



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“ANÁLISIS TÉCNICO DE LA EVOLUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN
ECUADOR DURANTE EL PERIODO 1990-2020 PARA EL ANÁLISIS DE
SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA AL 2050”.**

AUTOR: Wilson Daniel Labre Dias

TUTOR: Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS TÉCNICO DE LA EVOLUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN ECUADOR DURANTE EL PERIODO 1990-2020 PARA EL ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA AL 2050”**, elaborado por el Sr. Wilson Daniel Labre Dias, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805354311, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



.....
Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo **Wilson Daniel Labre Dias**, con C.I. 1805354311 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS TÉCNICO DE LA EVOLUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN ECUADOR DURANTE EL PERIODO 1990-2020 PARA EL ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA AL 2050”**. así como también análisis técnico, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



.....

Wilson Daniel Labre Dias

C.I. 1805354311

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental a parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regularizaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



.....
Wilson Daniel Labre Dias

C.I. 1805354311

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros de Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Wilson Daniel Labre Dias de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS TÉCNICO DE LA EVOLUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN ECUADOR DURANTE EL PERIODO 1990-2020 PARA EL ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA AL 2050”**.

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



.....
Ing. Santiago Paul Cabrera Anda, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. Escobar Luna Luis Eduardo, Mg
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi amada familia, en especial a mi padre Rodrigo Labre y Bertha Dias, cuyo apoyo y confianza incondicional han sido el motor que impulsó mis metas y sueños. Su paciencia durante los momentos difíciles, sus consejos para mi bienestar y su constante estímulo.

A mis compañeros y amigos con quienes he compartido inolvidables experiencias y de quienes he aprendido tanto. Su apoyo en este arduo camino académico ha sido fundamental; su presencia ha sido un regalo invaluable, proporcionándome constante fortaleza y consuelo en los momentos de dificultad. Juntos hemos enfrentado desafíos y celebrados logros, construyendo recuerdos que atesoraré para siempre.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios, cuyo amor eterno y sabiduría divina han sido la luz que ha guiado mis pasos en este trayecto académico, fortaleciéndome para vencer desafíos y alcanzar este significativo logro.

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, así como a los respetados docentes que generosamente compartieron su vasto conocimiento, contribuyendo así a mi formación como profesional.

Agradezco al Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg. por su invaluable orientación y apoyo como tutor de esta tesis.

Agradezco a mis amigos y compañeros quienes me brindaron su ayuda en la carrera.

Esta tesis ha sido desarrollada con el modelo DENSUS de la Universidad Politécnica de Valencia, aplicado al Ecuador por el Dr. Ángel Pérez Navarro y el Dr. Diego Moya-Pinta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
RESUMEN EJECUTIVO.....	XIX
ABSTRACT.....	XX
1. CAPITULO I.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	3
1.3. Fundamento teórico	4
1.3.1. Ecuador.....	4
1.3.2. La energía.....	4
1.3.3. Recursos Energéticos	5
1.3.3.1. Hídrico.....	5
1.3.3.2. Solar	5

1.3.3.3.	Eólico.....	6
1.3.3.4.	Biomasa.....	6
1.3.3.5.	Petróleo.....	6
1.3.4.	Escenarios energéticos.....	8
1.3.4.1.1.	Orientación de políticas publicas.....	8
1.3.4.1.2.	Enfoque en las oportunidades del sector energético.....	8
1.4.	<i>Objetivos</i>	10
1.4.1.	Objetivo General.....	10
1.4.2.	Objetivos específicos.....	10
1.5.	<i>Planteamiento de hipótesis</i>	10
1.5.1.	Variable independiente.....	10
1.5.2.	Variable dependiente.....	10
2.	CAPITULO II.....	11
2.1.	<i>Materiales y equipos</i>	11
2.1.1.	Materiales.....	11
2.1.2.	Equipos.....	11
2.2.	<i>Métodos</i>	12
2.2.1.	Estrategias de recopilación de datos.....	12
2.2.2.	Estrategias de procesamiento y análisis de datos.....	12
2.2.3.	Recolección de datos.....	14
2.2.3.1.	Datos históricos de la demanda de energía por sector, Ecuador 1990 – 2020.....	14
2.2.3.1.1.	Sector Transporte.....	14

2.2.3.1.2.	Sector Industrial	15
2.2.3.1.3.	Sector Residencial	15
2.2.3.1.4.	Sector de Comercio y Servicios Públicos	16
2.2.3.1.5.	Sector Agricultura y Pesca	17
2.2.3.1.6.	Generación de Electricidad	17
2.2.3.2.	Generación de recursos fósiles	18
2.2.3.3.	Emisividad de CO2 por cada fuente fósil	18
2.2.3.4.	Evolución de la población.....	19
2.2.4.	Apartado Matemático – Ecuaciones.	20
2.2.4.1.	Ecuaciones generales.	20
2.2.4.2.	Índice de sostenibilidad	21
2.2.4.3.	Factor de ponderación para la contribución de sostenibilidad	23
2.2.4.4.	Cálculos	24
2.2.4.4.1.	Demanda total de energía primaria	24
2.2.4.4.2.	Demanda fósil.	24
2.2.4.4.3.	Generación Fósil.....	25
2.2.4.4.4.	Emisiones debido a fuentes fósiles	26
2.2.4.4.5.	Parámetros de sostenibilidad.....	27
2.2.4.4.6.	Análisis de sostenibilidad de los datos disponibles	28
3.	CAPITULO III.....	31
3.1.	<i>CONSUMO ENERGÉTICO HISTÓRICO DE LOS SECTORES PRIMARIOS, ECUADOR 1990 – 2020</i>	31
3.1.1.	Oferta de energía primaria.....	31

3.1.2.	Oferta de petróleo	32
3.1.2.1.	Producción y exportación de petróleo crudo	32
3.1.2.2.	Consumo y exportación neta de productos derivados de petróleo.	34
3.1.3.	Oferta de las renovables	35
3.1.4.	Disponibilidad de energía primaria	36
3.2.	<i>TRANSFORMACIÓN Y USO FINALES DE LA ENERGÍA ECUADOR PERIODO 1990 - 2020..</i>	37
3.2.1.	Demanda de energía final por sector.	37
3.2.2.	Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector transporte.....	39
3.2.3.	Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector industrial.	40
3.2.4.	Contribución de energía para satisfacer la demanda del sector residencial.	42
3.2.5.	Contribución de energías para satisfacer la demanda del sector de servicios comerciales y públicos.	43
3.2.6.	Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de agricultura y pesca.	45
3.2.7.	Análisis de la demanda de energía por sector y por fuente en el año 2020.	46
3.2.8.	Energía eléctrica.....	47
3.2.8.1.	Demanda de electricidad	47
3.2.8.1.1.	Porcentaje de crecimiento anual en la última década por sector	48
3.2.8.2.	Generación de electricidad.	48
3.2.9.	Emisiones de CO2	49
3.2.10.	Evolución de los parámetros sostenibles	50
3.2.10.1.	Parámetros de sostenibilidad.....	50
3.2.11.	Análisis de sostenibilidad de los datos disponibles.....	52
3.3.	<i>DISEÑO DE ESCENARIOS ENERGÉTICOS.....</i>	53

3.3.1.	Escenario BAU	53
3.3.1.1.	Evolución de los parámetros de sostenibilidad - BAU	54
3.3.1.2.	Análisis de sostenibilidad – BAU.....	56
3.3.2.	Escenario sostenible	58
3.3.2.1.	Evolución de los parámetros sostenibles – SUST	58
3.3.2.2.	Análisis de sostenibilidad – SUST	61
3.4.	<i>ANÁLISIS TÉCNICO DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA AL 2050 EN ECUADOR</i>	62
3.4.1.	Resultados y Escenarios Proyectados	62
3.4.1.1.	Evolución de los sectores primarios, de transformación y usos finales de la energía.	64
3.5.	<i>Verificación de hipótesis</i>	74
4.	CAPITULO IV	75
4.1.	<i>Conclusiones</i>	75
4.2.	<i>Recomendaciones</i>	76
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	78
6.	ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas de equipo – software.....	11
Tabla 2. Datos históricos de la demanda de energía por el sector de transporte [14]- [15]. ..	15
Tabla 3. Datos históricos de la demanda de energía por el sector industrial [14]- [15].	15
Tabla 4. Datos históricos de la demanda de energía por el sector residencial [14]- [15].	16
Tabla 5. Datos históricos de la demanda de energía por el sector comercio y servicios públicos [14] - [15]	16
Tabla 6. Datos históricos de la demanda de energía por el sector agricultura y pesca [14]. ..	17
Tabla 7. Datos históricos de la demanda de energía para generación de electricidad [15]. ...	18
Tabla 8. Generación fósil [14] - [15].	18
Tabla 9. Emisividad de CO2 para cada fuente fósil y sector de demanda [16].	19
Tabla 10. Evolución de la población. [18]	20
Tabla 11. Factor de ponderacion para la sostenibilidad [20].	23
Tabla 12. Parámetros de sostenibilidad [20].	24
Tabla 13. Demanda total de energía primaria.	24
Tabla 14. Demanda de recursos fósiles.	25
Tabla 15. Generación fósil	26
Tabla 16. Emisiones debido a fuentes fósiles.....	26
Tabla 17. Cubrir las necesidades energéticas actuales.	27
Tabla 18. Dependencia externa.	28
Tabla 19. Minimizar el impacto ambiental	28

Tabla 20. Contribución a la evolución del índice de sostenibilidad.....	29
Tabla 21. Déficits o superávits para cada parámetro.....	29
Tabla 22. Evolución del índice de sostenibilidad.....	30
Tabla 23. Oferta de energía primaria por fuente, Ecuador 1990 – 2020 [14].	32
Tabla 24. Evolución del petróleo crudo [14].....	33
Tabla 25. Consumo y exportación neta de productos derivados de petróleo	34
Tabla 26. Contribución de las energías renovables, Ecuador 1990 - 2020.	36
Tabla 27. Energía per cápita.....	37
Tabla 28. Demanda de energía final por sector. Ecuador 1990 – 2020 [14].	39
Tabla 29. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector transporte [14].	40
Tabla 30. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector industrial.....	41
Tabla 31. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector residencial. ...	43
Tabla 32. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de servicios comerciales y públicos.....	44
Tabla 33. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de agricultura y pesca [14]......	45
Tabla 34. Demanda de energía por sector y por fuente en el año 2020.....	47
Tabla 35. Demanda de electricidad por sector [14]	47
Tabla 36. Porcentaje de crecimiento anual – Demanda eléctrica	48
Tabla 37. Contribución de las energías para la generación de electricidad.....	49

Tabla 38. Emisiones de CO2 por sector, Ecuador periodo 1990 – 2020.....	50
Tabla 39. Evolución de los parámetros de sostenibilidad	51
Tabla 40. Déficits o superávits para cada parámetro e índice de sostenibilidad	53
Tabla 41. Evolución de los parámetros de sostenibilidad - BAU.....	55
Tabla 42. Déficits o superávits para cada parámetro e índice de sostenibilidad - BAU	57
Tabla 43. Evolución de los parámetros sostenibles – SUST	59
Tabla 44. Déficits o superávits para cada parámetro e índice de sostenibilidad - SUST	61
Tabla 45. Factores de incremento de la demanda de fuentes primarias	64
Tabla 46. Datos de los sectores de mayor demanda de electricidad.	71
Tabla 47. Demanda de energía primaria	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concentración de centrales con fuente de energía renovable por provincia. Fuente [8].	7
Figura 2. Oferta de energía primaria por fuente, Ecuador 1990 – 2020.	32
Figura 3. Evolución del petróleo crudo.	33
Figura 4. Consumo y exportación neta de productos derivados de petróleo.	35
Figura 5. Contribución de las energías renovables, Ecuador 1990 – 2020.	36
Figura 6. Energía per cápita.	37
Figura 7. Demanda de energía final por sector, Ecuador 1990 – 2020	39
Figura 8. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector transporte.	40
Figura 9. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector industrial.	42
Figura 10. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector residencial.	43
Figura 11. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de servicios comerciales y públicos.	45
Figura 12. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de agricultura y pesca.	46
Figura 13. Demanda de electricidad por sector.	48
Figura 14. Contribución de las energías para la generación de electricidad.	49
Figura 15. Emisiones de CO2 por sector, Ecuador 1990 - 2020.	50
Figura 16. Emisiones de CO2 per cápita.	51
Figura 17. Suministro de energía primaria per cápita.	52

Figura 18. Dependencia externa.....	52
Figura 19. Evolución de la sostenibilidad.....	53
Figura 20. Emisiones de CO2 per cápita – BAU	55
Figura 21. Suministro de energía per cápita – BAU	56
Figura 22. Dependencia externa – BAU.....	56
Figura 23. Evolución del índice de sostenibilidad - BAU	57
Figura 24. Evolución del factor de sostenibilidad CO2 en escenario SUST.....	60
Figura 25. Evolución del factor de sostenibilidad <i>TPES/cap</i> en el escenario SUST.....	60
Figura 26. Evolución del factor de sostenibilidad Dependencia Externa en el escenario SUST.....	60
Figura 27. Evolución del índice de sostenibilidad en escenario SUST.....	62
Figura 28. Evolución de la población y la demanda de energía primaria	62
Figura 29. Demanda de petróleo	63
Figura 30. Demanda de Gas Natural.....	63
Figura 31. Demanda de Renovables.	64
Figura 32 Evolución de la demanda en la generación de electricidad.	65
Figura 33. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda de para la generación de electricidad.....	65
Figura 34. Evolución de la demanda del sector Transporte.	66
Figura 35. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector Transporte.	66
Figura 36. Evolución de la demanda del sector Industrial.	67

Figura 37. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector Industrial.	67
Figura 38. Evolución de la demanda del Sector Residencial.	68
Figura 39. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector Residencial.	68
Figura 40. Evolución de la demanda del Sector Comercio y Servicios Públicos.	69
Figura 41. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector Comercio y Servicios Públicos.	69
Figura 42. Evolución de la demanda del Sector Agricultura y Pesca.	70
Figura 43. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector de Agricultura y Pesca.	70
Figura 44. Evolución de la demanda de electricidad.	71
Figura 45. Evolución de la demanda sectorial de electricidad.	72
Figura 46. Fuentes renovables en generación de electricidad.	72
Figura 47. Emisiones de CO ₂	73
Figura 48. Emisiones de CO ₂ por sector -escenario sostenible.	73

RESUMEN EJECUTIVO

Durante las tres décadas 1990 – 2020, el país experimentó un aumento en la diversificación de su matriz, incorporando fuentes renovables como la hidroeléctrica y la eólica, aunque aún depende considerablemente de combustibles fósiles; en la transición hacia un escenario sostenible al 2050, se destaca la importancia de equilibrar el crecimiento económico, la seguridad energética y la reducción de emisiones. La clave reside en adoptar tecnologías emergentes, fomentar la investigación, mejorar la gobernanza y analizar la sostenibilidad de la matriz energética.

El estudio en Ecuador para 1990-2020 presenta dos escenarios prospectivos, BAU y SUST, que exploran futuros escenarios considerando variables económicas, sociales y ambientales hasta 2050. El Escenario BAU proyecta una continuación de las tendencias actuales, con una predominancia de fuentes de energía convencionales y una limitada integración de tecnologías limpias, reflejando un crecimiento económico tradicional y dependencia persistente de combustibles fósiles; el Escenario Sostenible (SUST) busca una transición acelerada hacia energías renovables y una significativa reducción de emisiones de gases de efecto invernadero enfocándose en la adopción masiva de tecnologías limpias para cumplir con compromisos internacionales sobre cambio climático.

El diseño de estos escenarios pretende proporcionar una visión clara de las posibles trayectorias futuras y sus implicaciones, facilitando la toma de decisiones informadas a nivel gubernamental, empresarial y comunitario. Es esencial tener en cuenta que la implementación efectiva de cualquiera de estos escenarios requerirá una colaboración estrecha entre el sector público, privado y la sociedad civil, así como una gestión cuidadosa de los impactos socioeconómicos asociados a la transición hacia la sostenibilidad.

Palabras clave: Matriz energética, BAU, Escenario Sostenible, SUST, Sostenibilidad

ABSTRACT

During the three decades from 1990 to 2020, the country experienced an increase in the diversification of its energy matrix, incorporating renewable sources such as hydroelectric and wind power, although it still relies considerably on fossil fuels. In the transition towards a sustainable scenario by 2050, the importance of balancing economic growth, energy security, and emissions reduction is highlighted. The key lies in adopting emerging technologies, promoting research, improving governance, and analyzing the sustainability of the energy matrix.

The study in Ecuador for the period 1990-2020 presents two prospective scenarios, BAU and SUST, exploring future scenarios considering economic, social, and environmental variables until 2050. The BAU Scenario projects a continuation of current trends, with a predominance of conventional energy sources and limited integration of clean technologies, reflecting traditional economic growth and persistent dependence on fossil fuels. On the other hand, the Sustainable Scenario (SUST) seeks an accelerated transition towards renewable energies and a significant reduction in greenhouse gas emissions, focusing on the widespread adoption of clean technologies to meet international commitments on climate change.

The design of these scenarios aims to provide a clear vision of possible future trajectories and their implications, facilitating informed decision-making at the governmental, business, and community levels. It is essential to consider that the effective implementation of any of these scenarios will require close collaboration between the public, private sectors, and civil society, as well as careful management of the socio-economic impacts associated with the transition towards sustainability.

Keywords: Energy matrix, BAU (Business as Usual), Sustainable Scenario, SUST, Sustainability

1. CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

El constante incremento en la demanda de energía, sus correspondientes costos, y las repercusiones asociadas al calentamiento global representan una significativa problemática a nivel global. La creciente demanda energética y sus costos estimulan el avance de fuentes alternativas, especialmente la energía fotovoltaica, reduciendo los costos asociados a la producción eléctrica convencional [1]. La transición hacia fuentes de energía renovable, como la solar, se perfila como un paso crucial para mitigar los desafíos actuales del sector, abriendo camino a un futuro sostenible.

Ecuador, beneficiado por su riqueza en recursos naturales, ha experimentado un incremento significativo en la capacidad de generación de energía eléctrica en la última década. Durante este periodo, se han ejecutado proyectos orientados hacia la consecución de una independencia energética, con el objetivo de potenciar la productividad nacional y fortalecer la economía del país [1]. El impulso hacia una independencia energética en Ecuador, mediante proyectos innovadores y una mayor capacidad de generación eléctrica, promete potenciar la productividad y fortalecer la economía nacional.

Las hidroeléctricas han sido proyectos preeminentes al obtener energía de fuentes renovables y eco amigables. No obstante, Ecuador podría mejorar su matriz energética con una combinación equilibrada de fuentes, como paneles solares en hogares, granjas solares, plantas eólicas y de biogás. La implementación de estas tecnologías diversificadas podría satisfacer la totalidad de la demanda eléctrica del país con recursos renovables, marcando un hito en Sudamérica [1]. La diversificación de tecnologías energéticas, como paneles solares, granjas solares, plantas eólicas y de biogás, podría llevar a Ecuador a alcanzar una autosuficiencia eléctrica sostenible, destacándose en Sudamérica.

Durante el periodo 2012 – 2022, Las fuentes de energía renovable han contribuido menos en la producción de energía primaria en contraste con las fuentes de energía provenientes de combustibles fósiles. Sin embargo, la producción de energía renovable aumentó un 65,9%, principalmente debido a la incorporación de centrales hidroeléctricas durante ese lapso [2]. Aunque en un principio contribuyeron menos, las energías renovables experimentaron un aumento significativo, principalmente gracias a las centrales hidroeléctricas, mostrando un progreso clave hacia la sostenibilidad energética.

En Ecuador, el desarrollo energético ha seguido patrones históricos globales, desde el uso inicial de recursos naturales como madera, carbón, agua y viento, hasta la adopción de tecnologías energéticas avanzadas [3]. La transición hacia fuentes de energía con bajo contenido de carbono, incluyendo renovables, asegura un desarrollo económico sostenible y responsable para la actual y futuras generaciones [4]. La adopción de energías de bajo carbono garantiza un desarrollo económico sostenible y responsable para las generaciones presentes y futuras.

Las políticas de eficiencia energética a largo plazo se impulsan por la seguridad del suministro, la competitividad económica y los problemas ambientales. El uso efectivo de la energía promueve la equidad, eleva el nivel de vida, reduce los costos energéticos y facilita el acceso a servicios energéticos de calidad [4]. Las políticas de eficiencia energética mejoran la equidad, elevan el nivel de vida y aseguran acceso a servicios energéticos de calidad, abordando desafíos económicos, sociales y ambientales.

1.2. Justificación

La importancia de esta investigación radica en analizar los datos existentes de la matriz energética en Ecuador durante el periodo 1990 – 2020. Estos datos servirán para diseñar un escenario energético sostenible al año 2050 que incluya los ejes de sostenibilidad ambiente, sociedad y economía. Los datos estadísticos son fundamentales para una interpretación más precisa del progreso pasado, así como para mejorar los enfoques de planificación y la toma de decisiones relacionadas con políticas energéticas y proyectos futuros [5].

Los países de América Latina y el Caribe cuentan con recursos energéticos abundantes y variados como el petróleo, gas natural, carbón, biomasa y otros recursos renovables. Sin embargo, estos recursos no siempre están distribuidos de manera equitativa en la región[6]. Ecuador durante el periodo 1990 – 2020, la oferta de energías primarias fue de gas natural, biocombustibles y residuos, hidroenergías y petróleo. Siendo este último recurso uno de los que mayor demanda obtuvo alcanzando para el año 2020 una participación del 78% (observe la Tabla 23).

El sistema energético se encarga de proveer energía para satisfacer un conjunto de actividades de producción dentro del sistema socioeconómico [5]. Según esto los datos detallados en la Tabla 23 muestran que el Ecuador sigue dependiendo en gran medida de los hidrocarburos. Este enfoque exclusivo en fuente petrolífera limitó la exploración de fuentes renovables de energía, las cuales, a diferencia de los hidrocarburos, tienen el potencial de ser sostenibles a largo plazo[6].

1.3. Fundamento teórico

1.3.1. Ecuador

Ecuador, debido a su posición geográfica, ubicada entre 1°20'N y 5°S, Ecuador exhibe una variada gama de climas y microclimas. Se caracteriza por sus cuatro regiones naturales distintivas, determinadas por sus condiciones climáticas y geográficas. Estas regiones son la Costa, Sierra, Oriente y la Región Insular, que incluye las Islas Galápagos. La posición geográfica de Ecuador le otorga un papel crucial a la latitud, ya que influye de manera significativa en la cantidad de luz solar que recibe durante todo el año [7]. Asimismo, cuenta con temporada de invierno, que abarca de diciembre a mayo, caracterizado por temperaturas cálidas y abundantes lluvias debido a la influencia del fenómeno de El Niño en el océano Pacífico.

1.3.2. La energía

El suministro de energía se origina a partir de diversas fuentes y puede experimentar distintas formas de transformación, almacenamiento y transporte. Se clasifica como fuente primaria aquella que se obtiene directamente de los recursos naturales en sus diversas manifestaciones, mientras que la energía resultante de la conversión de los recursos naturales se designa como fuente secundaria [8]. La diversidad en el suministro de energía, su transformación y clasificación en fuentes primarias y secundarias destaca la complejidad y la necesidad de gestionar eficientemente estos recursos naturales.

En un contexto más amplio, las fuentes de energía se dividen en renovables, cuyas reservas se regeneran indefinidamente, y no renovables, cuyas reservas son finitas y se agotan con el tiempo. Las fuentes de energía primaria abarcan tanto las no renovables, como el petróleo, carbón y gas natural, y las renovables, como la energía eólica, hidroeléctrica, solar y de biomasa. A nivel global, se observa un aumento constante en el consumo de energía secundaria, derivada de procesos de refinación de petróleo y generación eléctrica centralizada [8]. La clasificación de fuentes de energía en renovables y no renovables, junto con el creciente consumo de energía secundaria, refleja desafíos globales inminentes.

La urgencia de abordar la protección del medio ambiente se destaca en diversos foros internacionales, enfatizando la necesidad de adoptar fuentes renovables de energía como una solución eficaz y respetuosa con el entorno ante la degradación ambiental. La propia naturaleza provee los recursos para mitigar el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas terrestres. Gracias a la tecnología y la innovación, las energías renovables están surgiendo como la alternativa más sostenible, tanto desde una perspectiva ambiental como económica, para

impulsar nuestro mundo [9]. Este enfoque no solo beneficia el suministro actual de energía, sino que también preserva los recursos para las generaciones futuras.

1.3.3. Recursos Energéticos

Ecuador cuenta con diversos recursos renovables y no renovables, destacando los hídricos, solares, de biomasa y eólicos. Es crucial realizar una transformación profunda en su matriz energética. Esto implica priorizar el desarrollo de alternativas renovables no convencionales para reducir la dependencia de los hidrocarburos, mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y satisfacer la demanda nacional de energía. Por consiguiente, es esencial aumentar la presencia de fuentes como centrales eólicas, instalaciones fotovoltaicas y proyectos de biogás. Además, se debe impulsar la exploración y desarrollo de otros recursos energéticos, como la geotermia, cuyo potencial aún no se ha aprovechado completamente [8].

1.3.3.1. Hídrico

Ecuador dispone de gran potencial hidroeléctrico gracias a sus numerosas cuencas de drenaje, con un potencial teórico de 74.000 MW en 11 sistemas hidrográficos. Las vertientes Amazónica y del Pacífico destacan, sumando 21.500 MW[1]. En los últimos años, Ecuador ha invertido en diversas centrales hidroeléctricas para aprovechar su potencial exportador de energía limpia. En la última década, se construyeron 8 centrales, destacando Coca Codo Sinclair, con 1500 MW, con el objetivo ambicioso de cubrir entre el 85 % y 90 % de la demanda eléctrica nacional (Figura 1)[10]. Ecuador, con su gran potencial hidroeléctrico, ha invertido en centrales para aprovechar su capacidad exportadora de energía limpia, destacando la ambiciosa meta de cubrir el 85 % al 90 % de la demanda eléctrica nacional.

1.3.3.2. Solar

Ecuador, la posición geográfica única le confiere un acceso privilegiado a la radiación solar, presentando una incidencia casi perpendicular y constante a lo largo del año. Las características que garantizan un ángulo de incidencia constante confieren a las tecnologías fotovoltaicas y termo solares un potencial de aprovechamiento destacado y significativo. Se ha calculado que económicamente es factible generar entre 4 y 6 kWh/m² al día, y la media en Ecuador se sitúa en 4,57 kWh/m² diarios. Las regiones con una mayor exposición solar en Ecuador incluyen el suroeste (Loja y El Oro) y el norte de los Andes (Cotopaxi, Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas), superando ambas los 5,5 kWh/m² diarios [1]. Ecuador, con su posición geográfica única, experimenta una radiación solar privilegiada que garantiza un ángulo constante, potenciando tecnologías solares con un aprovechamiento significativo y viable económicamente.

1.3.3.3. Eólico

Las regiones andinas de Ecuador albergan la mayor cantidad de recursos eólicos, gracias a la altitud y la geografía que propician flujos de aire considerables. Se estima un potencial bruto de 1.670 MW a 3.500 m.s.n.m., con velocidades de viento superiores a 7 m/s [1]. Actualmente, Ecuador dispone de tres parques eólicos en operación: San Cristóbal (Galápagos) con 2,4 MW, Baltra (Galápagos) con 2,25 MW y Villonaco (Loja) con 16,5 MW (Figura 1) [10]. Las regiones andinas de Ecuador presentan un significativo potencial eólico debido a su altitud y geografía, respaldado por la presencia de tres parques eólicos operativos actualmente.

1.3.3.4. Biomasa

Ecuador, siendo predominantemente agrícola, cuenta con abundante biomasa derivada de sectores agrícolas, forestales y pecuarios. La generación de energía se destaca mediante el cultivo de arroz, banano, caña de azúcar, maíz, café, palma africana, plátano y piña, junto con prácticas avícolas, porcinas y bovinas [1]. La caña de azúcar ha sido la principal fuente de generación eléctrica, destacando Ecoelectric (36,5 MW), San Carlos (78 MW) y Escudos (29.8 MW) [10]. Ecuador, una nación predominantemente agrícola, aprovecha su abundante biomasa agrícola y pecuaria para destacar en la generación de energía, especialmente a través de la caña de azúcar.

1.3.3.5. Petróleo

La matriz energética del país se basa principalmente en recursos petrolíferos, con el transporte como principal consumidor, seguido por el gas doméstico y la generación eléctrica con derivados de petróleo. Lamentablemente, la mayoría de estas reservas están ubicadas en la región amazónica del país, y su explotación provocaría consecuencias ambientales graves.

El excesivo uso de energías provenientes de combustibles fósiles ha tenido un impacto significativo en nuestro entorno a escala global. Esto se debe principalmente a la emisión de dióxido de carbono (CO₂), un gas esencial en el proceso de calentamiento global, también conocido como "efecto invernadero". Este fenómeno, que actúa como una especie de manta térmica, está causando cambios climáticos que afectan directamente a nuestro planeta [11].

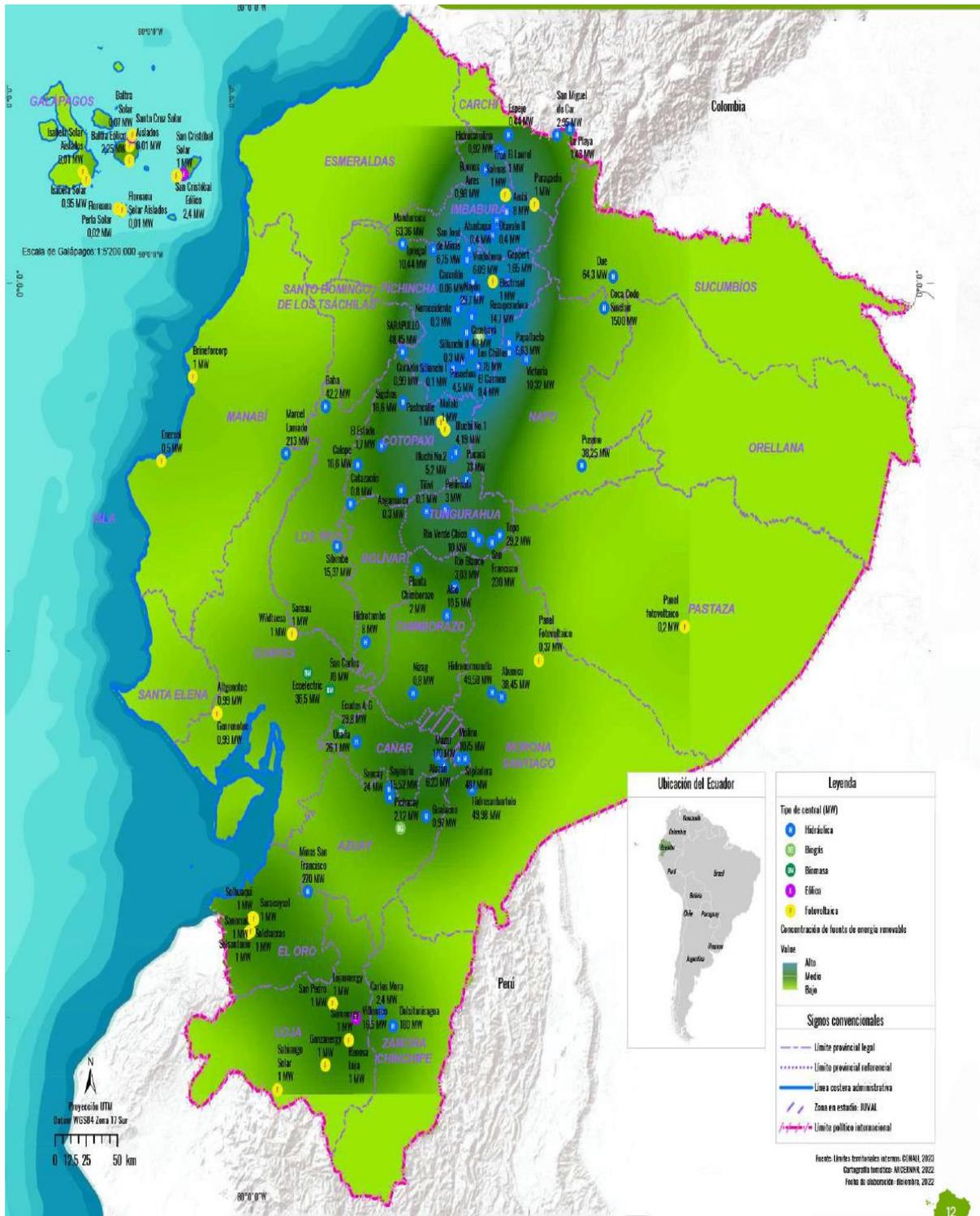


Figura 1. Concentración de centrales con fuente de energía renovable por provincia. Fuente [8].

1.3.4. Escenarios energéticos

La continua dependencia de energía proveniente de recursos fósiles ha provocado perturbaciones climáticas, incitando a llevar a cabo análisis energéticos a largo plazo para abordar estos desafíos ambientales. Los análisis energéticos buscan afrontar los desafíos futuros tanto ambientales como energéticos, abordando de manera integral sus diversas dimensiones y complejidades. La construcción de posibles escenarios se fundamenta en la recopilación de datos y eventos pasados [1]. La necesidad de enfrentar los desafíos ambientales y energéticos derivados de la dependencia de recursos fósiles impulsa análisis a largo plazo basados en datos pasados para construir escenarios futuros.

El escenario energético se conceptualiza como una herramienta que ofrece una perspectiva a largo plazo en un futuro incierto. Busca identificar acciones apropiadas en posibles situaciones mediante una planificación estratégica. Los escenarios describen procesos hipotéticos y secuencias de eventos a lo largo del tiempo [1]. El escenario energético, una herramienta para comprender el futuro, busca acciones estratégicas ante situaciones inciertas, describiendo procesos hipotéticos y secuencias de eventos a lo largo del tiempo.

Para desarrollar escenarios energéticos, es esencial inicialmente identificar y comprender el problema y su alcance. Luego, se recopila información sobre antecedentes relacionados con aspectos ambientales, económicos y energéticos. Esto implica considerar todos los actores relevantes y determinar factores cruciales para decisiones futuras, priorizando su clasificación por importancia [1].

1.3.4.1.1. Orientación de políticas públicas

Será imperativo realizar inversiones a gran escala en infraestructura, abarcando carreteras, puertos, energía y comunicaciones, con el objetivo de impulsar el crecimiento económico tanto en las áreas urbanas como en los países en general. Las decisiones tomadas por los gobiernos en relación con reformas estructurales y la participación del sector privado jugarán un papel crucial en determinar las fuentes de financiamiento y las cantidades totales disponibles para estas inversiones [12]. La falta de recaudación de los fondos necesarios conducirá a la persistencia de la desigualdad social, dificultades en el acceso a la energía y una menor resiliencia en los sistemas energéticos existentes.

1.3.4.1.2. Enfoque en las oportunidades del sector energético

El desarrollo futuro de las ciudades en América Latina y el Caribe (ALC) se presenta como uno de los principales desafíos para la región en las próximas décadas. En un contexto globalizado, se

espera que los centros urbanos se conviertan cada vez más en fuentes clave de eficiencia y crecimiento dinámico para los países de ALC. La implementación de soluciones energéticas inteligentes en áreas urbanas y mega ciudades de la región tiene el potencial de impulsar el crecimiento económico y proporcionar las tecnologías necesarias para establecer sistemas energéticos sostenibles en la región [12].

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Realizar un análisis técnico e histórico del escenario energético existente para analizar un posible escenario de sostenibilidad energética en el 2050 en Ecuador.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica para analizar el consumo energético histórico de los sectores primarios, de transformación y usos finales de la energía en el Ecuador, en el periodo 1990-2020.
- Diseñar un escenario de sostenibilidad energética hasta el 2050 en el Ecuador para incluir ambiente, sociedad y economía en el desarrollo energético del país.
- Realizar un análisis técnico de sostenibilidad energética al 2050 en Ecuador para determinar la evolución de los sectores primarios, de transformación y usos finales de la energía.

1.5. Planteamiento de hipótesis

- ¿El análisis técnico de la evolución del consumo energético, permitirá diseñar escenarios de sostenibilidad energética al 2050?

1.5.1. Variable independiente

- Evolución del consumo energético

1.5.2. Variable dependiente

- Sostenibilidad energética al 2050.

2. CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales y equipos

2.1.1. Materiales

- Materiales de oficina (lápiz, papel, calculadora, entre otros)
- Material bibliográfico

2.1.2. Equipos

Tabla 1. Especificaciones técnicas de equipo – software.

Nombre del equipo	Especificaciones
Laptop 	<ul style="list-style-type: none">• Nombre del dispositivo: HP – PC• Procesador: Intel ® Core ™ i5-7200U CPU @ 2,50 GHz• RAM instalada: 8,00 GB• Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64.
Software específico	<ul style="list-style-type: none">• Interfaz de Usuario: Consola de R, Editor de Script, Área de Trabajo y Explorador de Objetos.• Características de Edición: Autocompletado de código, Sangría automática y Ayuda contextual.• Historial y Registro de Sesiones: Registro de comandos ejecutados y resultados y Posibilidad de guardar y cargar sesiones.

	<ul style="list-style-type: none"> • Explorador de Paquetes: Facilita la instalación y gestión de paquetes de RStudio. • Soporte para Múltiples Plataformas: Disponible para Windows, macOS y Linux.
--	--

2.2. Métodos

2.2.1. Estrategias de recopilación de datos

En la estrategia de recopilación de datos para analizar la evolución energética del Ecuador, estamos adoptando un enfoque estratégico que nos lleva más allá de simples números. Nos basamos en la base de datos de la Agencia Internacional de Energía IEA (por sus siglas en inglés), seleccionando los datos del consumo energético histórico de los sectores primarios, de transformación y usos finales de la energía. No se trata solo de números, sino de comprender la esencia de nuestra trayectoria energética.

- **Definición de Objetivos:** Teniendo en claro los objetivos a cumplir, se procederá a la recopilación de datos. En este proceso, se incluirá el consumo energético histórico de los sectores primarios, la transformación y el uso final en Ecuador durante el periodo 1990 - 2020.
- **Identificación de Fuentes de Datos:** La principal fuente confiable de datos históricos sobre la matriz energética a nivel mundial es la base de datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés). De igual forma necesitamos conocer el incremento poblacional, por lo que se obtiene estos datos históricos de la página oficial del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo).
- **Almacenamiento de datos:** mediante programas específicos podemos almacenar de forma organizada los datos recopilados para su posterior análisis.

2.2.2. Estrategias de procesamiento y análisis de datos

En la ejecución de este proyecto, se empleará un software específico dedicado al procesamiento de datos y análisis, con la finalidad de diseñar un escenario sostenible en relación con la matriz

energética. Este software, cuidadosamente seleccionado, proporcionará las herramientas necesarias para llevar a cabo una evaluación exhaustiva de variables clave, tales como fuentes de energía, consumos sectoriales y emisiones. La elección de esta plataforma responde a la necesidad de realizar un análisis detallado que sirva como base para la formulación de escenarios sostenibles, los cuales buscan optimizar la eficiencia energética, fomentar la adopción de fuentes renovables y reducir las emisiones ambientales. El uso de esta herramienta específica garantizará un procesamiento riguroso de los datos y facilitará la generación de resultados robustos, contribuyendo así a la toma de decisiones informadas en el ámbito de la planificación energética sostenible.

A continuación, se detalla una guía general sobre cómo llevara a cabo este proceso en el presente trabajo:

- **Preparación de Datos:** Organizar los datos de manera estructurada según las variables que estás analizando en la matriz energética.
- **Procesamiento de Datos:** Esto puede involucrar la normalización de unidades de medida, la agregación de datos a niveles específicos y la transformación de datos según sea necesario.
- **Selección de Herramientas y Software:** Utilizar las herramientas y software especificados para llevar a cabo el procesamiento y análisis de datos. Esto puede incluir programas estadísticos, software de hojas de cálculo, o herramientas específicas para el análisis de la matriz energética.
- **Enfoque de Análisis:** Esto incluirá análisis de tendencias históricas, evaluación de la contribución de diferentes fuentes de energía, transformación, usos finales de la energía y escenarios de proyección futura.
- **Indicadores de Sostenibilidad:** Especificar indicadores de sostenibilidad que se evaluarán en el análisis, como la huella de carbono, índice de desarrollo humano satisfactorio, y la dependencia de fuentes renovables.
- **Diseño de Escenario Sostenible:** Definición de los criterios y parámetros que se utilizarán para diseñar escenarios sostenibles. Estos incluirán metas concretas de reducción de emisiones, un aumento estratégico en la participación de energías renovables, y la búsqueda de eficiencias económicas en el sector energético. Estos criterios servirán como guía fundamental para diseñar escenarios que promuevan una transición hacia un modelo energético más sostenible y alineado con los principios de desarrollo sostenible.
- **Análisis Estadístico:** Aplicar técnicas estadísticas pertinentes para analizar la matriz energética. Esto incluirá el análisis de tendencias a lo largo del tiempo especificado,

comparaciones entre diferentes fuentes de energía, evaluación de la contribución de cada sector, entre otros.

- **Generación de Gráficos y Visualizaciones:** Crear gráficos y visualizaciones que ayuden a comunicar los resultados de manera efectiva. Esto puede incluir gráficos de líneas, gráficos de barras, mapas, o cualquier otro formato que facilite la comprensión de los patrones y tendencias.
- **Interpretación de Resultados:** Interpretar los resultados obtenidos a partir del análisis. Examinar las implicaciones de los hallazgos en relación con los objetivos del estudio planteado.
- **Documentación:** Documentar cuidadosamente cada paso del proceso de procesamiento y análisis de datos. Esto es esencial para la replicabilidad, revisión y validación por parte de otros investigadores.
- **Comunicación de Resultados:** Planificar sobre cómo se comunicarán los resultados del análisis, considerando la preparación de informes, presentaciones y otros medios de comunicación.

2.2.3. Recolección de datos

2.2.3.1. Datos históricos de la demanda de energía por sector, Ecuador 1990 – 2020

Según [13], En el año 2020, se registró una marcada disminución en la demanda de energía primaria en varios sectores, a nivel nacional, reflejando posiblemente el impacto de diversos factores, como cambios en los patrones de consumo debido a la pandemia de COVID-19, restricciones en la movilidad y una posible transición hacia prácticas más eficientes desde el punto de vista energético.

2.2.3.1.1. Sector Transporte

Los datos presentados en la Tabla 2 ofrecen una visión reveladora de la demanda energética en el sector del transporte a lo largo de las últimas décadas. En 1990, la totalidad de esta demanda se sustentaba en el petróleo, reflejando la dependencia predominante de esta fuente en ese período. No obstante, el panorama ha experimentado cambios notables con el transcurso del tiempo. A medida que avanzamos hacia el nuevo milenio, observamos una diversificación en las fuentes de energía, marcada por la introducción de la electricidad y el aumento progresivo de las energías renovables a partir del año 2000. Estos datos revelan una transición en curso, donde el sector del transporte está explorando alternativas más sostenibles y eficientes desde el punto de vista energético. El petróleo, aunque sigue siendo la principal fuente en 2020, comparte ahora protagonismo con energías más limpias.

Tabla 2. Datos históricos de la demanda de energía por el sector de transporte [14]- [15].

Año	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Electricidad	Sector	Unidades energía
1990	0	108.583	0	0	0	Transporte	TJ
1995	0	114.379	0	0	0		TJ
2000	0	111.421	0	0	36		TJ
2005	0	137.615	0	0	36		TJ
2010	0	176.472	0	107	36		TJ
2015	0	235.876	0	322	36		TJ
2020	0	220.099	0	937	39		TJ

2.2.3.1.2. Sector Industrial

Los datos de la Tabla 3 ofrecen una panorámica detallada de la demanda energética en el sector industrial a lo largo de las últimas décadas. En 1990, el petróleo y las fuentes renovables compartían protagonismo, marcando el inicio de un periodo en el que la industria buscaba equilibrar sus necesidades energéticas entre fuentes tradicionales y alternativas. A medida que avanzamos en el tiempo, se observa una transición notoria hacia una mayor diversificación. En el año 2005, la electricidad y las energías renovables emergen como actores significativos, desplazando al petróleo y redefiniendo la matriz energética del sector industrial. Este cambio se intensifica en 2020, donde la electricidad y las renovables se consolidan como las principales fuentes, destacando una clara inclinación hacia prácticas más sostenibles. Estos datos revelan una transformación progresiva en la demanda energética del sector industrial, con una marcada reducción en la dependencia de fuentes tradicionales y un fuerte impulso hacia la adopción de fuentes más limpias.

Tabla 3. Datos históricos de la demanda de energía por el sector industrial [14]- [15].

Año	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Electricidad	Sector	Unidades energía
1990	0	32.069	0	12.290	5.479	Industria	TJ
1995	0	35.672	0	12.550	6.494		TJ
2000	0	36.186	0	13.591	7.985		TJ
2005	0	38.413	0	16.674	14.861		TJ
2010	0	38.312	0	6.883	23.872		TJ
2015	0	42.785	730	10.475	30.888		TJ
2020	0	35.456	1.422	11.043	36.514		TJ

2.2.3.1.3. Sector Residencial

Los datos presentados en la Tabla 4 arrojan luz sobre la dinámica de la demanda energética en el sector residencial a lo largo de las últimas décadas. En 1990, la demanda estaba

predominantemente respaldada por fuentes renovables y electricidad, marcando un comienzo donde la sostenibilidad ya tenía un papel destacado en los hogares. Estos datos reflejan un patrón de consumo más consciente y una adopción progresiva de tecnologías más sostenibles en los hogares, demostrando la influencia positiva de las tendencias hacia la energía limpia en la vida cotidiana de la población.

Tabla 4. Datos históricos de la demanda de energía por el sector residencial [14]- [15].

Año	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Electricidad	Sector	Unidades energía
1990	0	19.258	0	27.513	6.732	Residencial	TJ
1995	0	25.980	0	21.154	9.263		TJ
2000	0	22.453	0	15.387	10.091		TJ
2005	0	27.667	0	13.707	13.327		TJ
2010	0	33.299	0	11.367	18.410		TJ
2015	0	38.313	12	8.913	24.941		TJ
2020	0	41.013	19	7.735	29.027		TJ

2.2.3.1.4. Sector de Comercio y Servicios Públicos

Los datos de la Tabla 5 ofrecen una perspectiva esclarecedora sobre la demanda energética en el sector de comercio y servicios públicos a lo largo del tiempo. En 1990, la electricidad se establecía como la principal fuente de energía en este sector, marcando un inicio donde la eficiencia y la accesibilidad eran prioritarias. A medida que avanzamos en las décadas, observamos una estabilidad en el uso de la electricidad, que continúa siendo la fuente principal en 2020. La demanda de otras fuentes, como el petróleo y las renovables, se mantiene relativamente constante. Este patrón sugiere una estrategia de consumo energético sostenible en el sector de comercio y servicios públicos, con una dependencia continua en fuentes eléctricas y una incorporación mínima de otras fuentes. Estos datos reflejan una tendencia hacia prácticas energéticas estables y eficientes en este sector, donde la electricidad juega un papel central en satisfacer las necesidades energéticas de manera confiable y sostenible.

Tabla 5. Datos históricos de la demanda de energía por el sector comercio y servicios públicos [14] - [15].

Año	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Electricidad	Sector	Unidades energía
1990	0	571	0	0	3.528	Comercio y servicio	TJ
1995	0	133	0	65	5.159		TJ
2000	0	9.147	0	83	7.135		TJ
2005	0	10.765	0	102	9.655		TJ
2010	0	14.297	0	102	15.080		TJ
2015	0	16.785	0	102	23.177		TJ
2020	0	7.247	0	102	23.933		TJ

2.2.3.1.5. Sector Agricultura y Pesca

Los datos de la Tabla 6 proporcionan una visión detallada de la demanda energética en el sector de Agricultura y Pesca a lo largo de las últimas décadas. En 1990, el petróleo era la fuente principal de energía en este sector, reflejando una dependencia predominante en ese periodo. A medida que avanzamos en el tiempo, observamos fluctuaciones en el uso de esta fuente, alcanzando su punto más alto en 2015 y disminuyendo en 2020. Notablemente, no se registró un consumo significativo de otras fuentes, como gas natural o electricidad, durante este periodo. Estos datos indican una tendencia de estabilidad en las preferencias energéticas del sector de Agricultura y Pesca, donde el petróleo sigue siendo la fuente predominante. Sin embargo, la observación de estas variaciones a lo largo del tiempo podría sugerir una mayor conciencia y posibles adaptaciones en la búsqueda de prácticas energéticas más eficientes y sostenibles en el futuro.

Tabla 6. Datos históricos de la demanda de energía por el sector agricultura y pesca [14].

Año	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Electricidad	Sector	Unidades energía
1990	0	1.958	0	0	0	Agricultura y pesca	TJ
1995	0	1.744	0	0	0		TJ
2000	0	1.434	0	0	0		TJ
2005	0	2.061	0	0	0		TJ
2010	0	4.060	0	0	0		TJ
2015	0	6.997	0	0	0		TJ
2020	0	5.881	0	0	0		TJ

2.2.3.1.6. Generación de Electricidad

Los datos presentados en la Tabla 7 arrojan una perspectiva significativa sobre la demanda energética destinada a la generación de electricidad a lo largo de las décadas. En 1990, las fuentes renovables y el petróleo compartían la carga, marcando un período donde la diversificación ya era un aspecto clave en la matriz energética de generación eléctrica. A medida que avanzamos en el tiempo, observamos una transición notoria hacia fuentes más limpias y sostenibles. En 2020, las energías renovables emergen como la principal fuente, seguidas de cerca por el gas natural, representando una transformación significativa en la generación de electricidad. Estos datos reflejan una clara tendencia hacia la descarbonización y la adopción masiva de fuentes renovables, indicando un cambio positivo hacia prácticas de generación eléctrica más sostenibles y alineadas con los objetivos ambientales.

Tabla 7. Datos históricos de la demanda de energía para generación de electricidad [14] - [15].

Año	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Nuclear	Sector	Unidades energía
1990	0	15.598	0	17.953	0	Generación de electricidad	TJ
1995	0	34.438	0	18.580	0		TJ
2000	0	30.019	0	27.400	0		TJ
2005	0	51.126	11.645	25.509	0		TJ
2010	0	94.134	17.747	32.783	0		TJ
2015	0	97.507	22.777	50.543	0		TJ
2020	0	52.604	15.997	93.047	0		TJ

2.2.3.2. Generación de recursos fósiles

Los datos presentados en la Tabla 8, sobre la producción de recursos fósiles en el período analizado muestra una evolución significativa. En 1990, la generación de energía a partir de carbón fue nula, mientras que el petróleo contribuyó con 628.833 Terajulio (TJ). A lo largo de los años, la generación de energía a partir de petróleo experimentó un aumento, alcanzando 1.197.361 TJ en 2015, para luego disminuir a 1.168.647TJ en 2020. El gas natural también desempeñó un papel importante, registrando un incremento notable a lo largo de los años, pasando de cero en 1990 a 23.518TJ en 2015, y reduciéndose a 17.438 TJ en 2020. Estos datos indican una dinámica cambiante en la generación de energía a partir de fuentes fósiles, con fluctuaciones en la contribución de cada tipo de combustible a lo largo de las décadas.

Tabla 8. Generación fósil [14] - [15].

Año	Generación			Unidades energía
	Carbón	Petróleo	Gas Natural	
1990	0	628.833	0	TJ
1995	0	853.454	0	TJ
2000	0	884.985	0	TJ
2005	0	1.169.215	11.645	TJ
2010	0	1.069.321	17.747	TJ
2015	0	1.197.361	23.518	TJ
2020	0	1.168.647	17.438	TJ

2.2.3.3. Emisividad de CO₂ por cada fuente fósil.

La Tabla 9 proporciona información detallada sobre la emisividad de dióxido de carbono (CO₂) para distintas fuentes fósiles y sectores de demanda, expresada en kilotoneladas por Terajulio (*kt/TJ*). En cada sector, se observa una consistencia en los valores de emisividad para el carbón, el petróleo y el gas natural, todos manteniéndose en 0,15 *kt/TJ*, 0,075 *kt/TJ* y 0,07 *kt/TJ*,

respectivamente. Estos datos indican la cantidad de CO2 emitido por unidad de energía generada para cada fuente en sectores clave como transporte, industria, residencial, servicios, agricultura y pesca, así como en la generación de electricidad. La uniformidad en los valores subraya la necesidad de considerar estrategias específicas de mitigación y transición hacia fuentes más limpias, dado que la emisividad constante sugiere que todas las fuentes fósiles tienen un impacto ambiental similar en términos de emisiones de CO2 por unidad de energía producida en cada sector.

Tabla 9. Emisividad de CO2 para cada fuente fósil y sector de demanda [16].

Sector	Carbón (kt/TJ)	Petróleo (kt/TJ)	Gas Natural (kt/TJ)
Transporte	0,15	0,075	0,07
Industria	0,15	0,075	0,07
Residencial	0,15	0,075	0,07
Servicio	0,15	0,075	0,07
Agricultura & Pesca	0,15	0,075	0,07
G. Electricidad	0,15	0,075	0,07

2.2.3.4. Evolución de la población

Los datos presentados en la Tabla 10 no solo muestran sobre el crecimiento poblacional a lo largo de las décadas, sino que también sugieren importantes implicaciones para la demanda de energía en la región. Con un aumento constante y gradual en la población, es probable que la demanda energética haya experimentado un incremento proporcional. El crecimiento demográfico conlleva un aumento en las necesidades de infraestructura, vivienda y servicios, lo que a su vez impacta en el consumo de energía [17]. El incremento en el número de habitantes puede influir en la demanda de electricidad para hogares, comercios, servicios públicos y otros sectores, así como en el aumento de la movilidad, lo que podría afectar la demanda de energía en el sector del transporte.

Este fenómeno puede ser especialmente significativo si el crecimiento poblacional va acompañado de un desarrollo económico y urbano, ya que las áreas urbanas tienden a tener una demanda energética per cápita más alta que las zonas rurales. Además, el tipo de industrias y actividades económicas que surgen con el crecimiento poblacional también puede impactar la composición de la demanda energética, por ejemplo, con un aumento en la demanda industrial o comercial.

El crecimiento poblacional sostenido a lo largo de los años no solo refleja cambios demográficos, sino que también puede tener consecuencias significativas en la demanda de energía, influyendo

en la planificación y la gestión de recursos energéticos para satisfacer las necesidades de una población en expansión.

Tabla 10. Evolución de la población. [18]

Año	Población (khab.)
1990	10.112
1995	11.333
2000	12.562
2005	13.712
2010	14.894
2015	16.083
2020	17.509

2.2.4. Apartado Matemático – Ecuaciones.

2.2.4.1. Ecuaciones generales.

- **Demanda de energía por sector**

Los datos mostrados a partir de la Tabla 2 a la Tabla 7 representan los datos históricos en cuanto a la demanda de energía por sector la cual para realizar los cálculos respectivos lo denominaremos matemáticamente de la siguiente manera:

$$De(i, j, t) \quad (1)$$

Donde

$$i = \left\{ \begin{array}{l} 1(\text{Transporte}), 2(\text{Industria}), 3(\text{Residencial}), \\ 4(\text{Servicio}), 5(\text{Agricultura y Pesca}), \\ 6(\text{Generación de Electricidad}) \end{array} \right\}$$

$$j = \left\{ \begin{array}{l} 1(\text{Carbón}), 2(\text{Petróleo}), 3(\text{Gas Natural}), \\ 4(\text{Renovable}), 5(\text{Nuclear}), 6(\text{Electricidad}) \end{array} \right\}$$

- **Generación de recursos fósiles para las diferentes fuentes**

La Tabla 8 muestra los datos históricos de la generación de recursos fósiles, dichos datos los expresaremos matemáticamente de la siguiente manera:

$$F(j, t) \quad (2)$$

- **Datos de población**

La Tabla 10 muestra los datos poblacionales históricos, matemáticamente se expresará de la siguiente manera:

$$P(t) \quad (3)$$

- **Emisividad del CO2 para combustibles fósiles**

Los datos de emisividad para los combustibles fósiles como son; carbon, petróleo y gas natural se muestran en la Tabla 9, matemáticamente se lo representa de la siguiente manera:

$$Em(i, j) \quad (4)$$

2.2.4.2. Índice de sostenibilidad

Según el informe inicial [19], que originó la noción de sostenibilidad en el contexto energético, un escenario sostenible debería posibilitar el logro simultáneo de tres metas claramente establecidas.

- Satisfacer las demandas energéticas presentes.
- Asegurar la provisión de energía para las generaciones venideras, considerando la dependencia energética.
- Reducir al mínimo las repercusiones medioambientales asociadas al escenario energético seleccionado.

a. Satisfacer las demandas energéticas presentes.

La cantidad de energía disponible per cápita podría emplearse como un indicador para evaluar en qué medida se cumplen los requisitos de satisfacción de las demandas energéticas existentes. El factor de cumplimiento correspondiente podría expresarse [20]:

$$I_{cons}(t) = \left(\frac{\min(TPC(T), TPC_o)}{TPC_o} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

$TPC(t)$: Consumo de energía anual disponibles per cápita

TPC_o : Valor adecuado considerado para este parámetro para obtener un índice de desarrollo humano aceptable.

b. Asegurar la provisión de energía para las generaciones venideras, considerando la dependencia energética.

Según [20], la provisión de energía para las generaciones venideras podría asegurarse en todo momento si se basa en recursos energéticos locales, resultando en un valor de dependencia externa igual a cero para dicha provisión. La dependencia externa del ámbito en consideración ($dep(t)$) se determinará por:

$$dep(t) = \frac{FD(t) - FG(t)}{TPES(t)} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$dep(t) = \min(dep(t), 100) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

$FD(t)$: Demanda de fósiles

$FG(t)$: Generación de fósiles

$TPES(t)$: Demanda total de energía primaria

Grado de sostenibilidad de dependencia exterior, podría definirse como:

$$I_{dep}(t) = 1 - dep(t) \quad \text{Ecuación 4}$$

c. Reducir al mínimo las repercusiones medioambientales asociadas al escenario energético seleccionado.

Según [20], la tasa de cambio en las emisiones de CO₂ podría emplearse para evaluar el impacto ambiental del sistema energético. Un enfoque equitativo consistiría en estandarizar el nivel de emisiones per cápita anuales ($I_{CO_2(t)}$) para todos los países, de acuerdo con los objetivos políticos para combatir el cambio climático.

$$I_{CO_2}(t) = \left(\frac{C_{emp}}{CO_{2p}(t)} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde

C_{emp} : Valor de emisiones per cápita consideradas sostenibles

$CO_{2p}(t)$: Emisiones per cápita del año considerado

Al asignar pesos a cada uno de estos indicadores, el índice de sostenibilidad del escenario energético ($sost(t)$) se calculará de la siguiente manera.

$$sost(t) = (W_{CO_2} * I_{CO_2}(t) + W_{cons} * I_{cons}(t) + W_{dep} * I_{dep}(t)) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$W_{CO_2} + W_{cons} + W_{dep} = 1 \quad \text{Ecuación 7}$$

2.2.4.3. Factor de ponderación para la contribución de sostenibilidad

La elección de los pesos W a considerar depende de las especificaciones del país considerado. La Tabla 11 presenta datos específicos. Para Ecuador, se asignan pesos del 40% a las emisiones y la energía per cápita, mientras que la dependencia exterior tiene solo un peso del 20%. Esto refleja la capacidad significativamente superior de generación de fuentes fósiles en comparación con la demanda de este tipo de combustibles en el país.

Tabla 11. Factor de ponderación para la sostenibilidad [20].

CO2/cap	40%
TPES/cap	40%
Dependencia Externa	20%

Matemáticamente el factor de ponderación se lo expresa mediante:

$$w(k) \quad (5)$$

Para calcular el índice sostenible, hemos considerado un nivel de emisiones per cápita de CO2 cercano a 2,5 toneladas al año ($t/año$). Esta cifra representa una disminución del 40% en comparación con la media global de 4 toneladas per cápita al año, que se deriva de la tendencia de estas emisiones a lo largo del tiempo. Este porcentaje de disminución concuerda con las pautas establecidas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) [21] y las directrices de la Unión Europea (UE) [22].

Según [20], establece que la demanda total de energía primaria per cápita debería ser de $0,085 \text{ TJ/año} * \text{cápita}$. Este valor se considera apropiado para un índice de desarrollo humano satisfactorio, según una extensa base de datos. Por lo tanto, la elección del valor adecuado para TPC_0 está respaldada por una exhaustiva revisión científica.

En última instancia, la dependencia externa se deriva de la información detallada sobre la producción y demanda de combustibles fósiles proporcionada por la base de datos de la IEA. En este sentido, los valores sostenibles para cada parámetro son de 2,5 toneladas de CO2 per cápita, 0,085 TJ por cápita al año y una dependencia externa del 0%, así como se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12. Parámetros de sostenibilidad [20].

CO2/cap (t/año)	2,5
TPES/cap (TJ/año)	0,085
Dependencia Externa	0

Los parámetros de referencia sostenibles matemáticamente se lo expresan mediante:

$$SO(k) \quad (6)$$

2.2.4.4. Cálculos

A través de un software especializado, se llevaron a cabo los cálculos correspondientes con el fin de evitar la realización manual de los mismos.

2.2.4.4.1. Demanda total de energía primaria

La demanda total de energía primaria podemos calcular mediante la expresión matemática presentada a continuación:

$$TPES(t) = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^5 De(i, j, t) \quad (7)$$

Dichos resultados se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Demanda total de energía primaria.

Año	TPES (TJ)
1990	235.793
1995	264.695
2000	267.121
2005	341.429
2010	432.670
2015	533.804
2020	486.048

2.2.4.4.2. Demanda fósil.

Con base en la función (1), aplicamos la siguiente expresión matemática para determinar la demanda de combustibles fósiles:

$$FD(t) = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^3 De(i, j, t) \quad (8)$$

Los resultados son mostrados en la Tabla 14.

Los datos presentados en la Tabla 14, sobre la demanda de recursos fósiles en el período analizado muestra una evolución significativa. La demanda de combustibles fósiles en diversos sectores a lo largo del período comprendido entre 1990 y 2020 revela tendencias y patrones significativos. Durante este lapso temporal, la demanda total de combustibles fósiles ha experimentado un marcado aumento. En 1990, la demanda era de 178.037 TJ, incrementándose progresivamente hasta alcanzar los 379.738 TJ en 2020.

Tabla 14. Demanda de recursos fósiles.

Año	$FD(t)$	Unidades
1990	178.037	TJ
1995	212.346	TJ
2000	210.660	TJ
2005	279.292	TJ
2010	378.321	TJ
2015	461.782	TJ
2020	379.738	TJ

Los datos mostrados en la Tabla 14 revelan un crecimiento constante en la demanda de energía, desde 1990 hasta 2015, se observa un aumento progresivo en las unidades de energía consumidas. Sin embargo, en el año 2020, se evidencia un ligero decrecimiento en la demanda de energía, un fenómeno que podría ser atribuido a los impactos de la pandemia del COVID-19. La pandemia de COVID-19 provocó la paralización parcial o total de numerosas actividades industriales y comerciales a nivel global y nacional. Esto se debió a las medidas de aislamiento obligatorio implementadas para contener la propagación del virus, las cuales resultaron en una significativa disminución en la demanda de recursos energéticos en distintos sectores [23].

2.2.4.4.3. Generación Fósil

Basándonos en la función (1), aplicamos la siguiente expresión matemática para determinar el total de generación de recursos fósiles:

$$FG(t) = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^3 De(i, j, t) \quad (9)$$

Tales resultados son mostrados en la Tabla 15 .

Los datos mostrados en la Tabla 15, muestran la generación de combustibles fósiles en diversos sectores durante el período de 1990 a 2020 evidencia patrones significativos en la evolución de la generación de energía. La generación total de combustibles fósiles ha experimentado una marcada variación a lo largo de las décadas. En 1990, la demanda era de 628.833 TJ, aumentando progresivamente hasta alcanzar su punto máximo en 2015 con 1.220.879 TJ, para luego estabilizarse en 1.186.085 TJ en 2020.

Tabla 15. Generación fósil

Año	$FG(t)$	Unidades
1990	628.833	TJ
1995	853.454	TJ
2000	884.985	TJ
2005	1.180.860	TJ
2010	1.087.068	TJ
2015	1.220.879	TJ
2020	1.186.085	TJ

2.2.4.4.4. Emisiones debido a fuentes fósiles

Mediante las ecuaciones (1) y (4) , aplicamos una sumatoria del producto de los datos, expresándose de la siguiente manera:

$$CO_2(t) = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^3 De(i, j, t) * Em(i, j) \quad (10)$$

Tales resultados son mostrados en la Tabla 16 .

Tabla 16. Emisiones debido a fuentes fósiles.

Año	Emisiones							Total	Unidades
	Transporte	Industria	Residencial	servicio	Agri. & Pesca	Gen. Electricidad			
1990	8,1	2,4	1,4	0,0	0,1	1,2	13	t	
1995	8,6	2,7	1,9	0,0	0,1	2,6	16	t	
2000	8,4	2,7	1,7	0,7	0,1	2,3	16	t	
2005	10,3	2,9	2,1	0,8	0,2	4,6	21	t	
2010	13,2	2,9	2,5	1,1	0,3	8,3	28	t	
2015	17,7	3,3	2,9	1,3	0,5	8,9	35	t	
2020	16,5	2,8	3,1	0,5	0,4	5,1	28	t	

2.2.4.4.5. Parámetros de sostenibilidad

Según [20], el parámetro de sostenibilidad, representado por la función $S(k, t)$, se fundamenta en un índice de objetivos de sostenibilidad energética, categorizados según tres consideraciones fundamentales: $k = \{1,2,3\}$.

1. El objetivo prioritario consiste en cubrir las necesidades energéticas actuales.

Este objetivo que puede cuantificarse mediante el cociente entre la función (7) y (3), de tal forma que su ecuación fundamental es:

$$S(1, t) = \frac{TPES(t)}{P(t)} \quad (11)$$

La Tabla 17, muestra los resultados respectivos.

Tabla 17. Cubrir las necesidades energéticas actuales.

Año	$TPES/cap$
1990	0,0233
1995	0,0234
2000	0,0213
2005	0,0249
2010	0,0290
2015	0,0332
2020	0,0278

2. Garantizar el suministro de energía para las generaciones futuras, teniendo en cuenta la dependencia energética.

Este objetivo se puede cuantificarse mediante la aplicación de las funciones (8),(9) y (7) deduciendo así la siguiente ecuación fundamental:

$$S(2, t) = \frac{FD(t) - FG(t)}{TPES(t)} \quad (12)$$

La Tabla 18, muestra los resultados respectivos.

Tabla 18. Dependencia externa.

Año	% Dep. Externa
1990	-191
1995	-242
2000	-252
2005	-264
2010	-164
2015	-142
2020	-166

3. Minimizar el impacto ambiental asociado con las prácticas energéticas.

Este objetivo se puede cuantificarse mediante el cociente entre la función (10) y (3) de tal forma que su ecuación fundamental es:

$$S(3, t) = \frac{CO_2(t)}{P(t)} \quad (13)$$

La Tabla 19, muestra los resultados respectivos.

Tabla 19. Minimizar el impacto ambiental

Año	CO2/cap
1990	1,3
1995	1,4
2000	1,3
2005	1,6
2010	1,9
2015	2,2
2020	1,6

2.2.4.4.6. Análisis de sostenibilidad de los datos disponibles

- **Contribución a la evolución del índice de sostenibilidad.**

Mediante la función mostrada a continuación y tomando en consideración los índices de sostenibilidad detallados en la Ecuación 1, Ecuación 4 y Ecuación 5, tales índices hacen referencia a la función $S(k, t)/SO(k)$, calculamos la contribución a la evolución de los índices de sostenibilidad. Dichos resultados se muestran en la Tabla 20.

$$CS(k, t) = \min \left(1; \frac{S(k, t)}{SO(k)} \right) \quad (14)$$

Tabla 20. Contribución a la evolución del índice de sostenibilidad

Año	Contribución		
	% TPES/cap	% Dep. Externa	%CO2/cap
1990	27,43	100,00	100,00
1995	27,48	100,00	100,00
2000	25,02	100,00	100,00
2005	29,29	100,00	100,00
2010	34,18	100,00	100,00
2015	39,05	100,00	100,00
2020	32,66	100,00	100,00

- **Déficits o superávits para cada parámetro (Balance).**

Mediante la función mostrada a continuación calculamos los déficits o superávits para cada parámetro. Dichos resultados se muestran en la Tabla 21.

$$BS(k, t) = \frac{S(k, t) - SO(k)}{SO(k)} \quad (15)$$

Tabla 21. Déficit o superávits para cada parámetro.

Año	Balance		
	% TPES/cap	% Dep. Externa	% CO2/cap
1990	-72,57	191,18	47,18
1995	-72,52	242,21	43,79
2000	-74,98	252,44	49,69
2005	-70,71	264,06	36,86
2010	-65,82	163,81	22,83
2015	-60,95	142,21	13,69
2020	-67,34	165,90	35,98

- **Evolución del índice de sostenibilidad.**

Mediante la función presentada a continuación que abarca la función (5) y los datos de la Tabla 20, calculamos la evolución del índice de sostenibilidad. Dichos resultados se muestran en la Tabla 21.

$$INS(t) = \sum_{k=1}^3 w(k) * CS(k, t) \quad (16)$$

Tabla 22. Evolución del índice de sostenibilidad.

Año	% Índice de Sostenibilidad
1990	71
1995	71
2000	70
2005	72
2010	74
2015	76
2020	73

3. CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CONSUMO ENERGÉTICO HISTÓRICO DE LOS SECTORES PRIMARIOS, ECUADOR 1990 – 2020

3.1.1. Oferta de energía primaria.

En el periodo 1990 – 2020, según la base de datos de la Agencia Internacional de Energía, IEA, (por sus siglas en ingles), la matriz energética primaria de Ecuador ha experimentado cambios notables, evidenciando una diversificación en los sectores primarios de energía como se detalla en la Tabla 23 (Figura 2). En 1990, el petróleo dominaba la oferta energética con un abrumador 78,21%, seguido por la hidroenergía y biocombustibles. Sin embargo, a medida que avanzamos en el tiempo, se observa una transformación gradual, con un aumento significativo de fuentes más sostenibles.

En 2020, el panorama energético ha evolucionado, reflejando una mayor diversificación. Aunque el petróleo sigue siendo preponderante, su participación ha disminuido al 78,01%, mientras que las energías eólica y solar representan un creciente 0,09%. La hidroenergía ha mantenido su importancia, contribuyendo significativamente con un 15,31%, evidenciando la apuesta continua por fuentes renovables.

Es alentador observar que, a lo largo de estas décadas, Ecuador ha transitado hacia una matriz energética más equilibrada, integrando progresivamente fuentes limpias y sostenibles. Este análisis no solo revela números, sino una narrativa de cambio hacia una energía más diversificada y sostenible, marcando el compromiso del país con un futuro energético más resiliente y amigable con el medio ambiente.

Tabla 23. Oferta de energía primaria por fuente, Ecuador 1990 – 2020 [14].

Oferta de energía (TJ)					
Año	Eólica, solar	Gas natural	Petróleo	Bio. y residuos	Hidroenergía
1990	0	0	207.276	39.801	17.953
1995	65	0	277.183	33.705	18.580
2000	83	0	282.882	28.978	27.400
2005	102	11.645	405.712	31.116	24.775
2010	113	17.747	466.741	20.038	31.090
2015	588	23.518	532.696	22.621	47.146
2020	516	14.683	446.273	23.015	87.600

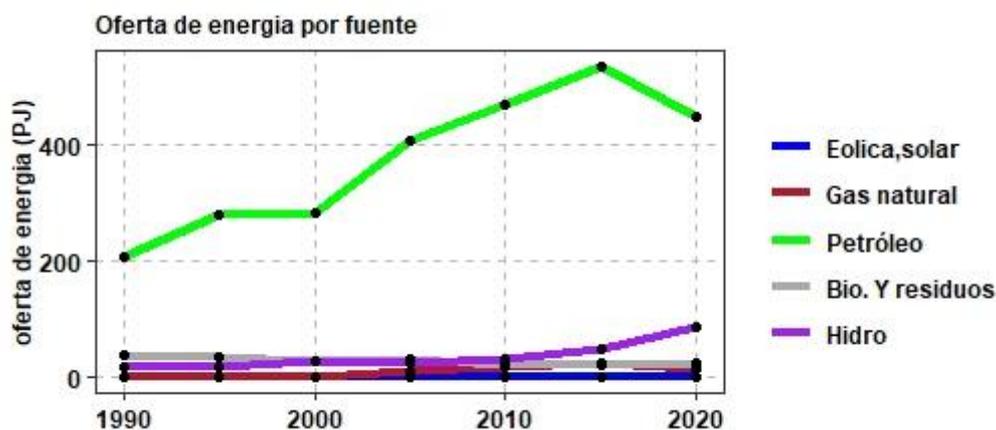


Figura 2. Oferta de energía primaria por fuente, Ecuador 1990 – 2020.

3.1.2. Oferta de petróleo

3.1.2.1. Producción y exportación de petróleo crudo

Ecuador durante el periodo de 1990 - 2020, La producción y exportación de petróleo crudo ha proporcionado recursos suficientes para cubrir las necesidades internas e incluso ha permitido la exportación de excedentes. El petróleo ha desempeñado un papel fundamental como fuente primaria de energía en el país, aportando de manera significativa al panorama energético nacional.

Los datos presentados en la Tabla 24 (Figura 3) revelan que, en 1990, Ecuador logró una producción de 624.503 TJ de petróleo y exportó el 60% de esa cantidad, marcando así el inicio de una destacada presencia en el mercado internacional. Este hito refleja no solo la capacidad productiva del país en ese momento, sino también su posición estratégica en el ámbito global de

la energía. A medida que avanzamos en el tiempo, la producción aumentó, alcanzando su punto máximo en 2015 con 1.186.832 TJ, de los cuales el 76% se destinó a la exportación, subrayando la creciente importancia del petróleo ecuatoriano en la arena global. Sin embargo, es importante notar que la dependencia del petróleo plantea desafíos, especialmente en términos de implicaciones ambientales.

La reducción en la producción y exportación de petróleo en 2020, con 1.050.449 TJ y un 72% exportado, podría señalar una creciente urgencia en la diversificación de las fuentes energéticas. Este fenómeno subraya la complejidad de la posición de Ecuador en el sector energético y la importancia estratégica de considerar alternativas a largo plazo para garantizar la sostenibilidad del suministro energético del país.

Tabla 24. Evolución del petróleo crudo [14].

Año	Producción	Petróleo Crudo	
	Petróleo (TJ)	Exportación (TJ)	% Exportación
1990	624.503	375.640	60%
1995	856.619	562.706	66%
2000	874.329	487.427	56%
2005	1.162.465	752.912	65%
2010	1.062.401	734.197	69%
2015	1.186.832	900.413	76%
2020	1.050.449	757.027	72%

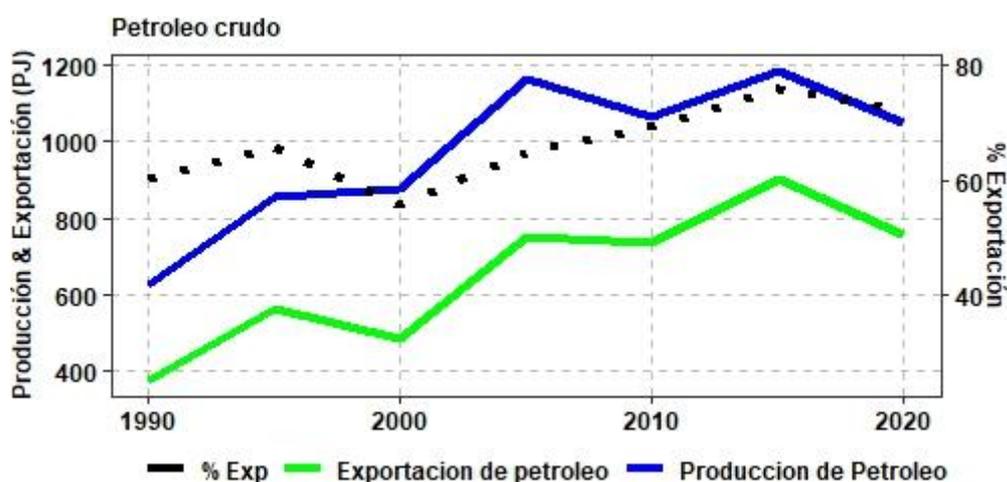


Figura 3. Evolución del petróleo crudo.

3.1.2.2. Consumo y exportación neta de productos derivados de petróleo.

Los datos presentados en la Tabla 24 (Figura 3) revelan que, durante el periodo de 1990 - 2020, la dinámica del consumo y la exportación neta de productos derivados del petróleo en Ecuador ha experimentado cambios notables. En 1990, el país importó 10.634 TJ y exportó 60.374 TJ, generando una exportación neta positiva de 49.740 TJ, equivalente al 28% del consumo total. Sin embargo, a partir de 2005, esta tendencia positiva se invirtió, registrando una exportación neta de -2%, lo que indica un déficit significativo en comparación con el consumo interno. Este cambio marcó una transición de ser exportadores para convertirse en importadores netos de productos derivados del petróleo en Ecuador.

La significativa disminución en la exportación neta durante estos años evidencia un aumento en la dependencia de productos importados con el tiempo, pasando de 10.634 TJ en 1990 a 243.668 TJ en 2020, lo que refleja una creciente necesidad de productos derivados del petróleo con posibles implicaciones para el medio ambiente. Este análisis resalta la importancia de implementar estrategias que fomenten la eficiencia y la competitividad en la producción y exportación, al tiempo que subraya la necesidad de explorar alternativas sostenibles para mantener un equilibrio ambiental en el consumo y la participación en el mercado internacional.

Tabla 25. Consumo y exportación neta de productos derivados de petróleo

Año	Productos importados (TJ)	Productos exportados (TJ)	Exportación Neta (TJ)	Consumo (TJ)	% Exportación Neta
1990	10.634	60.374	49.740	176.724	28%
1995	39.021	65.984	26.963	184.007	15%
2000	40.277	134.313	94.036	203.123	46%
2005	119.742	113.672	-6.070	257.355	-2%
2010	225.585	99.813	-125.772	321.589	-39%
2015	280.599	57.820	-222.779	388.557	-57%
2020	243.668	120.868	-122.800	353.585	-35%

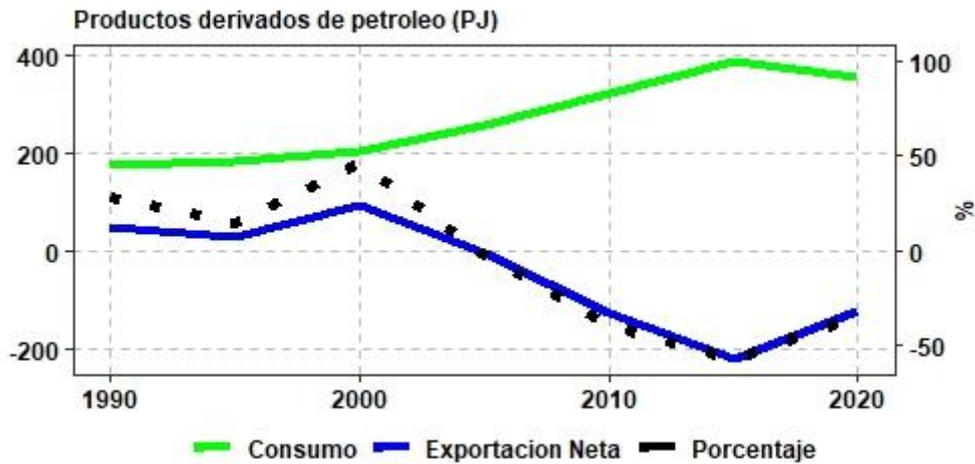


Figura 4. Consumo y exportación neta de productos derivados de petróleo.

3.1.3. Oferta de las renovables

La contribución de las energías renovables se ha basado fundamentalmente en: biocombustibles y residuos, hidroenergía y una contribución muy pobre de energía eólica y solar. Los datos presentados en la Tabla 26 (Figura 5) revelan que, la oferta de energía renovable en Ecuador ha experimentado un crecimiento significativo. En 1990, la hidroenergía representaba el 31,09% de la oferta, mientras que los biocombustibles y residuos constituían el 68,91%, marcando el inicio de la diversificación hacia fuentes más sostenibles. A medida que avanzamos en el tiempo, se observa un aumento constante en la participación de la energía hidroeléctrica, alcanzando un impresionante 78,84% en 2015 y el 67,01% en 2020. La energía eólica y solar también han ganado terreno, contribuyendo significativamente al mix energético renovable, con un aumento del 0,46% en 2020. Estos datos reflejan un aumento en la diversificación de las fuentes de energía renovable, con un enfoque particular en la eólica y solar, así como en la hidroenergía, como pilares importantes en la transición hacia un sistema energético más sostenible.

Tabla 26. Contribución de las energías renovables, Ecuador 1990 - 2020.

Año	Oferta de energía renovable (TJ)		
	Eólica, solar	Hidroenergía	Biocombustibles y residuos
1990	0	17.953	39.801
1995	65	18.580	33.705
2000	83	27.400	28.978
2005	102	24.775	31.116
2010	113	31.090	20.038
2015	588	47.146	22.621
2020	516	87.699	23.015

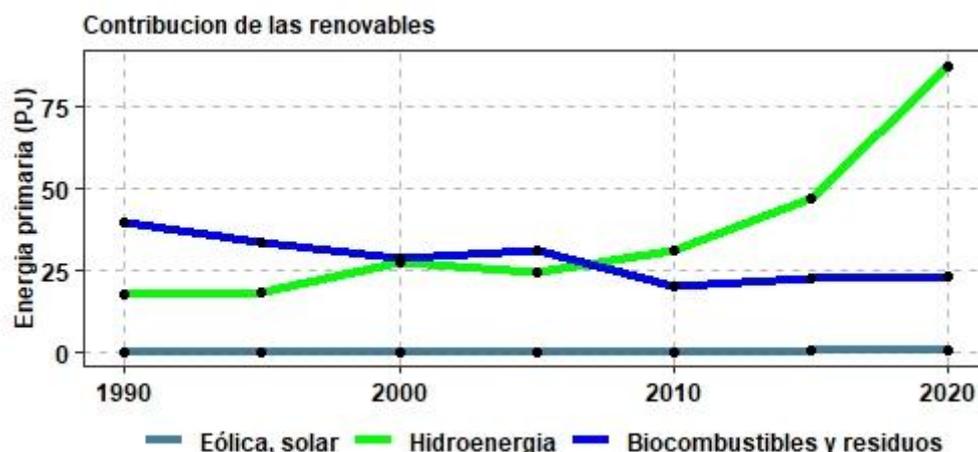


Figura 5. Contribución de las energías renovables, Ecuador 1990 – 2020.

3.1.4. Disponibilidad de energía primaria

Entre 1990 y 2020, la población ha experimentado un crecimiento perfectamente lineal. El suministro de energía disponible por persona ha variado, con un ligero descenso entre 1990 y 2000, seguido de un aumento progresivo hasta 2020. Estos datos indican un aumento significativo en el suministro de energía per cápita a pesar del crecimiento de la población, lo que podría plantear desafíos en términos de sostenibilidad a largo plazo. Los datos muestran que, a medida que la población ha aumentado, el suministro de energía disponible por persona ha experimentado variaciones (Tabla 27 - Figura 6). Este panorama plantea la necesidad de evaluar estrategias para garantizar un suministro sostenible de energía a medida que la población continúa creciendo.

Tabla 27. Energía per cápita

Año	Población (khab)	TPES (TJ)	TPES/cap	Nivel de sostenibilidad	TPES x50 (TJ)
1990	10.112	235.793	0,023	0,085	11.789.650
1995	11.333	264.675	0,023	0,085	13.233.750
2000	12.562	267.121	0,021	0,085	13.356.050
2005	13.712	341.429	0,025	0,085	17.071.450
2010	14.894	432.670	0,029	0,085	21.633.500
2015	16.083	533.804	0,033	0,085	26.690.200
2020	17.509	538.427	0,031	0,085	26.921.350

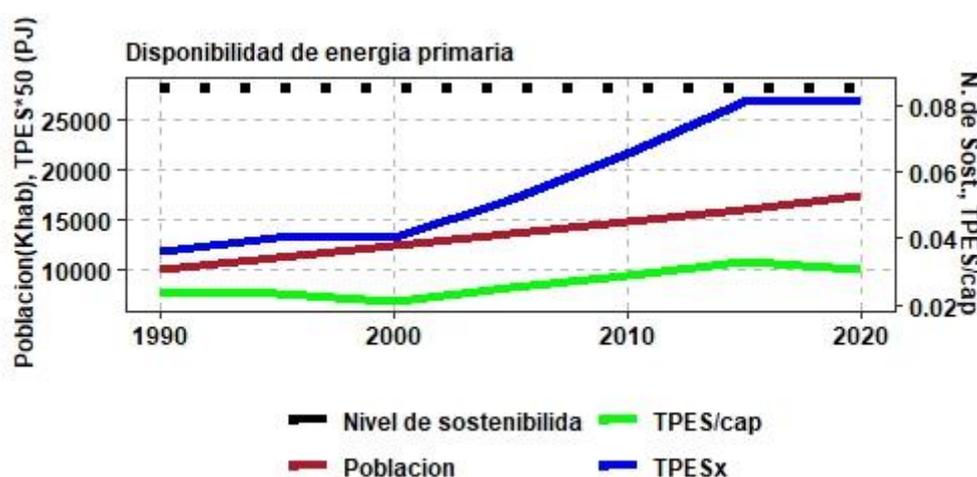


Figura 6. Energía per cápita.

3.2. TRANSFORMACIÓN Y USO FINALES DE LA ENERGÍA ECUADOR PERIODO 1990 - 2020

3.2.1. Demanda de energía final por sector.

La demanda de energía final por sector en Ecuador ha experimentado notables cambios a lo largo de las últimas tres décadas, reflejando transformaciones en la estructura económica y social del país. El análisis se centra en cinco sectores clave: Transporte, Industria, Residencial, Servicios y Agricultura/Pesca como se detalla en la Tabla 28 (Figura 7). Podemos adentrarnos en un análisis más detallado de cómo estas áreas clave han evolucionado en su necesidad de energía a lo largo del tiempo. Estos datos no solo son números; representan las huellas de un país en constante cambio, marcando el pulso de su desarrollo y las complejidades de su panorama energético.

- **Tendencias Temporales**

En 1990, la demanda total de energía final fue de 217,980 TJ, distribuida principalmente en los sectores de Transporte (50%), Industria (23%), Residencial (25%), Servicios (2%), y Agricultura/Pesca (1%). A medida que avanzamos en el tiempo, se observa un crecimiento constante en la demanda total, alcanzando su punto máximo en 2015 con 440,351 TJ.

- **Evolución Sectorial:**

El sector de Transporte ha mantenido una participación significativa en la demanda total de energía, pasando del 50% en 1990 al 54% en 2020. Esto puede atribuirse a factores como el aumento del parque automotor y la movilidad urbana. La Industria, por otro lado, ha experimentado una disminución relativa, descendiendo del 23% en 1990 al 19% en 2020, indicando posibles mejoras en eficiencia energética.

- **Cambios en el Consumo Residencial:**

El consumo de energía en el sector Residencial ha mostrado variaciones significativas a lo largo de los años. En 1990, representaba el 25% del total, disminuyendo al 18% en 2020. Esta tendencia sugiere posibles cambios en patrones de uso de energía en los hogares ecuatorianos, que podrían relacionarse con mejoras en la eficiencia y adopción de tecnologías más sostenibles.

- **Servicios y Agricultura/Pesca:**

Los sectores de Servicios y Agricultura/Pesca han mantenido participaciones relativamente estables en la demanda total, con leves fluctuaciones a lo largo de las décadas. En general, ambos sectores contribuyen de manera consistente, representando el 7% y 1% respectivamente en 2020.

- **Desafíos y Oportunidades:**

Este análisis destaca la necesidad de un enfoque estratégico para gestionar la demanda energética, considerando la movilidad sostenible, la eficiencia industrial y la adopción de tecnologías residenciales más eficientes. La creciente demanda del sector de Transporte plantea desafíos, pero también oportunidades para la implementación de fuentes de energía más limpias y sostenibles. La evolución de la demanda de energía final en Ecuador refleja una compleja interacción entre el desarrollo económico, cambios en los patrones de consumo y las iniciativas de sostenibilidad. Este análisis proporciona una visión general que puede ser clave para la formulación de políticas y estrategias futuras en el ámbito energético del país.

Tabla 28. Demanda de energía final por sector. Ecuador 1990 – 2020 [14].

Demanda de energía final por sector (TJ)					
Año	Transporte	Industria	Residencial	Servicios	Agric. Y pesca
1990	108.582	49.838	53.503	4.099	1.958
1995	114.379	54.716	56.397	5.357	1.744
2000	111.457	57.762	47.931	16.366	1.434
2005	137.651	69.948	54.701	20.522	2.061
2010	176.472	69.066	63.077	29.480	4.060
2015	235.876	84.878	72.178	40.064	6.997
2020	220.099	84.039	77.403	31.282	5.881

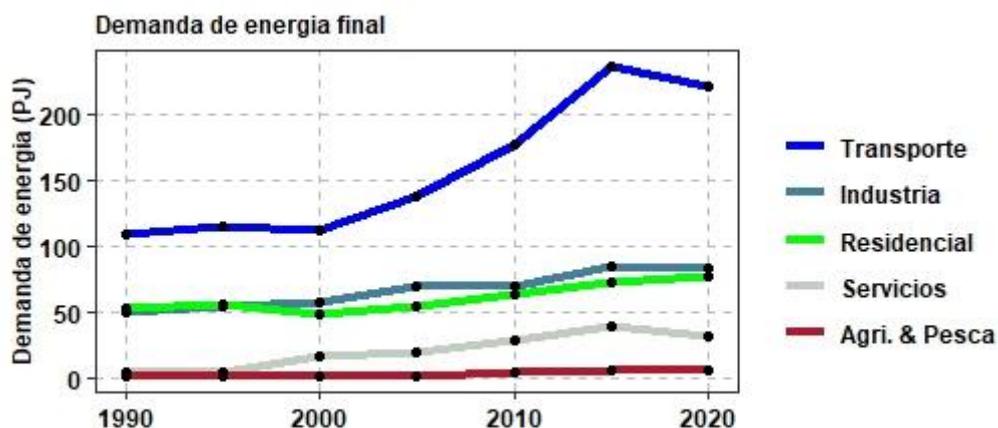


Figura 7. Demanda de energía final por sector, Ecuador 1990 – 2020

3.2.2. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector transporte.

La contribución de las distintas fuentes de energía para satisfacer la demanda del sector transporte durante el periodo de 1990 a 2020 muestra una marcada predominancia del petróleo como fuente principal. En cada año examinado, el petróleo representó más del 99.98% de la demanda total en el sector de transporte (Tabla 29 - Figura 8). Durante el período, las fuentes de energía renovable y electricidad jugaron un papel insignificante en el sector de transporte, con cifras que permanecieron constantemente en niveles bajos a 39 TJ. Estos valores se traducen en porcentajes casi nulos en comparación con la contribución del petróleo.

Los resultados indican una alta dependencia del petróleo en el sector de transporte de Ecuador a lo largo de las décadas evaluadas. La mínima participación de las fuentes renovables y la

electricidad señala una oportunidad para desarrollar políticas y estrategias que impulsen la diversificación y promuevan alternativas más sostenibles en el transporte, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y contribuyendo a la mitigación de impactos ambientales.

Tabla 29. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector transporte [14].

Año	Petróleo	Renovables	Electricidad	Unidades
1990	108.583	0	0	TJ
1995	114.379	0	0	TJ
2000	111.421	0	36	TJ
2005	137.615	0	36	TJ
2010	176.472	0	36	TJ
2015	235.876	0	36	TJ
2020	220.099	0	39	TJ

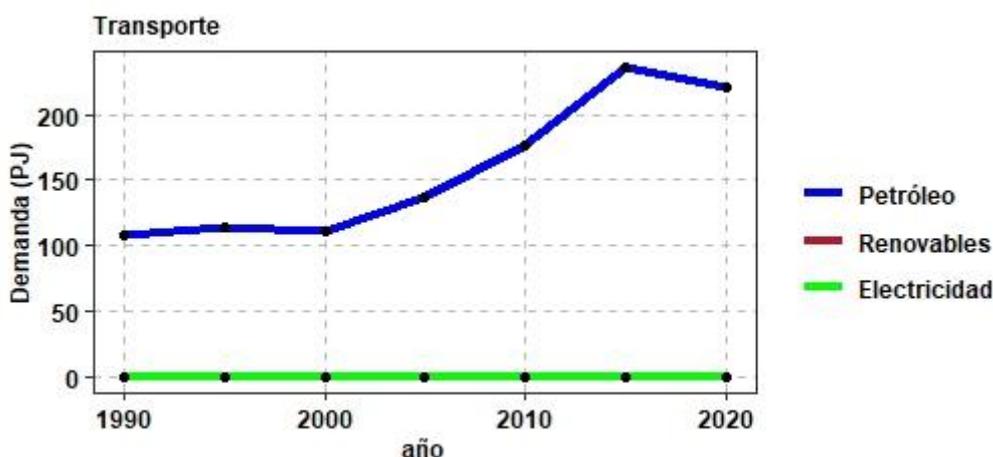


Figura 8. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector transporte.

De acuerdo con [13], y los datos mostrados en la Tabla 29, ambos indican una disminución en la demanda de petróleo entre 2015 y 2020, mientras tanto en la demanda de las otras energías se suscitó un pequeño aumento, llegando a la conclusión y apunta a que esta reducción en este tipo de energía se debe a las restricciones causados por la pandemia del covid19.

3.2.3. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector industrial.

Los datos mostrados en la Tabla 30 (Figura 9) referentes a la contribución de diversas fuentes de energía para satisfacer la demanda del sector industrial en Ecuador durante el periodo de 1990 a 2020 revela patrones notables en la matriz energética.

El petróleo se destaca como la principal fuente de energía para el sector industrial a lo largo de los años, representando la mayoría de la demanda en todos los años analizados. Aunque ha habido fluctuaciones, la proporción de petróleo ha pasado de 32.069 TJ en 1990 a un 35.456 TJ en 2020, sugiriendo una cierta diversificación en las fuentes de energía utilizadas en la industria. El gas natural muestra una presencia marginal en comparación con el petróleo, pero se observa un aumento progresivo, alcanzando su punto máximo en 2020 con 1.422 TJ de contribución. Esto sugiere una creciente adopción de gas natural en el sector industrial como una alternativa más limpia.

Las fuentes de energía renovable y electricidad también han experimentado cambios a lo largo de las décadas. Aunque la contribución de las renovables ha variado, la electricidad ha mostrado un crecimiento significativo, pasando de representar de 5.479 TJ en 1990 a 36.514 TJ en 2020. Esto indica una transición hacia fuentes más sostenibles y una menor dependencia de los combustibles fósiles en el sector industrial. La tendencia hacia la diversificación y la adopción de fuentes de energía más sostenibles en el sector industrial de Ecuador, marcada por una disminución en la dependencia del petróleo y un aumento en la utilización de electricidad y, en menor medida, de gas natural y energías renovables.

Tabla 30. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector industrial.

Año	Petróleo	Gas natural	Renovable	Electricidad	Unidades
1990	32.069	0	12.290	5.479	TJ
1995	35.672	0	12.550	6.494	TJ
2000	42.498	0	13.591	7.985	TJ
2005	38.413	0	16.674	14.861	TJ
2010	38.312	0	6.883	23.872	TJ
2015	42.785	730	10.475	30.888	TJ
2020	35.456	1.422	11.043	36.514	TJ

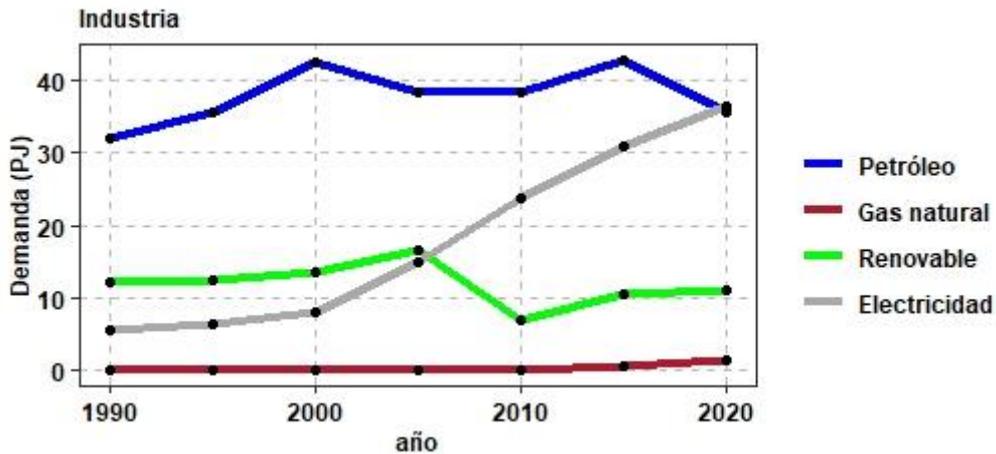


Figura 9. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector industrial.

3.2.4. Contribución de energía para satisfacer la demanda del sector residencial.

Los datos mostrados en la Tabla 31 (Figura 10) relativos a la contribución de diversas fuentes de energía para satisfacer la demanda del sector residencial en Ecuador durante el periodo de 1990 a 2020 resalta patrones significativos en la matriz energética de este sector.

El petróleo ha sido históricamente la principal fuente de energía para el sector residencial, aunque su participación ha experimentado una tendencia a la baja, pasando de 19.258 TJ en 1990 a un 41.013 TJ en 2020. Esta disminución sugiere un cambio gradual hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias. A pesar de ser una fuente de energía limpia, el gas natural ha tenido una presencia mínima en el sector residencial, manteniéndose con una participación mínima en los últimos años analizados. La contribución de las fuentes renovables ha sido significativa con una participación de 27.513 TJ en 1990 y disminuyendo gradualmente a 7.735 TJ en 2020. La electricidad, por otro lado, ha experimentado un crecimiento constante, pasando de 6.732 TJ en 1990 a 29.027 TJ en 2020.

Esto sugiere un cambio positivo hacia una matriz energética residencial más diversificada y sostenible en Ecuador. La disminución en la dependencia del petróleo, el aumento en la utilización de electricidad y la presencia constante de fuentes renovables señalan una evolución hacia opciones más limpias y eficientes en el sector residencial, reflejando posibles avances en políticas energéticas y conciencia ambiental.

Tabla 31. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector residencial.

Año	Petróleo	Gas natural	Renovable	Electricidad	Unidades
1990	19.258	0	27.513	6.732	TJ
1995	25.980	0	21.154	9.263	TJ
2000	22.453	0	15.387	10.091	TJ
2005	27.667	0	13.707	13.327	TJ
2010	33.299	0	11.367	18.410	TJ
2015	38.313	12	8.913	24.941	TJ
2020	41.013	19	7.735	29.027	TJ

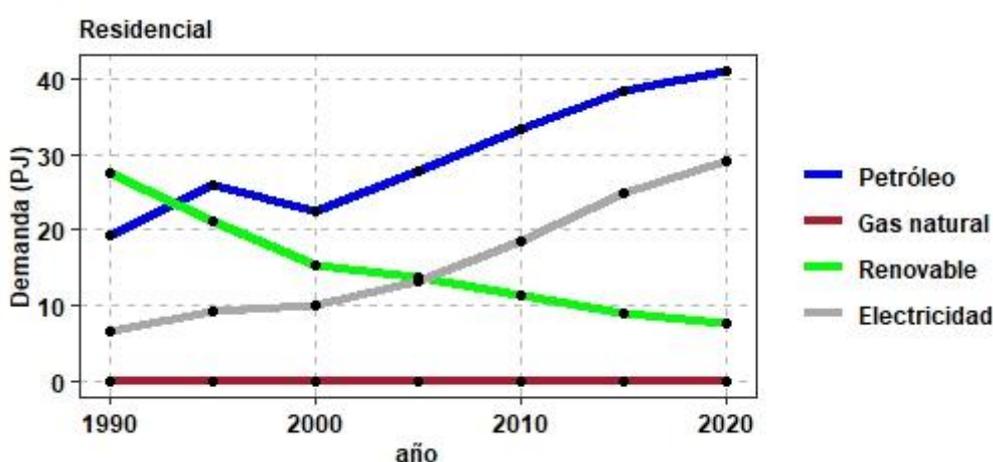


Figura 10. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector residencial.

En el sector residencial, la elección de fuentes de energía primaria implica consideraciones diversas, y la manifestación del gas natural como una opción puede depender de factores geográficos, económicos y ambientales específicos. Los datos presentados según [13], indican que la existencia del gas natural fue partir de 2015, comenzando a observar la introducción y adopción progresiva del gas natural como fuente energética en el sector residencial. Mientras que las energías renovables iban en declive.

3.2.5. Contribución de energías para satisfacer la demanda del sector de servicios comerciales y públicos.

Los datos relativos mostrados en la Tabla 32 (Figura 11) en cuanto a las fuentes de energía para satisfacer la demanda del sector de servicios comerciales y públicos en Ecuador durante el periodo de 1990 a 2020 revela patrones significativos en la composición de la matriz energética de este sector.

La contribución de la electricidad ha experimentado un aumento significativo a lo largo de los años, representando un porcentaje mayor en la satisfacción de la demanda del sector de servicios comerciales y públicos. En 1990, la electricidad contribuyó con 3528 TJ del total, mientras que el petróleo contribuyó con 571 TJ. A lo largo de las décadas, la contribución de la electricidad ha seguido aumentando, alcanzando 23.933 TJ en 2020, mientras que la contribución del petróleo ha disminuido a 7.247 TJ.

En cuanto a las energías renovables y el gas natural, su contribución se ha mantenido constante en un 0% a lo largo de todos los años analizados. Esto resalta la necesidad de explorar e implementar más fuentes de energía renovable para diversificar y fortalecer el suministro energético en este sector, ya que su contribución no ha experimentado cambios a pesar del aumento en la demanda total de energía.

Estos datos revelan una clara tendencia hacia una mayor dependencia de la electricidad para satisfacer la demanda del sector de servicios comerciales y públicos, a expensas de una disminución en la contribución del petróleo. Este análisis destaca la importancia de considerar estrategias para promover el uso de energías renovables y explorar opciones para diversificar la matriz energética en este sector. En general, la tendencia hacia una mayor dependencia de la electricidad y una disminución relativa en el uso de petróleo en el sector de servicios comerciales y públicos refleja un cambio hacia fuentes de energía más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Este cambio puede estar influenciado por políticas energéticas, avances tecnológicos y una mayor conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad ambiental en el sector de servicios comerciales y públicos en Ecuador.

Tabla 32. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de servicios comerciales y públicos.

Año	Petróleo	Gas natural	Renovable	Electricidad	Unidades
1990	571	0	0	3.528	TJ
1995	133	0	65	5.159	TJ
2000	9.147	0	83	7.135	TJ
2005	10.765	0	102	9.655	TJ
2010	14.297	0	102	15.080	TJ
2015	16.785	0	102	23.177	TJ
2020	7.247	0	102	23.933	TJ

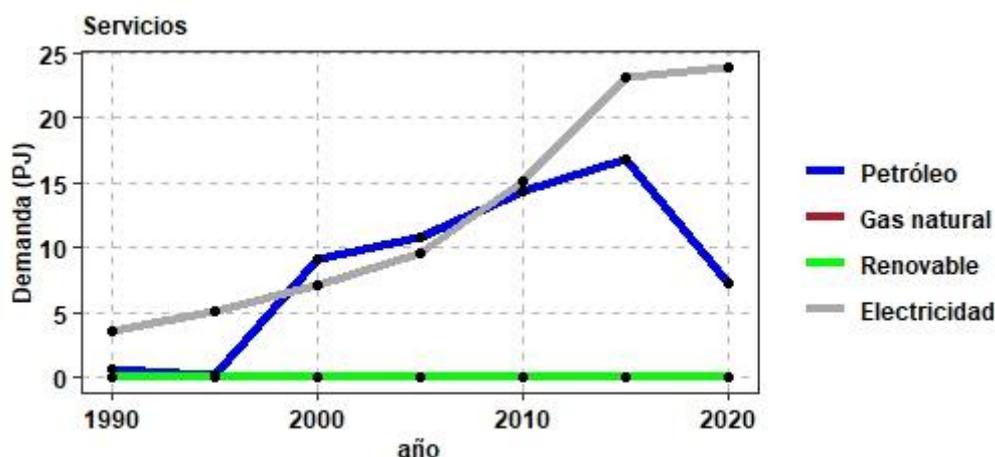


Figura 11. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de servicios comerciales y públicos.

3.2.6. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de agricultura y pesca.

La energía contribuyente para satisfacer la demanda requerida por el sector de agricultura y pesca ha sido las fuentes petrolíferas. Los datos revelan una predominancia absoluta del petróleo en la matriz energética a lo largo del periodo analizado, con una participación del 100%. No se registra presencia de gas natural ni de fuentes renovables o electricidad, señalando una falta de diversificación en las fuentes de energía y una dependencia exclusiva del petróleo. Este patrón constante sugiere una necesidad de explorar opciones más sostenibles y diversificadas en la generación de energía para promover la resiliencia y la sostenibilidad. (Tabla 33 - Figura 12).

Tabla 33. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de agricultura y pesca [14].

Año	Petróleo	Gas natural	Renovable	Electricidad	Unidades
1990	1.958	0	0	0	TJ
1995	1.744	0	0	0	TJ
2000	1.434	0	0	0	TJ
2005	2.061	0	0	0	TJ
2010	4.060	0	0	0	TJ
2015	6.997	0	0	0	TJ
2020	5.881	0	0	0	TJ

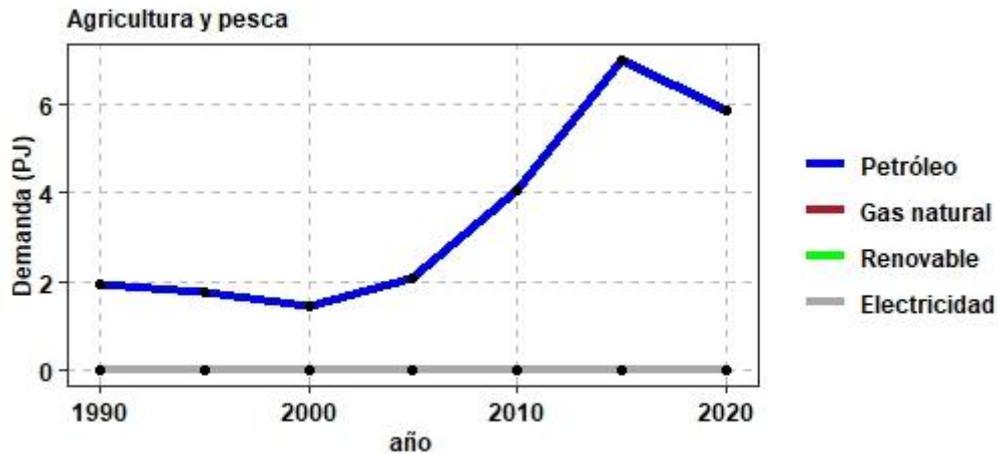


Figura 12. Contribución de las energías para satisfacer la demanda del sector de agricultura y pesca.

3.2.7. Análisis de la demanda de energía por sector y por fuente en el año 2020.

La demanda de energía por sector y por fuente en el año 2020 revela patrones distintivos. En cuanto a la demanda por sector:

- El transporte emerge como el principal consumidor, representando más de la mitad 52.6% del total de la demanda energética.
- Le siguen la industria, el residencial, y los servicios, cada uno con su respectiva participación significativa del 20.1%, 18.5%, y 7.4% respectivamente.
- La agricultura y pesca contribuyen con el 1.4% restante.

En términos de fuentes de energía utilizadas:

- El petróleo destaca como la fuente dominante, empleada en todos los sectores, con una participación que oscila desde el 42.0% hasta el 99.6%.
- El gas natural, en cambio, tiene una participación limitada del 1.7%, exclusivamente en la industria.
- Las fuentes renovables, aunque presentes en la industria y el residencial con un 13.1% y 9.9% respectivamente, tienen una presencia mínima en otros sectores.
- La electricidad, aunque más diversificada en su uso, es una fuente importante en la industria, el residencial y los servicios, con porcentajes que van desde el 37.3% hasta el 76.5%.

En conjunto, estos datos mostrados en la Tabla 34, revelan la fuerte dependencia del petróleo y la electricidad en el panorama energético actual, con una presencia aún limitada de fuentes renovables y gas natural en comparación.

Tabla 34. Demanda de energía por sector y por fuente en el año 2020

	Transporte	Industria	Residencial	Servicios	Agr. & Pesca	Energía final total
Demanda en 2020	221.075	84.435	77.794	31.282	5.881	420.467
% total	52,6%	20,1%	18,5%	7,4%	1,4%	
% Petróleo	99,6%	42,0%	52,7%	23,2%	100,0%	
% G. Natural	0,0%	1,7%	0,0%	0,0%	0,0%	
% Renovable	0,4%	13,1%	9,9%	0,3%	0,0%	
% Electricidad	0,0%	43,2%	37,3%	76,5%	0,0%	

3.2.8. Energía eléctrica

3.2.8.1. Demanda de electricidad

La demanda de energía eléctrica en Ecuador ha sido muy requerida por los sectores; industrial, residencial, servicios y muy poco por el sector de transporte. La demanda de electricidad en el sector residencial experimenta un crecimiento constante, pasando de 6.732 TJ a 29.028 TJ, lo que indica un aumento progresivo en la demanda de electricidad en los hogares. Por otro lado, la demanda de electricidad en el sector industrial muestra un aumento moderado, pasando de 5.479 TJ a 36.514 TJ, lo que sugiere un crecimiento en la demanda de electricidad por parte de las industrias. En contraste, la demanda de electricidad en el sector de servicios y transporte se mantiene en un nivel constante de 23.933 TJ y 39 TJ en 2020 respectivamente. Este análisis refleja un cambio significativo en la distribución de la demanda de electricidad, con un enfoque creciente en el sector residencial y un aumento moderado en el sector industrial, lo que puede tener implicaciones importantes en la planificación y gestión de la infraestructura eléctrica. (Tabla 35 - Figura 13).

Tabla 35. Demanda de electricidad por sector [14].

Año	Demanda de electricidad (TJ)			
	Transporte	Industria	Residencial	Servicios
1990	0	5.479	6.732	3.528
1995	0	6.494	9.263	5.159
2000	36	7.985	10.091	7.135
2005	36	14.861	13.327	9.655
2010	36	23.872	18.410	15.080
2015	36	30.888	24.941	23.177
2020	39	36.514	29.028	23.933

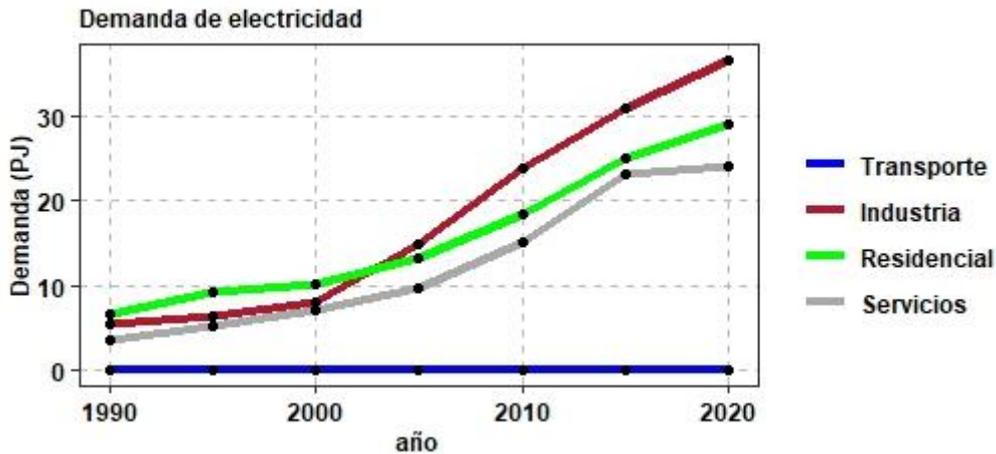


Figura 13. Demanda de electricidad por sector.

3.2.8.1.1. Porcentaje de crecimiento anual en la última década por sector

En la última década, se observó un crecimiento anual significativo en diversos sectores económicos en términos porcentuales. La Tabla 36 proporciona información detallada. El sector del transporte experimentó un incremento modesto del 0.80%, reflejando una estabilidad relativa en comparación con otros sectores. Por otro lado, la industria experimentó un sólido crecimiento anual del 4.19%, destacando la dinámica y expansión dentro del ámbito industrial. En el sector residencial, se evidenció un aumento del 4.48%, indicando posiblemente un aumento en la construcción y desarrollo de viviendas. Por último, el sector de servicios experimentó un crecimiento del 4.54%, subrayando la vitalidad y expansión en áreas como tecnología, finanzas y servicios profesionales.

Tabla 36. Porcentaje de crecimiento anual – Demanda eléctrica

Periodo	Transporte	Industria	Residencial	Servicios
2010 -2020	0,80%	4,19%	4,48%	4,54%

3.2.8.2. Generación de electricidad.

La generación de electricidad se ha basado en energías como el petróleo, gas natural y las renovables. La generación de electricidad a partir de fuentes renovables muestra un crecimiento constante siendo el pico máximo en 2020 con 24.333 TJ, lo que indica una alta y constante contribución de las fuentes renovables a la generación de electricidad. Por otro lado, la generación de electricidad a partir de gas natural experimenta un aumento moderado, pasando de 0 a 1.192 TJ. En contraste, la generación de electricidad a partir de petróleo muestra un crecimiento progresivo con su pico máximo en 2015 con 10.128 TJ y reduciendo de manera brusca a 2020 con 5.170 TJ, lo que indica una reducción en la contribución del petróleo a la generación de

electricidad. Este análisis refleja un cambio significativo en la distribución de la generación de electricidad, con un enfoque creciente en las fuentes renovables y un aumento moderado en la contribución del gas natural, mientras que la contribución del petróleo disminuye (Tabla 37 - Figura 14).

Tabla 37. Contribución de las energías para la generación de electricidad.

Año	Petróleo	Gas natural	Renovable (Hidro)	Unidades
1990	1.362	0	4.987	GWh
1995	3.268	0	5.161	GWh
2000	3.001	447	7.611	GWh
2005	5.268	1.151	6.882	GWh
2010	8.883	1.752	8.636	GWh
2015	10.128	2.171	13.096	GWh
2020	5.170	1.192	24.333	GWh

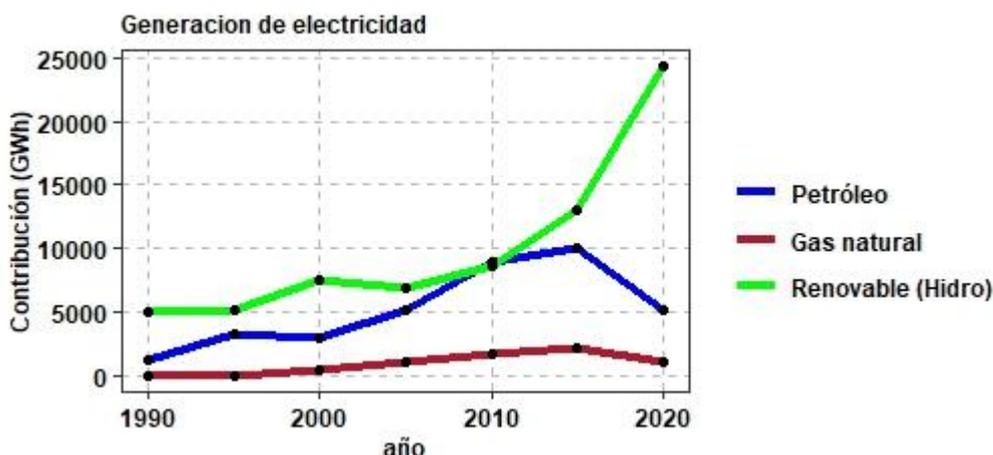


Figura 14. Contribución de las energías para la generación de electricidad.

3.2.9. Emisiones de CO2

La emisión de CO2 en el sector de transporte muestra un crecimiento moderado alcanzando su pico máximo en 2020 con una participación de 16,5 toneladas lo que indica una contribución moderada del sector de transporte a la emisión de CO2. Por otro lado, la emisión de CO2 en el sector de generación eléctrica experimenta variaciones moderadas, manteniéndose en un rango igual e inferior a 8,9 toneladas lo que sugiere una contribución relativamente constante de este sector a la emisión de CO2. En contraste, la emisión de CO2 en los sectores industrial, residencial, servicios y agrícola y pesquero muestra variaciones menores. Este análisis refleja un cambio

significativo en la distribución de la emisión de CO₂, con una disminución en la contribución del sector de transporte y variaciones moderadas en la contribución de otros sectores, lo que puede tener implicaciones importantes en la planificación y gestión de las emisiones de CO₂ (Tabla 38 - Figura 15).

Tabla 38. Emisiones de CO₂ por sector, Ecuador periodo 1990 – 2020.

Año	Emisiones							Total	Unidades
	Transporte	Industria	Residencial	servicio	Agri. & Pesca	Gen. Electricidad	Gen. Electricidad		
1990	8,1	2,4	1,4	0,0	0,1	1,2	13	t	
1995	8,6	2,7	1,9	0,0	0,1	2,6	16	t	
2000	8,4	2,7	1,7	0,7	0,1	2,3	16	t	
2005	10,3	2,9	2,1	0,8	0,2	4,6	21	t	
2010	13,2	2,9	2,5	1,1	0,3	8,3	28	t	
2015	17,7	3,3	2,9	1,3	0,5	8,9	35	t	
2020	16,5	2,8	3,1	0,5	0,4	5,1	28	t	

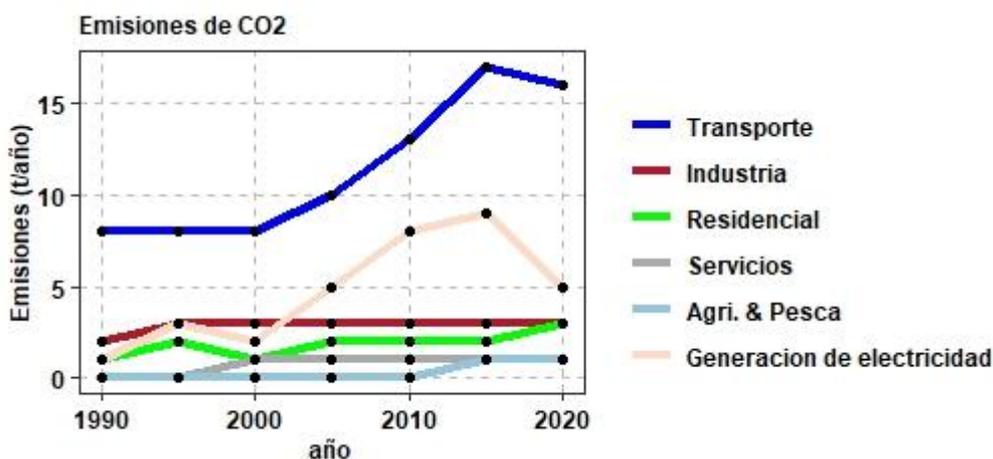


Figura 15. Emisiones de CO₂ por sector, Ecuador 1990 - 2020.

3.2.10. Evolución de los parámetros sostenibles

3.2.10.1. Parámetros de sostenibilidad

La información proporcionada en la Tabla 39 y Tabla 12, revela que las emisiones de CO₂ per cápita se cubren sobradamente según lo ilustra la Figura 16. Esta última representa de manera elocuente que los niveles de emisiones per cápita cumplen fácilmente con los requisitos establecidos. En cuanto al consumo de energía primaria

experimenta un incremento significativo, especialmente durante el periodo comprendido entre 2000 y 2015, reflejando un aumento en la disponibilidad anual de energía per cápita. No obstante, estos valores aún se sitúan considerablemente por debajo de los necesarios para alcanzar un índice de desarrollo humano satisfactorio, establecido en 0,08 TJ/cápita año. Para el año 2020, el valor apenas alcanza los 0,03 TJ/cápita año como muestra en la Figura 17. Mientras que la dependencia externa se cubre sobradamente según lo ilustra la Figura 18. Esta última representa de manera elocuente que los niveles de dependencia externa cumplen fácilmente con los requisitos establecidos. La gráfica demuestra una cobertura sustancial de los estándares previstos, indicando que la dependencia externa se sitúa en niveles que superan con creces las expectativas o metas establecidas.

Tabla 39. Evolución de los parámetros de sostenibilidad

Año	CO2/cap (t/cap)	TPES/cap (TJ/cap)	% Dependencia Externa
1990	1,3	0,0233	-191
1995	1,4	0,0234	-242
2000	1,3	0,0213	-252
2005	1,6	0,0249	-264
2010	1,9	0,0290	-164
2015	2,2	0,0332	-142
2020	1,6	0,0278	-166

Los valores negativos son bastante grandes en magnitud, lo que indica una discrepancia significativa entre la demanda y la generación de energía fósil. Por ejemplo, en 1990, el valor es de -191.18%. Esto significa que la generación de energía fósil fue aproximadamente 91.18% mayor que la demanda de energía fósil en ese año en particular. Este exceso puede deberse a una capacidad de generación excesiva o una demanda de energía fósil menor de lo esperado.

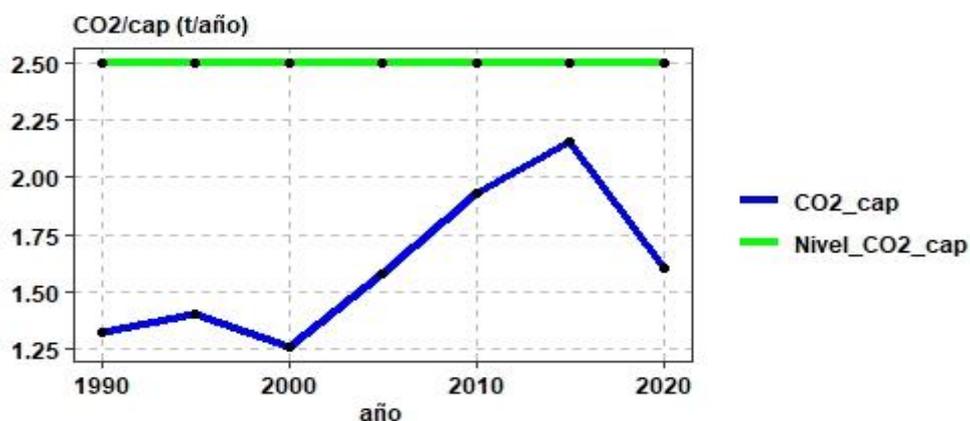


Figura 16. Emisiones de CO2 per cápita.

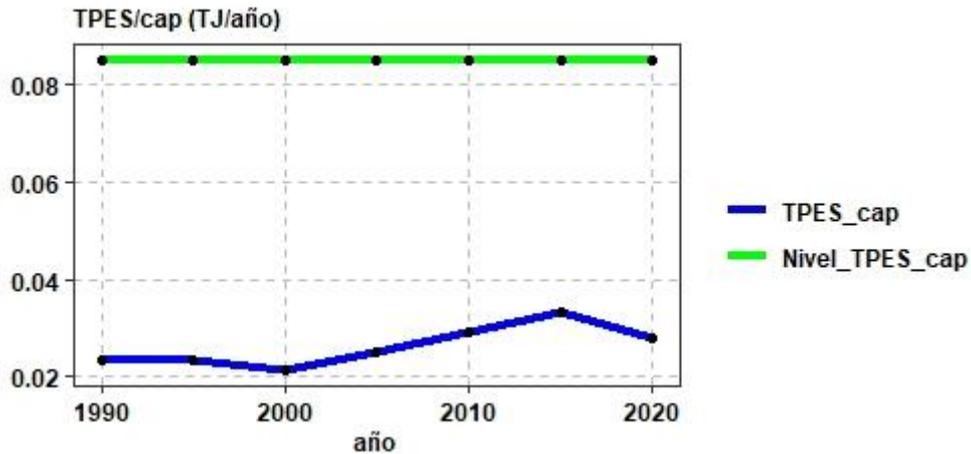


Figura 17. Suministro de energía primaria per cápita.

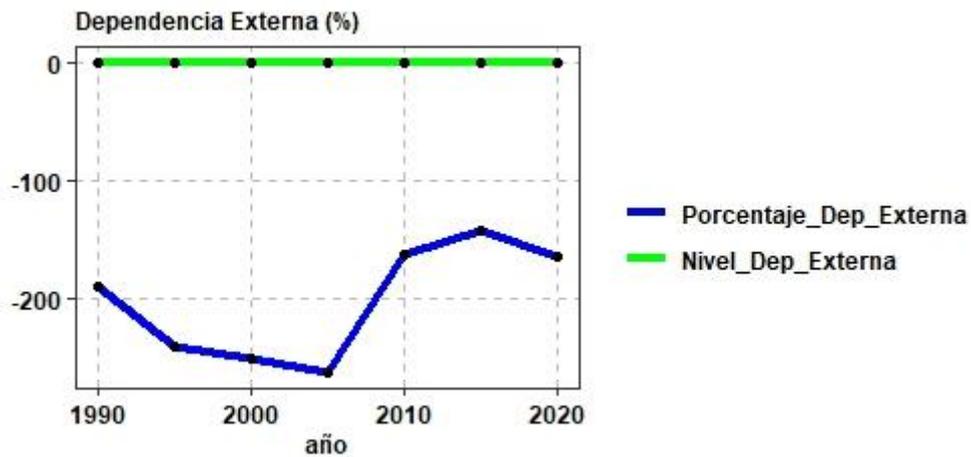


Figura 18. Dependencia externa.

3.2.11. Análisis de sostenibilidad de los datos disponibles.

La evolución del índice de sostenibilidad mostrados en la Tabla 40 proporciona un conjunto de datos que abarcan diferentes años, incluyendo el porcentaje de CO2 per cápita, el total de la oferta de energía primaria per cápita, la dependencia externa y un índice de sostenibilidad. La evolución de estos indicadores a lo largo de los años muestra algunas tendencias. Por ejemplo, el balance de CO2 per cápita disminuye de manera general su porcentaje, indicando una mejora en la eficiencia energética o una transición hacia fuentes de energía más limpias. Sin embargo, el balance de dependencia externa parece aumentar en algunos periodos, lo cual podría indicar una mayor importación de energía.

El índice de sostenibilidad, por otro lado, muestra una tendencia positiva a lo largo de los años, lo que sugiere que las medidas tomadas para aumentar la generación de energía y controlar las emisiones están contribuyendo a un escenario más sostenible. La importancia de abordar el déficit

en la disponibilidad de energía para lograr la sostenibilidad, proponiendo medidas que incluyen un aumento en la generación de energía y el control de las emisiones de CO2.

Los datos ilustrados en la Figura 19 en cuanto a la evolución de estos indicadores a lo largo del tiempo, muestran tendencias hacia un escenario más sostenible, especialmente hacia el año 2050.

Tabla 40. Déficits o superávits para cada parámetro e índice de sostenibilidad

Año	Balance			% Índice Sostenibilidad
	% TPES/cap	% Dep. Externa	% CO2/cap	
1990	-72,57	191,18	47,18	71,0
1995	-72,52	242,21	43,79	71,0
2000	-74,98	252,44	49,69	70,0
2005	-70,71	264,06	36,86	71,7
2010	-65,82	163,81	22,83	73,7
2015	-60,95	142,21	13,69	75,6
2020	-67,34	165,90	35,98	73,1

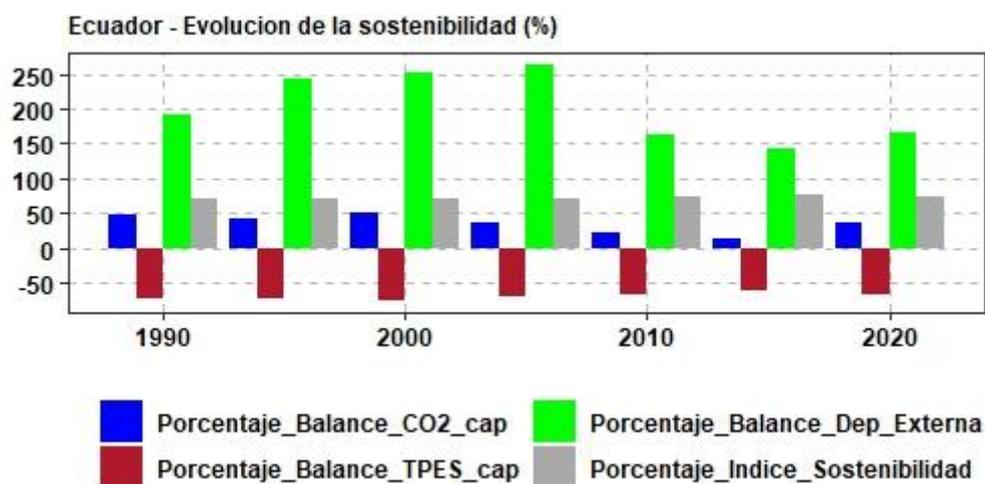


Figura 19. Evolución de la sostenibilidad.

3.3. DISEÑO DE ESCENARIOS ENERGÉTICOS

3.3.1. Escenario BAU

La primera opción para considerar en la búsqueda de sostenibilidad energética consiste en evaluar un escenario BAU, es decir, un escenario "Business as Usual", donde se mantienen las tendencias históricas tanto en la generación como en la demanda de energía. Este enfoque nos proporcionará información valiosa sobre la trayectoria actual y futura si no se implementan cambios significativos en el sistema energético. Analizar el escenario BAU permitirá identificar las áreas críticas que requieren intervención y ajustes para lograr una transición hacia un modelo más

sostenible. Además, ofrecerá perspectivas sobre la necesidad de adoptar enfoques cualitativos y estratégicos para abordar los desafíos energéticos, impulsando así la toma de decisiones informadas en el camino hacia la sostenibilidad.

- **Suposiciones para el diseño de escenario energético BAU**

Según [15] en el análisis realizado mediante DENSUS (Determination of ENergy SUstainable Scenario), para el escenario BAU (Business As Usual) en 2050, se establecen ciertas hipótesis para proyectar el futuro.:

- ✓ La población, la demanda de energía primaria, electricidad y combustibles fósiles se extrapola linealmente hasta 2050.
- ✓ La generación de combustibles fósiles se fija en los valores del último año disponible: 2020.
- ✓ La contribución de la energía hidráulica se mantiene constante en el valor de 2020.
- ✓ La contribución de renovables se calcula como la diferencia entre la energía primaria y los combustibles fósiles.

3.3.1.1. Evolución de los parámetros de sostenibilidad - BAU

La Tabla 41 proporcionada presenta datos relacionados con el escenario BAU (Business As Usual) hasta el año 2050, con foco en las emisiones de CO₂ per cápita, el suministro de energía primaria per cápita y la dependencia externa. Se han establecido límites de sostenibilidad para cada uno de estos indicadores.

En cuanto a las emisiones de CO₂ per cápita (CO₂/cap), se observa un aumento gradual a lo largo de los años, sin embargo, los datos indican que estas variables se mantienen por debajo de los límites de sostenibilidad establecidos en 2.5 como se muestra gráficamente en la Figura 20. Esto indica un crecimiento en las emisiones individuales de dióxido de carbono. No obstante, es importante señalar que estos valores, aunque actualmente están por debajo de los límites, podrían requerir una gestión cuidadosa para garantizar que se mantengan así y no se acerquen a los umbrales críticos en el futuro.

El suministro de energía primaria per cápita (TPES/cap) también experimenta un aumento progresivo, sin embargo, los datos indican que estas variables se mantienen por debajo de los límites de sostenibilidad establecidos en 0,085 TJ/cap. año, como se muestra gráficamente en la Figura 21. No obstante, es importante señalar que estos valores, aunque actualmente están por debajo de los límites, podrían requerir una gestión cuidadosa para garantizar que se mantengan así y no se acerquen a los umbrales críticos en el futuro.

En cuanto a la dependencia externa, se registra un porcentaje negativo en todos los años, lo que podría indicar un excedente de producción interna en comparación con la demanda. Sin embargo, estos valores negativos no superan el límite de sostenibilidad establecido en 0%, lo que sugiere que la dependencia externa no es una preocupación crítica en este escenario.

Tabla 41. Evolución de los parámetros de sostenibilidad - BAU

Año	CO2_cap	Nivel_CO2_cap	TPES_cap	Nivel_TPES_cap	% Dep_Externa	Nivel_Dep_Externa
1990	1,32	2,5	0,023	0,085	-191,18	0
1995	1,41	2,5	0,023	0,085	-242,21	0
2000	1,26	2,5	0,021	0,085	-252,44	0
2005	1,58	2,5	0,025	0,085	-264,06	0
2010	1,93	2,5	0,029	0,085	-163,81	0
2015	2,16	2,5	0,033	0,085	-142,21	0
2020	1,60	2,5	0,028	0,085	-165,90	0
2025	1,93	2,5	0,031	0,085	-122,78	0
2030	1,99	2,5	0,032	0,085	-105,32	0
2035	2,03	2,5	0,032	0,085	-90,55	0
2040	2,07	2,5	0,033	0,085	-77,87	0
2045	2,11	2,5	0,033	0,085	-66,89	0
2050	2,14	2,5	0,034	0,085	-57,27	0

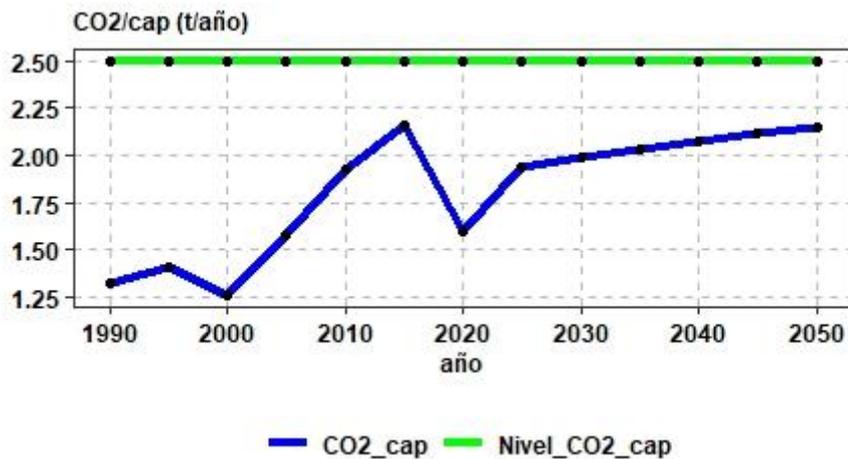


Figura 20. Emisiones de CO2 per cápita – BAU

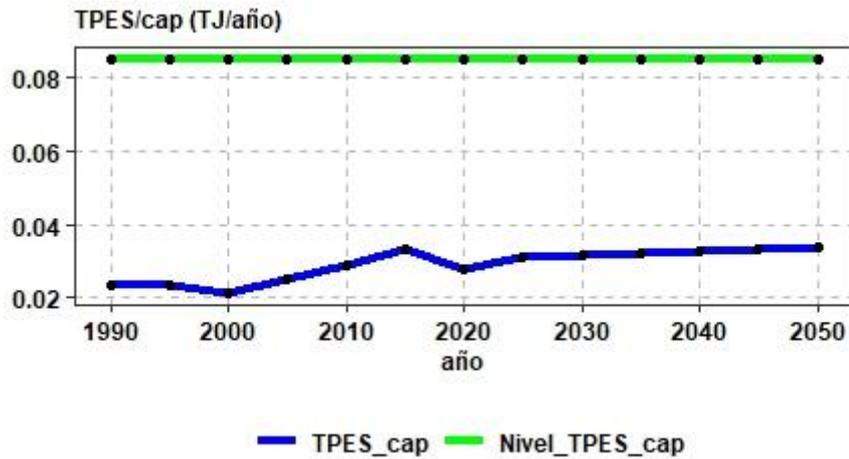


Figura 21. Suministro de energía per cápita – BAU

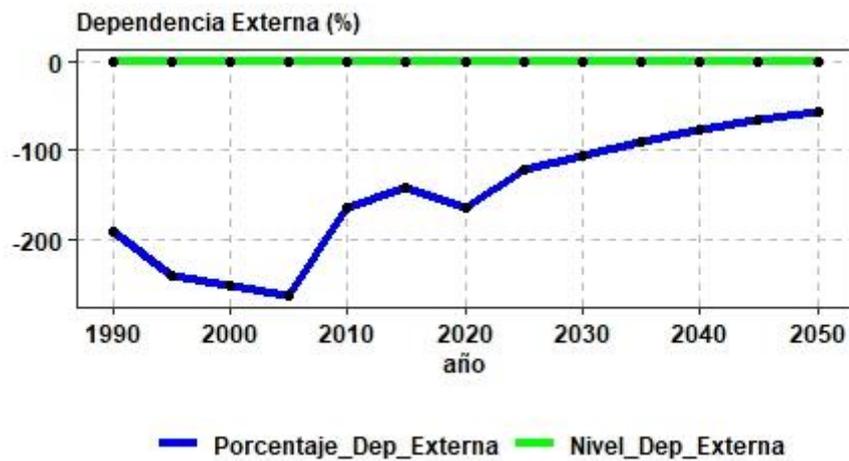


Figura 22. Dependencia externa – BAU.

3.3.1.2. Análisis de sostenibilidad – BAU

De los datos mostrados de la Tabla 42, a medida que se desarrolla el análisis de los factores de sostenibilidad, se observa que dicho proceso posibilita el crecimiento progresivo del índice de sostenibilidad. Este índice, que sirve como indicador clave de la sostenibilidad global, experimenta un aumento continuo hasta alcanzar el 75,9% en el año 2050 (Figura 23). Esta afirmación sugiere que las acciones y medidas implementadas en relación con los factores mencionados no están contribuyendo significativamente a alcanzar metas sostenibles.

Tabla 42. Déficits o superávits para cada parámetro e índice de sostenibilidad - BAU

Año	% Balance CO2/ cap	% Balance TPES/ cap	% Balance Dep. Externa	% Índice de Sostenibilidad
1990	47,2	-72,6	191,2	71,0
1995	43,8	-72,5	242,2	71,0
2000	49,7	-75,0	252,4	70,0
2005	36,9	-70,7	264,1	71,7
2010	22,8	-65,8	163,8	73,7
2015	13,7	-61,0	142,2	75,6
2020	36,0	-67,3	165,9	73,1
2025	22,6	-63,7	122,8	74,5
2030	20,5	-62,9	105,3	74,9
2035	18,7	-62,1	90,5	75,2
2040	17,0	-61,4	77,9	75,4
2045	15,6	-60,8	66,9	75,7
2050	14,2	-60,3	57,3	75,9

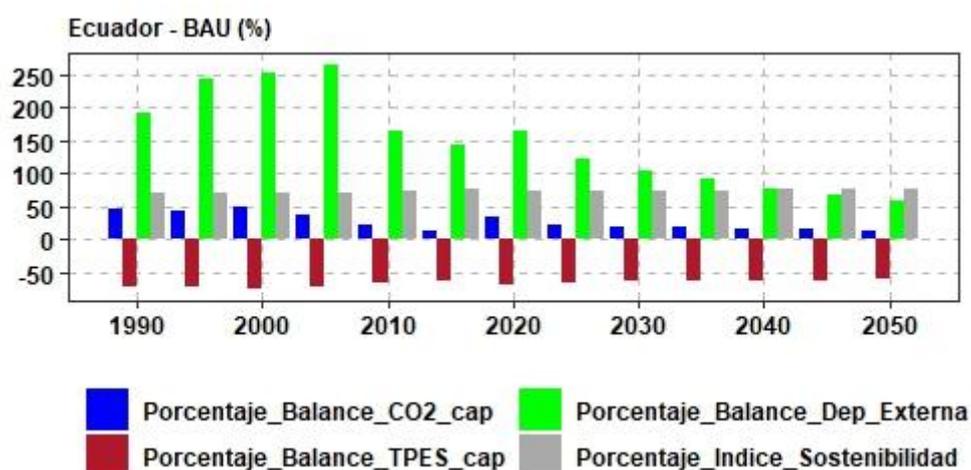


Figura 23. Evolución del índice de sostenibilidad - BAU

La conclusión es que la meta de lograr la sostenibilidad para el año 2050 no se alcanzará, principalmente debido a la falta de implementación de cambios significativos para abordar las deficiencias, especialmente en lo que respecta a la disponibilidad de energía per cápita. El crecimiento de la población está absorbiendo el aumento en la generación de energía, que sigue siendo dominada por fuentes de energía fósil. Esto está provocando, como se evidencia en la evolución de los parámetros de la Figura 20 a la Figura 22, una disminución de las reservas de combustibles fósiles, aunque aún se mantienen por encima de la demanda. Simultáneamente, las emisiones per cápita están aumentando debido al incremento en el uso de combustibles fósiles,

acercándose al límite permitido en los valores de sostenibilidad. Por lo tanto, se requieren cambios cualitativos en el panorama energético.

El siguiente apartado presentará un escenario sostenible como propuesta para abordar estas problemáticas.

3.3.2. Escenario sostenible

Según [15], el escenario sostenible, denominado SUST, es generado a través del código DENSUS el cual fue creado en el Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería Energética de la Universidad Politécnica de Valencia. Este programa aborda de manera iterativa el seguimiento de la evolución de las contribuciones provenientes de diversas fuentes de energía. Su propósito es ajustar progresivamente dichas contribuciones hasta lograr los valores necesarios para cada uno de los factores que componen el índice de sostenibilidad, establecidos para el año correspondiente.

- **Suposiciones para el diseño de escenario energético SUST**

En la aplicación al caso de Ecuador, se han considerado las siguientes hipótesis:

- ✓ La población se extrapola linealmente hasta 2050.
- ✓ No se considera la penetración de vehículos eléctricos en el sector del transporte.
- ✓ Se mantiene la generación electricidad a partir de hidráulica en el nivel de 2020.
- ✓ Se mantienen los niveles de generación de combustibles fósiles (petróleo y gas natural) en los valores de 2020.
- ✓ No se implementan medidas de ahorro o mejora de la eficiencia energética.

El escenario sostenible se deduce mediante proceso iterativo utilizando como variables independientes las contribuciones de las fuentes de energía primaria a cumplir con la demanda.

3.3.2.1. Evolución de los parámetros sostenibles – SUST

La Tabla 43 proporcionada presenta datos relacionados con el escenario SUST hasta el año 2050, con foco en las emisiones de CO₂ per cápita, el suministro de energía primaria per cápita y la dependencia externa. Se han establecido límites de sostenibilidad para cada uno de estos indicadores.

En cuanto a las emisiones de CO₂ per cápita (CO₂/cap), se observa un aumento gradual a lo largo de los años, los datos indican que estas variables se aproximan al límite de sostenibilidad establecidos en 2.5 como se muestra gráficamente en la Figura 24. Esto indica un crecimiento en las emisiones individuales de dióxido de carbono.

El suministro de energía primaria per cápita (TPES/cap) también experimenta un aumento progresivo, los datos indican que estas variables se aproximan al límite de sostenibilidad establecidos en 0,085 TJ/cap. año, como se muestra gráficamente en la Figura 25.

En cuanto a la dependencia externa, se registra un porcentaje negativo en todos los años, lo que podría indicar un excedente de producción interna en comparación con la demanda. Sin embargo, estos valores negativos no superan el límite de sostenibilidad establecido en 0%, lo que sugiere que la dependencia externa no es una preocupación crítica en este escenario.

El análisis realizado permite deducir la evolución de los factores de sostenibilidad, específicamente los relacionados con las emisiones de dióxido de carbono per cápita (CO2/cap), el consumo total de energía primaria per cápita (TPES/cap), y la Dependencia Externa. Este proceso lleva a la identificación de valores particulares que resultan ser esenciales para alcanzar los objetivos y criterios establecidos. La información detallada referente a estos valores se encuentra detallada a partir de la Figura 24 a la Figura 26 respectivamente.

Tabla 43. Evolución de los parámetros sostenibles – SUST

Año	CO2_cap	Nivel_CO2_cap	TPES_cap	Nivel_TPES_cap	% Dep. Externa	Nivel_Dep_Externa
1990	1,3	2,5	0,023	0,085	-191,2	0,0
1995	1,4	2,5	0,023	0,085	-242,2	0,0
2000	1,3	2,5	0,021	0,085	-252,4	0,0
2005	1,6	2,5	0,025	0,085	-264,1	0,0
2010	1,9	2,5	0,029	0,085	-163,8	0,0
2015	2,2	2,5	0,033	0,085	-142,2	0,0
2020	1,6	2,5	0,028	0,085	-165,9	0,0
2025	1,7	2,5	0,037	0,085	-111,0	0,0
2030	1,8	2,5	0,045	0,085	-78,5	0,0
2035	1,9	2,5	0,054	0,085	-56,6	0,0
2040	2,1	2,5	0,062	0,085	-41,4	0,0
2045	2,2	2,5	0,071	0,085	-30,3	0,0
2050	2,3	2,5	0,080	0,085	-22,0	0,0

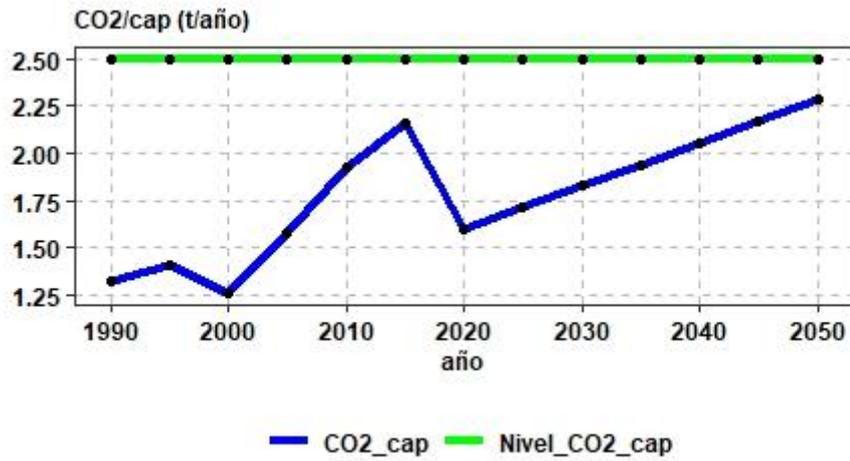


Figura 24. Evolución del factor de sostenibilidad CO2 en escenario SUST.

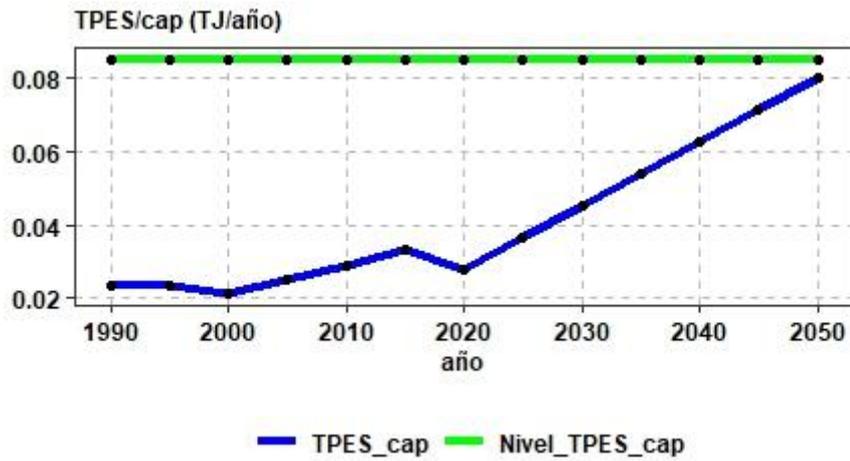


Figura 25. Evolución del factor de sostenibilidad TPES/cap en el escenario SUST.

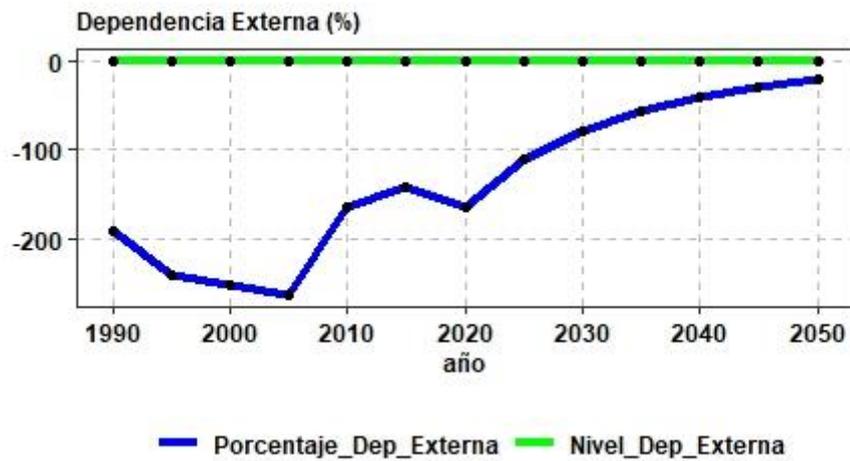


Figura 26. Evolución del factor de sostenibilidad Dependencia Externa en el escenario SUST.

3.3.2.2. Análisis de sostenibilidad – SUST

Se observa en los datos de la Tabla 44, que a medida que se desarrolla el análisis de los factores de sostenibilidad, se observa que dicho proceso posibilita el crecimiento progresivo del índice de sostenibilidad. Este índice, que sirve como indicador clave de la sostenibilidad global, experimenta un aumento continuo hasta alcanzar aproximadamente el 100% en el año 2050 (Figura 27). Esta afirmación sugiere que las acciones y medidas implementadas en relación con los factores mencionados están contribuyendo significativamente a la consecución de metas sostenibles, culminando en un estado donde se logran los niveles óptimos de sostenibilidad para ese año en particular. Este hito marcado aproximadamente por un 100% en el índice de sostenibilidad resalta el éxito de las estrategias adoptadas y refleja un compromiso exitoso con la sostenibilidad a largo plazo.

Tabla 44. Déficits o superávits para cada parámetro e índice de sostenibilidad - SUST

Año	Balance			% Índice Sostenibilidad
	% CO ₂ /cap	% TPES/cap	% Dep. Externa	
1990	47,2	-72,6	191,2	71,0
1995	43,8	-72,5	242,2	71,0
2000	49,7	-75,0	252,4	70,0
2005	36,9	-70,7	264,1	71,7
2010	22,8	-65,8	163,8	73,7
2015	13,7	-61,0	142,2	75,6
2020	36,0	-67,3	165,9	73,1
2025	31,5	-56,7	111,0	77,3
2030	26,9	-47,0	78,5	81,2
2035	22,4	-36,8	56,6	85,3
2040	17,9	-26,6	41,4	89,4
2045	13,3	-16,4	30,3	93,5
2050	8,8	-6,2	22,0	97,5

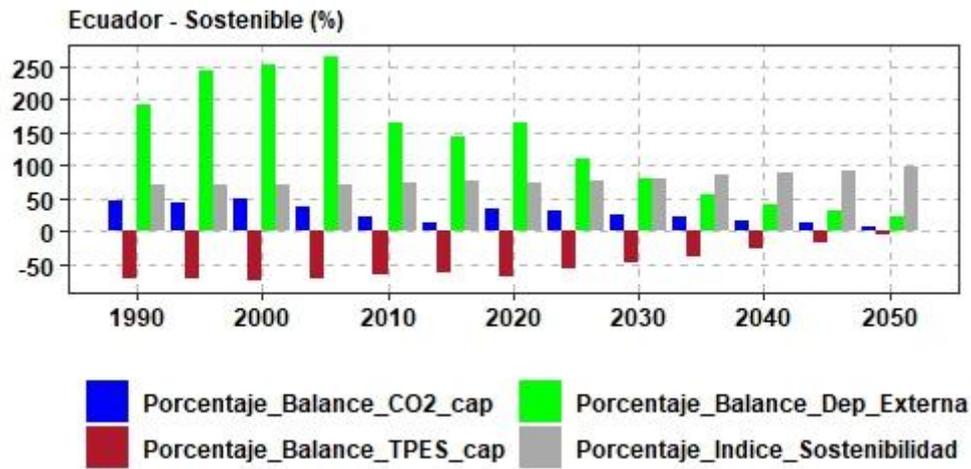


Figura 27. Evolución del índice de sostenibilidad en escenario SUST

3.4. ANÁLISIS TÉCNICO DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA AL 2050 EN ECUADOR

3.4.1. Resultados y Escenarios Proyectados

Lograr este nivel de sostenibilidad demanda un incremento sustancial, aproximadamente del 230%, en la producción de energía primaria en comparación con la tasa de crecimiento prevista en el escenario de referencia BAU (Figura 28). Este aumento crucial se fundamenta principalmente en el aumento significativo de la contribución de fuentes de energía renovable. Este cambio representa una transición esencial hacia un enfoque más sostenible, donde la expansión de las energías renovables desempeña un papel fundamental en el logro de los objetivos establecidos.

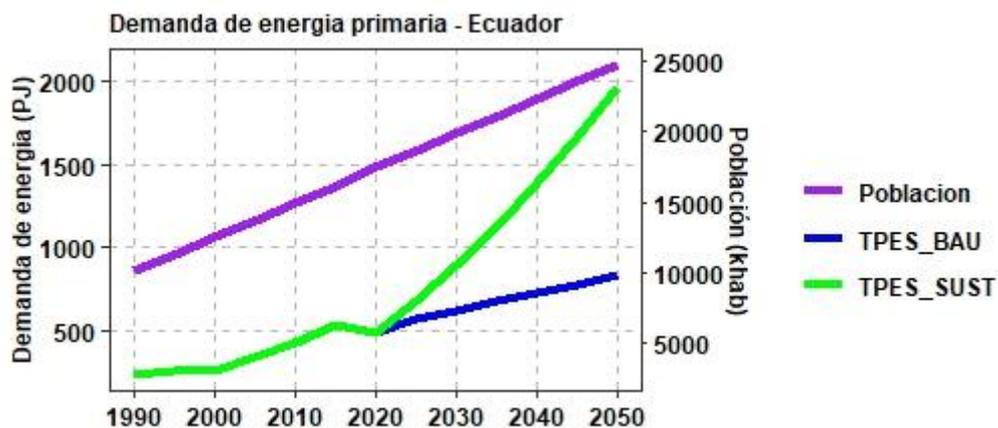


Figura 28. Evolución de la población y la demanda de energía primaria

A partir de la Figura 29 hasta la Figura 31, se exponen la progresión de la demanda de petróleo, gas natural y fuentes renovables en dicho escenario. Estas representaciones visuales ofrecen una visión detallada de cómo se espera que evolucione la demanda de cada tipo de energía en el transcurso del escenario considerado. Además, la Tabla 45 detalla los incrementos de demanda de cada una de ellas en comparación con los niveles consumidos en el año base 2020. Esta información detallada ofrece una comprensión clara de cómo se anticipa que cambie la demanda energética a lo largo del tiempo y destaca los sectores que experimentarán aumentos significativos en su consumo.

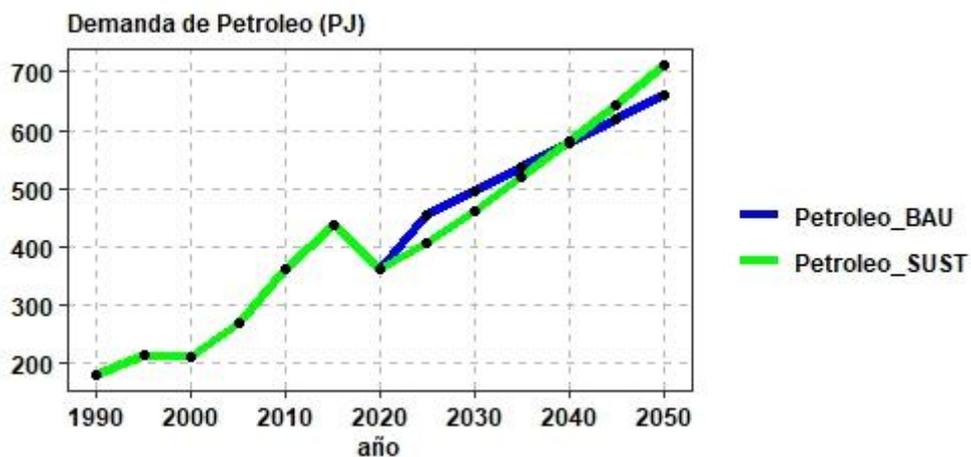


Figura 29. Demanda de petróleo

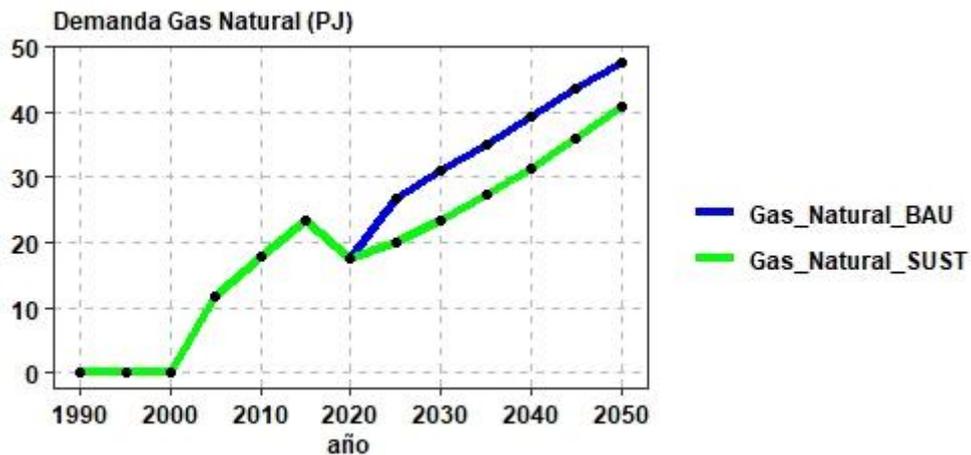


Figura 30. Demanda de Gas Natural.

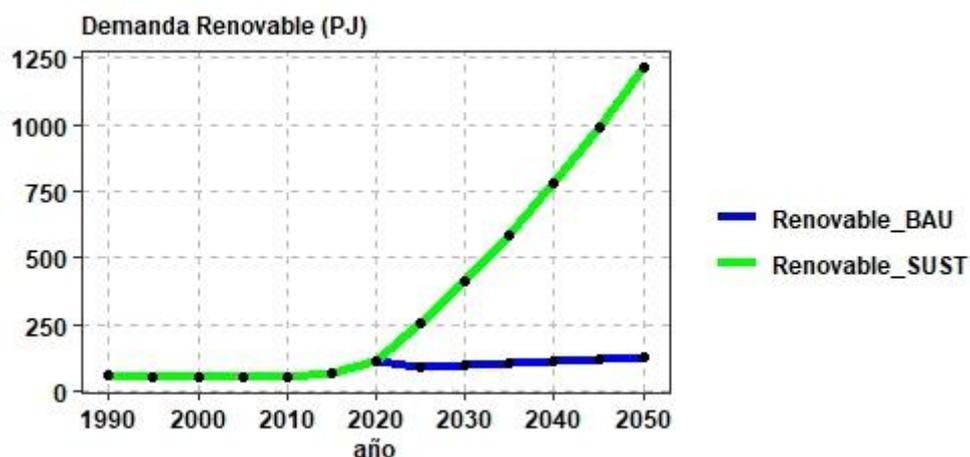


Figura 31. Demanda de Renovables.

Tabla 45. Factores de incremento de la demanda de fuentes primarias

Fuente	BAU2020(TJ)	BAU2050 (TJ)	% Incremento BAU	SUST2050(TJ)	% Incremento SUST.
Carbón	0	0		0	
Petróleo	362.300	661.076	82%	712.271	97%
Gas Natural	17.438	47.689	173%	40.844	134%
Renovable	112.864	128.326	14%	1.215.345	977%
Nuclear	0	0		0	

En el escenario BAU para el año 2050, en la Tabla 45 se observa un aumento sustancial en la demanda de gas natural y petróleo, alcanzando un incremento del 173% y 82%, respectivamente. En contraste, las fuentes renovables experimentan un crecimiento relativamente modesto, registrando un aumento del 14%. Por otro lado, en el escenario SUST, se observan incrementos similares en las fuentes de energía fósil en relación con el BAU. Sin embargo, la demanda de fuentes renovables experimenta un aumento más significativo, multiplicándose por un factor de aproximadamente 10 en comparación con el escenario BAU.

3.4.1.1. Evolución de los sectores primarios, de transformación y usos finales de la energía.

La distribución de los incrementos en los distintos sectores de demanda y en la generación de electricidad se describe a partir de la Figura 32 a la Figura 42, donde se analiza la evolución de la demanda total y su reparto entre diversas fuentes en el año 2050. Al comparar las proyecciones entre el escenario BAU y el SUST para ese año, se puede inferir lo siguiente:

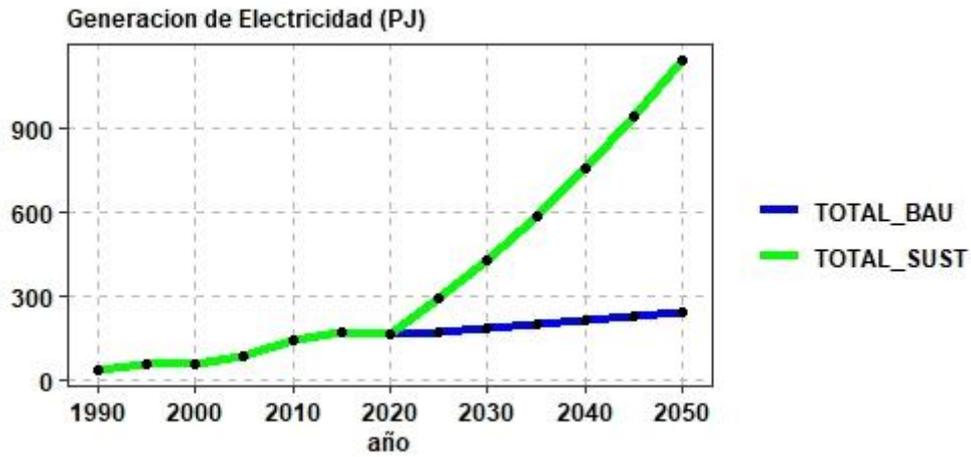


Figura 32 Evolución de la demanda en la generación de electricidad.

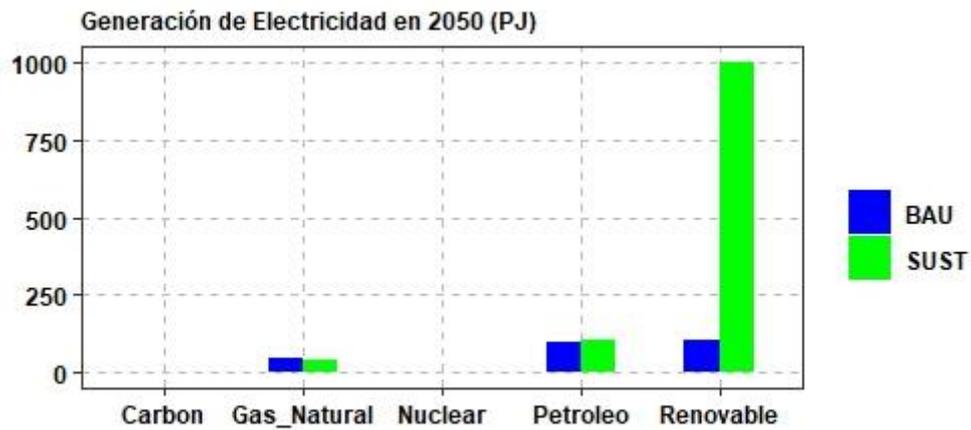


Figura 33. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda de para la generación de electricidad.

El sector del transporte alcanza valores sobre los 400 PJ (PetaJulios) hasta el año 2050, sin embargo, sorprendentemente, no ha logrado modificar su arraigada dependencia casi exclusiva del petróleo como se ilustra en la Figura 34 - Figura 35.

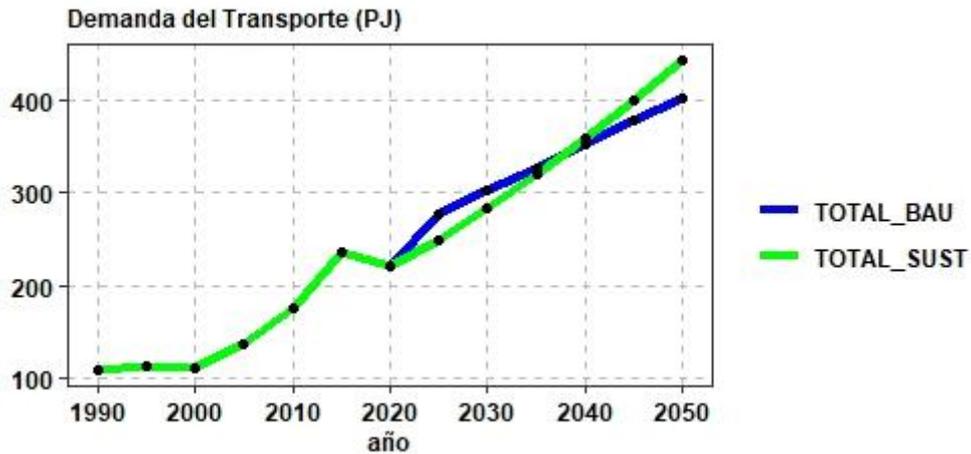


Figura 34. Evolución de la demanda del sector Transporte.

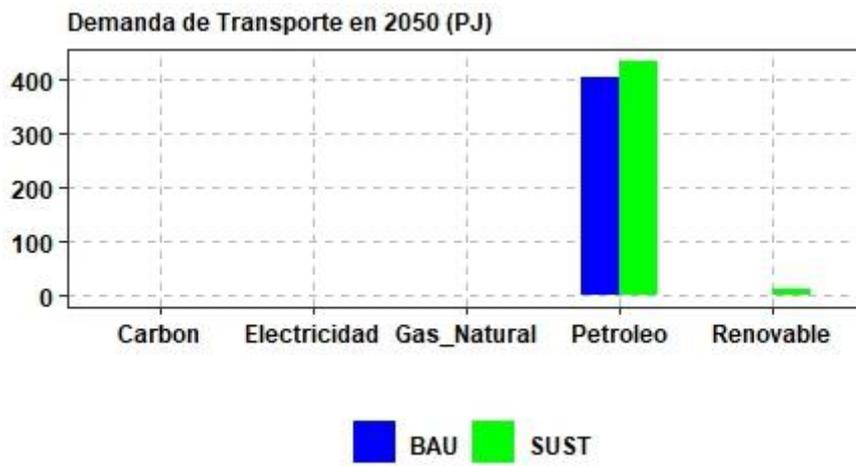


Figura 35. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector Transporte.

El sector industrial ha experimentado un impresionante aumento en el escenario SUST superando los 500 PJ, consolidando su crecimiento de manera notable. Lo más destacado es la transformación en sus fuentes energéticas, donde un sólido 65% proviene de electricidad, marcando un cambio significativo hacia opciones más limpias y eficientes. Además, el sector ha abrazado las energías renovables, representando el 24% de su matriz energética (Figura 36 - Figura 37). Estas cifras estadísticas reflejan un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad, evidenciando un compromiso con la reducción de la huella ambiental y el impulso hacia prácticas industriales más respetuosas con el medio ambiente.

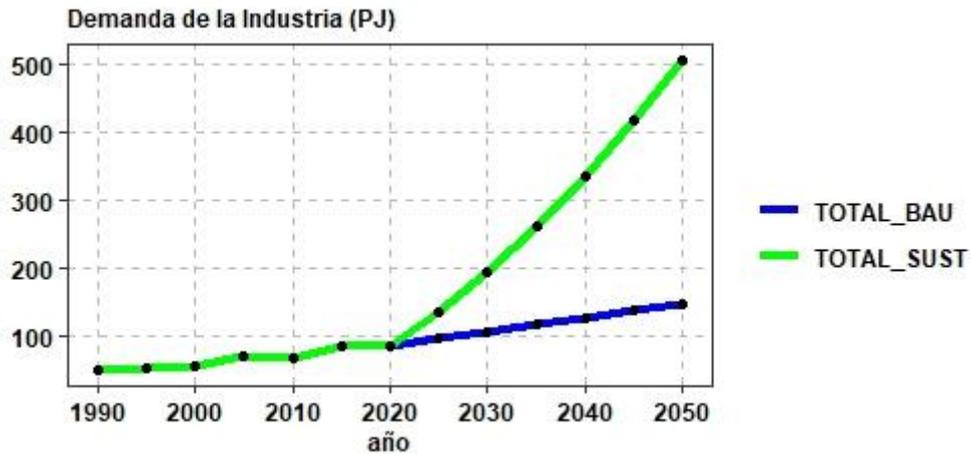


Figura 36. Evolución de la demanda del sector Industrial.

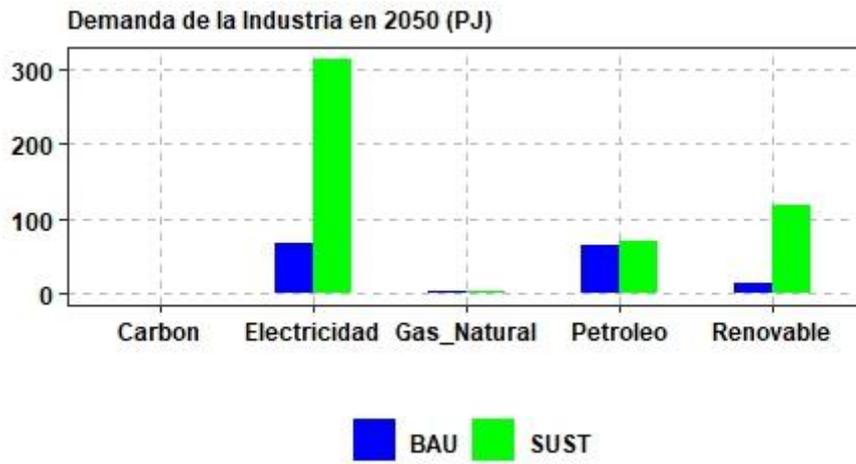


Figura 37. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector Industrial.

El sector residencial ha experimentado en el escenario sostenible un notable crecimiento sobre los 400 PJ, revelando un marcado cambio en las tendencias y necesidades. Este crecimiento se sustenta en una diversificación de fuentes energéticas, siendo la electricidad la principal contribuyente con un 60%. Además, se evidencia un compromiso significativo con la sostenibilidad al asignar un 20% de su matriz energética a fuentes renovables. A pesar de esto, el petróleo aún mantiene una presencia significativa, representando el 19% de la mezcla (Figura 38 - Figura 39). Estas cifras reflejan una transición en curso hacia opciones más limpias, pero también señalan la importancia de seguir impulsando el uso de energías renovables en el ámbito residencial para alcanzar objetivos ambientales a largo plazo.

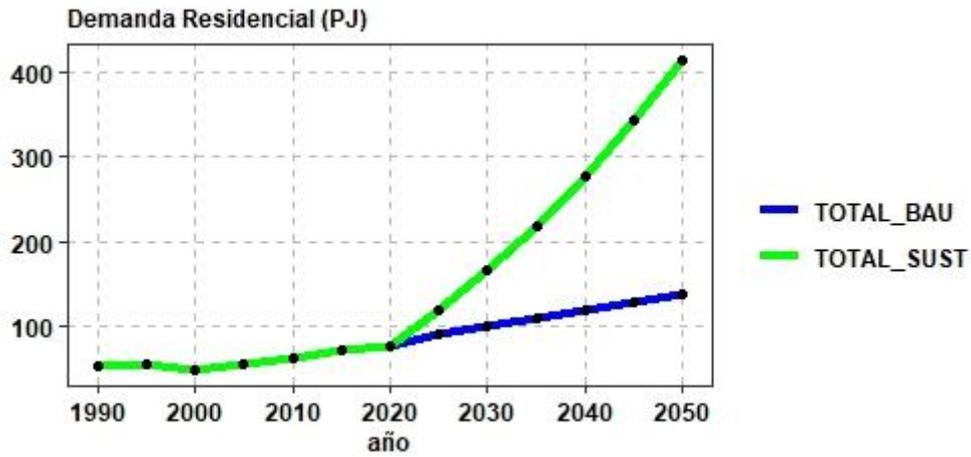


Figura 38. Evolución de la demanda del Sector Residencial.

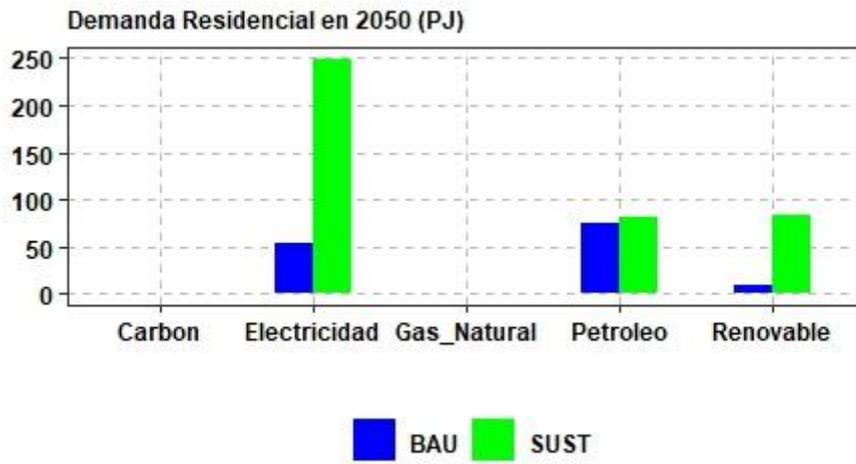


Figura 39. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector Residencial.

El sector servicios ha experimentado un notorio incremento alcanzando cifras sobre los 200 PJ en el escenario sostenible, este ascenso se respalda principalmente en el uso eficiente de la electricidad, que representa un significativo 87% de su matriz energética. A pesar de la prevalencia de fuentes más limpias, el petróleo mantiene una presencia del 12% en el sector, evidenciando la necesidad de explorar mayores opciones de energías renovables y estrategias de eficiencia energética (Figura 40 - Figura 41). La diversificación y la adopción de prácticas más sostenibles en el sector servicios pueden contribuir a mitigar impactos ambientales y a consolidar un crecimiento económico más equilibrado.

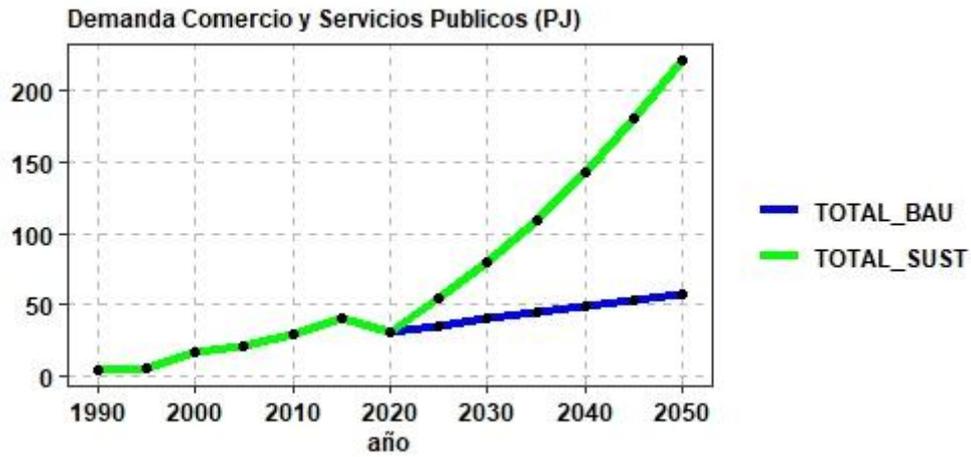


Figura 40. Evolución de la demanda del Sector Comercio y Servicios Públicos.

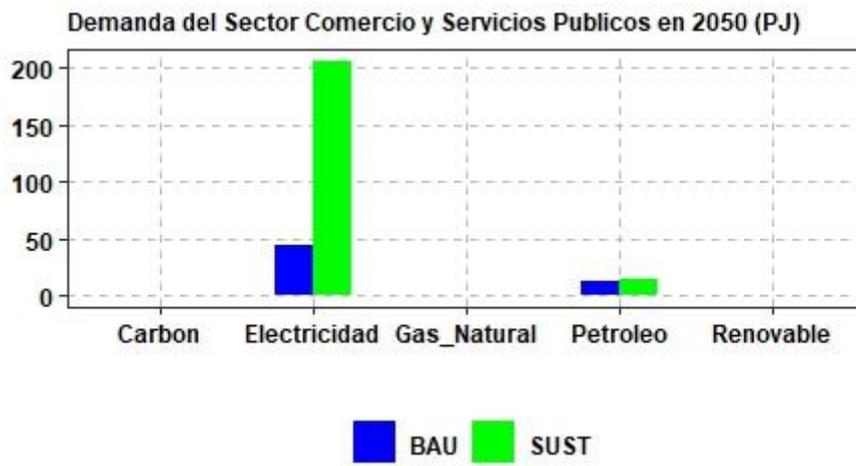


Figura 41. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector Comercio y Servicios Públicos.

El sector de agricultura y pesca ha experimentado un modesto aumento alcanzando cifras cercanas a 12 PJ, pero destaca por su persistente dependencia exclusiva del petróleo (Figura 42 - Figura 43). La necesidad de explorar alternativas más sostenibles y eficientes en este sector se vuelve evidente, no solo para reducir la huella ambiental, sino también para garantizar una mayor estabilidad frente a posibles fluctuaciones en los precios del petróleo y promover prácticas agrícolas y pesqueras más respetuosas con el medio ambiente.

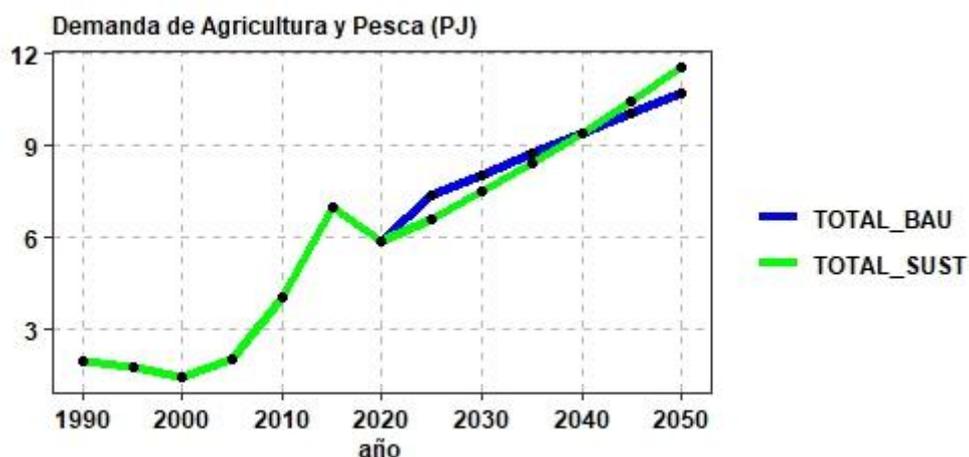


Figura 42. Evolución de la demanda del Sector Agricultura y Pesca.

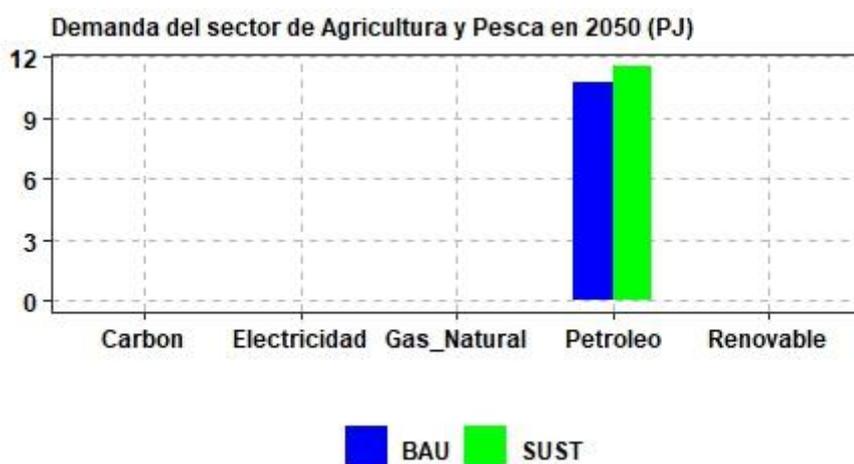


Figura 43. Distribución de las fuentes para satisfacer la demanda del Sector de Agricultura y Pesca.

Como resultado, se observa un incremento significativo en la demanda de electricidad, experimentando un notable crecimiento con cifras cercanas a los 800 PJ. Esta demanda creciente se aborda principalmente con fuentes de energía más sostenibles, donde las renovables y el petróleo representan conjuntamente un 88% y 9% de la matriz energética. Además, se registra un uso marginal del gas natural, contribuyendo con un 3% a la generación eléctrica (Figura 33). Este cambio hacia una mayor proporción de energías renovables refleja un compromiso con la sostenibilidad y señala la importancia de diversificar las fuentes de energía para satisfacer las crecientes demandas, minimizando al mismo tiempo el impacto ambiental.

En el escenario sostenible SUST proyectado para el año 2050, la demanda de electricidad experimenta un aumento significativo, multiplicándose por un factor de 5 en comparación con el escenario de referencia BAU para el mismo año, según se muestra en la Figura 44.



Figura 44. Evolución de la demanda de electricidad.

Este aumento sustancial se centra en los sectores industrial, residencial y de servicios, representando el 41%, 30%, y 29% respectivamente, de la demanda total de electricidad, como se detalla en la Tabla 46 - Figura 45. Este cambio revela un claro desplazamiento hacia una mayor dependencia de la electricidad en estos sectores clave y subraya la necesidad de estrategias energéticas sostenibles para abordar eficazmente la creciente demanda eléctrica.

Tabla 46. Datos de los sectores de mayor demanda de electricidad.

Año	Industria SUST (TJ)	Residencial SUST (TJ)	Servicio SUST (TJ)	TOTAL SUST (TJ)
1990	5.479	6.732	3.528	15.739
1995	6.494	9.263	5.159	20.916
2000	7.985	10.091	7.135	25.247
2005	14.861	13.327	9.655	37.879
2010	23.872	18.410	15.080	57.398
2015	30.888	24.941	23.177	79.042
2020	36.514	29.027	23.933	91.076
2025	70.132	55.752	45.968	178.039
2030	106.775	84.882	69.986	270.382
2035	150.359	119.529	98.552	379.971
2040	199.445	158.550	130.725	503.261
2045	254.007	201.924	166.488	640.100
2050	313.997	249.613	205.808	790.374

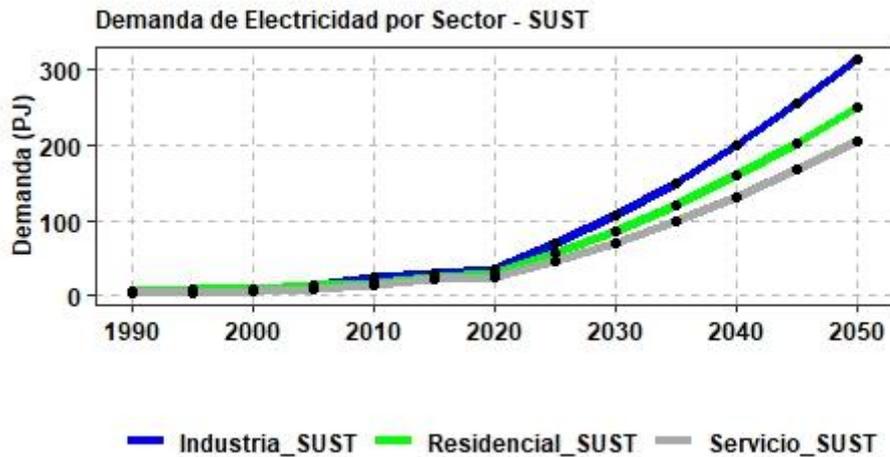


Figura 45. Evolución de la demanda sectorial de electricidad.

Si asumimos que la aportación de la energía hidroeléctrica permanece constante al nivel registrado en 2020, el incremento previsto en la contribución de fuentes renovables a la generación de electricidad deberá provenir principalmente de otras fuentes como la solar, eólica y biomasa, como se indica en la Figura 46. Este escenario implica la necesidad de realizar un esfuerzo significativo en la instalación de parques de energías renovables para cubrir la creciente demanda eléctrica proyectada en el escenario sostenible SUST. La diversificación y expansión de estas fuentes renovables serán esenciales para satisfacer de manera efectiva las necesidades eléctricas emergentes y promover un futuro más sostenible.

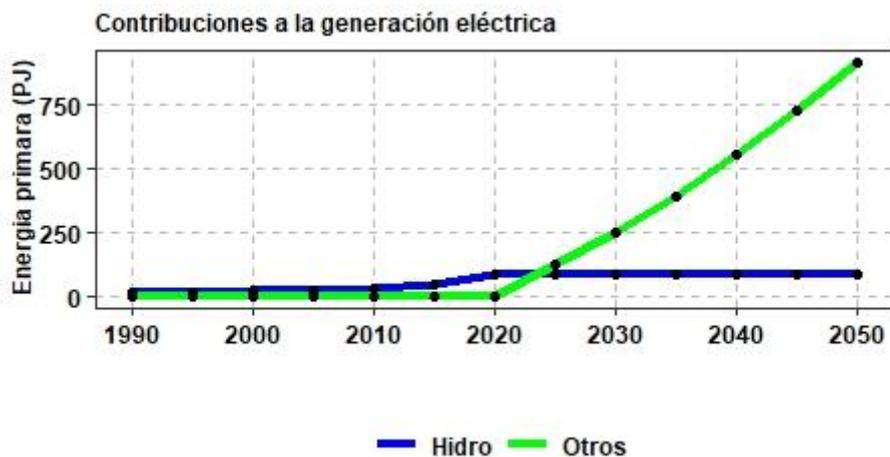


Figura 46. Fuentes renovables en generación de electricidad.

Las emisiones de CO₂ en ambos escenarios experimentan un crecimiento muy similar, como se ilustra en la Figura 47. Este incremento se atribuye principalmente al aumento en la generación de energía, donde los combustibles fósiles desempeñan un papel destacado, aunque se mantiene la posibilidad de mantenerse por debajo de los umbrales requeridos para la sostenibilidad. Las emisiones en el escenario sostenible están mayormente impulsadas por el sector del transporte,

contribuyendo con un 62%, seguido por generación de electricidad 16%, residencial 9% e industrial 7%, con aportes menores de los demás sectores (Figura 48). Esta distribución subraya la necesidad de abordar específicamente las emisiones del sector del transporte para lograr una reducción efectiva de las emisiones totales de CO2 y alcanzar objetivos sostenibles.

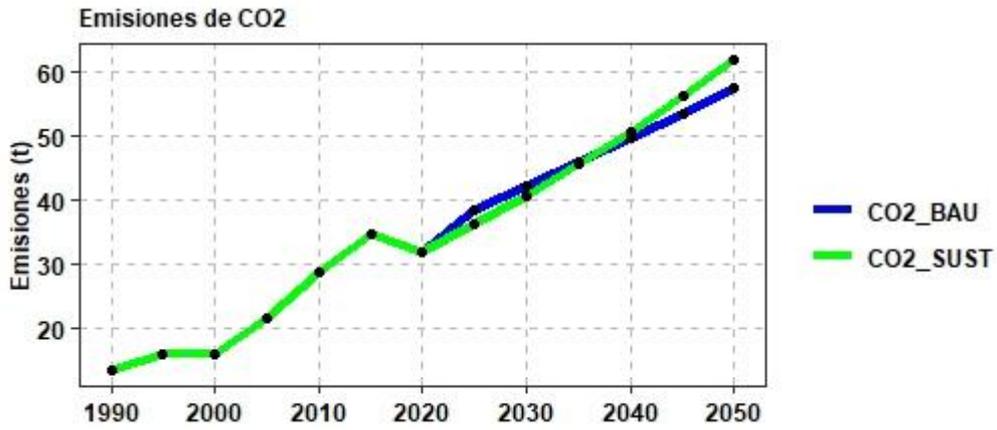


Figura 47. Emisiones de CO2.

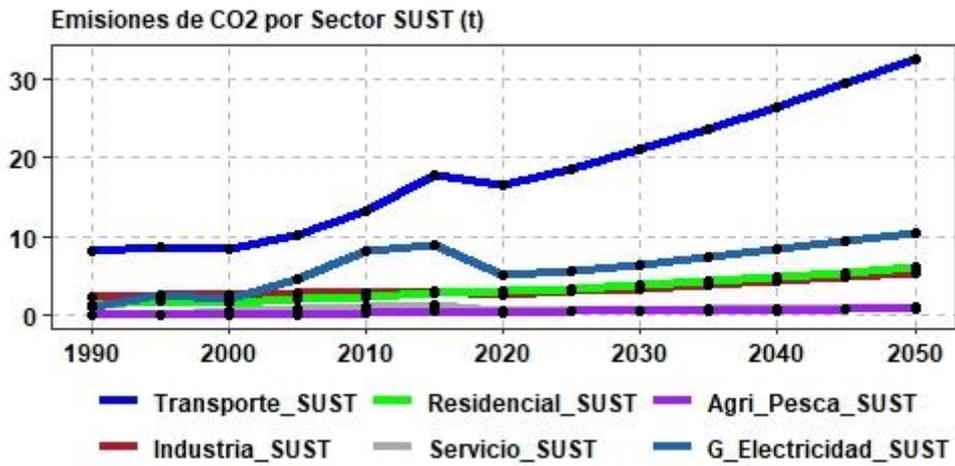


Figura 48. Emisiones de CO2 por sector -escenario sostenible.

3.5. Verificación de hipótesis

Dado que este trabajo tiene un enfoque experimental, se empleó el diseño de dos escenarios energéticos denominados escenario BAU y SUST. Esto se realizó en base al análisis técnico de la matriz energética y el diseño de escenarios proyectados hasta el año 2050.

El análisis técnico del consumo energético ha facilitado la elaboración de escenarios energéticos proyectados hasta el año 2050.

Para poder validar la hipótesis se recolecta datos históricos del consumo energético, desglosados por fuentes de energía, sectores y tendencias a lo largo del tiempo, aplicamos métodos y técnicas de análisis técnico para examinar patrones, tendencias y cambios en el consumo energético. Utilizamos modelos y herramientas de simulación para proyectar escenarios futuros del consumo energético hasta el año 2050. Se considera cómo se alinean las demandas generadas en cada escenario con los índices de sostenibilidad energética establecidos.

La Tabla 47 muestra los datos de demanda de energía primaria en el diseño de los dos escenarios propuestos, evidenciándose una mayor demanda para el año 2050 en lo que corresponde al escenario SUST. Con estos valores se puede alcanzar los índices de sostenibilidad energética establecidos según se muestra a partir de la Figura 24 a la Figura 27.

Tabla 47. Demanda de energía primaria

Año	TPES BAU	Población	TPES SUST
1990	235.793	10.112	235.793
1995	264.695	11.333	264.695
2000	267.121	12.562	267.121
2005	341.429	13.712	341.429
2010	432.670	14.894	432.670
2015	533.804	16.083	533.804
2020	486.048	17.509	486.048
2025	573.727	18.604	684.212
2030	625.675	19.819	893.671
2035	677.623	21.034	1.130.799
2040	729.570	22.249	1.388.905
2045	781.518	23.464	1.668.130
2050	833.465	24.680	1.968.460

Resultado: El análisis técnico de la evolución del consumo energético, permitió diseñar escenarios energéticos al 2050.

4. CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- De acuerdo con la investigación de los datos de IEA hasta el año 2020 revela que el consumo de energía per cápita, alcanzo solo 0,03 TJ/cap*año lo que significativamente está por debajo del índice óptimo de desarrollo humano sostenible, fijado en 0,085 TJ/cap*año.
- Según las investigaciones bibliográficas, se ha determinado que, en Ecuador, en el año 2020, los principales usos de la energía se distribuyen de la siguiente manera: transporte (52.6%), industria (20.1%), residencial (18.5%), comercio y servicios públicos (7.45%), y agricultura y pesca (1.4%). Esto indica que los sectores con mayor demanda energética son el transporte, la industria y el residencial. En el caso del sector de Transporte y Agricultura & pesca la demanda se cubre exclusivamente con petróleo como se puede observar en la Tabla 34, mientras que en los otros sectores la demanda está más diversificada con contribuciones de renovables, petróleo y electricidad.
- El escenario propuesto, que satisface adecuadamente los aspectos sociales, ambientales y económicos, es el escenario sostenible (SUST) a largo plazo (Tabla 43). De acuerdo con los parámetros de sostenibilidad establecidos, que incluyen la cobertura de las necesidades energéticas actuales con un valor objetivo de 0.085 TJ/año, se ha alcanzado un consumo de 0.080 TJ/año. Además, para asegurar el suministro de energía para las generaciones futuras considerando la dependencia externa, con una ponderación del 0%, se ha logrado un valor del 22%. Por otro lado, para minimizar el impacto ambiental, que no debe superar las 2.5 toneladas/año, se ha mantenido por debajo de este límite, alcanzando 2.3 toneladas/año.
- Cuando se realiza el análisis técnico de sostenibilidad energética se propone que los sectores primarios utilicen más energías limpias, considerando que la demanda de energía eléctrica en el escenario SUST para 2050, aumenta cinco veces en comparación con el escenario BAU, centrando este crecimiento en los sectores industrial, residencial y de servicios (Tabla 46), dicha demanda de electricidad se generara a partir de energías renovables como, la solar, eólica y biomasa, con una menor participación de la hidroenergía (Figura 33 - Figura 46).
- Las fuentes de energía, como el petróleo, renovables, gas natural y electricidad experimentaron variaciones en distintos sectores, como el Transporte, Industria, Residencial, Servicio, Agricultura & Pesca y Generación de Electricidad, durante la

pandemia de COVID-19. Algunas fuentes de energía registraron aumentos, mientras que otras sufrieron disminuciones, todo ello como resultado de las restricciones impuestas por la crisis sanitaria. Esta situación refleja la complejidad de los efectos de la pandemia en los diferentes aspectos de la economía y la sociedad.

- Al analizar los datos históricos de la matriz energética entre 1990 y 2020 en cuanto a combustibles fósiles, se ha identificado una discrepancia significativa entre la generación y la demanda de energía fósil, tal como se refleja en los valores negativos registrados en la Tabla 18, este estudio indica un desequilibrio en el sistema energético. Dicho desequilibrio podría atribuirse a una capacidad de generación excesiva, como lo indica el hecho de que en el año 2005 alcanzara su punto máximo con una generación de energía fósil que superaba en un 264% de la demanda total. No obstante, para el año 2020, estas cifras muestran una disminución, representando un exceso del 166% de la demanda total de energía, destacando la necesidad de una evaluación exhaustiva y una planificación estratégica para garantizar la eficiencia y la sostenibilidad en el suministro de energía.
- El diseño del escenario energético BAU basado en las hipótesis planteadas no es suficiente para alcanzar los objetivos deseados en términos de sostenibilidad energética. La proyección hasta el año 2050 muestra un índice de sostenibilidad de aproximadamente el 76%, así como muestra en la Tabla 42, lo cual se considera una cifra desalentadora ya que el objetivo es alcanzar un índice del 100%. Esto sugiere que las estrategias y acciones actuales implementadas en el escenario BAU no son adecuadas para lograr la sostenibilidad energética total deseada.
- El diseño del escenario energético SUST, basado en las hipótesis planteadas, demuestra ser adecuado para alcanzar los objetivos deseados en términos de sostenibilidad energética. La proyección hasta el año 2050 revela un índice de sostenibilidad cercano al 100%, según se muestra en la Tabla 44, esta cifra óptima refleja que las estrategias y acciones implementadas en el escenario SUST son efectivas para alcanzar la sostenibilidad energética deseada a largo plazo.

4.2. Recomendaciones

- Una recomendación fundamental para tener un ambiente sostenible de energía se podría plantear que el Ecuador mantenga una política pública donde se genere proyectos de generación de energía más limpia, como, por ejemplo: centrales térmicas o eólicas.
- Incentivar la Inversión en Energías Renovables, ofreciendo incentivos financieros y económicos para la inversión en energías renovables. Estos podrían incluir subsidios, créditos fiscales y programas de financiamiento preferencial para proyectos de energía limpia.

- Promover la investigación y desarrollo de tecnologías energéticas sostenibles. Apoyar la innovación puede llevar a la adopción de tecnologías más eficientes y rentables a largo plazo.
- El Ecuador, al ser catalogado como un país en vías de desarrollo, se sugiere encarecidamente que inicie una gestión más eficiente de su energía. Este enfoque debe centrarse en dos áreas clave: la economía y la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles.

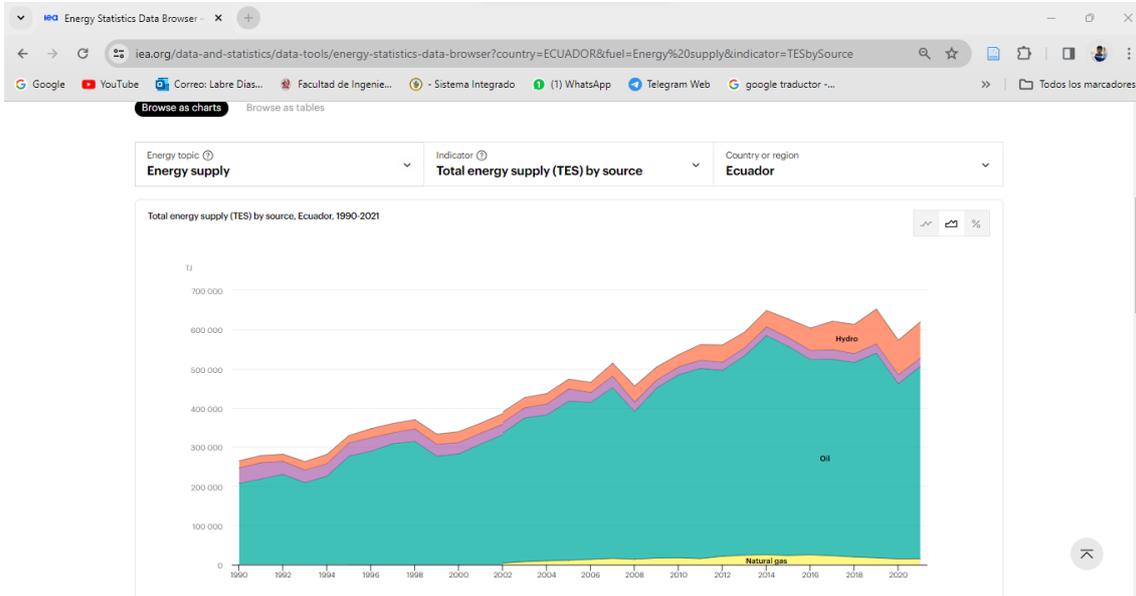
5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Parra y J. Zhady, «ANÁLISIS DE LA MATRIZ ENERGÉTICA ECUATORIANA Y PLAN DE DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE PARA LA CIUDAD DE MACHALA», jul. 2018, Accedido: 30 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/106306>
- [2] «Balance Energético Nacional – Ministerio de Energía y Minas». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/5900-2/>
- [3] P. R. Tayupanta Caiza, «Análisis del impacto de las políticas energéticas relacionadas con el cambio de la matriz energética del Ecuador en el período 2007-2014 y sus perspectivas al 2020», masterThesis, Quito, 2017., 2016. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16990>
- [4] A. C. P. Miranda, «Análisis del Plan Nacional de Eficiencia Energética en el Ecuador», *Rev. Investig. En Energ. Medio Ambiente Tecnol. RIEMAT ISSN 2588-0721*, vol. 5, n.º 1, Art. n.º 1, jul. 2020, doi: 10.33936/riemat.v5i1.2500.
- [5] E. Salvador J., «El sistema energético del Ecuador», p. 200, jun. 1990.
- [6] O. M. Madrid Cepeda, «Política energética del Ecuador desarrollada durante el periodo 2007-2013, dentro de la perspectiva de inserción en la integración energética regional: caso de estudio UNASUR», masterThesis, IAEN, 2015. Accedido: 12 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/5154>
- [7] N. Samaniego, P. Eguiguren Velepucha, J. Maita, y N. Aguirre, «Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias.», 2015, pp. 43-63.
- [8] J. A. Vicente Reyes, «Evaluación general de la matriz energética ecuatoriana y el aporte de las energías renovables no convencionales a la descarbonización de la generación eléctrica con énfasis en el potencial geotérmico», masterThesis, Quito, EC: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, 2021. Accedido: 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8555>
- [9] F. N. Plaza-Hernández, «Fuentes energéticas renovables en Ecuador. Perspectivas a futuro», *Polo Conoc.*, vol. 7, n.º 3, Art. n.º 3, mar. 2022, doi: 10.23857/pc.v7i3.3798.
- [10] «Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano buscar – Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables». Accedido: 30 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/estadisticas-del-sector-electrico-ecuadoriano-buscar/>
- [11] J. P. Muñoz-Vizhñay, M. V. Rojas-Moncayo, y C. R. Barreto-Calle, «Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador», *Ingenius Rev. Cienc. Tecnol.*, n.º 19, pp. 60-68, 2018.
- [12] C. M. de Energía, «Escenarios Energéticos Mundiales 2017», CAF; Consejo Mundial de Energía; UPME; Eletrobras, report, jun. 2017. Accedido: 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1056>
- [13] «Balance Energético Nacional: En 2020 la demanda energética del país disminuyó – Instituto de Investigación Geológico y Energético». Accedido: 1 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.geoenergia.gob.ec/balance-energetico-nacional-en-2020-la-demanda-energetica-del-pais-disminuyo/>
- [14] «Ecuador - Countries & Regions», IEA. Accedido: 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/countries/ecuador>

- [15] A. Pérez Navarro y D. Moya, «DENSUS: a code for the determination of sustainable energy scenarios .», *Be Publ.*
- [16] V. Foster y D. Bedrosyan, «Understanding CO2 Emissions from the Global Energy Sector», feb. 2014, Accedido: 30 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10986/17143>
- [17] S. K. Saraswat y A. K. Digalwar, «Empirical investigation and validation of sustainability indicators for the assessment of energy sources in India», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 145, p. 111156, jul. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111156.
- [18] I. N. de E. y Censos, «Población y Demografía», Instituto Nacional de Estadística y Censos. Accedido: 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- [19] «Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future - A/42/427 Annex - UN Documents: Gathering a body of global agreements». Accedido: 21 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- [20] P. Bastida-Molina, E. Hurtado-Pérez, M. C. Moros Gómez, J. Cárcel-Carrasco, y Á. Pérez-Navarro, «Energy sustainability evolution in the Mediterranean countries and synergies from a global energy scenario for the area», *Energy*, vol. 252, p. 124067, ago. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124067.
- [21] «2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — IPCC». Accedido: 21 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- [22] «2030 climate & energy framework - European Commission». Accedido: 21 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en
- [23] A. C. Moreira Zambrano y A. R. Míguez García, «Efectos del COVID-19 en la economía ecuatoriana. Caso: Exportaciones petroleras.», sep. 2020, Accedido: 26 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/61926>

6. ANEXOS

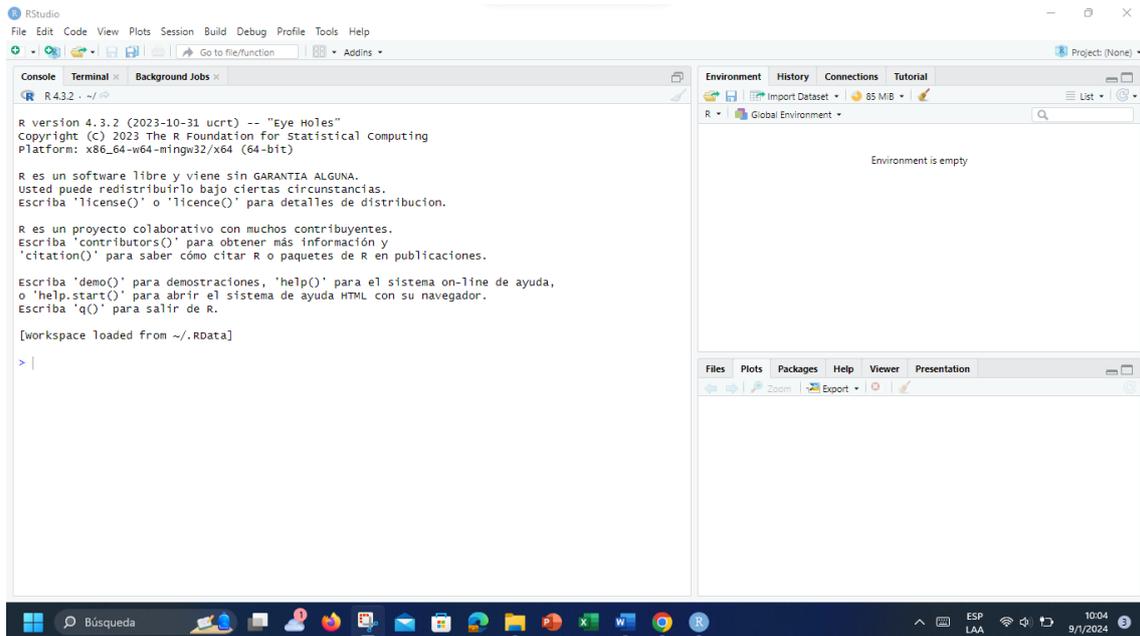
Datos históricos de la matriz energética, Ecuador 1990 – 2020.



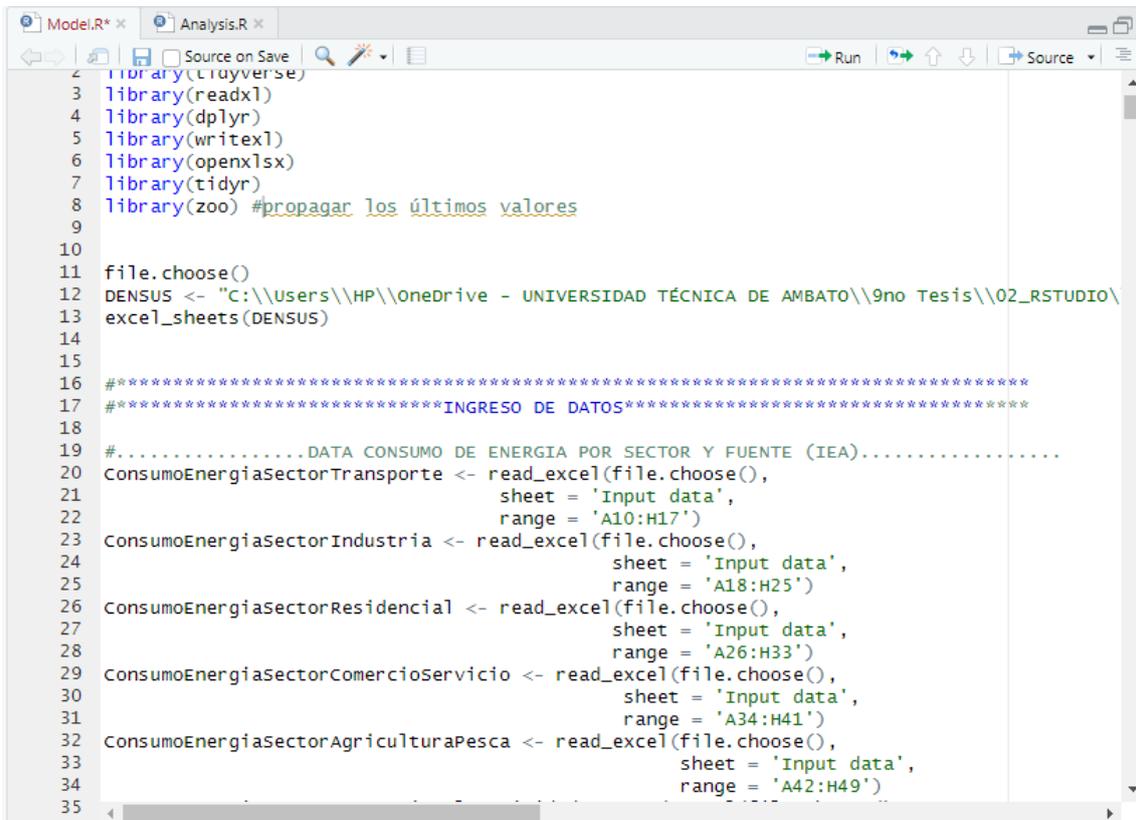
Datos históricos de la población ecuatoriana, periodo 1990 – 2020



SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS



Importación de datos



Cálculos realizados

```

171 #*****CALCULOS CO2 POR SECTOR*****
172 #*****
173
174 #1.. Sector transporte CO2
175 CO2Transporte <- apply(ConsumoEnergiaSectorTransporte1/1000, 1,function(row) sum(Emisividada
176 CO2Transporte
177 ConsumoEnergiaSectorTransporte$CO2 <- CO2Transporte
178 nuevo_texto <- c("t", "t", "t", "t", "t", "t", "t")
179 ConsumoEnergiaSectorTransporte$Unidades_CO2 <- nuevo_texto
180 ConsumoEnergiaSectorTransporte
181 #2.. Sector Industria CO2
182 CO2Industria <- apply(ConsumoEnergiaSectorIndustrial1/1000, 1,function(row) sum(EmisividadaC
183 CO2Industria
184

```

80:31 (Top Level) R Script

Console Terminal Background Jobs

R 4.3.2 - C:/Users/HP/OneDrive - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO/9no Tesis/02_RSTUDIO/02 TESIS LABRE V2/

```

ConsumoEnergiaSectorTransporte$CO2 <- CO2Transporte
nuevo_texto <- c("t", "t", "t", "t", "t", "t", "t")
ConsumoEnergiaSectorTransporte$Unidades_CO2 <- nuevo_texto
ConsumoEnergiaSectorTransporte
A tibble: 7 x 10
  Año Carbon Petróleo `Gas Natural` Renovables Electricidad Sector Unidades_energia CO2
<dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <chr> <chr> <dbl>
1990 0 108583 0 0 0 Transpor... TJ 8.14
1995 0 114379 0 0 0 Transpor... TJ 8.58
2000 0 111421 0 0 36 Transpor... TJ 8.36
2005 0 137615 0 0 36 Transpor... TJ 10.3
2010 0 176472 0 107 36 Transpor... TJ 13.2
2015 0 235876 0 322 36 Transpor... TJ 17.7
2020 0 270760 0 937 39 Transpor... TJ 20.3
i 1 more variable: Unidades_CO2 <chr>

```

Exportación de datos

```

3644
3645 #Exportar a excel
3646 setwd("C:/Users/HP/OneDrive - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO/9no Tesis/02_RSTUDIO/02 TESIS
3647 # Crear un nuevo objeto workbook
3648 wb <- createworkbook()
3649 # Agregar una hoja al objeto workbook
3650 addworksheet(wb, "MD13")
3651 addworksheet(wb, "MD4_BAU")
3652 addworksheet(wb, "MD5_Sostenible")
3653 addworksheet(wb, "MD6_Comparación")
3654
3655
3656 #*****+EXPORTAR DATOS MODULO 1-3*****
3657
3658 writeData(wb, "MD13", x = "MODULO 1: INGRESO DE DATOS",startRow = 8,startCol = 1)
3659 writeData(wb, "MD13", x = "Calculo del CO2 por sector",startRow = 9,startCol = 1)
3660 writeData(wb, "MD13", ConsumoEnergiaSectorTransporte, startRow = 10, startCol = 1)
3661 writeData(wb, "MD13", ConsumoEnergiaSectorIndustrial, startRow = 18, startCol = 1)
3662 writeData(wb, "MD13", ConsumoEnergiaSectorResidencial, startRow = 26, startCol = 1)
3663 writeData(wb, "MD13", ConsumoEnergiaSectorComercioServicio, startRow = 34, startCol = 1)
3664 writeData(wb, "MD13", ConsumoEnergiaSectorAgriculturaPesca, startRow = 42, startCol = 1)
3665 writeData(wb, "MD13", ConsumoEnergiaSectorGeneracionElectricidad, startRow = 50, startCol
3666 writeData(wb, "MD13", CalibrarBalanceEmisividadaCO2, startRow = 50, startCol = 12)
3667
3668
3669

```

Ilustración de resultados

