un sistema productivo eficiente.

El cuarto objetivo es "consolidar la sostenibilidad del sistema económico social y solidario, y afianzar la dolarización" (Senplades 2017). Se plantea una serie de políticas dirigidas al incremento de la inversión, a reducir el impacto de shocks externos, a mejorar la competitividad productiva y a garantizar la sostenibilidad de la economía ecuatoriana. No se establecen metas relacionadas con el sector energético.

El quinto objetivo se enfoca en impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible. Dado que Ecuador es megadiverso, cuenta con una importante base de

recursos naturales cuya gestión y aprovechamiento deben garantizar su preservación. Para alcanzar la sostenibilidad, se planteó el fortalecimiento de sectores de apoyo como el energético. Como política, se planteó la optimización y diversificación de la matriz energética sostenible y soberana. Se establecen dos metas: pasar del 60% de la generación eléctrica de fuentes renovables al 90% y ahorrar combustible equivalente a 17,5 millones de barriles de petróleo.

El sexto objetivo se enfoca en las capacidades productivas de la sociedad para alcanzar la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral. Se estableció la importancia de generar condiciones de vida dignas en el sector rural y la distribución de medios de producción para fomentar la producción convencional y agroecológica de la Agricultura Familiar Campesina

Eje 3: Más sociedad, Mejor Estado

El tercer eje del plan se centra en la participación de los diversos actores de la sociedad, incluyendo los sectores público, privado y comunitario. Este eje abarca el fortalecimiento de los servicios públicos para alcanzar la soberanía y promueve la participación ciudadana.

El séptimo objetivo es 'incentivar una sociedad participativa, con un estado cercano al servicio de la ciudadanía' (Senplades 2017). Se busca potenciar los mecanismos de control social, los cuales deben ser inclusivos y promover un diálogo continuo entre la ciudadanía y el estado. También se enfatiza la necesidad de fortalecer las políticas de los gobiernos territoriales y su colaboración con los colectivos.

El octavo objetivo es 'promover la transparencia y la corresponsabilidad para una nueva ética social'. Este objetivo está dirigido a la reducción de la corrupción y al establecimiento de un pacto ético social.

El noveno objetivo establece que se garantizará la soberanía y la paz, y se buscará una posición estratégica en la región y el mundo. Dentro de este objetivo, se destaca la importancia de la soberanía del sector energético, tal como se establece en la constitución y en planes previos. Sin embargo, no se definen metas específicas relacionadas con el sector energético.

Estrategia territorial

En la estrategia a nivel territorial, se enfatiza la importancia de la infraestructura para la generación de energía. Además, se destaca la necesidad de impulsar la investigación para lograr

la transformación de la matriz productiva y energética. No se presentan más contribuciones al sector energético dentro de esta herramienta.

Tabla 2.2 - Metas para el sector energético 2017 - 2021

Indicador	Fecha limite
Pasar del 60% de la generación eléctrica de fuentes renovables al 90%	2021
Ahorrar combustible de 9,09 millones barriles equivalentes de petróleo a 17,5 millones barriles	2021

Fuente: Elaboración propia base en Plan Nacional para el Buen Vivir 2017 – 2021

2.3. Modificaciones Normativas del Sector Eléctrico (1996-2016)

Una parte fundamental de las transformaciones en el sector energético se relaciona con los cambios normativos. Podemos identificar tres momentos clave en esta evolución normativa: la Ley del Régimen del Sector Eléctrico (1996), el Mandato Constituyente Nro. 15 (2008) y la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015). Estas modificaciones se alinearon con los cambios establecidos en la Constitución.

Tabla 2.3 - Resumen cambios normativos (1996-2016)

Componente del Servicio	NORMATIVA		
	LRSE	MANDATO NRO. 15	LOSPEE
Generación	<p>Precio Referencial de Generación - PRG</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cargo por Capacidad ▪ Costo de capital a una tasa de descuento de 11,2%. ▪ Cargo por Energía como el promedio de los costos marginales esperados de corto plazo. 	<p>Costo Medio de Generación - CMG</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos Fijos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Costos de Administración, Operación y Mantenimiento. ○ Reposición de activos en operación. ▪ Costos Variables de Producción 	<p>Costo Medio de Generación - CMG</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos Fijos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Costos de Administración, Operación y Mantenimiento. ○ Costos asociados a la responsabilidad ambiental. ○ Costos por concepto de calidad, confiabilidad, disponibilidad. ○ Desarrollo territorial.

			<ul style="list-style-type: none"> Costos Variables de Producción
Transmisión	<p>Tarifa de Transmisión</p> <ul style="list-style-type: none"> Costos de Administración, Operación y Mantenimiento. Costo de capital a una tasa del 7,5%. Niveles de Pérdidas de Energía y Potencia. Costos de Expansión del Sistema Nacional de Transmisión. 	<p>Tarifa de Transmisión</p> <ul style="list-style-type: none"> Costos de Administración, Operación y Mantenimiento. Reposición de activos en operación. Niveles de Pérdidas de Energía y Potencia. 	<p>Tarifa de Transmisión</p> <ul style="list-style-type: none"> Costos de Administración, Operación y Mantenimiento. Costos asociados a la responsabilidad ambiental. Costos por concepto de calidad, confiabilidad. Niveles de Pérdidas de Energía y Potencia.
Distribución	<p>Valor Agregado de Distribución</p> <ul style="list-style-type: none"> Costos de Administración, Operación, Mantenimiento y Comercialización. Costo de capital a una tasa del 6,0%. Niveles de Pérdidas de Energía y Potencia. Costos de Inversión. 	<p>Costo Medio de Distribución</p> <ul style="list-style-type: none"> Costos de Administración, Operación, Mantenimiento y Comercialización. Reposición de activos en operación. Niveles de Pérdidas de Energía y Potencia. 	<p>Costo Medio de Distribución</p> <ul style="list-style-type: none"> Costos de Administración, Operación, Mantenimiento y Comercialización. Costos por concepto de calidad, confiabilidad. Costos de expansión. Niveles de Pérdidas de Energía y Potencia.
Pliego Tarifario	<p>Los valores de los cargos tarifarios responden al mercado de consumidores que contengan cada empresa distribuidora.</p>	<p>Tarifa Única a Nivel Nacional por tipo de consumo y nivel de tensión.</p>	<p>Tarifa Única a Nivel Nacional por tipo de consumo y nivel de tensión, observando principios de solidaridad, equidad, cobertura de costos, eficiencia energética, considerando principios de responsabilidad social y ambiental.</p>

Elaboración propia basado en Ley del Régimen del Sector Eléctrico (1996), Mandato Constituyente Nro. 15 (2008) y Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015).

Los cambios fundamentales, descritos en la Tabla 2.3 - Resumen cambios normativos, están vinculados al modelo y la política pública hasta 2006. Durante este período, se adoptó un modelo de competencia en la generación eléctrica, y se reconoció la rentabilidad de los componentes del servicio para reponer los activos al final de su vida útil y garantizar la inversión en expansión. Sin embargo, a partir de 2006, con un nuevo modelo y política pública, prácticamente se eliminó el enfoque competitivo. La Constitución del 2008 estableció que la prestación del servicio público de energía eléctrica es estratégica, lo que implica que las condiciones operativas e inversiones en el sector eléctrico son responsabilidad del Estado y deben estar adecuadamente planificadas. No obstante, la consideración de que el Estado proporcionaría la inversión en su totalidad se modificó con la LOSPEE, que permite alianzas estratégicas con el sector privado, la economía popular y solidaria, entre otros.

Además, es relevante señalar que las tarifas para los consumidores finales también experimentaron modificaciones significativas. La unificación de las tarifas a nivel nacional fue uno de los cambios más importantes, aunque se exceptuaron las Empresas Eléctricas Quito y la Unidad de Negocio Guayaquil de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL-EP), debido a su estructura de mercado, que mantenía valores inferiores al promedio nacional.

Subsidios otorgados por el Estado Ecuatoriano

En el marco normativo y en consonancia con el esfuerzo fiscal del Estado Ecuatoriano, expresado a través del Presupuesto General del Estado (PGE), se han otorgado subsidios, descuentos y compensaciones a los usuarios finales del servicio público de energía eléctrica. Estas medidas se han implementado mediante leyes, decretos ejecutivos y políticas gubernamentales, y se detallan en la Tabla 2.4 - Subsidios otorgados por el Estado Ecuatoriano.

Tabla 2.4 - Subsidios otorgados por el Estado Ecuatoriano (2006-2021)

Subsidio/Rebaja/Incentivo	Marco Normativo	Mecanismo
----------------------------------	------------------------	------------------

Ley del Anciano, actual Ley Orgánica de Personas Adultas Mayores	Codificación de la Ley del Anciano (2006-007) publicada en el Registro Oficial No. 376 de 13 de octubre 2006	Se subsidia hasta un consumo de 120 kWh-mes.
Ley Volcán Tungurahua, actualmente suspendida por la decisión del comité de riesgos.	Ley Reformatoria que favorece a la Población y Sectores Turísticos, Artesanal, Comercial, Agrícola, Avícola, Pecuario y Ganadero de las Zonas de Influencia del Volcán Tungurahua.	Se exoneran del pago a los consumidores de las áreas de influencia del volcán Tungurahua.
Ley de Discapacidades	Ley Orgánica de Discapacidades	Se subsidia hasta el 50% del salario básico unificado y se observa el grado de discapacidad del consumidor.
	El Reglamento a la Ley Orgánica de Discapacidades expedido el 5 de diciembre de 2013	
Tarifa de la Dignidad	Decreto Ejecutivo No. 451-A	Aplica para los consumidores que estén por debajo de los 110 kWh-mes en las empresas de la región sierra y de 130 kWh-mes de la región costa, amazonia e insular.
Déficit Operacional de Sistemas Aislados de Generación, actualmente incluida conforme la Regulación Nro. 006/21.	Regulación No. 013/08	Se reconoce la diferencia entre el costo de la operación del sistema aislado y el costo medio de generación a nivel nacional.
Incentivo Tarifario para el Programa Emblemático para la cocción por inducción en sustitución del GLP	Resolución No. ARCONEL 058/14	Se subsidia hasta 100 kWh por el uso de cocinas de inducción y calentamiento de agua y el consumidor paga una tarifa 0,00 USD/kWh hasta el 2017.
Déficit Tarifario	Mandato Constituyente No. 15 Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica	La diferencia entre el costo del servicio por empresa distribuidora y la tarifa aplicada al consumidor.

Fuente: Normativa vigente de subsidios del servicio público de energía eléctrica.

Desde el año 2008, se ha observado una disminución en el costo unitario del servicio público de energía eléctrica, aproximadamente de 2,24 cUSD/kWh-año. Este efecto se debe a un cambio en la forma en que se calculan las componentes del servicio. Antes de 2008, se incluía la inversión

para la expansión y la rentabilidad sobre los activos en servicio. Sin embargo, a partir de ese año, el Estado asumió la responsabilidad de la inversión y expansión, eliminando la rentabilidad.

Además, los mecanismos utilizados para establecer las tarifas se reflejan en su aplicación al consumidor final, lo cual ha sido un elemento central en la política nacional. El análisis de las reformas implementadas entre 1999 y 2016 revela cambios significativos en la aplicación de las tarifas para los consumidores finales, como se detalla en la Tabla 2.5 - Políticas Tarifarias del Sector Eléctrico.

Tabla 2.5 - Políticas Tarifarias del Sector Eléctrico (1999-2021)

Año	Política Tarifaria
1999 – hasta la fecha	Implementación del subsidio cruzado en el sector residencial
1999 – 2003	Reajustes tarifarios mensuales
2004	Reducción del valor de las tarifas eléctricas a los consumidores finales en un 5% en promedio
2004 - 2008	Congelamiento de tarifas eléctricas por empresa distribuidora
2006	Reconocimiento del Déficit Tarifario
2007	Implementación del subsidio “Tarifa de la Dignidad”
2008 – hasta la fecha	Fijación de la tarifa única, por tipo de consumo y nivel de tensión, a nivel nacional
2008	Eliminación del 10% de aporte por parte de los clientes industriales y comerciales para el Programa de energización rural y electrificación urbano-marginal – FERUM
	Implementación de la tarifa de bombeo de agua para comunidades campesinas de escasos recursos económicos
2009	Esquema Tarifario para que las industrias operen en horas de la noche
2011	Esquema Tarifario con señales de eficiencia para el sector residencial
2012	Atribución de las empresas de distribución para la prestación del Servicio de Alumbrado Público General

2014	Ajuste tarifario al sector residencial en 1 ¢USD/kWh y para los sectores comercial e industrial en 2 ¢USD/kWh
	Implementación del incentivo tarifario para el “Programa Emblemático de Eficiencia Energética para la cocción por inducción y el calentamiento de agua con electricidad en sustitución del GLP en el sector residencial – PEC”
2015	Esquema tarifario para la introducción de vehículos eléctricos
	Esquema tarifario para el bombeo de agua del servicio público de agua potable
	Esquema tarifario diferenciado para las industrias del Cantón Tulcán
2016	Focalización del Subsidio de la Tarifa de la Dignidad
	Eliminación del subsidio eléctrico para el sector comercial e industrial conectados en media y alta tensión
	Incorporación de Cargas Especiales al Sistema Nacional Interconectado
2018	Incentivo Tarifario al grupo de consumo industrial
	Expedición de la LOEE, en el cual se estipula: <ol style="list-style-type: none"> 1. Servicio de Carga de Vehículos Eléctricos (personas naturales o jurídicas, exceptuando las Empresas Eléctricas de Distribución) 2. Sistema de Gestión de la Demanda para grandes consumidores de energía. 3. Recambio del transporte público eléctrico a partir del 2025.
2020	Aplicación de medidas de compensación para afrontar la crisis sanitaria
2021	Reforma de la LOSPEE, se habilita a las Empresas Eléctricas de Distribución la prestación del Servicio de Carga de Vehículos Eléctricos.
	Se expide el Reglamento a la LOEE: <ol style="list-style-type: none"> 1. Obligatoriedad de la Certificación de Gestión de Energía a los grandes consumidores (tarifas preferenciales, mecanismos económicos y no económicos). 2. Habilitación de los prestadores de Servicios Energéticos. 3. Actualización de los rangos de consumo energético.

Fuente: Elaboración propia basada en la Ley del Régimen del Sector Eléctrico (1996), Mandato Constituyente Nro. 15 (2008) y Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015).

2.4. Estadísticas del sector energético

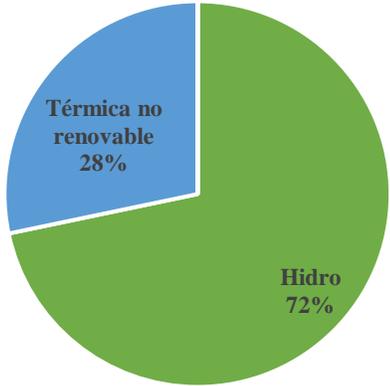
Dentro del sector energético se manejan distintas métricas para conocer el estado de este. Este sector al también es monitoreado por parte de distintas agencias y entidades por lo cual se cuenta con datos completos.

2.4.1. Producción y consumo energético

Esta sección examina detalladamente las transiciones desde las fuentes de energía primarias predominantes utilizadas para la generación de electricidad, hasta la adopción de energías renovables. Este análisis proporcionará una visión integral de cómo los cambios institucionales han influido en la transformación de la matriz energética del país, y cómo estos cambios han tenido un impacto significativo tanto en la seguridad energética como en la sostenibilidad ambiental de Ecuador. Las dos fuentes de energía primaria principales utilizadas en Ecuador para la generación de electricidad son la hidroeléctrica y la térmica no renovable. La primera aprovecha la energía cinética de las corrientes de agua, como las cascadas, para impulsar una turbina y generar electricidad. Este tipo de energía es renovable y no produce grandes cantidades de residuos, sin embargo, su disponibilidad está sujeta a variaciones climáticas. Por otro lado, la energía térmica emplea combustibles fósiles para operar turbinas y producir electricidad. Aunque esta energía puede ser económica, dependiendo de la capacidad de un país para procesar petróleo y producir derivados, es altamente contaminante. Las tendencias actuales indican una disminución en el uso de energías no renovables y un enfoque hacia la producción de energía más respetuosa con el medio ambiente. Otras fuentes presentes en la matriz energética de Ecuador son las energías renovables no convencionales (eólica y solar), que se han ido incorporando en algunas regiones.

Al comienzo del período de análisis, la producción eléctrica de Ecuador dependía exclusivamente de la hidroeléctrica y la térmica no renovable. Esta estructura representaba un riesgo para la seguridad energética del país debido a condiciones climáticas extremas y fluctuaciones en el mercado internacional de hidrocarburos. Entre 1992 y 1993, se implementó la hora "SIXTINA", en honor al presidente Sixto Durán Ballén, con el objetivo de reducir el consumo de electricidad tanto en hogares como en el sector productivo y otras instituciones. Esta medida se adoptó a raíz de una sequía que afectó a las centrales hidroeléctricas del país (OLADE 2021)

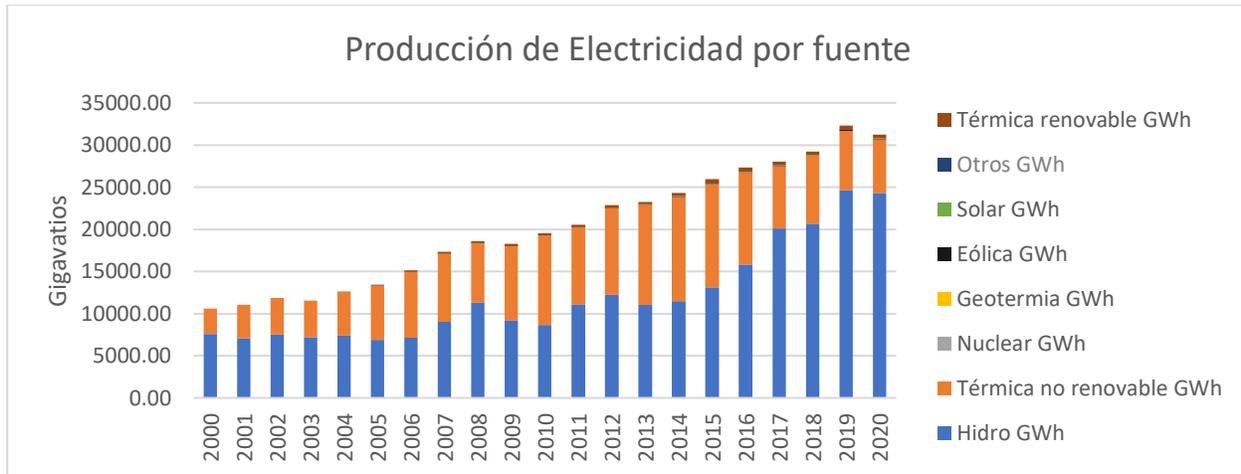
Ilustración 2.2 - Participación de fuentes primarias en la generación de electricidad año 2000



Fuente: SieLAC-OLADE 2021

La producción eléctrica durante las últimas dos décadas ha dependido principalmente de las mismas dos fuentes. La incorporación de energías alternativas ha sido un proceso gradual; a partir del año 2007, se comenzó a utilizar fuentes no convencionales renovables, específicamente la energía solar y la eólica, que son conocidas como energías renovables no convencionales. Los procesos de implementación de estas fuentes primarias, en sus etapas iniciales, fueron principalmente de carácter privado. En el siguiente bloque de proyectos gubernamentales, se explorará en mayor detalle cuáles fueron las contribuciones del sector público al uso de estas fuentes (OLADE 2021).

Ilustración 2.3 - Producción de eléctrica por fuente 2000 - 2020

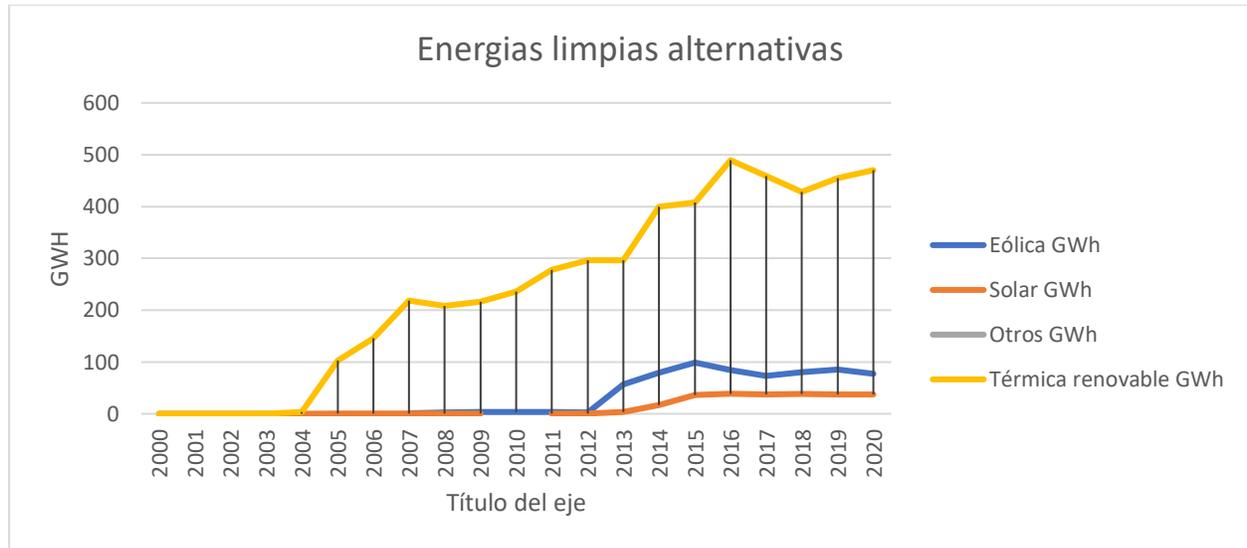


Fuente: sieLAC-OLADE 2021

Algo importante que observar dentro del gráfico *Ilustración 2.3 - Producción de eléctrica por fuente 2000 - 2020* es la relación inversa entre la energía hídrica y la energía térmica no renovable. La energía hídrica tiene un despunte importante desde el año 2016 debido al funcionamiento de proyectos como el Coca Codo Sinclair. En año 2020 se puede observar una reducción en el uso tanto de energía hídrica como energía térmica no renovable por primera vez en el periodo observado.

Históricamente, las energías limpias alternativas han tenido una participación marginal en la producción de energía. Sin embargo, a partir del año 2012, fuentes de energía como la eólica y la solar han comenzado a adquirir una relevancia creciente en el panorama energético. Este cambio va en la misma línea de la implementación de los planes de gobierno que buscaban una mayor participación de la energía limpia.

Ilustración 2.4 - Evolución energías alternativas (2000-2020)



Fuente: sieLAC-OLADE 2021

Para el año 2020, las dos fuentes de energía más predominantes en Ecuador son la hidroeléctrica y la térmica no renovable. Se observa una reducción en la participación de las fuentes no renovables en comparación con el año 2000, y la aparición de tres fuentes alternativas con una participación aún incipiente: solar, eólica y térmica renovable. En cuanto a la energía hidroeléctrica, es importante destacar que muchas centrales hidroeléctricas comparten la misma cuenca, como es el caso de Paute y Coca Codo Sinclair. En situaciones de estiaje en el Río Coca, Ecuador podría enfrentar cortes de energía o un incremento en el uso de energía térmica no renovable para garantizar el suministro eléctrico.

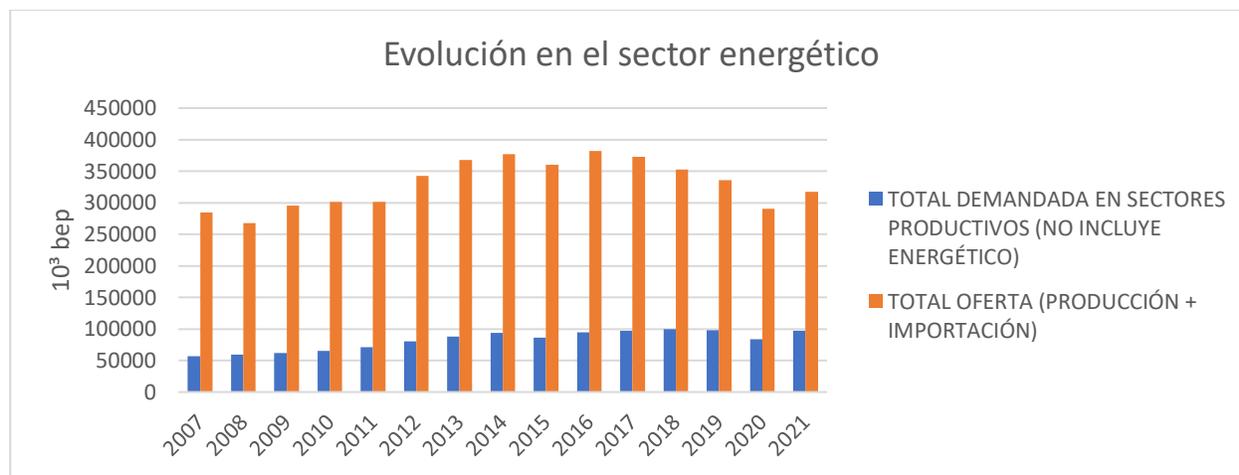
Estadísticas energéticas

Ecuador ha experimentado transformaciones a nivel institucional que han influido en la producción, importaciones y exportaciones. Estos cambios han implicado la implementación de una serie de ajustes estructurales en diversas escalas. A continuación, se presentarán algunos indicadores relacionados con las metas establecidas en los planes de desarrollo y se establecerá su relación con los mismos. La información proviene de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y se expresará principalmente en barriles equivalentes de petróleo (10^3 bep).

Se puede observar que la oferta energética ha experimentado un crecimiento sostenido desde el año 2007, alcanzando su punto más alto en 2016, coincidiendo con la entrada en funcionamiento de la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. A partir de 2016, se evidencia una reducción en

la oferta energética, la cual coincide con cambios gubernamentales y, en 2018, con un cambio institucional. En 2020, debido a la pandemia del COVID-19, se registra el punto más bajo de producción. Aunque la tendencia se revierte posteriormente, no logra alcanzar los niveles prepandemia. En cuanto a la oferta, esta ha mantenido un crecimiento sostenido a lo largo de 15 años, siendo el 2019 el año con el punto más alto, como se puede observar en la Ilustración 2.5 - Relación de Oferta y *demand*a (2007-2021).

Ilustración 2.5 - Relación de Oferta y demanda (2007-2021)

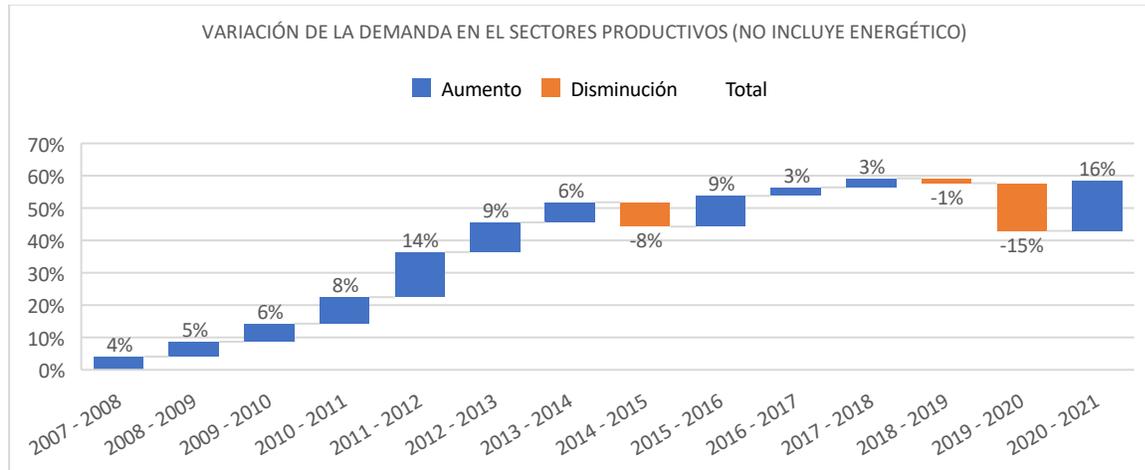


Fuente: sieLAC-OLADE 2021

El período comprendido entre 2010 y 2017 reveló una dinámica fluctuante en la demanda energética ecuatoriana. Durante los años 2010 a 2012, se observó un notable crecimiento, coincidiendo con la implementación del primer y segundo plan de desarrollo, los cuales estaban enfocados en la transformación de la matriz productiva y energética. Este auge se vio impulsado por el crecimiento de las industrias de exportación del país.

Sin embargo, entre 2014 y 2017, la demanda experimentó un estancamiento. Este comportamiento se explica por la desaceleración económica global, que afectó a las principales economías del mundo y tuvo un impacto directo en las industrias ecuatorianas de exportación, frenando su crecimiento y, como consecuencia, generando una menor demanda de energía. Finalmente, entre 2017 y 2021, la demanda se mantuvo completamente estancada.

Ilustración 2.6 - Variación de la demanda energética (2007-2021)



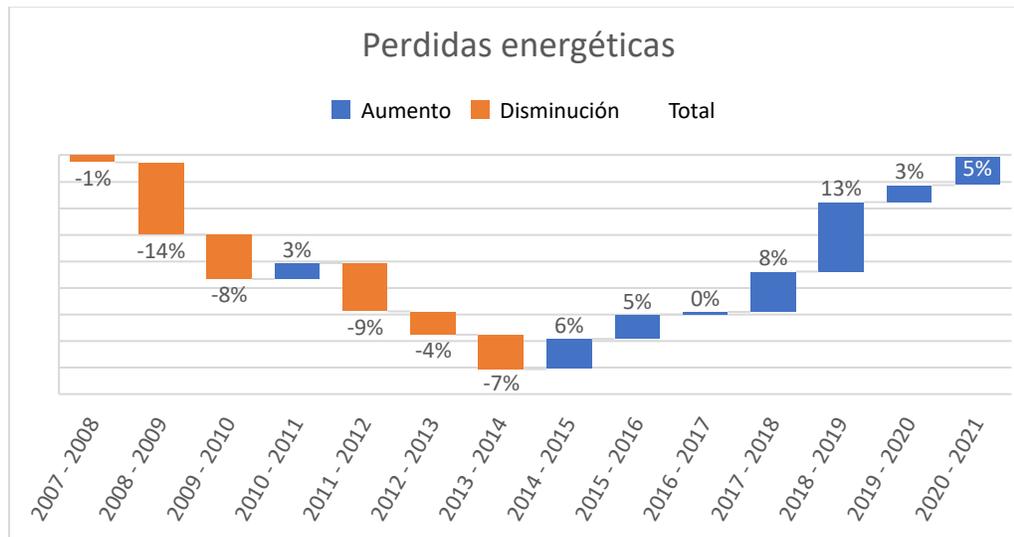
Fuente: sieLAC-OLADE 2021

El acceso a la energía por parte de la población ecuatoriana es fundamental para el desarrollo del país. Este acceso se ha visto favorecido por la diversificación de la matriz energética, la cual incluye diferentes portadores energéticos. Entre las metas del sector energético, la reducción de las pérdidas energéticas ha sido una de las más relevantes.

Las pérdidas energéticas se producen en diferentes etapas del flujo energético. La mejora de la infraestructura es clave para reducirlas, como lo han demostrado estudios como el de Pérez Urdialez et al. (2021) la mejora de la infraestructura es clave para poder reducir las pérdidas en el sector energético. En Ecuador se han implementado programas de eficiencia energética para promover incentivos contra el robo de energía y la mejora de la infraestructura.

Hasta 2014, las pérdidas energéticas en Ecuador mostraron una tendencia descendente. Sin embargo, desde 2015, se observa un repunte, alcanzando niveles similares a los de 2007. El período entre 2017 y 2019 se destaca como el de mayor aumento, coincidiendo con la unificación del Ministerio de Electricidad y Recursos Renovables con el Ministerio de Minas y Petróleo. Esta medida, si bien buscaba optimizar el gasto público, pudo haber tenido un impacto negativo en la gestión de las políticas energéticas. Este proceso de reducción del estado coincide también con una desaceleración de la economía global y una variación en los ingresos petroleros. En la Ilustración 2.7 - Variación de las pérdidas en el sector , se puede ver la variación entre años donde se evidencia que en el periodo en cuestión se regresó al mismo nivel de pérdidas energéticas.

Ilustración 2.7 - Variación de las pérdidas en el sector energético (2007-2021)



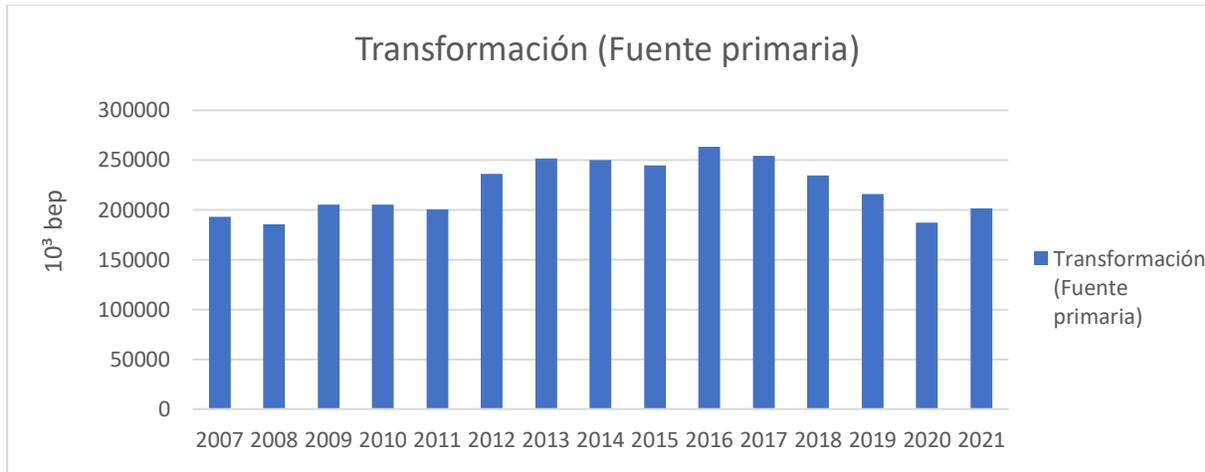
Fuente: sieLAC-OLADE 2021

La transformación de la energía primaria constituye un indicador fundamental para comprender la soberanía energética de un país, así como su relación con las exportaciones e importaciones. La capacidad de un país para desarrollar y aprovechar sus fuentes energéticas primarias es crucial para la transformación de la matriz energética.

En la Ilustración 2.4 - Evolución energías , se evidencia cómo, a partir del año 2012, se ha incorporado gradualmente el uso de fuentes alternativas, como la energía eólica y solar, en la producción energética. Este fenómeno está estrechamente relacionado con lo observado en la Ilustración 2.8 - Transformación (Fuente primaria), donde se aprecia una tendencia más pronunciada de transformación de la energía primaria durante el período comprendido entre 2012 y 2016. Es relevante destacar que el año 2016 coincide con la puesta en funcionamiento de hidroeléctricas, lo que impulsó significativamente la transformación energética.

Sin embargo, a partir del 2017, se observa una disminución en el aprovechamiento de la energía primaria, lo cual también concuerda con los eventos previamente mencionados. En el 2021, los niveles de transformación energética se asemejan a los registrados en el año 2007.

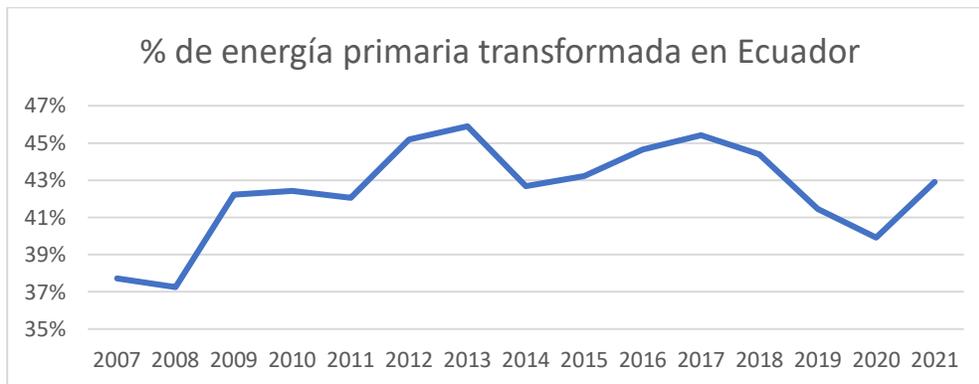
Ilustración 2.8 - Transformación (Fuente primaria), 2007-2021



Fuente: sieLAC-OLADE 2021

Es fundamental analizar el porcentaje total de energía primaria que se logra transformar. En el caso del Ecuador, parte de esta energía primaria está sujeta a las condiciones climatológicas de cada año. Por lo tanto, es crucial considerar el porcentaje de energía que realmente se aprovecha. Al observar los datos, se nota que los puntos más altos coinciden con la entrada en funcionamiento de obras importantes. Sin embargo, después de 2017, se evidencia una tendencia a la baja en el aprovechamiento de la energía primaria en el Ecuador.

Ilustración 2.9 - % de energía primaria transformada en el Ecuador

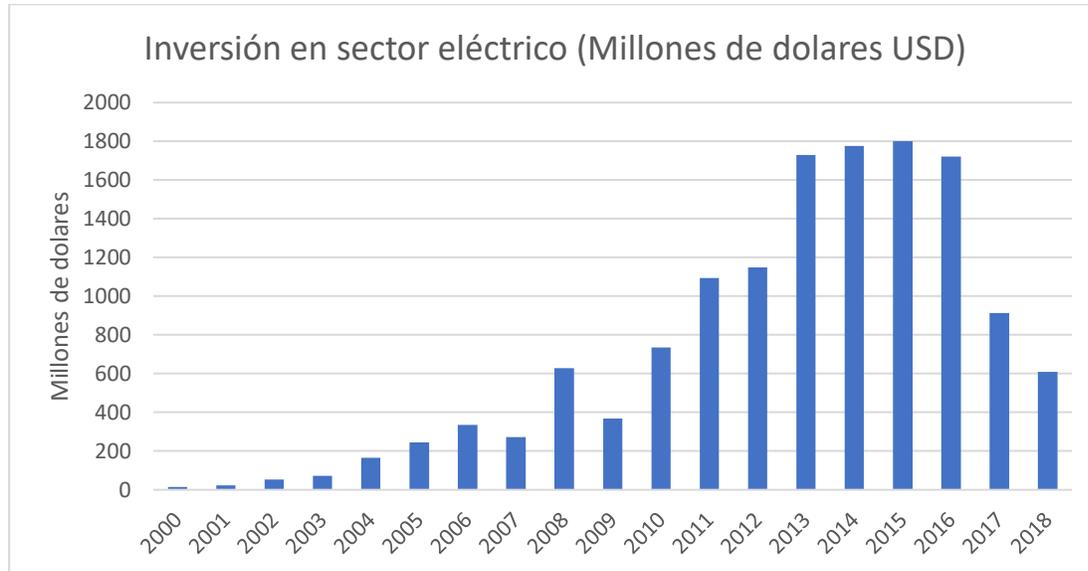


Fuente: sieLAC-OLADE 2021

Finalmente se puede observar el cambio de las políticas dentro de la inversión que se ha realizado en el sector eléctrico. En la Ilustración 2.10 - Inversión en el sector eléctrico se observa una reducción de la inversión a partir del 2016. Muchos indicadores presentan cambios representativos a partir de este año en cuestión. Si lo contrastamos a los planes de desarrollo

también podemos observar que el sector energético deja de tener el mismo nivel de relevancia, tanto en la forma narrativa como en las metas planteadas.

Ilustración 2.10 - Inversión en el sector eléctrico



Fuente: Ministerio de Energía y Recursos No Renovables 2019

2.4.2. Importación y exportación de energía

Las exportaciones e importaciones están intrínsecamente vinculadas a la soberanía energética, un enfoque crucial tanto en la Constitución del Ecuador como en diversos planes estratégicos.

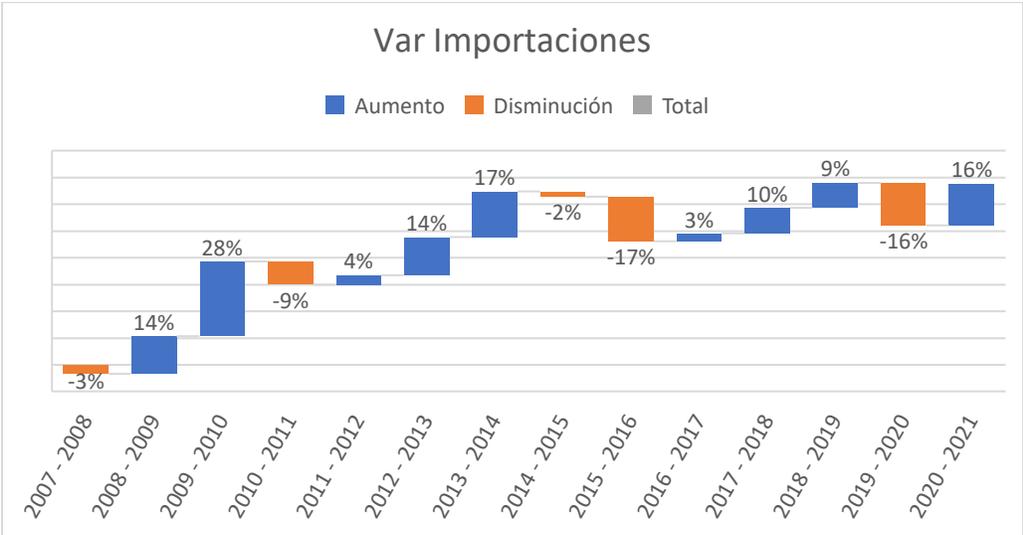
Aunque no se ha definido con precisión una meta específica para este indicador, resulta fundamental rastrear su evolución y comprender cómo Ecuador ha incrementado su dependencia de energía extranjera.

En este contexto, es relevante mencionar una obra de gran envergadura que no se materializó entre 2007 y 2021: la Refinería del Pacífico. Este proyecto se planteaba como una respuesta a la necesidad de optimizar la explotación del petróleo ecuatoriano. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos, la importación de crudo sigue siendo uno de los principales componentes. Según datos de la OLADE (2021), en 2007, el 91% del total de importaciones correspondía a combustibles fósiles, mientras que, en 2021, esta cifra aumentó al 99%.

En Ilustración 2.11 - Variación de las importaciones se muestra la variación de las importaciones, revela una marcada tendencia creciente año tras año. No obstante, en 2015 se observa una

reducción debido a la apertura de nuevas obras, aunque posteriormente la tendencia vuelve a incrementarse.

Ilustración 2.11 - Variación de las importaciones

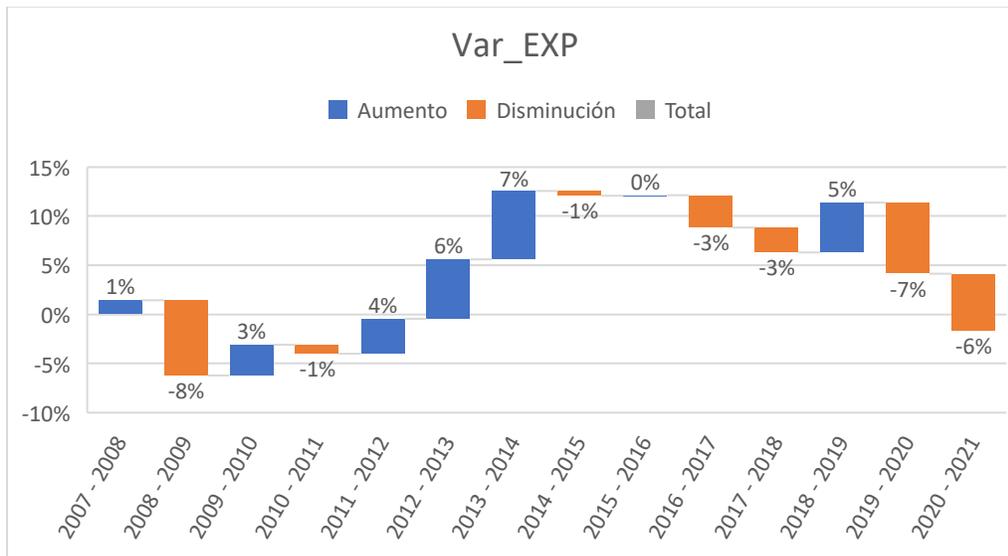


Fuente: sieLAC-OLADE 2021

Las exportaciones reflejan la capacidad de un país para satisfacer su demanda interna y, al mismo tiempo, exportar a otros destinos. En el caso de Ecuador, como nación petrolera, este indicador está estrechamente vinculado al mercado global y a las condiciones económicas externas. Se observa un marcado decrecimiento en este sector a raíz de la crisis económica de 2008, seguido de un período de crecimiento sostenido hasta 2013.

Este indicador también funciona como un termómetro de los ingresos estatales, lo cual tiene un impacto directo en la capacidad de inversión pública.

Ilustración 2.12 - Variación de las exportaciones

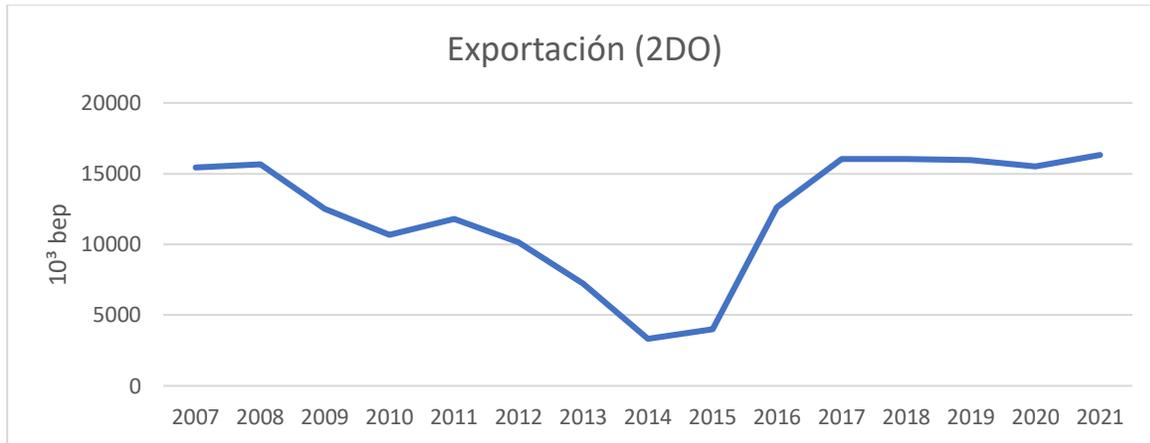


Fuente: sieLAC-OLADE 2021

Uno de los objetivos delineados en los diversos planes de desarrollo consistía en la capacidad de exportar electricidad a partir de proyectos emblemáticos. Es relevante destacar que la electricidad se clasifica como energía secundaria, mientras que el petróleo crudo se considera energía primaria. Al observar el gráfico, se aprecia cómo las energías primarias aumentan su participación, alcanzando su punto máximo en 2014. No obstante, al contrastar este incremento con lo presentado en la Ilustración 2.12 - Variación de las exportaciones, se evidencia una disminución en la cantidad total de energía exportada.

Si analizamos la evolución de las exportaciones de energía secundaria durante el período estudiado, encontramos que no es representativa. Sin embargo, después de experimentar una tendencia negativa entre 2007 y 2014, se observa un cambio positivo debido al aumento en la producción de electricidad en Ecuador, impulsado por diversas obras.

Ilustración 2.13 - Exportación de energía secundaria



Fuente: sieLAC-OLADE 2021)

2.5. Observaciones finales

Desde 2007, se han llevado a cabo importantes cambios institucionales y estructurales en Ecuador, con el objetivo de transformar tanto la matriz energética como la matriz productiva del país. Estos cambios han sido fundamentales para el desarrollo y la sostenibilidad. En primer lugar, se ha adoptado una nueva perspectiva sobre el sector energético, considerándolo uno de los ejes estratégicos para el progreso nacional. Los planes de desarrollo han cobrado mayor relevancia, delineando de manera más clara las políticas públicas, las inversiones y la infraestructura necesaria para respaldar estas transformaciones. Para garantizar la implementación efectiva de estos cambios, se han establecido nuevos marcos normativos. Estas modificaciones han tenido un impacto significativo en los indicadores energéticos, pero aún queda pendiente comprender cómo se traducen de manera más precisa en el cambio del metabolismo socioeconómico.

En 2008, con la promulgación de la nueva Constitución, se produjo un cambio de paradigma en la forma en que se concibe la energía. De ser considerada simplemente como un recurso aparte, pasó a ser un eje de transformación que requiere una planificación centralizada. La energía se entiende ahora como un flujo que atraviesa toda la sociedad, y su transformación es esencial para enfrentar los desafíos de sostenibilidad. Al mismo tiempo, se busca mantener la soberanía energética, lo que sustenta la economía y el cambio hacia una matriz productiva más sostenible.

Este cambio de paradigma energético se refleja operativamente en las herramientas de planificación de desarrollo, marcando un hito en la evolución del modelo económico del país. El Plan de Desarrollo es una herramienta guía establecida en la constitución que sirve a manera de hoja de ruta de las políticas a implementarse en el periodo de gobierno en cuestión. Se evidencia este enfoque en la primera herramienta de desarrollo del gobierno del Expresidente Rafael Correa, sin embargo, conforme avanzan a sus próximos dos mandatos la energía como sector comienza a perder relevancia en los mismos, este cambio fue de la mano del presupuesto que se va reduciendo conforme cambian los gobiernos.

Entonces, los planes de desarrollo establecen de manera clara la operatividad del gobierno. Esta claridad se evidencia principalmente en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013. El plan inicial estableció cuatro fases distintas en las que la energía desempeñaría un papel fundamental. Sin embargo, los dos planes subsiguientes del periodo de estudio disminuyeron la relevancia del sector energético, a pesar de que se llevaron a cabo una serie de obras propuestas en el plan. A medida que el presupuesto para las políticas energéticas se reducía, también se evidenciaba una menor intervención e importancia en este sector. No obstante, para comparar esta serie de cambios en la infraestructura y el cambio de enfoque de la energía, se establecieron nuevas normativas.

Se entiende que hubo tres cambios normativos clave en las últimas dos décadas en Ecuador. Se pasó de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (1996), que establece un sistema de competencia entre empresas eléctricas sin ningún tipo de centralización, al Mandato Constituyente No. 15 (2008), que se alinea con el cambio de visión del sector energético al homologar costos y tarifas y también al definir de mejor manera la operatividad de estas empresas. Finalmente, en 2015 se estableció la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, donde se introduce el concepto de responsabilidad social y ambiental a nivel de tarifas. Estos cambios se reflejan en las transformaciones a nivel del sector energético.

Finalmente, a nivel de indicadores, se evidencia que durante el periodo comprendido entre 2007 y 2014/2015 hubo una mejora. Durante este periodo, la inversión en el sector energético alcanzó los 1800 millones de dólares en transmisión, energía renovable y mejora de infraestructura. Sin embargo, desde 2016, año en que entra en funcionamiento la hidroeléctrica Coca Codo, se comienza a evidenciar una disminución en la inversión del sector energético y también un

deterioro en los indicadores. Para entender a distintos niveles cuál fue el cambio que se produjo a nivel de sociedad, se propone el uso del enfoque de metabolismo socioeconómico.

Capítulo 3. Marco Metodológico

En este capítulo se describirán las herramientas utilizadas para analizar el perfil metabólico del Ecuador y para evaluar si los cambios institucionales y estructurales ocurridos durante el periodo de estudio han tenido un impacto significativo en su composición. Se expondrá cómo opera el concepto de metabolismo socioeconómico mediante una metodología cuantitativa, así como la manera de trasladar la información obtenida a un análisis exploratorio de aprendizaje no supervisado. El aprendizaje no supervisado es una técnica de aprendizaje automático que permite trabajar con datos sin etiquetas para agrupar e identificar patrones escondidos, el algoritmo se entrena en función de los datos esto con el fin de identificar la incidencia en los perfiles metabólicos que resulta de los cambios en las políticas energéticas.

Georgescu-Roegen (1986) postula que la sociedad es un subsistema dentro de la biosfera, lo que implica una jerarquía entre los niveles y por ende un comportamiento distinto de los flujos⁹ en cada uno de los niveles. Los flujos estudiados interactúan en diferentes escalas y niveles, retroalimentándose constantemente incluso a niveles más pequeños dentro de la misma escala. Siguiendo la lógica de O'Neill, Johnson, y King (1989 193), cada nivel opera simultáneamente, pero en escalas físicas y temporales diferentes. Por lo tanto, el análisis de un sistema complejo debe considerar estas diferentes escalas en simultáneo, reconociendo la complejidad que esto conlleva.

Para comprender con claridad cómo se manifiesta la energía en la sociedad y cómo ésta se transforma, es necesario adoptar una lógica de sistema complejo. Esto implica reconocer que el sistema no puede entenderse únicamente a través de una sola escala, sino que debe analizarse considerando las partes que lo componen. Seidl (2004, 2) sostiene que “los sistemas sociales reproducen sus elementos a partir de sí mismos, es decir, que los diferentes niveles se retroalimentan en distintas escalas y, en función de esas retroalimentaciones, el sistema continúa organizándose y transformándose.”

Por lo tanto, es crucial construir una representación de la complejidad, reconociendo las limitaciones y definiendo claramente qué se busca comprender. El objetivo es explorar cómo las transformaciones y adaptaciones descritas en el capítulo anterior han influido en la forma en que los diversos componentes sociales utilizan la energía. El enfoque principal se centra en el uso de

⁹ Energético, alimento, tierra u otros recursos que pueden ser analizados como flujos

la energía y cómo su intensidad ha variado en la sociedad ecuatoriana como resultado de los cambios establecidos. Es necesario identificar los cambios en los patrones del metabolismo. Por esta razón, Giampietro, Mayumi, y Şorman (2013) recomienda adoptar una lógica que permita analizar tanto la producción como el consumo de energía en diferentes escalas y niveles, identificando así diversos patrones. Es importante tener en cuenta que en un sistema autopoietico no es posible hacer predicciones sobre el futuro.

El Análisis Integrado Multi Escala del Metabolismo de la Sociedad y el Ecosistema (MuSiaSEM) se fundamenta en los principios de la termodinámica, la teoría de sistemas complejos, la teoría de jerarquías como marco analítico de sistemas complejos cerrados, que son a su vez parte de los principios que definen a la bioeconomía. Esta metodología surge como una respuesta directa a la necesidad de representar procesos que ocurren en diferentes escalas y cómo estos experimentan transformaciones. El MuSiaSEM se basa en el enfoque de metabolismo socioeconómico de Fischer-Kowalski y Haberl (1993) y en la adaptación del modelo de flujo y fondo propuesto por Georgescu-Roegen (1986) para caracterizar los flujos, tanto materiales como energéticos, y cómo se desplazan a través de los holones que componen el sistema socioeconómico. Esto se logra mediante la construcción de una estructura semántica que conecta un conjunto de holones mientras se define los niveles a ser analizados. Cada uno de estos componentes tendrá su propio perfil metabólico.

Para facilitar la comprensión, se puede establecer un símil entre el cuerpo humano y la sociedad. En el cuerpo humano, cada órgano vital consume energía, al igual que una persona consume energía en forma de alimentos. Cuando hay cambios en el estilo de vida de una persona, también puede haber cambios en el consumo energético de cada parte del cuerpo. De manera similar, la metodología MuSiaSEM permite comprender con mayor claridad cómo los cambios transforman el perfil metabólico de la sociedad y si estos cambios se alinean o no con lo que puede ser deseable para la sociedad.

En consecuencia, el presente estudio emplea una combinación de la metodología MuSiaSEM con un análisis exploratorio de datos. Esta técnica de análisis permite identificar patrones y cambios existentes en los datos. Se propone utilizar el proceso de agrupación en clúster mediante el algoritmo de K-medias debido a su eficiencia en el procesamiento y construcción de agrupamientos.

En resumen, se definen los siguientes pasos para ejecutar el trabajo de manera exitosa:



El capítulo estará dividido en tres partes principales:

1. Procedimientos y supuestos: Se detallarán los procedimientos a ser utilizados en el estudio, así como los supuestos y requerimientos que guiarán la investigación. Esto incluirá la explicación de la metodología MuSiaSEM y el análisis exploratorio de datos, junto con sus fundamentos teóricos y prácticos.
2. Información disponible e indicadores: Se proporcionará una descripción detallada de la información disponible para el análisis, incluyendo fuentes de datos, su relevancia y calidad. Además, se presentarán los indicadores que serán construidos para evaluar el metabolismo socioeconómico del Ecuador, explicando su importancia y cómo serán calculados.

3. Procesamiento de datos: Se explicará el proceso para la obtención de datos, incluyendo la recolección, limpieza y preparación de los datos para su análisis. Se detallarán las técnicas y herramientas utilizadas en este proceso, asegurando la transparencia y reproducibilidad del estudio.

3.1. Desarrollo MuSiaSEM (Multi – Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism)

Para comprender el estado actual del sector energético y su evolución a nivel nacional, es necesario llevar a cabo el siguiente paso: determinar las diferentes escalas de análisis de la evolución del perfil metabólico de la sociedad. Giampietro, Mayumi, y Sorman (2012) sostienen que para realizar una evaluación energética de un sistema autopoietico (que se autoorganiza), es fundamental llevar a cabo el proceso de manera simultánea en diferentes escalas. Según Juan José Cadillo Benalcazar (2015, 107), el MuSiaSEM puede considerarse una metodología de contabilidad que permite estudiar de manera integrada problemas biofísicos y socioeconómicos para diferentes componentes y niveles de la sociedad. Se hace necesario definir una serie de atributos que posibiliten la construcción de una representación de la realidad a partir de una estructura semántica y categorías formales.

Es esencial comprender el término "escala" y sus niveles en función del objetivo analítico, centrándose en el objeto de estudio y los procesos que se buscan identificar (Allen y Starr 2017). Los niveles se refieren a la posición dentro de una jerarquía (Gibson y Pick 2000). El nivel va a depender de la escala en la que se está realizando el estudio. Las escalas, en cambio, dimensión en la que se está trabajando, por ejemplo, escala nacional o ciudad. Por lo tanto, es necesario identificar una metodología que permita abarcar la complejidad de los diferentes sistemas y escalas, que incorpore el concepto de metabolismo socioeconómico desde una perspectiva exploratoria y facilite la comprensión de su transformación.

Para Fischer-Kowalski y Haberl (1993) la energía se considera uno de los flujos que trascienden las diferentes escalas, siendo un recurso fundamental para la sociedad. Al mismo tiempo, este recurso presenta una interdependencia con el medio ambiente, así como con las instituciones sociales, las cuales pueden proporcionar señales que afectan su deseabilidad. Esto implica la capacidad de la sociedad para utilizar la energía y las limitaciones que pueden existir para su uso.

Giampietro, Mayumi, y Ramos-Martin (2009) proponen la metodología MuSiaSEM para realizar estas evaluaciones, la misma que se basa en un concepto de gramática. Este proceso implica un análisis preliminar para definir qué aspectos son relevantes para la reconstrucción de la realidad. "En consecuencia, se puede decir que la gramática rompe con la idea de comprender totalmente la realidad, como intentan hacer los modelos, y en su lugar proporciona una interpretación de la realidad" (Benalcazar 2015, 82). Esto implica una posible limitación en el análisis de la sociedad y su interacción con diferentes flujos, ya que existe una alta probabilidad de no poder comprender completamente todo el sistema. Por lo tanto, se requiere adoptar una metodología más enfocada en los puntos de críticos de interés que permitan entender la realidad de una manera mucho más concreta y que refleje la realidad.

Según Giampietro, Mayumi, y Şorman (2013, 166) el primer paso para poder construir el MuSiaSEM es definir qué es el sistema y qué hace el sistema-. Para ello, se utilizan categorías semánticas. Durante este proceso se va a identificar cuáles son los flujos y los fondos que interactúan en el sistema. También en este paso se definen las escalas en las que va a actuar el análisis en cuestión. Los componentes que pueden estar definidos dentro de este preanálisis son delimitaciones geográficas, sectores y subsectores económicos y las respectivas funciones que estos componentes están cumpliendo. En esta etapa también se describe cómo los recursos fluyen a lo largo del sistema y cómo funcionan esos flujos. En la

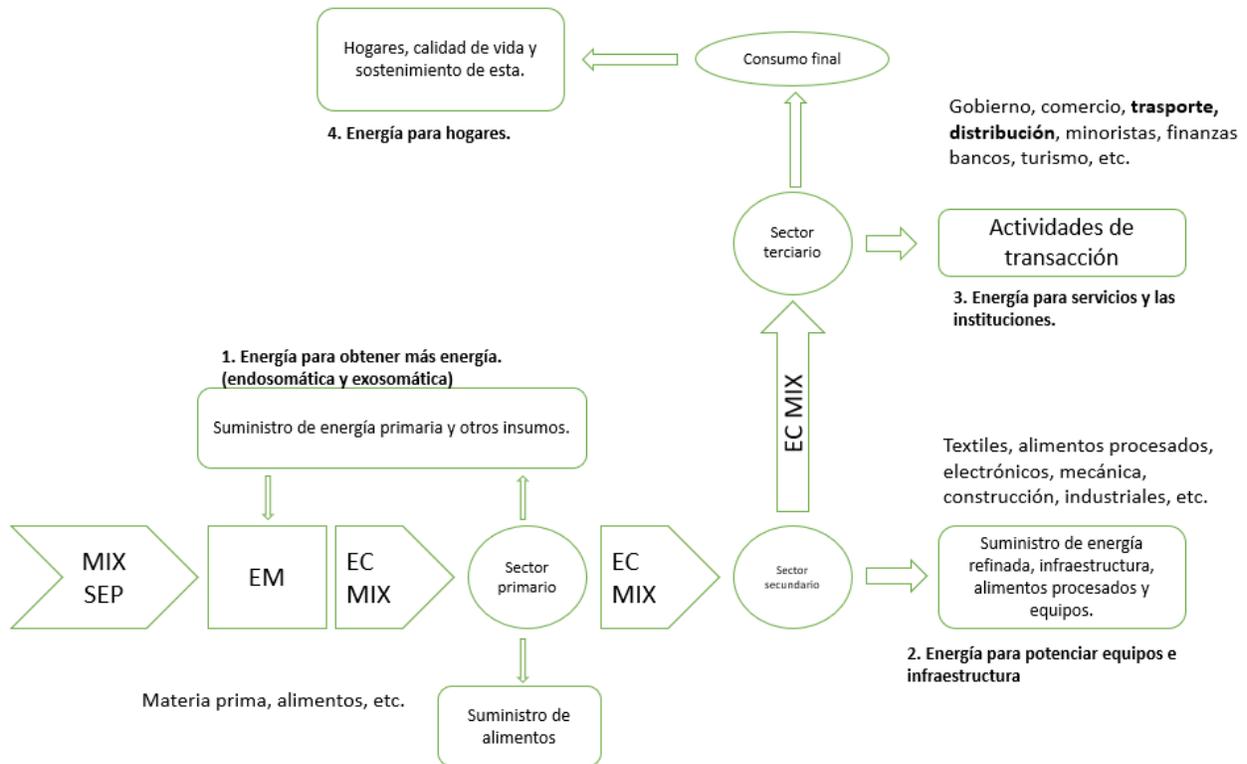
Ilustración 3.1 – La selección de las categorías funcionales vinculadas a elementos **estructurales** puede ver al detalle un ejemplo de estructura semántica con sus respectivos elementos estructurales.

De acuerdo con Alcott et al. (2012, p. 167), se define una estructura funcional que guía los flujos de energía, desglosada en cuatro etapas. En el primer paso, se sitúa el sector primario, donde se producen alimentos no procesados y materia prima esencial para la sociedad. Este sector consume una fracción de la energía, equipos y materiales para su sustento. La segunda fase corresponde al sector secundario, donde se utilizan los suministros e insumos provenientes del sector primario, tanto para el funcionamiento de equipos como para procesos de transformación y construcción. Aquí se erige la infraestructura necesaria para el transporte y la distribución energética.

El tercer paso involucra al sector terciario, encargado de actividades de distribución y comercialización, segmentado en comercio, servicios y gobiernos, así como en transporte, cuya

intensidad energética individual puede representar una parte considerable del consumo total. Este sector también juega un papel clave en el proceso de distribución energética. Finalmente, los hogares, como consumidores finales de todo el proceso mencionado, contribuyen significativamente al sector energético a través de las horas de actividad humana que generan.

Ilustración 3.1 – La selección de las categorías funcionales vinculadas a elementos estructurales



Elaboración propia¹⁰ basado en Alcott et al (2012, 167)

Los atributos seleccionados van a enriquecer el análisis, “la existencia de múltiples escalas en un sistema involucra la coexistencia de distintos dominios descriptivos” (Cadillo Benalcazar 2015, 83). MuSiaSEM, por lo tanto, permite generar una narrativa basada en las diferentes escalas temporales o espaciales que se han definido. Esto es relevante para el presente análisis, dado que está enmarcado en una serie de cambios estructurales que se produjeron a lo largo de 15 años, y que tuvieron un impacto diferenciado en cada nivel y componente de la sociedad.

¹⁰ SEP: Suministro de energía primaria.
 EM: Sector de energía y minería
 EC MIX: Mix de distribución de energía en sus diferentes formas.

Este análisis es intrínsecamente jerárquico, ya que examina diferentes niveles del sistema, cada uno de ellos cada vez más pequeño. A su vez, este nivel más pequeño puede ser analizado bajo los mismos parámetros. Por lo tanto, tal como lo explica Koestler (1967), nos encontramos ante un *holón*, una unidad compuesta por varias unidades y que, al mismo tiempo, forma parte de una unidad más grande.

La lógica gramatical del MuSiaSEM permite analizar las relaciones funcionales entre los distintos holones. Se establecen conexiones semánticas que permiten identificar los requerimientos de cada parte del componente. Estos holones, por lo tanto, deben ser organizados junto a sus respectivos componentes semánticos. Según Giampietro, Allen, y Mayumi (2006), el grado de organización no se expresa en función del grado de complejidad, sino en el uso de mediciones para poder obtener una explicación coherente del sistema complejo.

La estructura gramatical MuSiaSEM permite comprender algunas propiedades sistémicas del perfil metabólico. El funcionamiento de distintas escalas, los bucles y retroalimentaciones que se van construyendo, así como un contraste que permite identificar si existe una reducción del consumo energético o es un proceso de implementación de tecnología eficiente. A partir de estas, se puede construir el análisis cuantitativo de los flujos energéticos. Giampietro, Mayumi, y Şorman (2013) establecen que, en primer lugar, el perfil metabólico es un proceso autopoietico caracterizado por la presencia de bucles autocatalíticos que generan impredecibilidad. El sistema está compuesto por dos bucles autocatalíticos: uno relacionado con la producción energética en sí misma (un portador energético que produce otro portador energético) y el segundo que ocurre en la sociedad en su conjunto, donde "los diversos sectores funcionales de la sociedad hacen posible la reproducción de estructuras e instituciones y expresan adaptabilidad".

La segunda propiedad para tener en cuenta es la dotación de factores de producción, como la mano de obra (determinada por los hogares), la energía entregada para uso final (determinada por los transportadores energéticos) y también las normativas e inversión (determinadas por el gobierno). A través de esta propiedad se determinan los flujos y fondos a ser expresados en el análisis.

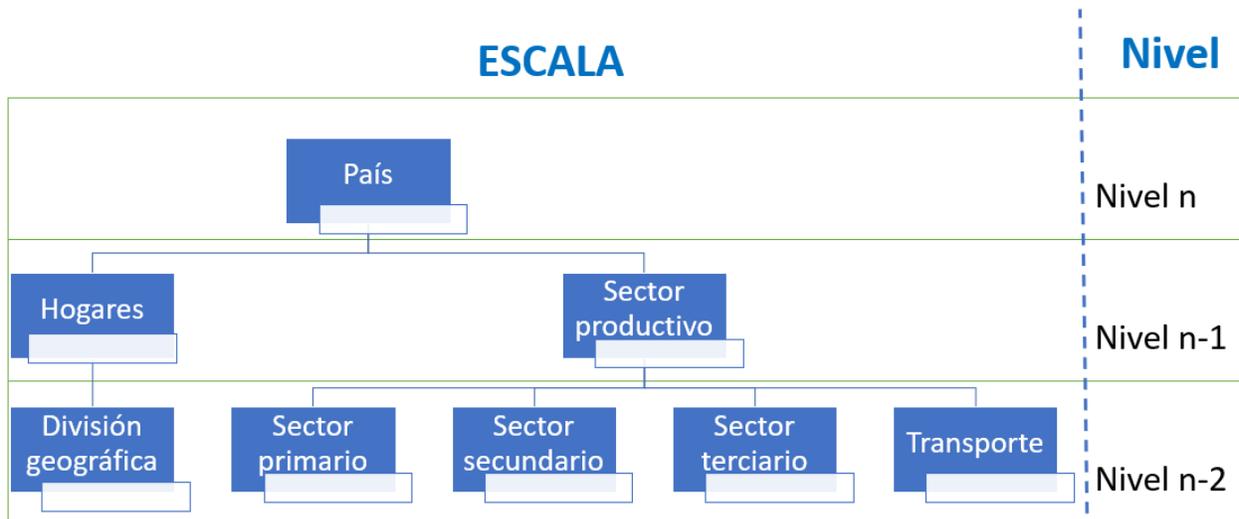
Finalmente, la tercera propiedad aborda las características y comportamiento del sistema socioeconómico. Esta propiedad se refiere a las preferencias y actividades de las personas. Requiere un análisis más detallado para identificar claramente los patrones de comportamiento de

los individuos. Sin embargo, el presente trabajo no tiene como objetivo llegar a estos niveles de análisis.

3.1.1. Escalas y flujos y fondos

Una vez definido el enfoque y las propiedades para incorporar en el análisis se procede a definir las escalas y los flujos y fondos que serán parte de las funciones del sistema. Partiendo nuevamente del principio de la teoría de jerarquías, la estructura social se construye y está formada por holones. Cada nivel de holón es considerado una escala diferente. Recordando lo establecido por Fischer-Kowalski y Haberl (2000() las escalas de análisis pueden ir desde una escala de biosfera hasta una escala de individuo. Esto está determinado por el número de escalas y por la primera unidad de análisis.

Ilustración 3.2 - Niveles de análisis definidos para el MuSiaSEM



Elaboración propia basado en Giampietro, Mayumi y Şorman (2013)

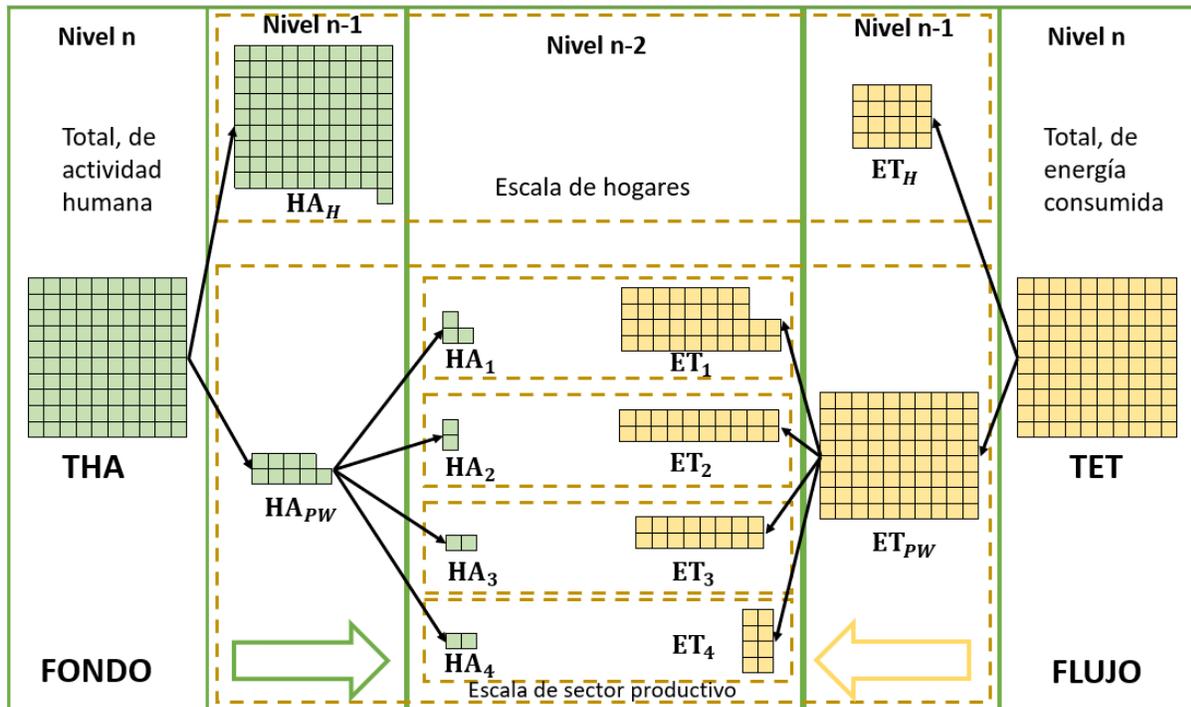
En la Ilustración 3.2 - Niveles de análisis definidos se puede ver la estructura hasta el nivel n-2. Cada uno de los niveles definidos debe haber sido determinado previamente en la estructura gramatical. Esta jerarquización de los holones permite estructurar posteriormente los flujos y los fondos que son metabolizados en cada componente, se operativiza la primera propiedad/ previamente expuesta sobre los dos bucles autocatalíticos, como se ha mencionado en el presente estudio se enfocara en el segundo bucle, el consumo final. Esta división jerárquica no sustituye a la estructura gramática previamente establecida es una forma de establecer de mejor forma los niveles y las escalas Las categorías funcionales permiten comprender el funcionamiento del sistema, la definición de escalas y niveles como se va a analizar.

Los *flujos* y los *fondos*, según Martínez-Alier y Roca Jusmet (2013), son dos componentes con naturalezas distintas que están sujetos a la escala temporal del análisis. Los *flujos* representan recursos que cambian con el tiempo, como la energía o el PIB, y se pueden comparar metafóricamente con el agua de una represa, que es un recurso en constante movimiento cuya cantidad varía. Por otro lado, los *fondos* son recursos que permanecen constantes en el tiempo. Sin embargo, dependiendo de la escala temporal del análisis, un fondo puede convertirse en un flujo, ya que hay activos como infraestructura o equipos que pueden aumentar o disminuir con el tiempo, transformándose así en un flujo. Esta distinción es esencial en los procesos de producción, donde los flujos representan cantidades de materiales transformadas durante el proceso, mientras que los fondos actúan como agentes que transforman un grupo de insumos (*inflows*) en un producto (*outflows*). Un ejemplo común es la mano de obra, particularmente las horas de actividad, que constituyen uno de los primeros supuestos clave en la metodología.

En la Ilustración 3.3 - Estructura de dedograma acoplado, se destaca el contraste entre los flujos y los fondos, utilizando como ejemplo la energía y las horas de actividad humana. Se puede observar cómo se distribuyen tanto los flujos como los fondos en diferentes escalas a medida que se desciende en los niveles. En el cuadro se presentan las horas de actividad como fondo y la energía como flujo, y para este estudio se aplicará esta misma lógica para analizar la relación entre las horas de actividad y el PIB. Asimismo, esta misma lógica puede aplicarse a otros flujos, como el agua o los alimentos.

Es importante mencionar que los términos presentados se ampliarán más adelante; este ejemplo ilustra cómo se realiza el análisis.

Ilustración 3.3 - Estructura de dedograma acoplado



Elaboración propia basado en Giampietro, Mayumi, y Şorman (2013, 166)

El análisis flujo/fondo se realiza al generar una serie de nuevos indicadores que expresen la relación entre el flujo y el fondo. En el ejemplo anteriormente mencionado, esta relación se determina al dividir los flujos y los fondos en distintas escalas. Esto representa el metabolismo de cada uno de los holones del sistema. El supuesto principal radica en las horas totales de actividad humana (THA) al año. Se determina que el total de horas de actividad humana por persona está dado por la multiplicación de 365 por 24, lo que resulta en 8.760 horas. Para bajar al nivel $n-1$ se obtiene los datos de las horas del sector productivo (HA_{PW}), de la data de empleo oficial y se le resta al (THA) para obtener las horas de los hogares (HA_H). De los registros oficiales se obtiene las horas (HA_i) de cada sector i , en este caso son un total de 4 sectores.

Para la obtención del flujo se realiza un ejercicio similar se parte del total de energía que está en uso en la economía (TET), y se va separando. En el caso de los flujos las cantidades que se usan para la energía total en los diferentes salen del balance energético que se asigna en diferentes niveles (ET).

Este cálculo se aplica para todos los años, como se detalla en la sección de aplicación de la metodología. Finalmente, estos resultados se interpretan como el perfil metabólico del consumo

energético en las distintas escalas. En la sección 3.3 hay una mayor aclaración respecto al proceso.

3.2. Agrupación en clúster

Si bien los datos obtenidos en el modelo FLUJO/FONDO que nacen del MuSiaSEM pueden dar una visión general sobre lo que sucedió en la economía, es necesario identificar los patrones metabólicos y como fueron cambiando. Para la exploración de datos hay dos categorías de métodos que se pueden adaptar, la primera categoría se enfoca en aprendizaje supervisado, y la segunda en aprendizaje no supervisado.

En la primera categoría se cuenta con etiquetas que agrupan los datos, en este caso se conoce a que categoría pertenece, un ejemplo puede ser que una base de datos categorice el género musical o un subgénero de películas y se busca estimar el efecto de variables independientes en variables dependientes. El segundo tipo no tiene etiquetas en las categorías de la información, se busca descubrir patrones en los datos que se están explorando. Para el presente estudio se opta por seleccionar uno de los métodos de aprendizaje no supervisado más popular que es la agrupación en clúster.

“Dado una base de datos con n puntos de datos en R^d y k grupos enteros el problema a resolver es el grupo de puntos k R^d , llamados centros, de tal forma que se minimice la distancia media al cuadrado de cada punto cercano”. (Kanungo et al. 2004.) La Agrupación en clúster en otras palabras permite juntar casos según sus semejanzas. Esta agrupación permite conocer los patrones que pueden no estar claros simple vista. El tipo de algoritmo puede estar basado en 4 formas: densidad, un algoritmo que ignora los valores atípicos; distribución, un algoritmo que requiere una noción probable de la distribución; jerarquías, un algoritmo sumamente restringido; y centroides, un algoritmo que asigna basado en puntos asignados en función de su distancia a un promedio. Se utilizará un algoritmo basado en centroides al comprender sus propiedades. El algoritmo $k - means$ ($k - medias$) es el procesamiento, basado en centroides, utilizado para agrupación en clúster en función de la eficiencia de este para su procesamiento y factibilidad de análisis. Este algoritmo permite agrupar por similitudes en las características permitiendo la identificación de patrones.

La metodología MuSiaSEM permite identificar un perfil metabólico en un momento específico, pero conforme se generan más datos, se puede analizar el estado de los perfiles en diferentes

momentos posteriores. Este proceso también permite contrastar los diferentes cambios estructurales e institucionales que ha experimentado Ecuador desde 2006. De esta manera, se podrá evaluar los diferentes niveles en diferentes puntos del tiempo.

3.2.1. Algoritmo K - MEANS

La agrupación en clúster significa juntar casos según sus semejanzas, en el presente estudio por su relación del metabolismo socio económico. Se puede expresar cualquier conjunto de datos como un vector de valores continuos. El conjunto de datos que se utiliza se puede expresar como si fuera una serie de vectores (Kanungo et al. 2004).

Las semejanzas entre los datos para la agrupación se determinan por medio de la distancia euclidiana, si dos puntos de datos están lejos en distancia euclídea que otro de igual forma va a estar lejos en sus cuadrados. Se define como la raíz de la suma de los cuadrados de la diferencia entre dos puntos.

$$dis(X, Y) = \sqrt{(X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2}$$

La distancia al cuadrado entre dos puntos es igual a la suma de los cuadrados de las diferencias entre las coordenadas de los puntos en cada dirección. Por ejemplo, se calcula el cuadrado de la distancia entre los puntos en una dimensión (por ejemplo, la coordenada esta) y se suma al cuadrado de la distancia entre los puntos en la otra dimensión (por ejemplo, la coordenada norte).

$$dis(X_i, Y_i) = \sqrt{\sum_{d=1}^D (X_i - Y_i)^2}$$

La distancia d se calcula para cada atributo desde el 1 hasta el D , donde D es el número máximo de atributos.

En el algoritmo K-medias, se establece K como el número de centroides. Esto significa que habrá K centroides, lo que a su vez implica que habrá K clústeres. Se asume que los valores de K están predefinidos.

Cada clúster tendrá un punto medio, denominado μ_k y S_k el conjunto de datos asignados al clúster k .

Se busca disminuir la disimilitud dentro de los elementos de cada clúster, para ello, hay que definir disimilitud global. La disimilitud de los puntos es la sumatoria de la distancia euclídea de dos puntos. La disimilitud entre cualquier punto y el centro del clúster es igual a la distancia entre el punto y el centroide. La disimilitud entre clústeres será la suma de las distancias entre los puntos de datos de ese clúster y el centroide. Finalmente, la disimilitud global es la suma de la disimilitud de cada clúster (Kanungo et al. 2004).

La disimilitud global:

$$dis_{global} = \sum_{k=1}^k \sum_{n:x \in S} \sum_{d=1}^D (X_{n,d} - \mu_{k,d})^2$$

El algoritmo K-medias sirve para disminuir la disimilitud global. Esta cantidad se conoce como la función objetivo de K-medias. Para poder llegar a esa eficiencia es necesario un conjunto de centroides y de asignaciones de datos a clústeres. Asumimos que conocemos K.

Para poder asignar de manera correcta el centro del clúster se hace dos ejercicios. Primero, se asigna cada punto al clúster con el centroide más cercano. Segundo, modificamos el centroide para situarlo en la media de todos los puntos del clúster. Se hacen estas dos acciones hasta que ya no sea posible realizar más cambios.

1. Se eligen k puntos al azar.
2. Se itera el proceso de asignar los puntos de datos a los clústeres.
3. Asignamos nuevos puntos y calculamos los nuevos centroides.
4. Se repite hasta que se llegue a un nivel estacionario.
5. Este algoritmo siempre se detiene luego de un tiempo finito.

Selección de número de clústeres (“k”)

Para determinar el número de clústeres k que debemos elegir al utilizar K-Medias, se identifican dos métodos diferentes (Ventura y García 2022):

- Método del codo: Se hallan las sumas de cuadrados dentro, de cada clúster y se comparan con diferentes valores consecutivos de k , y se toma aquel en el que se estabilicen dichas sumas de cuadrado. Siguiendo la siguiente formula:

$$\text{minimizar} \left(\sum_{k=1}^k W(C_k) \right)$$

Dónde:

C_k = es el k -ésimo clúster

$W(C_k)$ = se refiere a la variación dentro del clúster k

Para fines de este estudio, se empleará el método de codo para elegir el número de clústeres de sectores productivos y provincias, en vista de que su representación gráfica e interpretación son intuitivos y factibles de realizar.

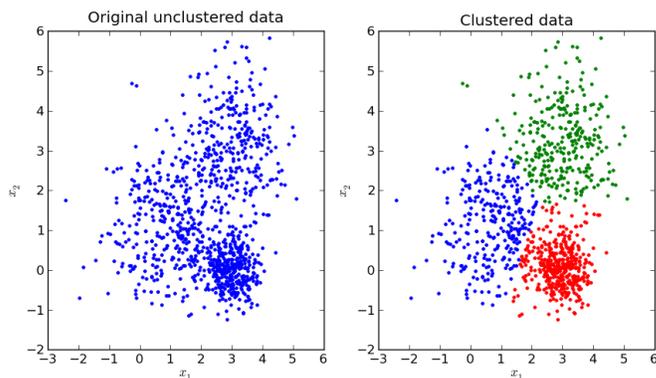
¿Cómo evaluar los resultados?

En el caso de la clasificación tenemos resultados de entrenamiento que permiten al algoritmo predecir como clasificar datos nuevos.

Para poder validar los datos de una agrupación en clústeres un poco más complicado. Hay métodos como el índice de Rand o el índice ajustado de Rand sirve para saber si ha capturado toda la información situada en la agrupación en clúster real. Hay casos donde se puede hacer una agrupación en clúster manual. Lo único que define a la agrupación en clúster es si dos puntos pertenecen al mismo clúster o a clústeres diferentes.

No hay una forma absoluta que nos permita evaluar la validez de un clúster. La primera solución, busca un patrón claro y relevante en los datos. En la Ilustración 3.4 - Ejemplo , se puede identificar las agrupaciones que se pueden dar al momento de aplicar agrupación en clúster.

Ilustración 3.4 - Ejemplo clúster



Fuente: (Kanungo et al.2004.)

3.3. Datos disponibles

Para la construcción del MuSiaSEM, es necesario definir de manera clara los flujos y los fondos. En el presente estudio, se utilizarán las horas de actividad humana como fondo y la energía como un flujo. Esta definición de flujos y fondos permite generar una descripción de las horas de actividad que realiza la sociedad en diferentes escalas y el consumo energético de los holones. A partir de esta información, se puede detallar el perfil metabólico de los fondos, que en síntesis se puede entender como la energía consumida en cada hora de actividad humana. Cada componente descrito en la estructura gramatical del MuSiaSEM, en sus diferentes niveles y escalas tendrá su propio perfil metabólico. Se definen los siguientes indicadores:

Indicadores

Los indicadores deben responder a la estructura gramática definida. Entonces a la actividad humana y al consumo energético

Tabla 3.1 - Definición de indicadores

<i>Variable</i>	<i>Flujo / Fondo</i>	<i>Nombre de la variable</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Cálculo</i>
THA	Fondo	Actividad humana total (<i>Total Human activity</i>)	Total de horas que la sociedad tiene disponible para realizar actividades	Horas	Total de la población por 8769 h
TET	Flujo	Consumo energético total (<i>Total energy Throughput</i>)	Total de energía usada en un año	Mega julios	Recurso estadístico
PIB	Flujo	Producto interno bruto	Valor agregado generado por las actividades económicas en valores constantes.	Dólares	Recurso estadístico

<i>Variable</i>	<i>Flujo / Fondo</i>	<i>Nombre de la variable</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Cálculo</i>
ET_i	Flujo	Consumo energético por sector <i>i</i> .	La energía utilizada en el sector. Se toma en cuenta 3 sectores económicos para este estudio.	Mega julios	Recurso estadístico
HH	Categoría	NA	Escala de hogares	NA	NA
PW	Categoría	NA	Escala del sector productivo	NA	NA
HA_i	Fondo	Actividad humana por sector <i>i</i> .	El total de horas de actividad humana en cada uno de los 3 sectores económicos.	horas	Población empleada en el sector por horas promedio al año.
PIB_{hora}	Flujo / Fondo	PIB por hora en la sociedad.	PIB por hora de actividad humana.	(\$/h)	= PIB/THA
EMR_{SA}	Flujo / Fondo	Tasa metabólica promedio de la sociedad.	Energía consumida por hora de actividad humana disponible en la sociedad.	(MJ/h)	= TET/THA
EMR_i	Flujo / Fondo	Tasa metabólica promedio por industria.	Energía consumida por cada hora de trabajo dedicada al sector <i>i</i> .	(MJ/h)	= ET _i /HA _i
ELP_i	Flujo / Fondo	Productividad económica de la mano de obra	Valor agregado por horas de trabajo en un sector <i>i</i> .	(\$/h)	= PIB _i /HA _i

<i>Variable</i>	<i>Flujo / Fondo</i>	<i>Nombre de la variable</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Cálculo</i>
EEI	Flujo / Flujo	Intensidad energética en la economía	Consumo energético por unidad de valor agregado	(Mj/\$)	= TET/PIB

Fuente: Elaboración propia

La economía ecuatoriana se considera el nivel más agregado a ser analizado. Está compuesta por diferentes holones que trabajan de manera simultánea y afectan al sistema más grande. Esta primera escala es conocida como $n-0$. Los primeros dos compartimientos de donde parte el $n-0$ son el sector de trabajo remunerado (PW) y los hogares (HH), un componente que representa al sector productivo y otro que representa al consumo. Todas las horas de actividad humana que no están vinculadas a los 3 sectores productivos están relacionadas con la población que no forma parte de los sectores económicos formales.

“El sector PW es también responsable de garantizar insumo continuo de energía primaria que toda la sociedad necesita, por medio del sector energético.” (Ramos-Martín et al. 2009, 46) El sector PW cuenta con 3 subcomponentes: 1) industria (que incluye el sector de la construcción y el transporte); 2) comercial, servicios y sector público; y, 3) agro, pesca y minería.

En resumen, el nivel $n-0$ es la economía ecuatoriana completa, el nivel $n-1$ la división entre el componente productivo (PW) y componente de hogares (HH) y finalmente el $n-2$ que son los componentes del sector (PW). A esta multiescalar se suma que el análisis que se lleva a cabo es en diferentes momentos, ya que lo que se busca estudiar es la variación de los indicadores.

FLUJO/FONDO

Las fuentes utilizadas para la obtención de estos datos fueron el INEC para la población y el empleo, específicamente la ENEMDU anual desde el año 2007 hasta el año 2021. Esta información se utiliza para los cálculos del total en horas de actividad humana (TAT) y las horas de actividad por sector (HA_i) y sus cálculos posteriores. Mientras que para obtener la información de los flujos se usó el balance energético del Ministerio de Energía, Minas y Petróleo y la evolución del producto interno bruto (PIB) del Banco Central del Ecuador. Las unidades son homogéneas por lo cual no es necesario realizar un tratamiento distinto a nivel de data.

Capítulo 4. Evolución del perfil metabólico de la sociedad 2007 – 2021

La metodología MuSiaSEM representa un enfoque analítico integral para comprender los flujos de energía y materiales dentro de los sistemas socioeconómicos. A partir de este método se puede: 1) Identificar y definir el sistema socioeconómico como un conjunto de compartimentos funcionales esenciales. 2) Caracterizar los diversos recursos y componentes del sistema. 3) Analizar los flujos de energía y materiales que afectan al sistema. 4) Evaluar los patrones metabólicos del sistema en diferentes escalas. 5) Evaluar las limitaciones internas del sistema y determinar si los patrones metabólicos identificados son sostenibles y eficientes.

Al emplear la técnica de agrupación en clúster para analizar las escalas y dimensiones, podemos: 1) construir grupos territoriales y sectores primarios que compartan características similares en términos de consumo energético, horas de trabajo dedicadas y contribución al sistema en términos de valor agregado. Estos indicadores nos permiten comprender las relaciones entre el consumo de energía (medido en horas de trabajo) y el rendimiento total de esa energía (generación de valor añadido), así como determinar la evolución de estas relaciones en el tiempo. La agrupación de estos indicadores en clústeres facilita la visualización de estas relaciones y la comparación del perfil metabólico entre diferentes sectores y regiones del país. Además, contribuye a la identificación de posibles escenarios de transición hacia un modelo energético más sostenible y eficiente.

Según Mario Giampietro et al. (2013, p. 211), los sectores primario y secundario suelen exhibir una tasa metabólica (EMR) más elevada, con una tendencia al crecimiento. En contraste, el sector terciario tiende a mantener un valor relativamente estable a lo largo del tiempo, mientras que los hogares (HH) generalmente muestran una EMR mucho menor. Los cambios en la intensidad energética suelen estar asociados principalmente con alteraciones en la importancia relativa entre los sectores primario y secundario, ya que estos dos son más intensivos en energía. Además, estos cambios pueden ser provocados por transformaciones en el suministro de energía primaria (SEP), variaciones en la relación entre EMR (tasa metabólica) y ELP (productividad energética), y modificaciones en diversas escalas.

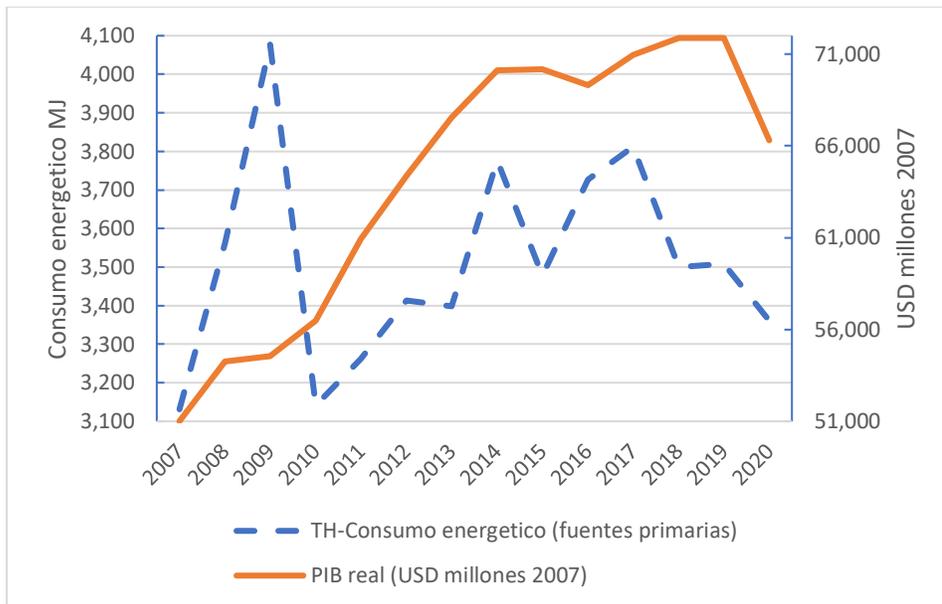
Uno de los ámbitos donde las políticas públicas pueden tener un impacto significativo es en la diversificación del suministro de energía primaria. Asimismo, en los procesos de priorización de sectores estratégicos y de mayor relevancia para la economía de un país, se pueden implementar

medidas que influyan en la eficiencia energética y en la gestión de recursos de manera más efectiva.

4.1. Nivel nacional n-0

El primer nivel de análisis en el sistema corresponde al *n-0* que se identifica con la escala nacional. Según se evidencia en la Ilustración 2.1 - Población del Ecuador, el incremento demográfico mostró una tasa anual del 1,6% durante el período comprendido entre 2007 y 2020, situando la población en un total de 17,588,595 individuos en 2020. Paralelamente, el Producto Interno Bruto (PIB) experimentó un crecimiento promedio del 9%, alcanzando aproximadamente los 66,000 millones de dólares. Sin embargo, el consumo de energía primaria no siguió una trayectoria equiparable. La Ilustración 4.1 – Consumo energético (MJ) y PIB (Millones de dólares), exhibe un pico en el año 2009, atribuible a la intensificación del uso de fuentes no renovables, motivada por incidencias climáticas que impactaron la generación hidroeléctrica por el estiaje. En los años sucesivos, se observa una correlación con el crecimiento del PIB. Esta dinámica contrasta con la observada en países del norte global, donde suele existir una mayor alineación entre el crecimiento del PIB, el consumo energético y la evolución poblacional, esto se observa en el estudio realizado por González, Sastre y Ramos (2015). En Ecuador, el aumento poblacional constituye el único factor constante, mientras que los demás indicadores experimentan mayor volatilidad. Además de la mencionada fluctuación en 2009, se identifican otros picos en el consumo de energía primaria en 2014 y 2017, coincidiendo con la entrada en operación de proyectos energéticos como Coca Codo Sinclair. Asimismo, tal como se destacó en la sección precedente, entre los años 2014 y 2016 se evidencia un cambio de tendencia y una reducción en el consumo energético, fenómenos que concuerdan nuevamente con el cambio de mandato y la disminución presupuestaria destinada específicamente al sector eléctrico.

Ilustración 4.1 – Consumo energético (MJ) y PIB (Millones de dólares)



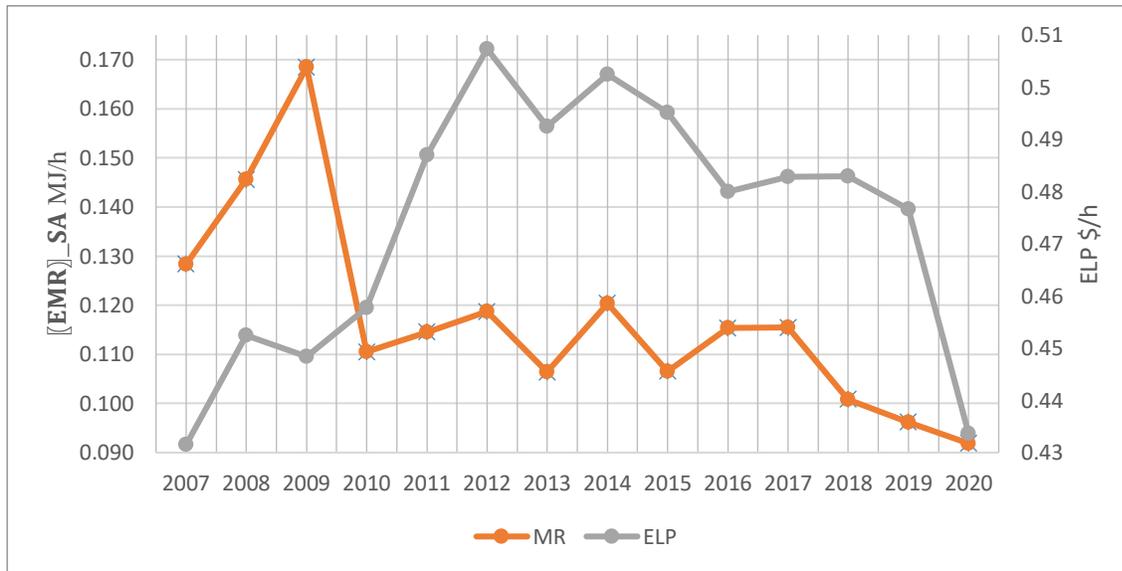
Fuente: Elaboración propia

Los primeros hallazgos revelan de manera evidente la falta de correlación entre el consumo energético y otro indicador clave, como lo es el Producto Interno Bruto (PIB). Mientras el PIB exhibe una tendencia aparentemente más marcada el consumo energético presenta fluctuaciones significativas. El primer quiebre en la tendencia se registra en 2016, coincidiendo con el inicio de la reducción presupuestaria en el sector energético. Posteriormente, se observa un crecimiento que se extiende hasta el año 2020, momento en el cual se evidencia un cambio de tendencia, atribuible a los impactos adversos de la pandemia en la economía nacional

En el *nivel 0*, la tasa metabólica de la sociedad ($EMR_{SA} = \text{consumo total de energía} / \text{horas disponibles totales de la población}$) puede considerarse como un indicador de la capacidad de la sociedad para utilizar la energía también interpretable como la cantidad de energía que en promedio usa la población por cada hora disponibles. Según lo explicado por Ramos, Sastre y González (2015) en los países desarrollados, se observa una tendencia creciente en este indicador, atribuible en parte al cambio demográfico, al aumento de la población, al incremento en el uso de nuevas tecnologías y a mejoras en la eficiencia energética. Sin embargo, en el caso de Ecuador, se evidencia una tendencia más estable, con una notable reducción a partir de 2016. Incluso en 2020, a pesar del aumento en el uso de tecnologías domésticas, se registra el punto más bajo en la tasa metabólica del país. Esta disminución iniciada en 2016 coincide nuevamente con otros

indicadores energéticos en deterioro. El punto más alto se alcanzó en 2009, cuando la menor capacidad de las hidroeléctricas llevó a recurrir a fuentes primarias mucho más ineficientes en comparación con las fuentes energéticas más limpias.

Ilustración 4.2 - EMR_SA VS ELP



Fuente: Elaboración propia

La productividad económica del trabajo (ELP) denota la capacidad de la mano de obra para generar valor agregado en la realización de actividades humanas. Entre los años 2007 y 2012, experimentó una tendencia al alza, correlacionada principalmente con la mejora en los precios de los recursos primarios. Sin embargo, este incremento no se reflejó de manera proporcional en la intensidad energética, fenómeno que resulta paradójico ya que conforme lo explicado previamente, normalmente comparten una misma tendencia ambos indicadores. Contrariamente a lo esperado, esta tendencia ascendente no se mantuvo a lo largo del tiempo, pues a partir de 2014 se evidenció un deterioro en este indicador. Dicho declive en el ELP puede atribuirse, en parte, a la ralentización en el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), alcanzando niveles semejantes a los del año 2007, lo que denota un estancamiento generalizado en el contexto económico y variaciones dentro de la demografía.

La tasa metabólica y la intensidad energética en la economía derivan de un indicador común, que es el consumo energético. Se espera que ambos indicadores sigan una tendencia similar, a menos

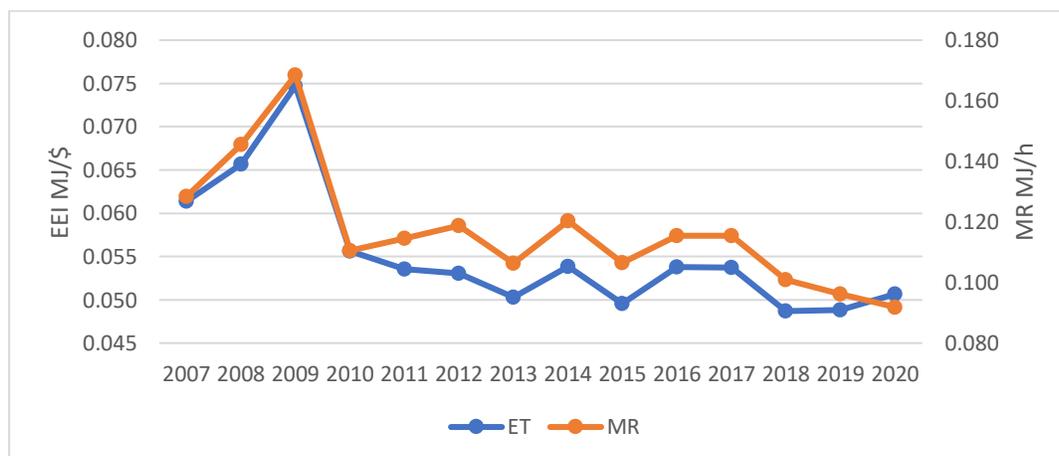
que exista algún tipo de tensión en relación con el flujo al que se están comparando. En este sentido, se observan dos períodos en los cuales se produce un cambio en la tendencia.

Durante el primer periodo, que comprende desde 2010 hasta 2012, se observa una disminución en el indicador de intensidad energética (EEI). Esto se atribuye al hecho de que el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) superó al aumento en el consumo energético. Durante estos tres años, el PIB experimentó un crecimiento anual del 5%, en contraste con el 3% de incremento en el consumo energético, lo que evidenció un estancamiento más pronunciado en este último.

El segundo período corresponde al intervalo entre 2019 y 2020, durante el cual se observa una marcada reducción en el PIB, lo cual implica que la intensidad energética ($EEI = TET / PIB$) sea mucho mayor. Esto permite identificar posibles fenómenos que requieran una explicación en una escala inferior.

En 2007, la tasa metabólica (EMR) era de 0,13 MJ/H de energía, aumentando a 0,17 en 2009. Durante este período, la proporción de energía hídrica en los suministros de energía primaria aumentó significativamente, impulsada por un enfoque en el desarrollo de energías limpias. Sin embargo, este enfoque se centró en la energía hídrica, como se observa en la Ilustración 2.3 - Producción de eléctrica por fuente 2000 - 2020, donde la producción de electricidad depende principalmente de dos fuentes principales. Esto crea una vulnerabilidad en la seguridad energética, ya que tanto eventos climáticos extremos como fluctuaciones en los precios de las materias primas pueden poner en peligro el suministro eléctrico.

Ilustración 4.3 - EEI vs MR_SA



Fuente: Elaboración propia

Se observa una disminución en la tasa metabólica y la productividad económica del trabajo a nivel provincial, acompañada de estancamientos en ciertos tramos del período analizado. Para una comprensión más profunda de estos estancamientos, resulta necesario explorar compartimentos inferiores y evaluar su evolución durante los diversos periodos políticos que ha experimentado Ecuador. En este contexto, el nivel n-1 se adentrará con mayor detalle en el análisis del sector productivo (PW) y el sector doméstico (HH).

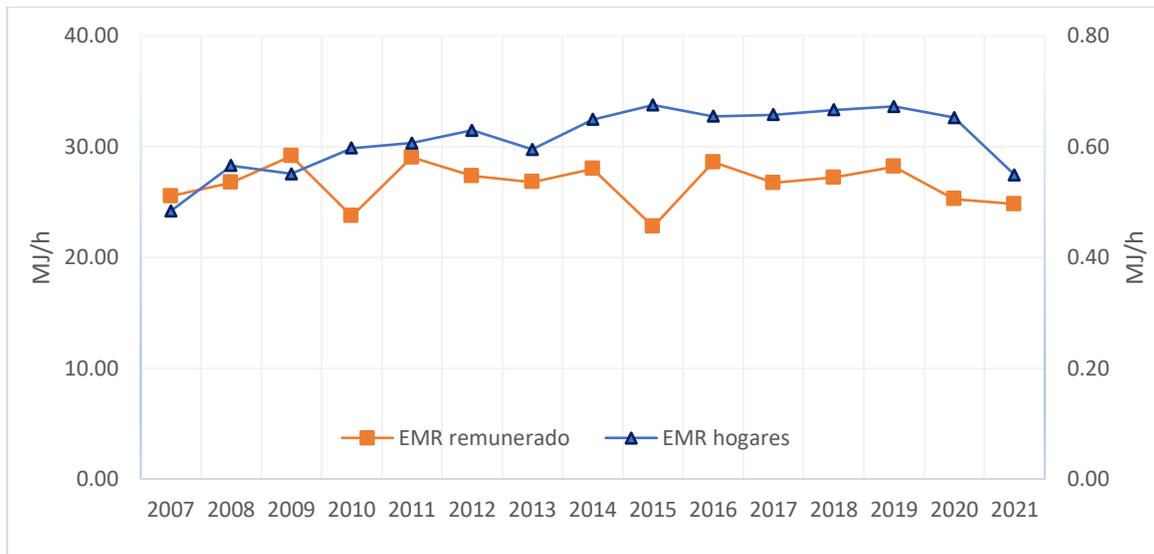
No se ha constatado que los cambios institucionales ejerzan el mayor impacto en los indicadores mencionados; en su lugar, se observa una relación estrecha con los mercados internacionales y los presupuestos estatales. En los niveles siguientes, se busca obtener una mayor claridad respecto a los fenómenos para identificar los cambios con mayor precisión.

En este nivel no se realiza un análisis de agrupación en clúster. Esto se debe a que no se está buscando agrupar distintos conjuntos de datos según su similitud para la identificación de patrones.

4.2. Nivel n-1: sector productivo (PW) y hogares (HH)

Según Velasco-Fernández et al. (2015), la tasa de metabolismo de los sectores remunerados (EMR_{sr}) se puede considerar como un indicador del nivel de capitalización de una economía, mientras que para los hogares puede reflejar la calidad de vida. En la Ilustración 4.7 - Clúster sector productivo (PW) 2007 - 2021 muestra que la tasa de metabolismo del sector laboral experimentó notables caídas en 2010 (23,72 MJ/h) y 2014 (22,7 MJ/h), alcanzando su punto más alto en 2009 con 23,14 MJ/h. Desde 2007 hasta 2021, es decir, en un lapso de trece años, se observó una tendencia general a la baja, con una disminución promedio del 1% en la tasa de metabolismo del sector remunerado (EMR_{sr}). Esta leve disminución en la capitalización puede atribuirse al hecho de que el aumento en el consumo energético durante este período no se canalizó hacia el aumento de la productividad laboral en los sectores económicos, sino que se destinó principalmente al consumo residencial. Ahora bien, en los años 2007 al 2009 se presentó un ligero aumento de la tasa de metabolismo que puede ser resultado de que a partir del 2007 se comenzaron a utilizar fuentes de energía alternativas como la energía solar y la energía eólica, asimismo desde el 2007 al 2016 hubo un crecimiento sostenido de la oferta energética y de la inversión destinada al sector eléctrico.

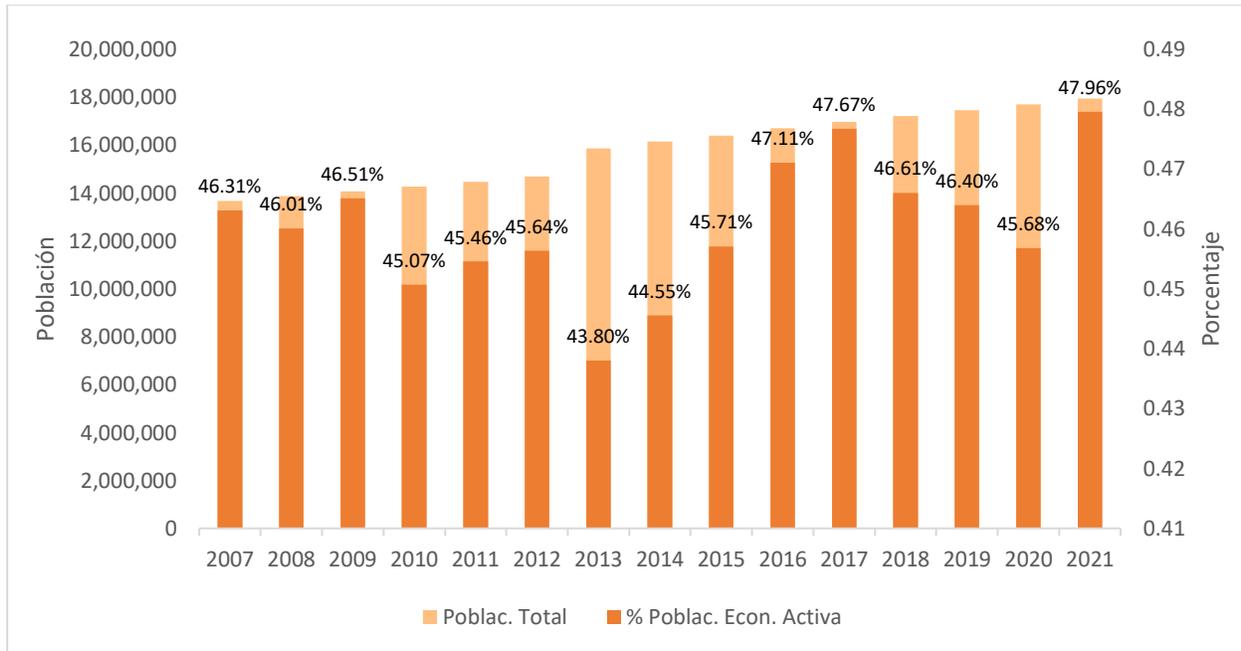
Ilustración 4.4 - EMR_sector remunerado vs EMR_hogares (MJ/h)



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la participación de la población económicamente activa (PEA) con respecto al total ha descendido de un 46,51% en 2009 a situarse en un 43,80% en 2013. Este período coincide con una disminución sostenida del Producto Interno Bruto (PIB) y una reducción en la oferta de trabajo, lo que sugiere que, debido a las condiciones laborales, muchas personas optan por no buscar empleo o se retiran del mercado laboral de forma anticipada.

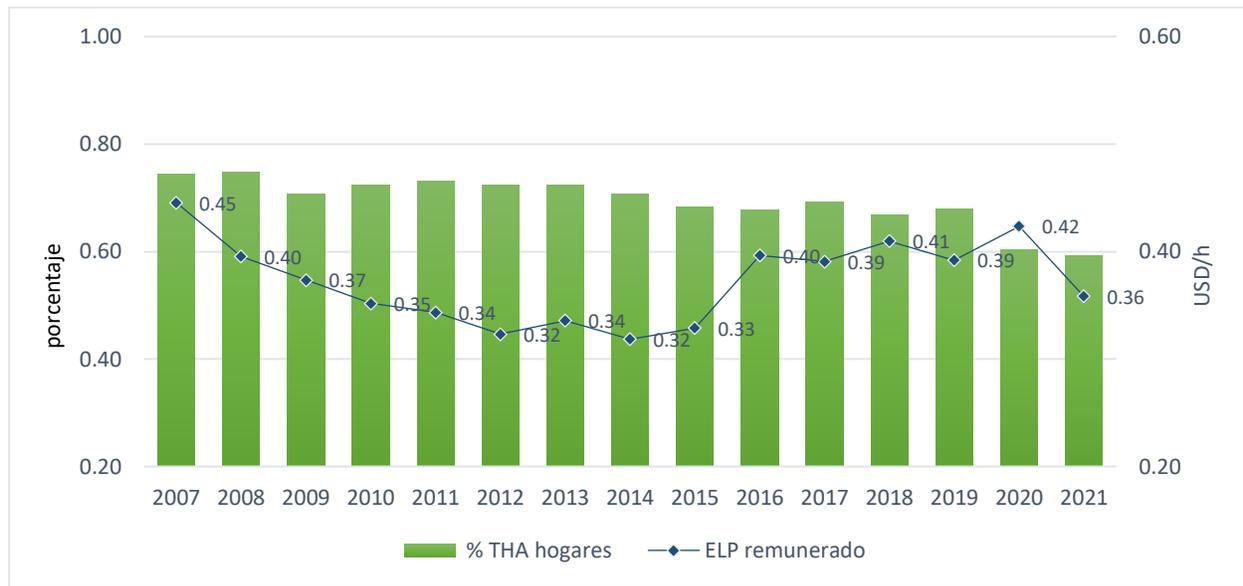
Ilustración 4.5 - Evolución de PEA



Fuente: Elaboración propia

Los efectos del descenso del PIB y de la participación de la PEA también se puede visualizar en la caída de la tasa de productividad económica laboral (ELP_{sr}) o el valor agregado global por hora de trabajo, que en Ecuador refleja una disminución de casi 0,10 USD /hora entre 2007 y 2014. De hecho, este indicador alcanza su punto máximo en el 2007, y a pesar de que desde el 2015 al 2018 se muestra una subida asociada a la recuperación de la economía después de la crisis de caída de los precios de las materias primas, vuelve a experimentar una fuerte baja en el año 2021 para situarse en 0,36 USD/hora.

Ilustración 4.6 - ELP remunerado (USD/hora)



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la comparación de los niveles de estos indicadores con aquellos registrados por otros países, tenemos que el patrón metabólico de Ecuador no encaja con los valores reportados por países sur global y el periodo analizado, específicamente el año 2012.

Tabla 4.1 - Comparativa de patrones metabólicos en países

Comparativa de patrones metabólicos	Países NORTE GLOBAL		Países SUR GLOBAL	
	EMRi (MJ/h)	%THA	EMRi (MJ/h)	%THA
Sociedad	10-35	1	4-6	1
Sector no laboral	2-10	0,9-0,93	0,5-1	Aprox 0,9
Sector remunerado	150-200	0,07-0,1	30-60	Aprox 0,1

Fuente: Giampietro et al., 2012

4.3. Nivel n-2: perfil metabólico del sector productivo

En el contexto del análisis a nivel n-2, se consideran como componentes del sector productivo (PW) a los sectores primarios, que abarcan actividades como la agricultura, la ganadería, la pesca y la minería. Estos sectores son fundamentales en la economía ecuatoriana, no solo por su

contribución al PIB, sino también por su impacto en el empleo y el desarrollo. El sector secundario, compuesto por la industria, desempeña un papel crucial en la diversificación económica y la agregación de valor a las materias primas producidas en el país. Por otro lado, el sector terciario engloba una amplia gama de actividades, incluyendo el comercio, los servicios y los servicios públicos, que son esenciales para el funcionamiento y la modernización de la economía. La inclusión de un cuarto grupo, el transporte, se justifica por su naturaleza intensiva en energía y su influencia significativa en la eficiencia y la competitividad del conjunto del sector productivo.

En cuanto al análisis de los hogares, se lleva a cabo una subdivisión a nivel provincial utilizando los datos disponibles. Esta aproximación permite una exploración más detallada de las características socioeconómicas de cada región, teniendo en cuenta las particularidades geográficas, demográficas y económicas. Además, esta división facilita la identificación de posibles disparidades en el acceso a los recursos y servicios básicos, así como en la capacidad de los hogares para adaptarse a los cambios en el entorno socioeconómico. En este sentido, la inclusión de datos a nivel provincial en el análisis otorga robustez y la relevancia a los hallazgos, al proporcionar una visión más completa y contextualizada de la dinámica del metabolismo socioeconómico en el Ecuador.

4.3.1. Análisis del sector productivo (PW)

Se lleva a cabo un análisis exhaustivo de tres indicadores clave: la tasa metabólica (EMR), la productividad por hora de actividad humana (ELP) y la intensidad energética en el sector económico (EEI). La tasa metabólica (EMR) está estrechamente relacionada con la capacidad de aprovechamiento y utilización eficiente de la energía en diversas actividades económicas.

Un aumento en la EMR puede indicar una mayor disponibilidad de equipos o infraestructura que permite un uso más intensivo de la energía, como se ha observado en estudios de Mario Giampietro (2012 y 2013), especialmente en sectores industriales. Por otro lado, la reducción de la EMR en algunos sectores puede ser señal de una mejora en la eficiencia energética. Por otro lado, la productividad por hora de actividad humana (ELP) sirve como indicador del rendimiento laboral y del crecimiento de la industria. Según González, Sastre y Ramos (2015), si tanto la EMR como la ELP disminuyen, indica una contracción y una reducción en el consumo

energético, mientras que, si la EMR disminuye y la ELP aumenta, puede ser un signo de eficiencia. Sin embargo, se requiere un análisis más detallado para confirmar estas conclusiones.

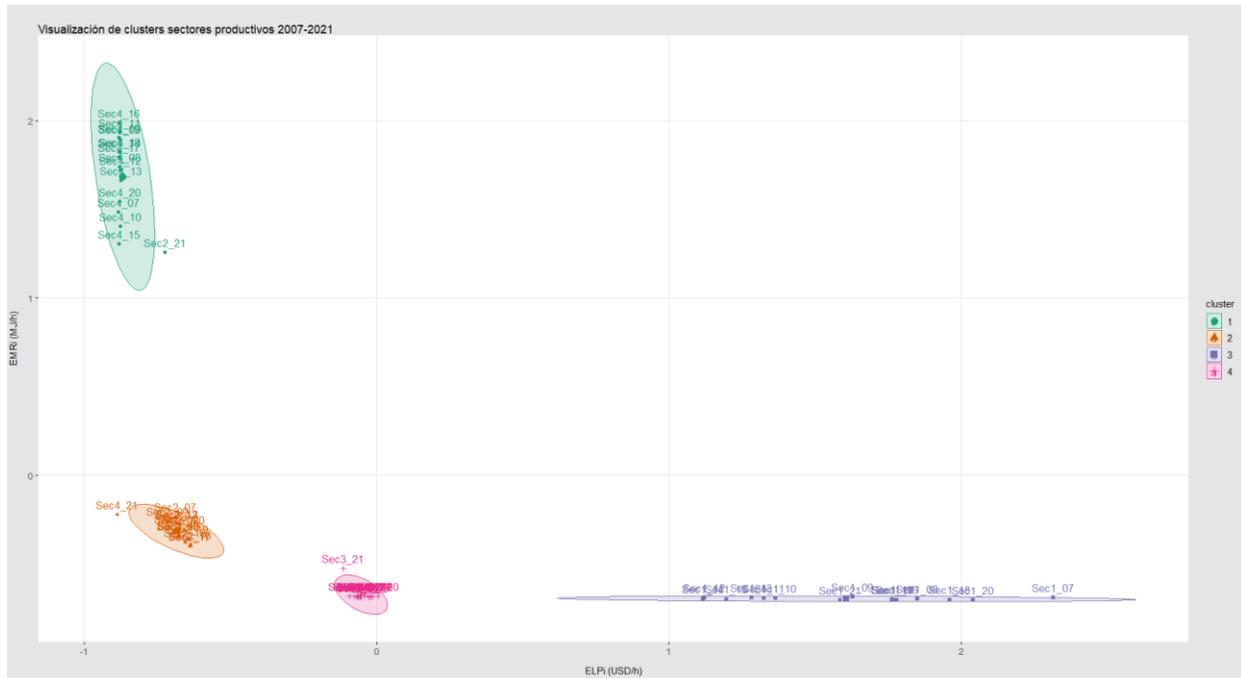
Además, se evalúa conjuntamente la EMR y la ELP para obtener una comparación clara de los sectores que utilizan más o menos energía en relación con los ingresos generados por su actividad laboral. Finalmente, la intensidad energética de cada sector se examina en un gráfico de dispersión que compara con un rezago (el período $t-1$), lo que permite mapear la evolución de la influencia de la energía en las ganancias y determinar si hay un crecimiento más pronunciado o una contracción.

El primer análisis que debemos llevar a cabo es uno general. Al observar los datos, notamos que no ha habido movimientos significativos entre los sectores; todos están agrupados de manera adecuada en sus respectivos clústeres. Una de las observaciones principales es la falta de eficiencia en el sector del transporte, el cual representa el mayor uso de energía, pero tiene una capacidad de capitalización mucho menor en comparación con los demás sectores. Se destaca un cambio notable en el año 2021, probablemente debido a las restricciones de movilidad implementadas por el gobierno del Ecuador, lo que resultó en un menor consumo de energía en ese período.

Otro hallazgo relevante es la baja tasa metabólica energética del sector primario, lo que sugiere un nivel limitado de adaptación a nuevas tecnologías y la ausencia de incentivos para el uso intensivo de la energía en este sector. Por otro lado, el sector secundario, que se esperaba que experimentara un mayor impulso y crecimiento según el plan de desarrollo 2009-2013, se muestra estancado en este análisis inicial.

Si bien este primer análisis no revela cambios significativos, es fundamental llevar a cabo un análisis más detallado de cada sector de manera individual para obtener una comprensión más precisa de las transformaciones implementadas y su impacto en el perfil metabólico general.

Ilustración 4.7 - Clúster sector productivo (PW) 2007 - 2021



Fuente: Elaboración propia

Los colores establecidos en los clústeres y su símbolo es una cuestión aleatoria no representa ningún articular. En el eje Y esta el EMR (MJ/H) y en el eje X ($\$/H$). En el caso de este primer clúster, se agruparon por sectores, el número 1 corresponde al transporte, un sector con un EMR alto pero un desempeño de la mano de obra bajo, El segundo grupo es el sector secundario, no tan intensivo en energía y con un desempeño bajo. El tercer grupo es el sector terciario, contrario a lo establecido por Giampietro et al. (2012) es ligeramente más intensivo en energía que el sector primario y tiene un mejor desempeño en términos de horas de actividad. Finalmente, el ultimo clúster corresponde al sector primario, siendo el sector con mejor desempleo y un EMR menor. Esto es contra intuitivo a lo que se observa en países del norte global.

En la primera ilustración, no se observan cambios significativos en los perfiles metabólicos, ya que no hay movimientos representativos entre sectores dentro de los clústeres o cambios en la figura de los clústeres en el eje Y . Por ejemplo, en el sector primario se puede evidenciar que en el eje X hay un cambio en el tiempo, la forma de ese clúster es amplia, no sucede lo mismo en ningún clúster en el eje Y a excepción de los efectos derivados de las restricciones de movilidad impuestas en Ecuador entre 2020 y 2021, las cuales afectaron el consumo en el sector del transporte. Para obtener una comprensión más precisa, es necesario realizar una evaluación más detallada de cada agrupación en la sección de clústeres por sector.

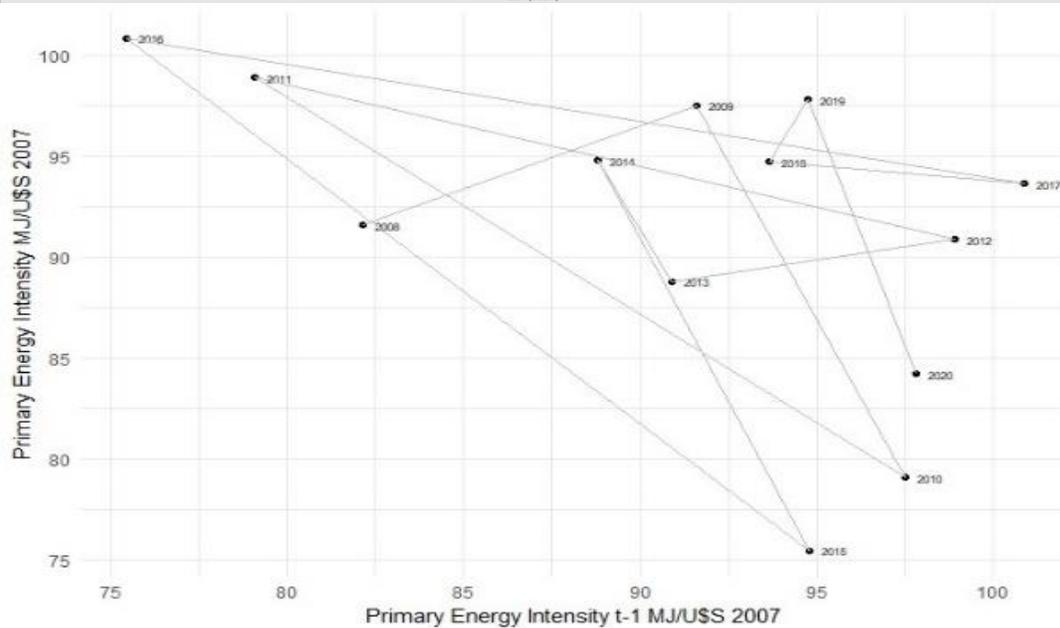
Es esencial concentrarse en analizar minuciosamente cada agrupación para identificar posibles tendencias o cambios sutiles que podrían no ser evidentes en una vista general. Este enfoque permitirá obtener una imagen más clara de la evolución de los perfiles metabólicos en cada sector y entender mejor los factores que impulsan dichos cambios.

Al profundizar en el análisis de cada agrupación, se podrán identificar patrones específicos y determinar si existen tendencias significativas que puedan ser indicativas de transformaciones en el perfil metabólico a lo largo del tiempo. Este análisis proporcionará una comprensión más completa y detallada de la dinámica socioeconómica.

Clústeres por sección

Sector transporte

Ilustración 4.8 - Evolución del sector transporte 2007 -2021



Fuente: Elaboración propia

Se observa un estancamiento en el sector energético, el cual se puede identificar mediante la posición de las medias con respecto al eje Y, evidenciando la falta de un movimiento claro en este aspecto. El análisis de las medias nos proporciona información crucial sobre cómo se están

comportando los indicadores de tasa metabólica (EMR) y productividad por hora de actividad humana (ELP). Los movimientos de las medias en los diferentes ejes del gráfico son indicativos del comportamiento general del clúster. Es importante destacar la densidad de datos alrededor de estas medias, con la excepción del año 2021, donde se registraron cambios significativos. Durante este año, se observó una disminución tanto en los ingresos generados por la actividad humana como en la tasa de metabolismo.

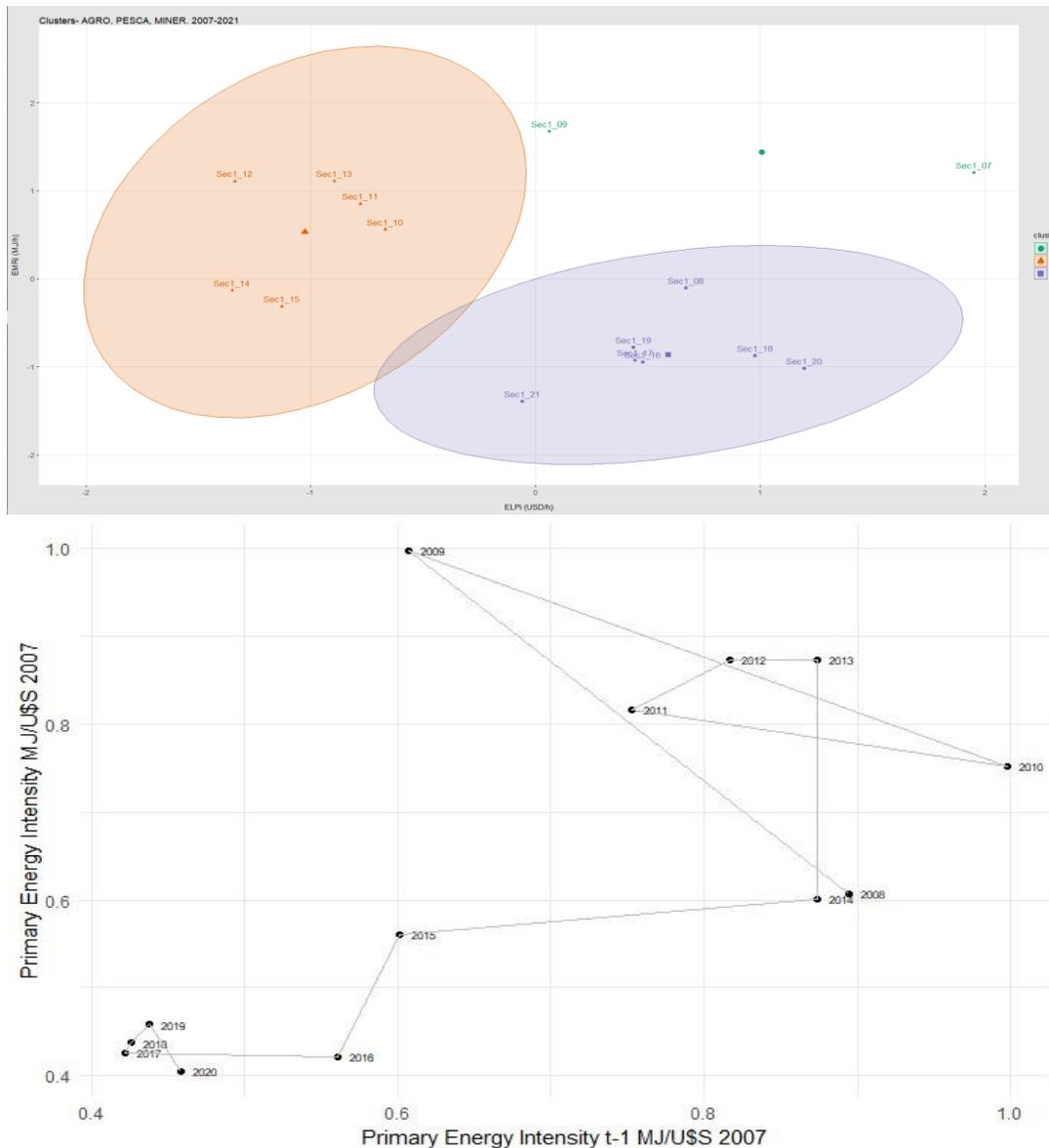
Es relevante resaltar que, en el sector del transporte, se evidenció una notable reducción tanto en los ingresos como en el consumo energético durante el año 2021. Esta tendencia se refleja también en la evolución de la intensidad energética en la economía, la cual alcanzó su punto máximo en 2016 y ha mostrado un declive constante desde entonces.

El año 2016 marca el inicio de cambios significativos, como se observa en el cuadro de dispersión, particularmente en términos de presupuesto. No obstante, la principal transformación sucede en el 2021, lo cual resulta comprensible a la luz de lo ocurrido a nivel económico en el contexto de la pandemia.

El gráfico de dispersión muestra que la intensidad energética en la economía (EEI) se mantiene en una suerte de espiral. No existe una transformación marcada en este caso. Uno de los puntos a resaltar respecto a este sector es que se mantiene un subsidio histórico al combustible fósil, principal energía. No existe una intención al cambio de tipo de energía usada o a una transformación profunda con nuevos medios de transporte. Iniciativas como el metro de Quito, pueden cambiar la tendencia presentada.

Sector primario (agricultura, pesca, ganadería y minería)

Ilustración 4.9 - Evolución del sector primario 2007 - 2021



Fuente: Elaboración propia

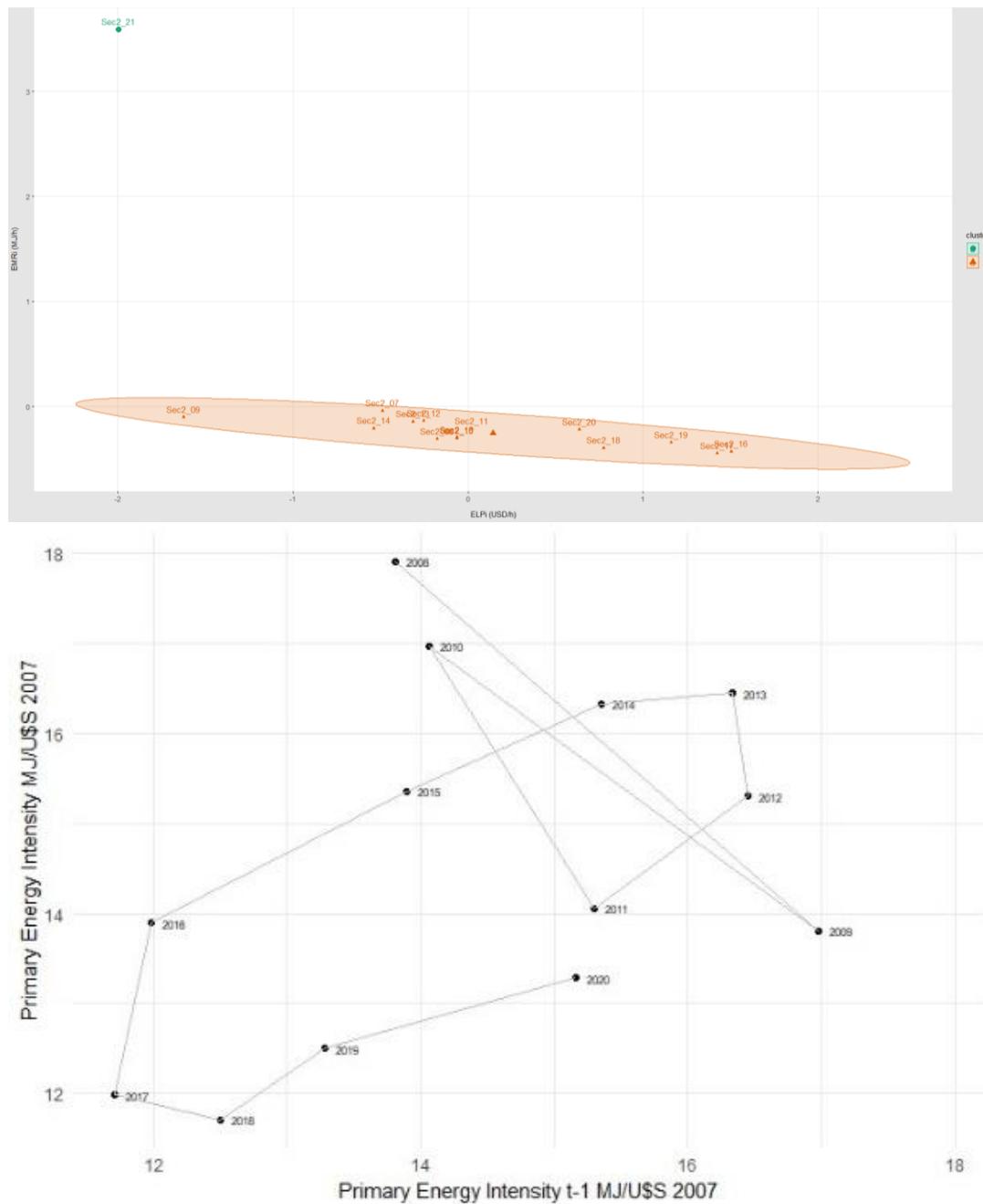
La evolución del sector primario presenta características notables que se pueden dividir en dos fases distintivas. La primera fase se caracteriza por una tasa metabólica elevada y un bajo rendimiento en las horas de actividad, mientras que la segunda fase muestra una disminución en la tasa metabólica, acompañada de un aumento en la eficiencia de la actividad humana.

Durante los años 2011 y 2014, se observan los picos más destacados en la tasa metabólica del sector primario, seguidos de una tendencia descendente a partir de 2015, que coincide con la mejora en el rendimiento de la actividad humana en dicho sector.

El análisis del gráfico de dispersión revela una progresiva disminución en la relevancia de la energía en comparación con el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) en el sector primario. Esta reducción se hace más evidente a partir de 2014, siguiendo la pauta del consumo energético a nivel nacional y los cambios observados en los indicadores económicos. Estos años coinciden con un cambio significativo en la inversión del sector energético y los ajustes políticos gubernamentales que afectan al sector energético, lo que sugiere una influencia considerable de factores externos en la dinámica energética y económica del sector primario.

Sector secundario (industria)

Ilustración 4.10 - Evolución del sector secundario 2007 -2021



Fuente: Elaboración propia

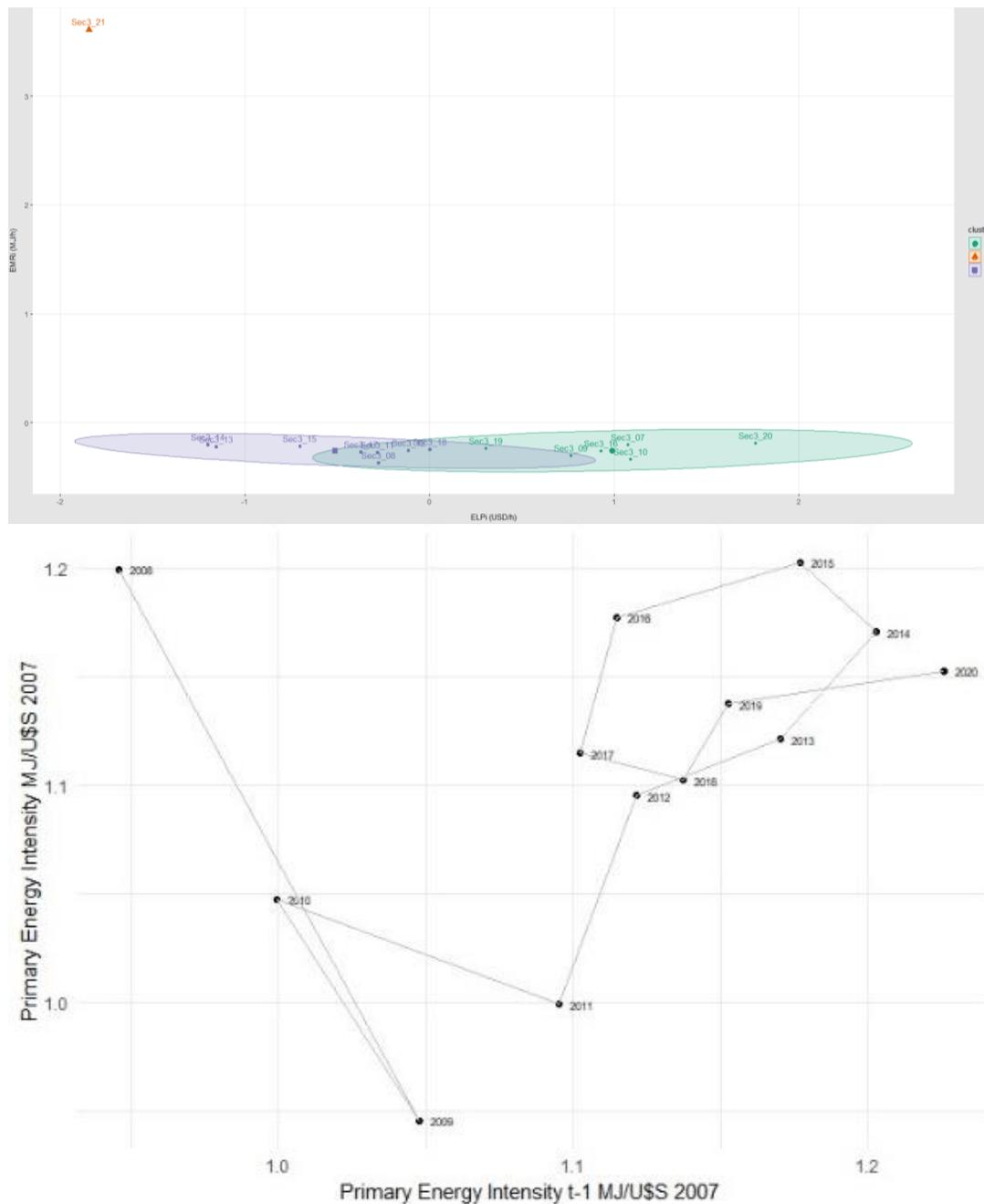
El análisis del comportamiento del sector industrial revela la presencia de dos conglomerados distintos, junto con un valor atípico. A diferencia de lo observado en el sector del transporte durante el año 2021, donde se identifica una tasa metabólica notablemente elevada debido a la disminución del flujo de fondos ocasionada por la pandemia, en el caso del sector industrial se

observa un incremento significativo en la tasa metabólica. Este fenómeno se atribuye al impacto de la crisis sanitaria, que se tradujo en un aumento del desempleo. Este aumento se refleja en el marcado incremento del Gasto Energético Metabólico (GEM) de 15,67 (MJ/h) a 73,56 (MJ/h). Cabe señalar que esta tasa metabólica se compara con la del sector del transporte; sin embargo, este valor sobresale del conjunto de datos. Al eliminar este valor atípico, se constata un deterioro en el rendimiento por hora de actividad, aunque no se observa un cambio sustancial en la tasa metabólica efectiva restante.

En cuanto a la intensidad energética en la economía, se observa un patrón divergente respecto al sector primario. A pesar de la tendencia a la baja en la intensidad energética desde 2013, se registra un aumento nuevamente a partir de 2018, aunque no alcanza los niveles más altos observados durante el período analizado. Este comportamiento contradice las expectativas previstas en los planes de desarrollo para los períodos 2009-2013 y 2013-2017, que preveían un incremento en la intensidad energética del sector industrial debido al desarrollo de industrias intensivas en energía. Asimismo, se esperaba que este sector aumentara su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) y su consumo energético.

Sector terciario (servicios)

Ilustración 4.11 - Evolución del sector terciario 2007 -2021



Fuente: Elaboración propia

El análisis desde la perspectiva del MuSiaSEM a nivel n-2 revela que el sector terciario no exhibe una intensa dependencia energética. Al ubicarlo en el primer clúster, se nota una falta de evolución temporal. Esta falta de evolución podría reflejar la complejidad y diversidad inherentes

al sector terciario, como señala María Giampietro en sus estudios sobre sistemas socioeconómicos.

Se distingue la formación de dos clústeres principales, uno abarcando todos los años y otro con una sola muestra, correspondiente a 2021. El año 2021 destaca nuevamente por una variación, con un aumento significativo en la tasa metabólica debido al creciente desempleo en este sector y una reducción del valor agregado de este sector, lo cual resalta la importancia de considerar las políticas públicas y su impacto en la resiliencia y adaptabilidad del sector terciario.

Se observa una tendencia decreciente en la tasa metabólica en el clúster, con el año 2021 como única excepción. También se aprecia una mejora en la productividad por hora de actividad humana, lo que sugiere un posible incremento en la eficiencia energética. Por otro lado, la intensidad energética en este sector muestra una tendencia ascendente desde 2009, lo cual contradice las tendencias previamente identificadas en los sectores.

A diferencia de sectores más intensivos como el productivo o el transporte, el sector terciario no impulsa el consumo de energía de manera representativa. Se nota un crecimiento en el valor agregado y en las horas de actividad, lo que sugiere la necesidad de analizar cómo se traduce este aumento en términos de consumo de energía y de impacto en el metabolismo social.

El ELP también incrementa, posiblemente debido al aumento en el producto interno bruto generado o a una reducción en la mano de obra. Sin embargo, se identifica una relación contradictoria, lo que sugiere la necesidad de analizar el segundo gráfico y considerar la relación entre intensidad energética, horas de actividad y valor agregado, como propone Giampietro, Mayumi, y Sorman (2012).

Al contrastar con el gráfico de dispersión, se observa que el incremento en la intensidad energética en el sector está relacionado con un aumento en las horas de actividad, lo que contribuye al crecimiento del valor agregado. Esta relación inversa con la tasa metabólica y la productividad de las horas evidencia de mejor forma, la relación entre el crecimiento del valor agregado y el consumo energético, un incremento en el empleo de este sector y una menor tasa metabólica.

En general, el sector terciario no muestra un deterioro, y se destaca que incluye al sector público, que experimentó un crecimiento marcado hasta 2014, posiblemente debido al impulso en servicios y comercio, un aspecto que resalta la importancia de considerar las políticas públicas en

la configuración de los sistemas socioeconómicos, como sugiere Giampietro en sus investigaciones sobre el impacto de las políticas públicas en el metabolismo social.

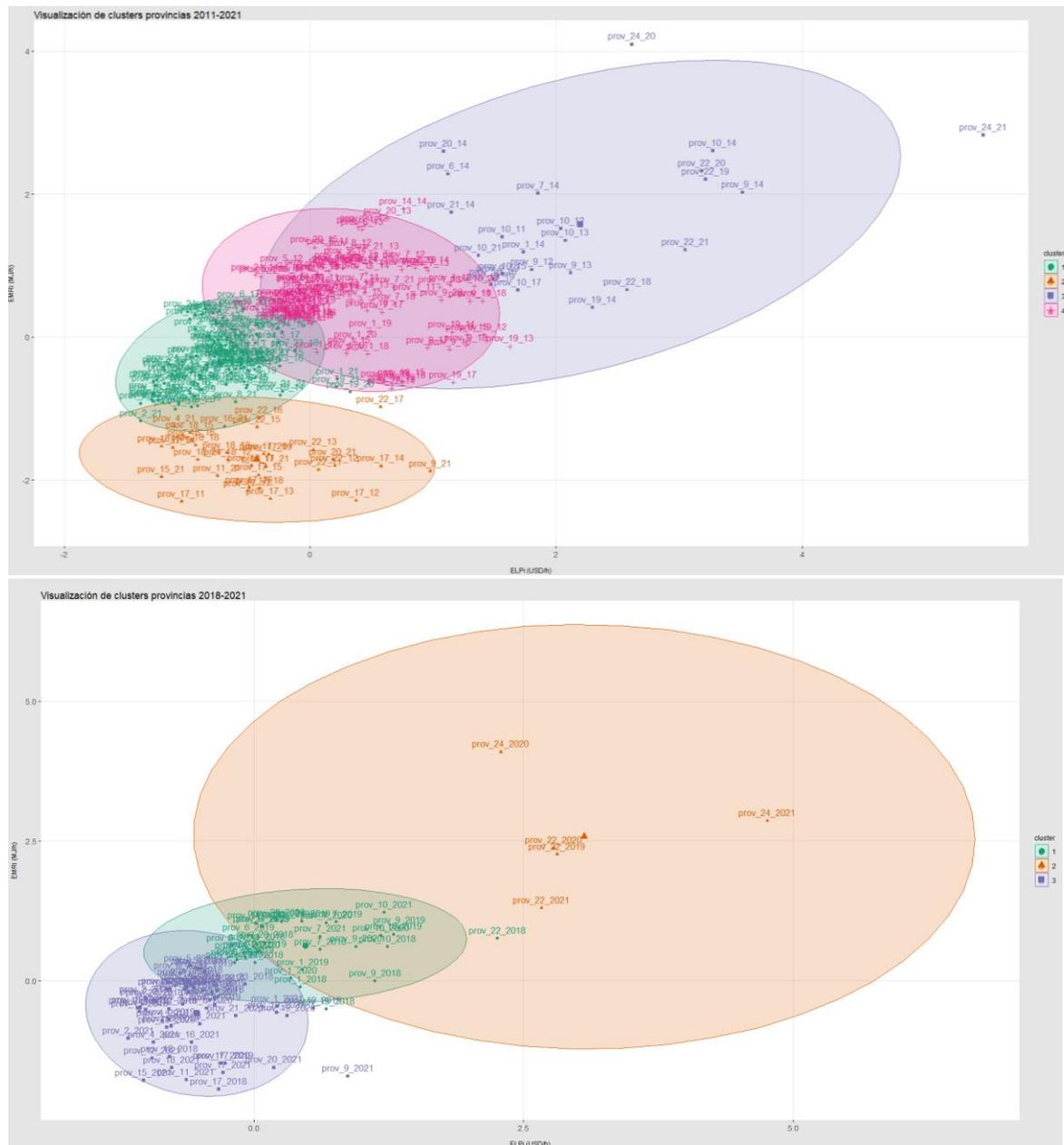
4.3.2. Análisis de hogares (HH)

El presente análisis se basa en una recopilación exhaustiva de datos desde el año 2011, momento crucial en el que se implementaron cambios normativos que centralizaron la obtención de datos. En el contexto de los hogares, el Metabolismo Socioeconómico (EMR) adquiere una relevancia dual: por un lado, se refiere a la disponibilidad energética en las distintas zonas geográficas; por otro lado, se relaciona con la capacidad de los hogares para aprovechar esa energía, considerando los equipos y recursos disponibles. Esta intersección juega un papel crucial en el bienestar de los hogares al garantizar el acceso a servicios básicos. De manera complementaria, es importante señalar que uno de los enfoques primordiales en los planes de desarrollo y en la constitución del país es la seguridad energética, la cual guarda una estrecha relación con la disponibilidad energética para los hogares.

Al examinar el conglomerado de todas las provincias durante el período comprendido entre 2007 y 2021, se identifican cuatro clústeres con una marcada intensidad energética y un PIB por hora de actividad más elevado, destacándose principalmente en los años 2011 y 2014, los cuales han sido identificados como puntos de inflexión en el desempeño y consumo energético del país. Posteriormente, se observa una reducción en la intensidad energética, fenómeno asociado a una contracción económica y una disminución en la inversión pública en energía, impactando tanto al sector productivo como a los hogares y manifestando así una evolución significativa en el perfil metabólico.

El gráfico adjunto exhibe el perfil metabólico final correspondiente al período 2018-2021, reflejando los cambios en los enfoques y políticas energéticas a lo largo de los distintos periodos definidos. Se evidencia una progresiva reducción en la agrupación de mayor intensidad energética, fenómeno atribuible al crecimiento desigual entre la población y el consumo de energía, así como a la falta de incentivos claros para su consumo y la reducción en la inversión pública. Para una comprensión más detallada de estas tendencias, se invita a consultar el Anexo 8.1, donde se comparan los demás periodos y se corroboran las observaciones de contracción y disminución de muestras en el clúster de mayor intensidad.

Ilustración 4.12 - Clúster (agrupación) por provincias y tiempo



Elaboración propia

Es importante destacar que, en el último período analizado, las provincias con mayor intensidad energética son aquellas con poblaciones más reducidas. Si bien se sugiere que el cambio tecnológico puede influir en el perfil metabólico de los hogares, se hace necesario recopilar evidencia adicional para validar esta hipótesis. No obstante, esta evaluación revela no solo una reducción en la intensidad energética, sino también una contracción económica, contradiciendo

así la expectativa de mejoras tecnológicas en los hogares y subrayando la complejidad del fenómeno analizado. “El perfil la tasa metabólica exosomática (EMR) en el caso de hogares se puede entender como nivel de vida (material) de un hogar” (Tejedor-Flores, Vicente-Galindo, y Galindo-Villardón 2017, 15) Se puede entonces concluir que existió un empeoramiento en el estándar material de vida de las familias, esto se vincula al deterioro en el PIB sobre actividad humana.

Conclusiones

Las reformas introducidas en el ámbito normativo y constitucional tenían como objetivo establecer una transformación continua en el sector energético. Esta iniciativa pretendía cambiar la percepción de la energía, así como centralizar su planificación y gestión, junto con la inversión en proyectos y mantenimiento entre 2007 y 2021. Estos esfuerzos han impulsado una evolución en los indicadores del sector energético del país, evidenciada en diferentes momentos del período analizado, donde se observó un aumento en el consumo, una mayor tasa metabólica y una reducción en las pérdidas del sector. Sin embargo, estos avances no se han mantenido a lo largo del tiempo.

Durante este período, a pesar de los avances en la diversificación de la matriz energética hacia fuentes renovables y en la mejora de la eficiencia energética, la dependencia en la explotación petrolera persiste. Esto se refleja en un marco regulatorio que favorece la extracción de materias primas, a pesar de que los planes de desarrollo han identificado la necesidad de cambiar la matriz productiva. No obstante, esta transformación no se ha traducido en una modificación real, al menos en términos de consumo energético. Para el análisis exhaustivo se utiliza el marco teórico de la economía ecológica.

En este contexto, el concepto de perfil metabólico adquiere una relevancia significativa, ya que ofrece una herramienta para comprender las complejas interacciones entre la sociedad y sus flujos. El perfil metabólico abarca desde la extracción hasta la utilización de recursos naturales, así como la generación de residuos. Al comprender cómo estos procesos influyen en la dinámica energética de un país, podemos identificar los puntos críticos que requieren intervención. El alcance del presente trabajo se enfoca en los flujos de uso final y la transformación de la sociedad a partir de los cambios previamente mencionados.

A lo largo del presente trabajo se comprende la transformación del perfil metabólico, identificando posibles patrones y vínculos desde la perspectiva de la economía ecológica y los modelos de flujos y fondos. Estas transformaciones permiten entender la utilización de recursos por parte de las distintas sociedades.

Resultados

Se evaluaron tres niveles de la sociedad ecuatoriana: el nivel n-0 correspondiente al país en su conjunto, el nivel n-1 que abarca el sector productivo y los hogares, y el nivel n-2 que se enfoca en los sectores económicos y los hogares según la distribución provincial. Estos análisis se llevaron a cabo considerando un marco temporal que abarca desde 2007 hasta 2021, período durante el cual se implementaron tres planes de desarrollo que trajeron consigo cambios significativos en la normativa y la política pública. Entre estos cambios, destacan la promulgación de una nueva constitución y modificaciones normativas relevantes. Además, es importante considerar el impacto de la pandemia del SARS-CoV-2, la cual generó cambios significativos en las dinámicas sociales.

Los cambios propuestos a nivel de política pública, junto con un aumento en el precio de las materias primas, permitieron la ejecución de una serie de proyectos e inversiones importantes. Estos esfuerzos se reflejan en un ligero cambio en la composición de la matriz energética, con una mayor incorporación de fuentes energéticas primarias sustentables. Asimismo, se realizaron inversiones en mejoras en la infraestructura de transmisión, la transformación de la energía primaria y la expansión de la cobertura de las estaciones energéticas. Todo esto estuvo acompañado por un cambio de paradigma, pasando de una competencia entre empresas eléctricas a una gestión más centralizada.

Durante un período de entre 7 y 8 años, estos esfuerzos se reflejaron en una mejora de los indicadores energéticos. Se desarrolló de nuevas fuentes primarias de energía, sin llegar a una diversificación ya que se sigue dependiendo mayoritariamente de combustibles fósiles y energía hidráulica. También se priorizó la inversión enfocada a las mejoras en la distribución viéndose reflejados en una mayor eficiencia. Sin embargo, a partir de 2014, se observa un cambio de tendencia, con muchos de estos indicadores volviendo a niveles similares a los de 2007 o, en algunos casos, incluso empeorando. Estos cambios coinciden con una reducción en la inversión pública y un nuevo enfoque respecto al sector energético establecido en el plan de desarrollo de 2013 a 2017.

Estas tendencias también se pueden observar en los diferentes niveles del MuSiaSEM. Se observa una fuerte relación entre el consumo energético y el PIB en Ecuador, pero no ocurre de la misma manera con los cambios en la población, los cuales parecen tener un impacto menor. En cuanto a la tasa metabólica, se observa un empeoramiento y cambios prácticamente nulos, lo cual

contradice lo establecido en los planes de gobierno. A nivel de hogares y trabajo, se puede observar una situación similar, con cambios poco notables en el tiempo y una transformación significativa en 2021, presumiblemente debido a los efectos de la pandemia.

A nivel n-2, la transformación tampoco es representativa. Todos los sectores, excepto el sector terciario, muestran una tendencia negativa, con un efecto diferente en 2021. Mientras que el sector transporte experimenta una reducción tanto en su productividad como en su tasa metabólica debido a la caída del empleo y del consumo energético, el sector secundario o terciario experimenta un crecimiento debido a una marcada disminución en el empleo. Además, se observa que, en los sectores más intensivos en energía, como el sector secundario y el transporte, la intensidad energética (ELP) disminuye. Esto parece ser independiente de los cambios en la política pública, pero se evidencia una relación con la inversión pública en el sector.

Los cambios estructurales y normativos parecen no mantener la transformación del metabolismo socioeconómico en Ecuador; por el contrario, se observa una fuerte dependencia de la inversión pública. Al mismo tiempo, esta inversión pública está estrechamente relacionada con los shocks externos que afectan los precios de las materias primas. En conclusión, contrario a lo establecido, cambios en la matriz energética y el cambio en normativas, no cambiaron el perfil metabólico.

Se requiere realizar un estudio más amplio en términos temporales y contrastar la inversión en el sector energético con los precios de las materias primas para poder ampliar esta conclusión.

Política pública

Se requiere una inversión sostenida tanto en energías limpias, para tener una mayor seguridad, como en la transmisión para garantizar acceso eficiente. Ecuador sigue teniendo una fuerte dependencia de dos fuentes de energía primaria principales por lo cual shocks externos y el cambio climático pueden seguir siendo factores de riesgo para el correcto uso de este insumo.

El sector energético debe seguir siendo un eje centralizado, pero se debe identificar nuevamente los incentivos que se están implementando a nivel político. Se destaca que la transformación parcial o nula es un factor que afecta el índice metabólico de la energía. Las agrupaciones pueden ayudar a la construcción de incentivos más efectivos para los diferentes sectores económicos, así como una estrategia más efectiva de distribución por provincias. Sectores que son altamente ineficientes como el transporte requiere una especial atención, se debe identificar por un lado la

mejora en los ingresos del sector, pero también el cambio en los “órganos externos”. Sectores como el de agricultura por su lado, pese a incrementar la productividad de su mano requiere una mayor innovación, es un sector intensivo en mano de obra, pero su intensidad energética no va en aumento, posiblemente se deba a la casi nula innovación que existe en este sector.

Finalmente, a nivel de provincias y hogares se identifica la reducción de la intensidad en muchas provincias. Se debe identificar cual es el motor de ese cambio por medio de una investigación de energía útil. Una razón puede ser el cambio de equipos a unos mucho más eficientes mientras que también puede existir un problema en la distribución. La inversión en la distribución es clave si se busca ser más eficiente.

Recomendaciones sobre la investigación

Las recomendaciones finales de la tesis pueden mejorar en varios aspectos para proporcionar una guía más clara y concreta para futuras investigaciones:

1. Ampliación temporal y datos adicionales: Se sugiere ampliar el marco temporal de la evaluación y completar la serie de datos con información adicional que no estaba disponible en el momento de este estudio. Para una comparación más sólida, se podría complementar el análisis con un modelo de series temporales que permita identificar la causalidad entre el PIB, la inversión, los indicadores energéticos y los precios de las materias primas del mercado.
2. Metodología de energía útil y matrices insumo producto: Además, se podría considerar la incorporación de la metodología de energía útil para comprender mejor los cambios en el consumo de energía a lo largo del tiempo, aunque este enfoque podría tener limitaciones debido a sus costos. Asimismo, combinar el análisis con matrices insumo producto podría ayudar a visualizar de manera más clara las interacciones entre los diferentes sectores de la economía.
3. Identificación del ciclo y sostenibilidad del sector energético: Es importante recopilar más datos para identificar el primer ciclo de la gramática MuSiaSEM y su relación con la transformación de la energía y la extracción de recursos naturales. Aunque esta tarea no fue central en el estudio actual, podría ser fundamental para evaluar la sostenibilidad del sector energético en Ecuador y para informar la elaboración de nuevas políticas de desarrollo energético.

4. Impacto y transformación: Es esencial destacar que este estudio no busca identificar un impacto causal, sino comprender la naturaleza de la transformación en el perfil metabólico del país. Por lo tanto, las conclusiones obtenidas representan un avance significativo en la comprensión del comportamiento del perfil metabólico en un país del sur global con una economía extractivista. Estos hallazgos podrían ser de gran utilidad para informar futuras políticas de desarrollo energético y promover la sostenibilidad del sistema.

Al implementar estas recomendaciones, se podrían obtener resultados más sólidos y completos que contribuyan de manera significativa al avance del conocimiento en el campo de la energía y el desarrollo sostenible

Referencias

- Arbex, Marcelo, y Fernando S. Perobelli. 2010. "Solow meets Leontief: Economic growth and energy consumption". *Energy Economics* 32 (1): 43–53.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.05.004>.
- Banco Central de Ecuador. 2019. "Reporte del sector petrolero".
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ASP201906.pdf>. 2019.
"Reporte Del Sector".
- Banco Mundial. 2023. "Población, total - Ecuador".
<https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?locations=EC>. 20 de diciembre de 2023
- Barrera, Mariano Alejandro. 2011. "La diversificación de la matriz energética, un debate pendiente". *Voces en el Fénix*, enero de 2011.
- Cadillo Benalcazar, Juan José. 2015. "El Uso de la gramática del MuSIASEM para el análisis cuantitativo de la sostenibilidad de los sistemas alimentarios". Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. <https://ddd.uab.cat/record/148803>.
- Cardenas, Gerónimo. 2011. "Matriz energética argentina. Situación actual y posibilidades de diversificación". *Revista Bolsa de comercio de Rosario*, 2011. <https://bcr.com.ar/es/sobre-bcr/revista-institucional/noticias-revista-institucional/matriz-energetica-argentina>.
- Constitución de la República del Ecuador. 2008. Registro oficial N° 449.
- Costanza, Robert, Lisa Wainger, Carl Folke, y Karl-Göran Mäler. 1993. "Modeling Complex Ecological Economic Systems: Toward an Evolutionary, Dynamic Understanding of People and Nature". En *Ecosystem Management*, 148–63. New York, NY: Springer New York.
https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1_15.
- Dafermos, George, Panos Kotsampopoulos, Kostas Latoufis, Beatriz Rivela, Paulino Fausto, Pere Ariza-Montobbio, Jesús Lopez-Villada, y Ioannis D Margaritis. 2015. "Energía: conocimientos libres, energía distribuida y empoderamiento social para un cambio de matriz energética". En *Buen Conocer – FLOK Society. Modelos sostenibles y políticas públicas para una economía social del conocimiento común y abierto en el Ecuador*, editado por David Vila-Viñas y Xabier Barandiaran, 431–76. IAEN - CIESPAL.
- Falconi, Fander. 2005. "La construcción de una macroeconomía con cimientos ecológicos". En *Asedios a lo imposible. Propuestas económicas en construcción*, editado por Alberto Acosta y Fander Falconí.
- Fischer-Kowalski, Marina. 1997. "Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star". En *The International Handbook of Environmental Sociology*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781843768593.00015>.
- Fischer-Kowalski, Marina, y Helmut Haberl. 1993. "Metabolism and colonization. Modes of production and the physical exchange between societies and nature." *Innovation: The European Journal of Social Science Research* 6 (4): 415–42.
<https://doi.org/10.1080/13511610.1993.9968370>.
- Fischer-Kowalski, Marina, y Helmut Haberl. 2000. "El metabolismo socioeconómico". *Ecología Política*, 19–23. <http://www.jstor.org/stable/20743069>.
- Funtowicz, Silvio, y Jerome Ravetz. 2000. *La Ciencia Posnormal*. Centro EDITOR de América Latina.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. 1986. "The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect". *Eastern Economic Journal* 12 (1): 3–25.
- Giampietro, M, K Mayumi, y J Ramos-Martin. 2009. "Two conceptual tools for multiscale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSiaSEM): "multipurpose

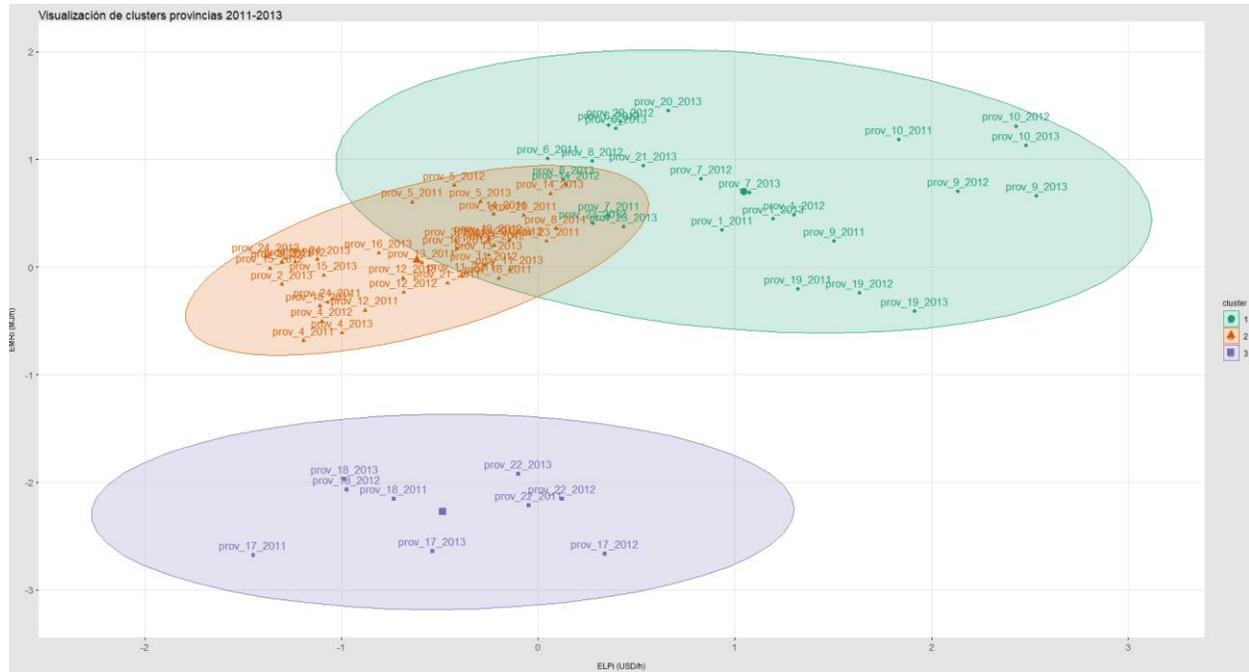
- grammars” and “impredicative loop analysis””. En *What lies beyond reductionism? Taking stock of inter-disciplinary research in ecological economics*, editado por KN Farrell, S Hove, y T Luzzati. London: Routledge.
- Giampietro, Mario. 1994. “Using hierarchy theory to explore the concept of sustainable development”. *Futures* 26 (6): 616–25. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(94\)90033-7](https://doi.org/10.1016/0016-3287(94)90033-7).
- Giampietro; Mario, Kozo Mayumi, y Alevgül Sorman. 2012. *The Metabolic Pattern of Societies Where Economists Fall Short*.
- Gibson, Eleanor, by Anne Pick. 2000. *An Ecological Approach to Perceptual Learning and Development*. Oxford University Press.
- González, Ana C, Sergio Sastre, y Jesús Ramos. 2015. “El metabolismo socioeconómico de Cataluña, 1996-2010”. En *El metabolismo económico regional español*, editado por Óscar Carpintero, 499–543. Madrid: FUHEM Ecosocial.
- Gostkowski, Michał, Tomasz Rokicki, Luiza Ochnio, Grzegorz Koszela, Kamil Wojtczuk, Marcin Ratajczak, Hubert Szczepaniuk, Piotr Bórawski, y Aneta Bełdycka-Bórawska. 2021. “Clustering Analysis of Energy Consumption in the Countries of the Visegrad Group”. *Energies* 14 (18): 5612. <https://doi.org/10.3390/en14185612>.
- Kanungo, Tapas, David M. Mount, Nathan S. Netanyahu, Christine D. Piatko, Ruth Silverman, y Angela Y. Wu. 2004. “A local search approximation algorithm for k-means clustering”. *Computational Geometry* 28 (2–3): 89–112. <https://doi.org/10.1016/j.comgeo.2004.03.003>.
- Koestler, Arthur. 1967. *The Ghost in the Machine*. London: Hutchinson. Penguin Group.
- Kraft, John, y Arthur Kraft. 1978. “On the Relationship Between Energy and GNP”. *The Journal of Energy and Development* 3 (2): 401–3. <http://www.jstor.org/stable/24806805>.
- Lee, Chien-Chiang. 2005. “Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis”. *Energy Economics* 27 (3): 415–27. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.03.003>.
- Martinez-Alier, Joan, y Jordi Roca. 2013. *Economía ecológica y política ambiental*. 3a ed. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Ministerio de Energía y Minas. 2007. “Agenda Energética 2007-2011. Hacia un Sistema Energético Sustentable”.
- Ministerio de Energía y Minas. 2023. “HOJA DE RUTA DEL HIDRÓGENO VERDE EN ECUADOR”. Quito.
- Ministerio de Energía y Recursos No Renovables. 2019a. “Plan Maestro de Electricidad 2019-2027”. <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>.
- Ministerio de Energía y Recursos No Renovables. 2019b. “Proyecto eólico Villonaco 2 y 3”. <https://aeeree.org/wp-content/uploads/2019/08/villonacoEspaniol.pdf>.
- Morton, Oliver. 2007. *Eating the Sun How Plants Power the Planet*. Editado por HarperColins. New York: HarperColins Publishers.
- O’Neill, R. V., A. R. Johnson, y A. W. King. 1989. “A hierarchical framework for the analysis of scale”. *Landscape Ecology* 3 (3–4): 193–205. <https://doi.org/10.1007/BF00131538>.
- Quesada Rodríguez, Francisco. 2022. “Naturaleza y Metabolismo en Karl Marx: ¿Ecosocialismo?” *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica* 61 (159): 11–42.
- Ramos-Martín, Jesús, Sílvia Cañellas-Boltà, Mario Giampietro, y Gonzalo Gamboa. 2009. “Catalonia’s energy metabolism: Using the MuSiaSEM approach at different scales”. *Energy Policy* 37 (11): 4658–71. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.028>.
- Salazar, Gabriel, y B Panchi. 2014. “Análisis de la Evolución de la Demanda Eléctrica en el Ecuador Considerando el Ingreso de Proyectos de Eficiencia Energética”. *Revista Politécnica* 33 (1).

- Seidl, David. 2004. "Luhmann's theory of autopoietic social systems". *Munich Business Research* 2:1–28.
- Senplades. 2009. "Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013". Quito.
- . 2017. "Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021".
- Sieferle, Rolf Peter. 1982. *Der unterirdische Wald. Energiekrise und industrielle Revolution*. . 1a ed. Munich: C.H. Beck.
- sieLAC-OLADE. 2021. "Generación eléctrica por fuente". el 21 de marzo de 2021.
<https://sielac.olade.org/WebForms/BalanceEnergetico/Reportes/InfogramaEvolucionEnergeticosFlujos.aspx?or=605&ss=2&v=3>.
- Sorman, Alevgul H., y Mario Giampietro. 2013. "The energetic metabolism of societies and the degrowth paradigm: analyzing biophysical constraints and realities". *Journal of Cleaner Production* 38 (enero):80–93. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.059>.
- Soytas, Ugur, y Ramazan Sari. 2003. "Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets". *Energy Economics* 25 (1): 33–37.
[https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(02\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(02)00009-9).
- Starr, Thomas, y T.F.H Allen. 2017. *Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity*. 2a ed. University of Chicago Press.
- Toledo, Victor. 2013. "El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica". *Relaciones. Estudios de historia y sociedad* 34 (136).
- Urquijo Morales, Sergio. s/f. "Arena trasatlántica y otras historias del viento". *Revista Experimenta* 7. Consultado el 26 de junio de 2024.
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/experimenta/article/view/327417>.
- Vallejo, María Cristina. 2013. "Seguridad energética y diversificación en América Latina: el caso de la hidroenergía. Energetic security and diversification in Latin America: the case of hydroelectricity." *Retos* 3 (6): 152–69. <https://doi.org/10.17163/ret.n6.2013.03>.
- Velasco-Fernández, Raúl, Jesus Ramos-Martín, y Mario Giampietro. 2015. "The energy metabolism of China and India between 1971 and 2010: Studying the bifurcation". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 (enero):1052–66.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.065>.

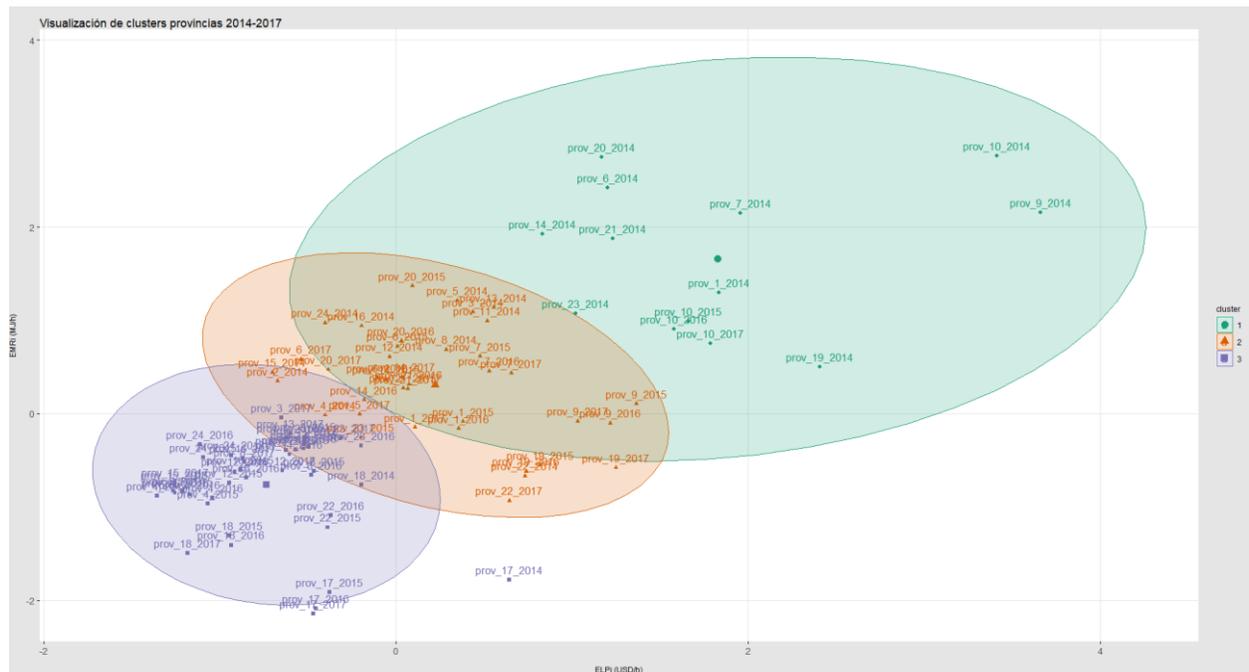
ANEXOS

Clústeres Provincias

Visión para provincias 2011-2013

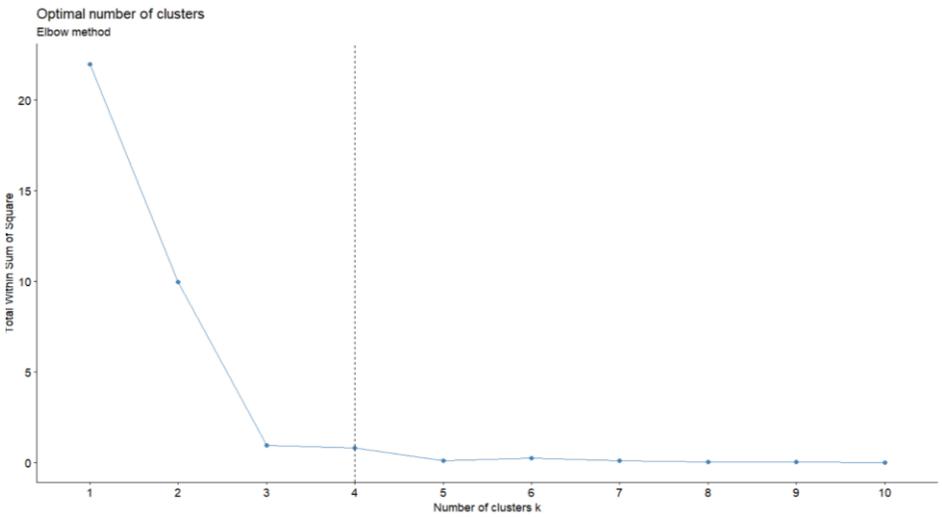


Visión para provincias 2014-2017

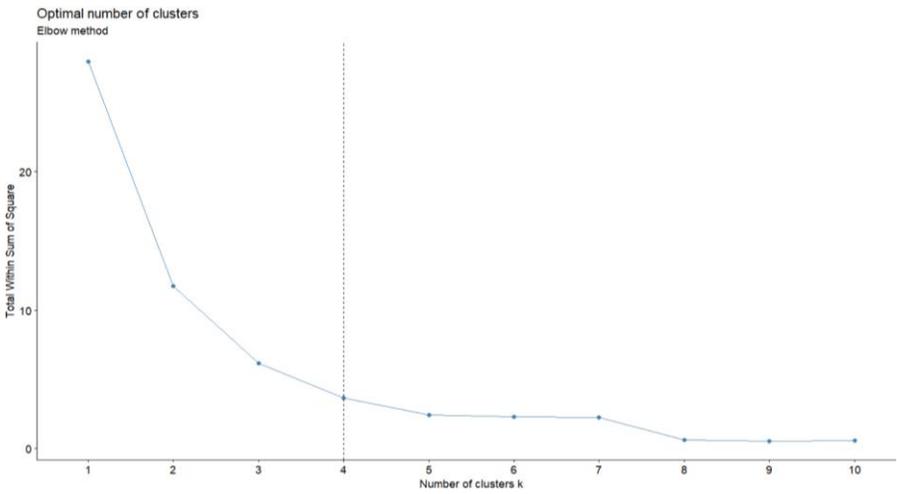


Selección de número de clústeres

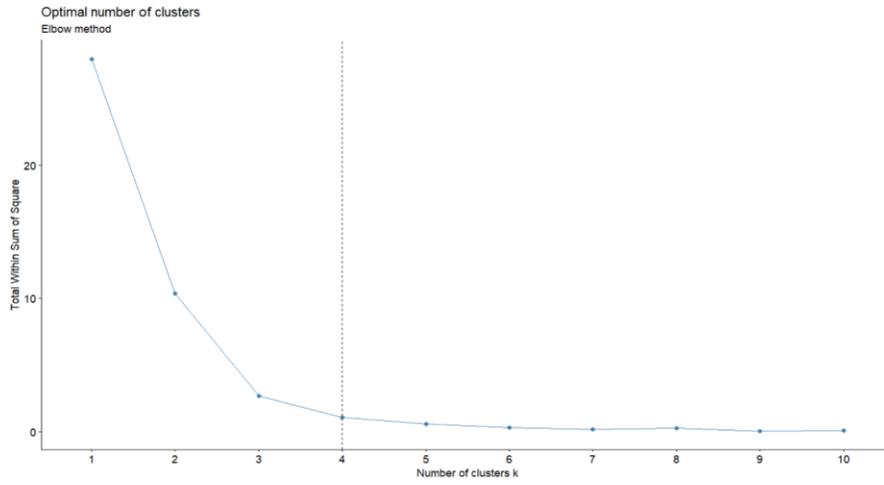
Todos los sectores productivos



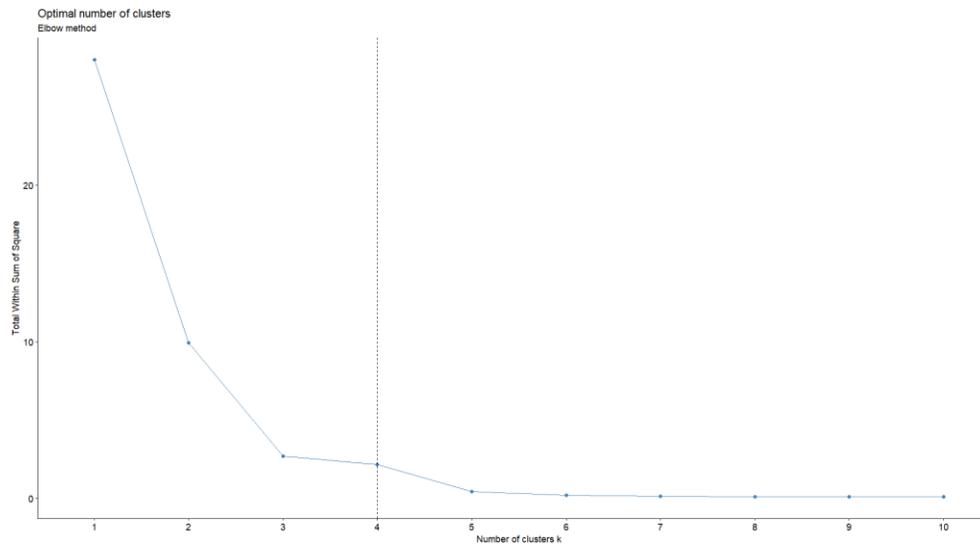
Sector agrícola



Sector industrial



Sector comercial y servicios públicos



Sector transporte

